

El agua en el suelo: fuerzas de retención

Apellidos, nombre	Pachés Giner, María AV (mapacgi@upvnet.upv.es)
Departamento	Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

1 Resumen de las ideas clave

El agua presente en los suelos es sumamente importante para el desarrollo de los ecosistemas terrestres, especialmente para las plantas.

El agua interviene por una parte en la formación del suelo, facilitando los procesos de meteorización fisicoquímica y translocación de sustancias, y por otra parte en la fertilidad del mismo, transportando nutrientes y/o contaminantes.

La cantidad de agua presente en un suelo experimenta variaciones de forma continua a lo largo del tiempo con entradas por lluvias, riego y/o infiltraciones laterales y salidas por escorrentías o drenajes. Por tanto, el contenido total y el flujo del agua a lo largo del perfil del suelo son determinantes para que se den una gran cantidad de procesos.

La movilidad del agua depende de la energía libre de sus moléculas, es decir, de la cantidad de la energía total que puede transformarse en trabajo. La magnitud que se utiliza para medir el estado de esta energía libre es el potencial hídrico. Este potencial engloba diversos componentes que interactúan reteniendo el agua y/o facilitando su circulación en cualquier dirección. El valor de este parámetro permite predecir cómo se moverá el agua bajo diversas condiciones.

La mayor o menor fuerza con la que el agua está retenida en el suelo determina la disponibilidad de esta para las plantas. Si el agua está fuertemente adherida a las partículas del suelo no puede ser absorbida, y por el contrario si el flujo es muy rápido tampoco. Por tanto, solo una fracción del agua total que presenta el suelo es verdaderamente útil para las plantas.

2 Objetivos

Una vez que el alumno lea con detenimiento este documento será capaz de:

- Enumerar las distintas fases que componen el suelo.
- Describir las diferentes fuerzas que actúan sobre el agua en un suelo.
- Definir el concepto de potencial hídrico del suelo y las unidades de medida.
- Predecir hacia donde se dará el flujo de agua en el suelo.
- Describir los distintos tipos de agua que existen en el suelo según su disponibilidad.

3 Introducción

El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre (litosfera) situada entre el lecho rocoso y la superficie. Constituye un recurso natural no renovable con tasas de formación muy lentas y tasas de degradación rápidas. La importancia del suelo radica en que constituye la interfaz entre la geosfera, la atmósfera y la hidrosfera, lo que le confiere capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso.

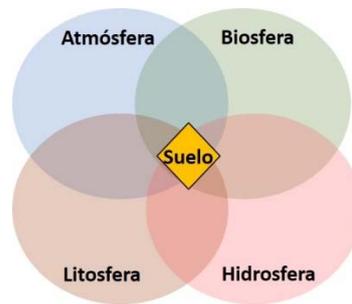


Imagen 1. Importancia del suelo

En el suelo existen tres estados de agregación de la materia llamados *fases del suelo*, estas son: *fase sólida*, *líquida* y *gaseosa* (Imagen 2).

La *fase sólida* es la más estable y representativa (50%). Está formada por una fracción mineral y una orgánica. Dentro de la fracción mineral del suelo encontramos dos tipos de minerales: los primarios (constituyen el material de partida del suelo) formados por cuarzo, feldspatos, piroxenos, anfíboles, micas y olivino, y los secundarios (surgen de la alteración de los primarios) principalmente arcillas, óxidos de hierro y carbonatos de calcio y magnesio. La fracción orgánica representa menor porcentaje en volumen, pero es importante para mantener las características del suelo. Esta fracción de materia orgánica está formada principalmente por complejos de carbono, hidrógeno y nitrógeno procedentes de restos animales y vegetales en diversos estados de degradación.

La importancia de la *fase sólida* del suelo radica en que determina las propiedades físicas de los suelos tales como la porosidad (% total de huecos que hay entre el material sólido de un suelo) y permeabilidad, en las que las otras dos fases, *gaseosa* y *líquida*, son retenidas o transmitidas.

La *fase gaseosa* o "atmósfera del suelo" está formada por un gas cuya composición es similar a la del aire pero con proporciones diferentes de sus componentes. El porcentaje en volumen de la fase gaseosa es en término medio un 25%. Esta fase permite la respiración de los organismos del suelo y las raíces de las plantas y es muy importante en los procesos de óxido-reducción que tienen lugar en el suelo.

Por último, la *fase líquida* que engloba el agua que contiene el suelo. A esta fase le corresponde un 25% y puede ser expresada en términos gravimétricos (w ; masa de agua por unidad de masa de suelo) y/o volumétricos (Θ ; volumen de agua por volumen de suelo).

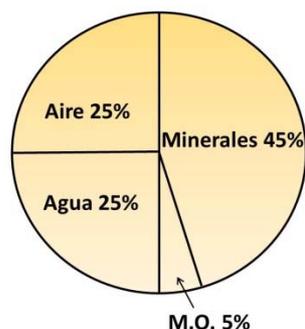


Imagen 2. Fases del suelo

4 Fuerzas de retención del agua en el suelo

El movimiento del agua en el suelo está regulado por su energía expresada en unidades de potencial. El potencial del agua se define como el trabajo que se debe realizar para transferir reversible e isotérmicamente una unidad de agua pura (volumen, masa, peso) desde el estado de referencia (e.d.r.) hasta el suelo en el punto considerado. Su signo es Ψ , p.e. $\Psi_{e.d.r.} = 0$.

El agua en su estado de referencia tiene las siguientes características:

- Libre, sin interacción con superficies sólidas
- Pura, sin solutos disueltos
- Sometida a presión atmosférica
- Situada a una cota determinada
- A la misma temperatura que el agua del suelo

Sin embargo, el agua en el suelo está sujeta a diversas fuerzas que hacen que su potencial difiera de aquel del agua libre. Estas fuerzas son de retención por la matriz sólida del suelo, por las sales disueltas que contenga el agua y gravitacionales. De modo que el potencial hídrico total en el suelo (Ψ_t) es la suma de diversos componentes debido a las fuerzas que actúan sobre el agua.

$$\Psi_t = \Psi_m + \Psi_o + \Psi_g + \Psi_p$$

Ecuación 1. Potencial total del agua.

Dónde:

Ψ_t = potencial total

Ψ_m = Potencial matricial

Ψ_g = Potencial gravitacional

Ψ_o = Potencial osmótico

Ψ_p = Potencial de presión

Las unidades de potencial hídrico pueden ser expresada en base a:

- J/kg
- cbar, MPa
- cm, m

4.1 Potencial matricial

El potencial matricial (Ψ_m) representa el grado de retención del agua debido a la acción integrada de las fuerzas de adsorción y capilaridad. La fuerza de adsorción aparece como

consecuencia de la descompensación eléctrica que existe en la superficie de las partículas del suelo, que favorece la atracción de las moléculas de agua por fuerzas electrostáticas.

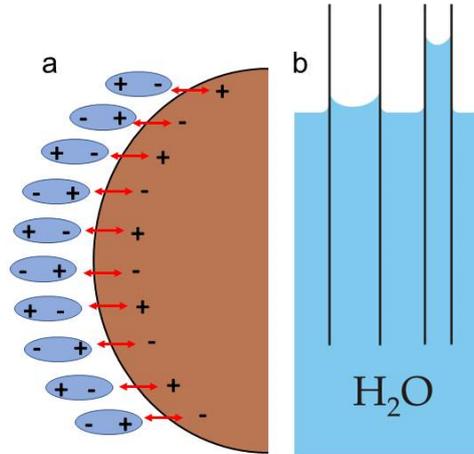


Imagen 3. Fuerzas de adsorción (a) y capilaridad de moléculas de agua (b)

La segunda fuerza que actúa es la capilaridad (Imagen 3). Ésta es el resultado de la tensión superficial del agua y su ángulo de contacto con la fase sólida. Ambas fuerzas atraen y retienen el agua en el suelo reduciendo su energía potencial por debajo de aquella del agua libre. Por tanto, su valor es siempre negativo, ya que la presión que origina se opone a la expulsión de agua del suelo. A medida que se seca un suelo (suelo no saturado), más negativo se convierte su potencial matricial y mayor será la presión necesaria para extraer agua. Por el contrario, en aquellos suelos saturados toma valor nulo.

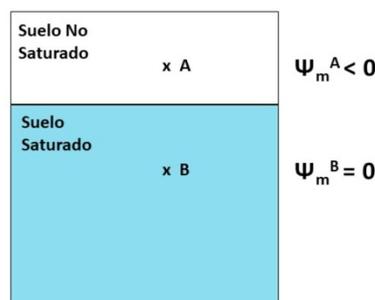


Imagen 4. Potencial matricial en el suelo

4.2 Potencial osmótico

El potencial osmótico (Ψ_o) es debido al efecto de los solutos en la fase líquida del suelo. El agua debido a la dipolaridad que presenta es muy buen disolvente y se absorbe sobre las superficies sólidas hidratando iones y coloides. La presencia de estos altera la estructura del agua de hidratación y las moléculas de agua pierden energía libre. Como los solutos reducen la energía potencial de las moléculas de agua, el potencial osmótico es siempre negativo ($\Psi_o < 0$). Solamente se considera el potencial osmótico cero ($\Psi_o = 0$) para el agua pura.

Este componente es importante para estimar el trabajo que deben realizar las raíces de las plantas para extraer la humedad del suelo.

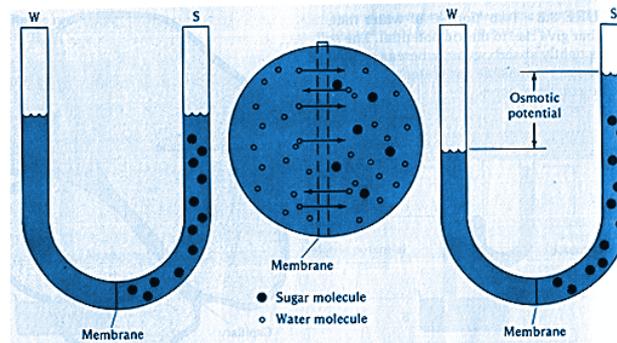


Imagen 5. Proceso de osmosis (Brandy, 1984)

4.3 Potencial gravitacional

El potencial gravitacional es debido a la fuerza de la gravedad que desplaza el agua hacia capas cada vez más profundas. El potencial gravitacional del agua en un punto determinado del suelo está determinado por la elevación de ese punto con respecto a un nivel de referencia dado. Si el nivel de referencia está por encima, el potencial gravitacional es negativo ($\Psi_g < 0$), por el contrario, si el nivel de referencia está por debajo dicho potencial es positivo ($\Psi_g > 0$).

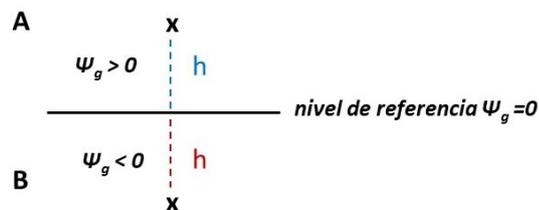


Imagen 6. Signo del potencial gravitacional

4.4 Potencial de presión

El Potencial de presión (Ψ_p) es debido a la presión ejercida por una columna de agua que se encuentra por encima del punto del suelo considerado. En zonas no saturadas el valor es cero y en zonas por debajo del nivel freático (zonas saturadas) el valor es positivo ($\Psi_p > 0$), puesto que en estas zonas la presión hidrostática es mayor que la atmosférica.



Si un suelo tiene un potencial hídrico de -3 bar y una planta tiene un potencial de -9 bar. ¿Hacia donde se desplazará el agua?

5 Disponibilidad de agua en el suelo

Como se ha comentado anteriormente, el suelo es un sistema poroso formado de infinidad de partículas sólidas y agregados de diferentes tamaños y composición química. Entre estas partículas del suelo van apareciendo espacios vacíos (poros) que son ocupados por agua o por aire. Estos espacios presentan mucha variabilidad en cuanto a tamaño y forma; el rango de tamaño de poros varía desde diámetros inferiores a 0.0002 mm (microporos) hasta 50 mm (macroporos).

En función del tamaño de estos espacios y la continuidad de los mismos las funciones que se pueden dar y los procesos que ocurren varían (Tabla 1).

Tamaño de los poros (mm diámetro)	Descripción de los poros	Funciones de los poros
< 0.0002	Residual	Retienen agua que las plantas no pueden usar
0.0002-0.05	Almacenamiento	Retienen agua que las plantas pueden usar
> 0.05	Transmisión	Permite que el agua drene y que entre aire
> 0.1 a 0.3	Enraizamiento	Permite que las raíces de las plantas penetren libremente
0.5-3.5	Canal de lombrices	Permite que el agua drene y que entre aire
2-50	Nido de hormigas y canales	Permite que el agua drene y que entre aire

Tabla 1. Funciones y tamaño de los poros en el suelo (Hamblin, 1985).

Cuando estos poros son ocupados por agua ésta no aparece siempre de la misma forma ni presenta la misma disponibilidad para las plantas. Por ello se habla de diversos tipos de agua en el suelo en función de su utilidad que vamos a detallar a continuación.

5.1 Agua higroscópica

El agua higroscópica o molecular es el agua absorbida directamente de la humedad del aire. En este tipo de agua las moléculas se adhieren alrededor las partículas del suelo

formando capas de espesor muy fino. La fuerza de succión necesaria que hay que aplicar para poder captar este agua es mayor a 31 atm. Puesto que el poder de succión de las raíces de las plantas no es suficiente para extraer esta película de agua del suelo, esta porción de agua no está disponible ni asimilable para las plantas.

5.2 Agua capilar

El agua capilar corresponde a aquella contenida en los tubos capilares del suelo que es retenida debido a la tensión superficial del agua. Dentro de esta fracción encontramos dos tipos. El primero corresponde al agua capilar no absorbible. Esta agua ocupa los poros más pequeños del suelo ($< 0.2 \mu\text{m}$) y está fuertemente retenida. No es absorbible por las plantas porque se requiere una fuerza de succión demasiado grande, de 31-15 atm.

El segundo tipo corresponde al agua capilar absorbible por las plantas. Esta aparece almacenada en poros de 0.2 a 8 mm y pueden ser asimiladas por las raíces puesto que la fuerza de succión necesaria es de 15 a 1 atm. Esta fracción correspondería a la reserva hídrica del suelo.

5.3 Agua gravitacional

Corresponde al agua que está ocupando los macroporos del suelo, saturándolos o no. Esta fracción de agua no está retenida en el suelo y se mueve impulsada por la fuerza de la gravedad hacia capas más profundas (subsuelo) pudiendo alcanzar el nivel freático. Desde el punto de vista del movimiento del agua a través de los macroporos existen dos tipos. El primero es de flujo lento, para poros de 8 a 30 mm de diámetro y el segundo de flujo rápido, para poros mayores de 30 mm.

Esta fracción de agua puede ser temporalmente utilizada por las plantas siempre y cuando se encuentre en el estrato del crecimiento de las raíces de las plantas.

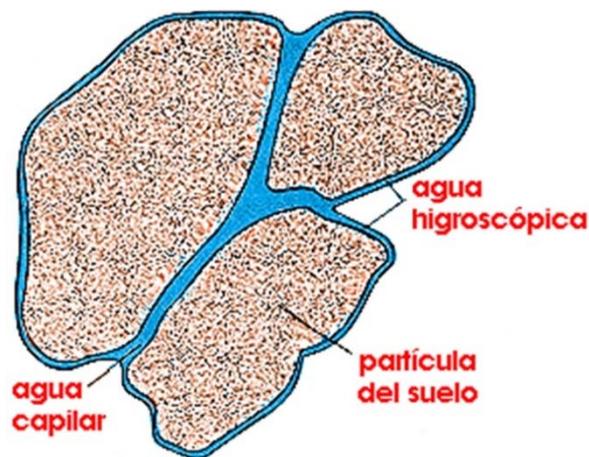


Imagen 7. Agua higroscópica y capilar del suelo

De todos los tipos de agua disponibles comentados anteriormente derivan dos términos importantes desde el punto de vista práctico. Estos son: la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP).

La capacidad de campo corresponde a la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la acción de la gravedad. Es decir, aquella agua que queda en un suelo después de un episodio de lluvia abundante y/o riego pasadas 24-48h (se evapora parte del agua), cuando el agua gravitacional de flujo rápido ya se ha perdido.

Esta fracción sería la suma de:

H_2O higroscópica + H_2O capilar (absorbible y no absorbible) + H_2O gravitacional flujo lento

El punto de marchitez permanente se alcanza cuando el suelo se deseca a un nivel tal que el agua que queda está retenida con una fuerza de succión mayor que la de absorción de las raíces de las plantas. Las plantas por tanto no pueden absorber el agua del suelo y experimentan un marchitamiento irreversible. Esta fracción corresponde a la suma de:

H_2O higroscópica + H_2O capilar no absorbible

La diferencia de estos dos contenidos de humedad en el suelo (CC y PMP) determina el agua útil y disponible para las plantas. Los valores de la CC y los del PMP pueden expresarse en porcentajes de peso de suelo seco. Así, una capacidad de campo del 27% significa que 100 g de tierra seca retienen 27 g de agua, y una marchitez del 12% significa que, cuando se alcanza la marchitez de la planta, el suelo tiene 12 g de agua por 100 g de tierra seca. Por tanto, el agua útil (disponible) para la planta sería 15 g de agua por cada 100 g de tierra seca.

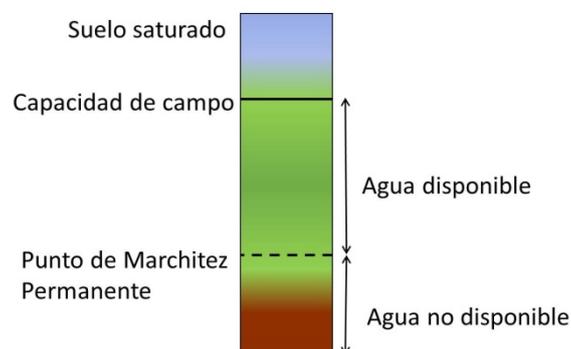


Imagen 8. Agua disponible en el suelo

6 Conclusiones

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos descrito las distintas fases que componen el suelo. Dentro de la fase líquida del suelo se han definido las distintas fuerzas que actúan sobre el agua del suelo reteniéndola (potencial matricial y osmótico) o facilitando su movimiento (potencial gravitacional). La suma de estas fuerzas permite establecer el potencial hídrico del suelo y predecir cuál será el movimiento del agua según los valores del mismo.

Por último se han descrito los distintos tipos de agua presente en el suelo según la disponibilidad de ésta para ser tomadas por las plantas.

<i>Recuerda que...</i>	<i>✓ Lo que importa son las variaciones de potencial y no los valores absolutos</i>
	<i>✓ El agua se mueve siempre desde potenciales altos hacia potenciales más bajos</i>

7 Bibliografía

Brandy, N.C: The nature and Properties of soils. Macmillan Pub. 1984.

Hamblin, A.P. (1985). The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. *Advances in Agronomy* 38:95-158.

Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación: “Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España”, Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2009. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/publicaciones/Publicaciones-fertilizantes.aspx>