

15: ABSORCIÓN DE AGUA POR LAS PLANTAS.

El agua en el suelo. Disponibilidad del agua para las plantas: capacidad de campo y punto de marchitamiento permanente. Absorción de agua a través de las raíces. Movimiento del agua a través de la raíz.

OBJETIVOS

- A partir del conocimiento de la disponibilidad de agua en el suelo y sus particularidades, se pretende entender las posibilidades del dinamismo hídrico a través de la planta.
- Razonar las consecuencias del equilibrio hídrico y las bases de su funcionamiento.
- Plantear las posibles vías de entrada y movimiento del agua desde el suelo al xilema.

OBSERVACIONES.

- El seminario que se muestra a continuación puede verse con más detalle en la sección seminarios.
- La estructura de la raíz, así como la anatomía interna de ésta y el tallo, han sido estudiados en organografía vegetal.
- Revisar tema 2.

INTRODUCCION

En una planta en crecimiento activo, existe una fase de agua líquida continua que se extiende desde la epidermis de la raíz hasta las paredes celulares del parénquima foliar. Se acepta un movimiento de agua desde el suelo al aire, a través de toda la planta que se puede explicar por la existencia de gradientes de potencial hídrico a lo largo de la vía (Fig.1). Debido a que el aire en los espacios intercelulares del parénquima lagunar en el mesófilo foliar está prácticamente a presión de vapor de saturación, mientras que el aire exterior rara vez está saturado de agua, el vapor de agua se mueve desde el interior de la hoja a la atmósfera exterior, siguiendo un gradiente decreciente de potencial hídrico. Este

proceso, denominado transpiración, es la fuerza motriz más importante para el movimiento del agua a través de la planta.

EL AGUA DEL SUELO Y SU DISPONIBILIDAD PARA LA PLANTA

El contenido y retención de agua por un suelo no tiene un carácter homogéneo, sino que resulta de la interacción de distintas fuerzas y componentes. Se suelen distinguir cuatro tipos de uniones del agua al suelo:

1. el *agua gravitacional* corresponde al agua que, en un suelo saturado de agua, rellena transitoriamente los espacios de aire y se pierde por infiltración, por acción de la gravedad.

2. el *agua capilar* es la fracción de agua del suelo más importante para la dinámica hídrica de las plantas. Corresponde al agua retenida, tras el drenaje del agua gravitacional, por las superficies y fuerzas capilares del suelo.

3. el *agua de imbibición* se debe a la retención de agua por acción de los coloides del suelo. Normalmente es de escasa significación, por su poca disponibilidad para la vida de las plantas.

4. el *vapor de agua* en equilibrio con la fase líquida que rellena los espacios de aire libre entre las partículas del suelo.

Si expresamos el contenido de agua de un suelo en términos de su energía libre, podemos distinguir varios componentes en el potencial hídrico de un suelo ψ_{suelo} .

$$\psi_{\text{suelo}} = \psi_m + \psi_o + \psi_p + \psi_g$$

ψ_m : potencial matricial

ψ_o : potencial osmótico

ψ_p : potencial gravitacional

ψ_g : potencial de presión

Se toma como valor cero ψ de un suelo totalmente saturado con agua pura a la presión atmosférica. De aquí que por la presencia de soluciones los suelos presentan potenciales hídricos de signo

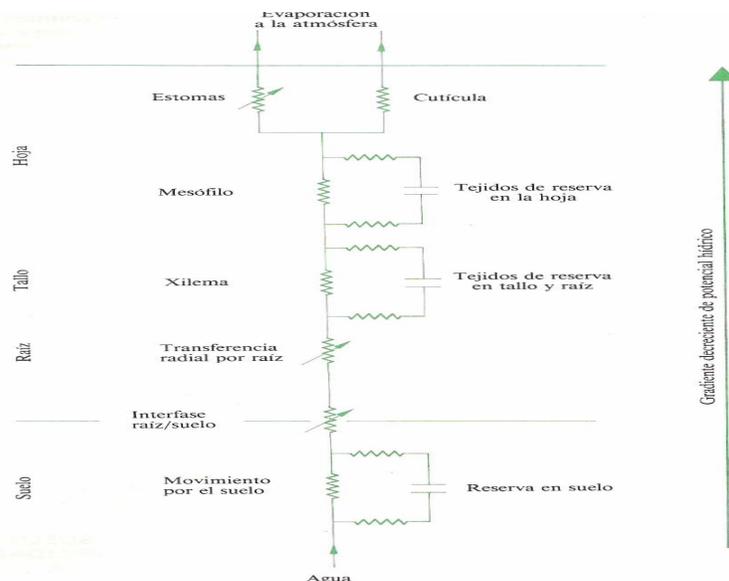
negativo. La interacción de los distintos componentes determinan muy diferentes valores de ψ para los suelos. Los valores más frecuentes para suelos normales son de $-0,1$ a $-0,2$ MPa.

Las magnitudes relativas de los componentes del potencial hídrico son muy distintas para la planta y el suelo. El ψ_m normalmente es poco significativo en plantas, mientras que en el suelo alcanza elevados valores negativos al decrecer el contenido de agua en un suelo, de forma que condiciona grandemente el ψ_{suelo} , es siempre negativo y representa el componente de la atracción del agua por las fuerzas de adsorción y de capilaridad. La presencia de solutos decrece el ψ , de forma que ψ_o tiene también signo negativo. Su significación es muy variable, aumentando al incrementarse la concentración de la solución. Para pequeñas concentraciones en solutos, el componente más importante es ψ_m no sólo para la retención de agua, sino también como fuerza de conducción. Frente al papel decisivo que tenía ψ_p en las relaciones hídricas de las células vegetales, por el contrario, es relativamente insignificante en el suelo. Si es conveniente considerar ψ_g .

De todo esto podemos resaltar:

Un suelo tiene cero como valor de potencial hídrico cuando se encuentra totalmente saturado con agua pura a la presión atmosférica.

Un suelo saturado de agua tiene su máxima retención de agua pero rápidamente pierde, por acción de la gravedad, parte de su contenido en agua (agua gravitacional).



a 4.1.—Modelo de analogía para el transporte de agua en el sistema suelo-planta-atmósfera, en el que se indican las resistencias principales y los lugares de reserva (tomado de R. Scott Russell, *Plant Root Systems*, McGraw-Hill, Londres, 1977)

Fig.1. Movimiento de flujo de agua por la planta. Nótese el papel del ψ y las resistencias.

ABSORCIÓN Y MOVIMIENTO DE AGUA POR LAS RAICES

Necesario para mantener la turgencia de la parte aérea, así como para posibilitar las actividades bioquímicas hasta un nivel que asegure la supervivencia, el agua perdida en la planta mediante transpiración ha de reponerse continuamente.

Ningún tipo de suelo va a ser homogéneo, se ve afectado según su naturaleza. Afecta a la cantidad de agua, el potencial osmótico hace que los componentes sean decrecientes.

Capacidad de campo: contenido de humedad relativa de un suelo saturado de agua que ha drenado libremente el agua gravitacional, es decir, agua disponible en un determinado momento para la planta. Depende del tipo de suelo y del potencial nutricional que tenga.

Punto de marchitez permanente (PMP): contenido hídrico de un suelo, expresado en porcentaje de peso fresco, en el que las hojas marchitas ya no pueden recuperarse de su marchitez, colocadas en una atmósfera saturada de humedad a menos que se agregue agua al suelo. Corresponde prácticamente al agua capilar del suelo.

Los suelos de partículas finas, así de mayor superficie, tienen la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente más elevados que los de textura gruesa. Por este motivo, los suelos arcillosos presentan, junto a una mayor retención de agua, también una mayor disponibilidad de ella para las plantas que los suelos arenosos.

La *diferencia de potencial hídrico* junto con la *tensión negativa* provocada por la evapotranspiración son los dos motores fundamentales que justifican el movimiento del agua en la planta.

movimiento radical.- penetración del agua en la zona fundamental de pelos absorbentes hasta la base de la planta.

movimiento longitudinal.- desde la base de la planta hasta provocar la evapotranspiración.

El agua del suelo entra en la planta y junto con la evapotranspiración forman un todo continuo.

En el movimiento del agua juegan un papel importante:

-*potencial hídrico*

-*propiedades físico-químicas del agua* que derivan de su estructura celular (propiedad cohesión /tensión)

- *xilema*

La planta representa una vía intermedia en el flujo del agua situada entre los altos potenciales hídricos del suelo y los más bajos de la atmósfera (fuerza motriz).

El agua sólo circulará si se mantiene un gradiente de potencial y el motor que colabora con él es la tensión negativa generada por evapotranspiración en los estomas de las hojas.

La diferencia de potenciales a través de suelo, planta y aire hace que se produzcan saltos energéticos favorables. La columna de agua formada al entrar en raíz es constante. El movimiento de agua se va a localizar en el xilema, que es un conjunto de tubos con diámetros pequeños y mas o menos complejos, manifestando sus propiedades de cohesión entre las moléculas y las paredes del haz vascular .

En plantas de bajo porte (sobre 50 cm) las diferencias de potencial hídrico entre el suelo y la atmósfera son pequeñas y se tiene por ello un reparto equitativo de agua.

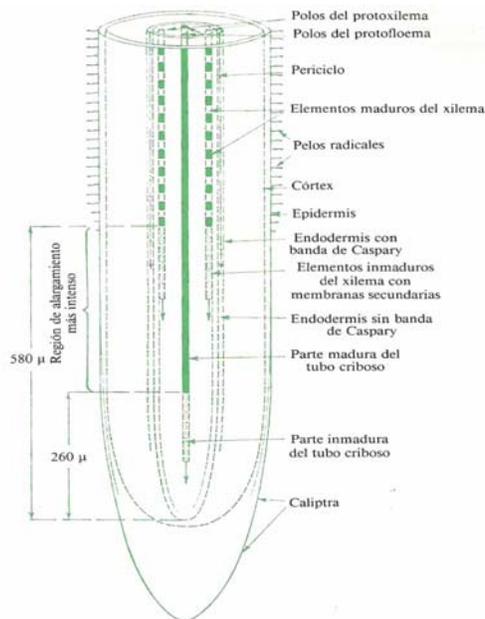
La absorción de agua se produce fundamentalmente por la raíz, pero a veces también la superficie foliar interviene permitiendo bombear agua hasta todos los extremos de la planta si con la absorción radical no fuese suficiente (en plantas de mayor porte).

No todas las partes de la raíz absorben por igual (Fig.2), se distinguen tres zonas, partiendo del extremo más basal al más apical: **zona de división** (meristemo), **zona de elongación** y **zona de diferenciación** (por ella tiene lugar la entrada de agua; formada por dermis, córtex, cilindro central con elementos xilemáticos y floemáticos).

La raíz es el órgano especializado en la sujeción de la planta y en la absorción del agua y de los nutrientes minerales del suelo. La región meristemática es relativamente impermeable al agua, dado que las células no están vacuoladas y contienen citoplasma denso; asimismo, en la proximidad del ápice radicular el tejido vascular no está diferenciado y si el agua llegase a entrar libremente no podría ascender.

El máximo de absorción se halla situada en la porción subapical de la raíz, por encima de la zona de división y elongación celular. Esta absorción máxima se logra por incremento de la superficie de las raíces, por mediación de los pelos absorbentes o pelos radiculares que se forman a partir de células epidérmicas que por división desigual originan una protrusión de sus membranas hacia fuera, con lo que se consigue un considerable incremento de la superficie de absorción. No todas las especies poseen pelos radiculares e, incluso, algunas como *Citrus* carecen de ellos en suelos húmedos y las forman en suelos secos. Se considera que los pelos radiculares son un mecanismo que facilita un mejor contacto de la raíz con las partículas del suelo. La presencia de micorrizas, asociación simbiótica de hongos y raíces de plantas, se ha comprobado que es un mecanismo que seguramente de oligoelementos y de agua. Partiendo de la zona de diferenciación hacia la parte las hojas, se establece el elemento conductor.

El agua entra en las raíces en respuesta a un gradiente de potencial hídrico (de menor a mayor energía) en el xilema, establecido por la transpiración. Entrará con mayor rapidez a través de aquellas regiones de la raíz que ofrezcan menor resistencia. El gradiente de potencial hídrico entre la disolución del suelo y los elementos xilemáticos puede ser muy acentuado.



cción longitudinal de la extremidad de la raíz de *Nicotiana* (tabaco) (tomado de K. Esau, *F* Editions, Inc., Nueva York).

Fig.2. Diferenciación y zonas de absorción de agua por las raíces.

En consecuencia, el agua se moverá a través de la raíz en respuesta al gradiente de potencial.

Existen tres vías anatómicamente diferentes a través de las cuales podría moverse el agua: **apoplasto** (ruta externa al citoplasma vivo, continuo de paredes celulares externo a la membrana celular), **plasmodesmos** (conectan el citoplasma con las células

adyacentes), **simplasto** (porción viva de la célula). Finalmente, existe la posibilidad de que el agua atravesase tanto el plasmalema

como el tonoplasto, de tal manera, que la vacuola pasaría a ser una parte integral de la vía de transporte.

Existirá un considerable movimiento de agua entre los compartimentos apoplasto o simplasto-vacuola hasta que los valores de potencial hídrico, en las diferentes partes del sistema, alcancen el equilibrio.

El movimiento del agua (Fig.3) a través de la endodermis ha de ser a través de la ruta simplástica, ya que la banda de Caspari, impregnada de lignina y suberina, impide el movimiento del agua a través del apoplasto. Además, en las células endodérmicas más viejas, la superficie de las paredes internas está recubierta por laminillas de suberina que pueden presentar también un engrosamiento generalizado por ello existen poros a través de los cuales pasan los plasmodesmos para conectar el citoplasma endodérmico con el citoplasma del periciclo.

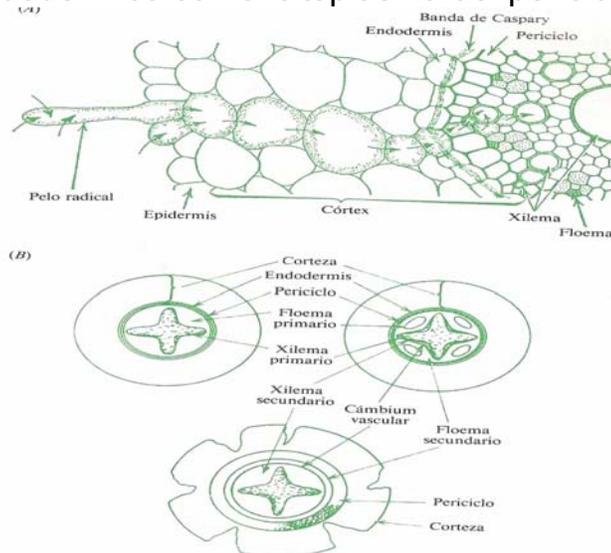


Fig.3. Entrada del agua desde el suelo. Transporte radial.

(A) corte transversal de la estructura primaria de una raíz de trigo.

Se indican los distintos tipos de células y la vía del simplasto, para el agua y los nutrientes minerales absorbidos por la raíz. El apoplasto comprende esencialmente la paredes celulares y los espacios intercelulares, queda interrumpida por la presencia de endodermis (bandas de Caspari)

(B) Estructura secundaria de un corte transversal de angiosperma.

El movimiento del agua a través de la vía simplástica contribuye significativamente a la resistencia de la raíz; la muerte de las raíces conduce a una reducción en la resistencia al movimiento de agua. Una vez que el agua ha atravesado la barrera endodérmica y el cilindro central, las resistencias encontradas serán comparables a las del córtex; el agua continuará desplazándose a través del

cilindro central hasta que, finalmente penetre en los vasos y traqueidas xilemáticos para moverse hacia la parte aérea.

El agua al pasar de suelo a raíz debe de atravesar las distintas partes que se muestran (Fig.3).

Pilar Rubio (Curso 2005-06)

SEMINARIO (LECTURA COMPLEMENTARIA)

COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS SUELOS

- **Sólidos**
- **Agua.**
- **Aire.**

Las proporciones de aire y agua varían. Tienen gran dinamismo

I. Fase sólida.

a) *Constituyentes inorgánicos.* Componentes minerales primarios (por ejemplo cuarzo y feldespatos). Predominan en la fracción arena. Silicatos de la arcilla y óxidos de hierro, han sido formados por alteración de minerales menos resistentes: componentes minerales secundarios y predominan en la fracción arcilla.

b) *Constituyentes orgánicos.* La materia orgánica varía de 1 a 6% en la zona superficial y menor en el subsuelo. Su influencia grande: agrega las partículas minerales, incrementa la cantidad de agua que puede retener el suelo, es fuente de nutrientes (N, P, S), capaz de retener iones, etc. Junto con otros que han sido sintetizados por los microorganismos: humus.

1. Propiedades físicas

-Color.Color oscuro o negro indica contenido alto en materia orgánica, color blancuzco presencia de carbonatos y/o yesos, colores grises/verdes/azulados hidromorfía permanente. Caracterizado por tres parámetros que son: Matiz o Hue, la longitud de onda dominante en la radiación reflejada. Brillo o Value porción de luz reflejada,. Intensidad o Cromo pureza relativa del color

-Textura.Relación existente entre los porcentajes de las diferentes fracciones (arena, limo y arcilla)

Grava, arena, limo y arcilla, difieren en los valores de los límites establecidos para definir cada clase.. Se utilizan diagramas el más empleado es el triángulo de texturas o Diagrama textural.

-Estructura..La estructura de un suelo :“el modo de agregación o unión de los constituyentes del suelo
Factores que lo determinan: a) la cantidad o porcentaje del material o matriz que une las partículas del suelo (carbonatos, arcilla, materia orgánica); b) la textura; c) la actividad biológica del suelo (lombrices) y d) la influencia humana (en el horizonte cultivado se forma una estructura con una morfología totalmente distinta a la natural que poseía el suelo).

Densidad aparente

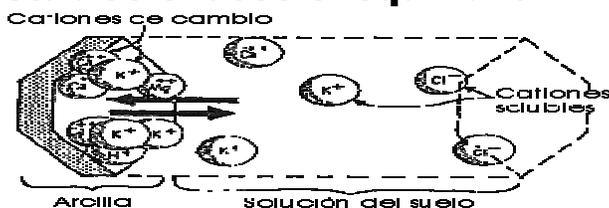
La densidad real (densidad media de sus partículas sólidas) y la densidad aparente (teniendo en cuenta el volumen de poros).

**Arenoso: poros grandes y menos proporción de éstos.
En arcilloso: poros pequeños y en mayor proporción**

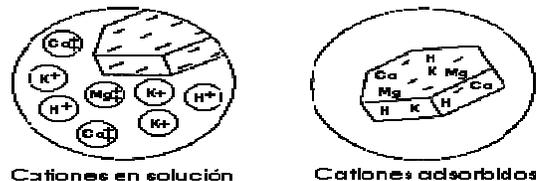
2. Propiedades físico-químicas.

Cambio iónico.

Procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo, adsorben iones de la fase líquida liberando otros iones en cantidades equivalentes, estableciéndose el equilibrio



Para neutralizar las cargas se adsorben iones quedan débilmente retenidos sobre las partículas del suelo y se pueden intercambiar con la solución del suelo.



Capacidad de intercambio de cationes, CIC

Materiales que pueden cambiar cationes, principalmente son: las arcillas y la materia orgánica.

Las causas de la capacidad de cambio de materia orgánica son:

- **Disociación de los OH.**
- **Disociación de los COOH.**

Factores que hacen determinada capacidad de cambio de cationes:

- **Tamaño de las partículas.** Cuanto más pequeña sea la partícula, mas grande será la capacidad de cambio.
- **Naturaleza de las partículas.** La composición y estructura de las partículas
- **Tipo de cationes cambiables:** número de cargas positivas que incorporan los cationes que vienen a fijarse.

cationes divalentes, trivalentes...aumentan la capacidad de cationes de cambio los de gran tamaño (radicales orgánicos) disminuyen la CIC al bloquear, posiciones de cambio.

- **pH.** capacidad de cambio de cationes aumente con el pH.

Grado de saturación : $V = S/T \times 100$

siendo, T = capacidad de cambio. Mide la cantidad de bases de cambio ($T = S + Al^{+++} + H^+$)

$S = Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+ + K^+$.

Cuando $V > 50\%$ el suelo está saturado.

Si $V < 50\%$ el suelo se encuentra insaturado. Se trata de un medio pobre en nutrientes.

Importancia de la capacidad de cambio:

- **Controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas: K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , entre otros.**
- **Interviene en los procesos de floculación - dispersión de arcilla y por consiguiente en el desarrollo de la estructura y estabilidad de los agregados.**

- **Determina el papel del suelo como depurador natural al permitir la retención de elementos contaminantes incorporados al suelo.**

Acidez del suelo

Mide la concentración en hidrogeniones (H⁺). Están en la solución, pero también existen en el complejo de cambio. pH viene determinado: naturaleza del material original, factor biótico, precipitaciones, complejo adsorbente (saturado en cationes ácidos o básicos).

PROPIEDADES DE OXIDORREDUCCIÓN

Importante para la formación de diversos suelos biológicos y relacionados con la disponibilidad de ciertos compuestos.

Influye en las propiedades físicas y químicas.

***Propiedades físicas.* Los pH neutros. A pH muy ácidos hay una intensa alteración de minerales y la estructura se vuelve inestable. En pH alcalino, la arcilla se dispersa, existen malas condiciones desde el punto de vista físico.**

***Propiedades químicas.* La asimilación de nutrientes del suelo están influenciadas por el pH, determinados nutrientes se pueden bloquear y no son asimilable para las plantas.**

Alrededor de pH 6-7,5 son las mejores condiciones para el desarrollo de las plantas.

La formulación química de las reacciones de oxidación-reducción:

ESTADO OXIDADO + ELECTRONES \rightleftharpoons ESTADO REDUCIDO

Equilibrio entre los agentes oxidantes y reductores. La materia orgánica se encuentra reducida y tiende a oxidarse

3.PROPIEDADES QUIMICAS

La salinización natural del suelo es un fenómeno asociado a condiciones climáticas de aridez y a la presencia de materiales originales ricos en sales. Existe una salinidad adquirida por el riego prolongado con aguas de elevado contenido salino, en suelos de baja permeabilidad y bajo climas secos subhúmedos o más secos.

II. Fase líquida.

El agua y las soluciones del suelo. El agua procede de la atmósfera. Otras fuentes son infiltraciones laterales, capas freáticas etc... Las soluciones del suelo proceden de la alteración de los minerales y de la materia orgánica.

1.Estado energético

Predice el comportamiento, el movimiento del agua está regulado por su energía.

El agua en el suelo tiene varias energías: energía potencial (es la que tiene un cuerpo por su posición en un campo de fuerza), energía gravitacional (es la que tiene un cuerpo en función de su posición en el campo gravitacional), energía cinética (debida al movimiento), energía calorífica, energía química, energía atómica, energía eléctrica... La energía libre será la suma de todas estas energías.

E. libre = Ep + Eg + Ec + Ecal + Eq + Ea + Ee +..

Como resultado de esa energía un cuerpo se puede desplazar o queda en reposo. El grado de energía de una sustancia representa una medida de la tendencia al cambio de ese cuerpo

2. Métodos de medida de humedad y potenciales

Se efectúa por el método de la pérdida de peso de una muestra húmeda tras eliminar el agua en estufa a 105°C. Se van efectuando sucesivas pesadas hasta obtener valores constantes.

$$\mathbf{H = (Ph - Ps) / Ps \times 100}$$

donde, Ph= peso del suelo húmedo; Ps= peso del suelo seco.

Esa cantidad de agua que tiene el suelo, debe expresarse en función de la fuerza a que es retenida, su comportamiento va a ser distinto dependiendo de las fuerzas a que se encuentre sometida. Si la mayor parte del agua está débilmente retenida se podrá mover y será asimilable para las plantas, si está fuertemente retenida, carecerá de movilidad y será un agua inútil para las plantas.

3. Tipos de agua en el suelo

- Agua higroscópica. Absorbida directamente de la humedad atmosférica, forma una fina película que recubre a las partículas del suelo. No está sometida a movimiento, no es asimilable por las plantas**
- Agua capilar. Contenida en los tubos capilares del suelo.**

- **Agua gravitacional. No está retenida en el suelo. Flujo lento y de flujo rápido en función de su velocidad de circulación.**

- **De flujo lento. La que circula por poros comprendidos entre 8 y 30 micras de diámetro,**

- **De flujo rápido. La que circula por poros mayores de 30 micras. Es un agua inútil, totalmente saturados de agua las no la pueden tomar.**

Desde el punto de vista agronómico

- **Capacidad máxima. Momento en el que todos los poros están saturados de agua. No existe fase gaseosa. La porosidad total del suelo es igual al volumen total de agua en el suelo.**

- **Capacidad de retención. Cantidad máxima de agua que el suelo puede retener. Se produce después de las precipitaciones atmosféricas cuando el agua gravitacional abandona el suelo, muy difícil de medir.**

- **Capacidad de campo.**

- **Punto de marchitamiento.**

- **Agua útil. Es el agua de flujo lento más la absorbible menos la no absorbible e higroscópica. Representa el agua en capacidad de campo menos la que hay en el punto de marchitamiento.**

III. Fase gaseosa.

Intervienen en la respiración de las raíces de las plantas y de los microorganismos del suelo y es responsable de las reacciones de oxidación. Está determinado por el contenido en agua.

La composición del aire es parecida a la del aire atmosférico, pero menos constante.

Un suelo en capacidad máxima no contendrá fase gaseosa mientras que otro en punto de marchitamiento presentará valores muy altos

IV. Dinámica del agua en el suelo

1 Movimientos

Fuerzas de succión tienden a retener el agua en los poros mientras que la fuerza de la gravedad tiende a desplazarla a capas cada vez más profundas. Si predominan las fuerzas de succión el agua queda retenida mientras que si la fuerza de la gravedad es más intensa el agua se mueve hacia abajo.

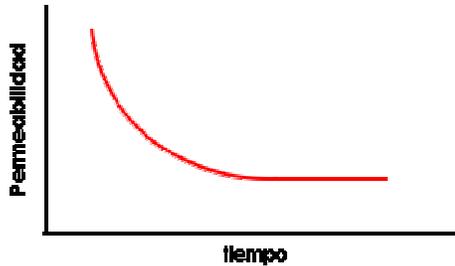
El agua asciende en el suelo debido a la capilaridad (efecto especialmente intenso en los climas áridos) y por diferencia de humedad. Se mueve en sentido vertical y lateral, movimiento generalizado en todos los relieves colinados y montañosos.



2 Permeabilidad

Facilidad de circulación del agua en el suelo. Influirá en la velocidad de edafización y en la actividad biológica que puede soportar un suelo.

Está condicionada fundamentalmente por la textura y la estructura.



3 Perfil hídrico

Grado de humedad en un momento determinado. A la curva que representa el estado de humedad del suelo con la profundidad se le llama perfil hídrico. Varía a lo largo del año.

4 Balance hídrico

Valoración del agua en el suelo a través del año por los aportes, pérdidas y retenciones.

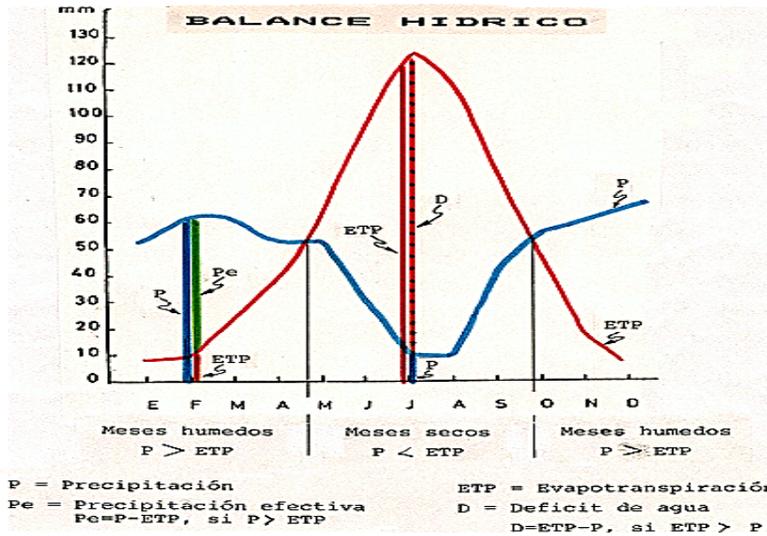
AGUA RETENIDA = RECIBIDA- PERDIDA

***Agua recibida:* Precipitaciones atmosféricas y condensaciones.**

***Agua perdida:* Evaporación, evapotranspiración y escorrentía .**

De los aportes de agua que llegan al suelo procedente de las precipitaciones atmosféricas: el agua que penetra en el suelo, parte se evapora, otra escurre, otra pasa a la capa freática, otra es consumida por las plantas y finalmente otra parte es retenida.

Se hace un balance anual partiendo de los datos climáticos mensuales de precipitación y temperatura



A partir de las temperaturas se calculan las evapotranspiraciones potenciales y reales. Se calcula la reserva de agua en el suelo

