

La succión capilar esta dada por la siguiente ecuación :

$$h \text{ [cm]} = \frac{2 * \sigma \text{ [g/cm]} * \cos \alpha}{P_{ew} \text{ [g/cm}^3\text{]} * r \text{ [cm]}}$$

h = Altura del agua en el capilar por encima del nivel de agua libre, [cm]

α = Ángulo de contacto entre las paredes del tubo y el agua.

σ = Tensión superficial del agua en contacto con el aire: 0.075 [g/cm]

P_{ew} = Peso específico del agua, [g/cm³]

r = Radio interior del capilar, [cm]

Puesto que el ángulo de contacto entre el agua y el vidrio es de 0° , el $\cos \alpha = 1$. El valor de α en los suelos es similar.

Con el objeto de evitar el empleo de signos negativos, a veces se emplean los términos: Tensión del agua, Tensión de humedad, ó succión del agua, los cuales son idénticos al potencial matriz (potencial capilar) y se miden en las mismas unidades, más tienen signo positivo, así: Tensión del agua = (-1) * ψ_m (atm).

El valor mínimo del potencial es de - 10⁷ cm, que corresponde a la ausencia total de agua (secado a 105 °C). El manejo de estas cifras tan bajas resulta incómodo, por lo que se introdujo una nueva forma de medir el potencial, por medio del " pF ", que es el logaritmo decimal de la tensión del agua del suelo, es decir: pF = Log (- ψ_m). Tanto el pF como el término tensión del agua del suelo están cada vez más en desuso.

El potencial mátrico y el de presión son excluyentes. El ψ_p sólo se da en suelos saturados, en cuyo caso $\psi_m = 0$. En cambio, en suelos no saturados $\psi_p = 0$ y $\psi_m < 0$. El potencial matriz del agua en el suelo siempre tiene un valor negativo, ya que este potencial es inferior al potencial de una gota de agua libre que se encuentra en la misma posición.

- **Potencial Osmótico (ψ_o).**

El potencial osmótico o potencial de solutos, se define como la cantidad de trabajo que debe efectuarse por cantidad unitaria de agua pura para transportar de modo reversible e isotérmico una cantidad infinitesimal de agua, desde un depósito de agua pura de altura especificada y a presión atmosférica, hasta un depósito que contiene una solución idéntica en composición al agua del suelo (en el punto considerado) y que en los demás es idéntica al depósito de referencia (ISSS, citado por Baver, 1970).

El potencial osmótico resulta de la hidratación de los iones en la solución del suelo. El carácter polar del agua, con dos cargas electropositivas y dos electronegativas, hace que las moléculas del agua sean atraídas por los iones de la solución del suelo. El polo negativo de la molécula es atraído por los iones positivos y el positivo por los iones negativos. Estas fuerzas de atracción orientan el agua en torno de los iones. El potencial osmótico es el trabajo requerido para separar el agua de estos iones.

Las fuerzas osmóticas son importantes en el estudio de los suelos y de las plantas, ya que la mayoría de las sustancias disueltas en el agua del suelo y en los tejidos de las plantas no son volátiles a temperaturas ordinarias y quedan como residuos al evaporarse el agua. Para eliminar el agua de una solución que contiene solutos es preciso suministrar mayor cantidad de energía que para eliminar el agua pura.

En condiciones de salinidad también se toma en cuenta el potencial osmótico ocasionado por las sales disueltas en el agua del suelo. El agua del suelo es una solución salina y por tanto puede dar lugar al fenómeno de ósmosis: Cuando dos soluciones de distinta concentración están separadas por una membrana semipermeable (*Una membrana semipermeable es un material que permita al agua fluir pero no permita a las sales pasar a través de ella. En el sistema agua - suelo hay dos membranas semipermeables: Las paredes celulares de las raíces son membranas no perfectas debido a que algunas sales pasan a través de ellas; La interface agua - aire, es casi una membrana perfecta*), se produce un movimiento del agua desde la solución más diluida a la más concentrada. La presión que origina este movimiento es la presión osmótica, que equivale en magnitud al potencial osmótico).

Es muy importante recordar que las diferencias de potencial osmótico sólo afectan al movimiento del agua en presencia de una membrana semipermeable. Este es el caso de las raíces de las plantas: El conjunto de las células de la corteza de la raíz actúa como una membrana semipermeable que separa dos soluciones: A un lado la solución del suelo y al otro la del xilema. Cuando la solución del suelo tiene un alto contenido en sales, las plantas deben realizar un esfuerzo suplementario para absorber agua, superando la presión osmótica que se crea entre ambos lados de la corteza radicular.

La presencia de sales en el agua del suelo baja su potencial. Si se parte de la base que el potencial osmótico del agua pura es cero, en una solución, a la misma temperatura del agua libre es negativo ese potencial.

La diferencia en potencial osmótico origina movimiento del agua entre dos puntos; sin embargo la concentración de sales en un perfil de suelo es aproximadamente similar por el proceso de difusión y la diferencia en la mayoría de los casos es despreciable. Pero es necesario tener en cuenta que desde el punto del trabajo que debe efectuar la planta para extraer la humedad del suelo es importante.

El potencial osmótico es una propiedad coligativa de una solución, es decir, es directamente proporcional al número de moléculas del soluto, como expresa la relación siguiente:

$$\psi_o = - MRT \text{ (Ley de Van` t Hoff)}$$

ψ_o en atm.

M = Molalidad (moles de soluto en 1000 g de disolvente).

R = Constante universal de los gases = 0,0820 l.atm/g mol

T = Temperatura absoluta (273 + t ° C).

En la práctica, el potencial osmótico se suele medir a partir del extracto de saturación del suelo por métodos crioscópicos, concretamente en función del descenso del punto de congelación de dicho extracto. Sin embargo, es muy práctico calcular ψ_o a partir de la estrecha relación que existe entre esta magnitud y la conductividad eléctrica, que es dato usual en los análisis de suelos.

Richards (1954) obtuvo empíricamente la siguiente relación:

$$\psi_o = - 0.36 CE_e \quad \text{El signo (-) es debido al valor siempre negativo de } \psi_o$$

ψ_{oe} = Potencial osmótico del extracto de saturación, en atm.

CE_e = Conductividad eléctrica del extracto de saturación, en mmhos/cm o en deciSiemens/metro (dS/m).

Los valores del potencial osmótico obtenidos a partir del extracto de saturación no son los reales de la solución del suelo, ya que para obtener el extracto se añade agua destilada a una muestra del terreno, agua que se mezcla con la solución del suelo hasta alcanzar la saturación. Además el valor de ψ_o varía con el estado de humedad del suelo: Cuando éste está muy seco (próximo al punto de marchitez), la solución del suelo está muy concentrada en sales y por tanto su potencial osmótico será elevado. Al contrario ocurre en las proximidades de la capacidad de campo. Por todo ello es necesario introducir la siguiente corrección:

$$\psi_o = [e / \theta v] \psi_{oe}$$

ψ_o = Potencial osmótico de la solución del suelo en el estado considerado.

e = Porosidad total.

θv = humedad volumétrica.

ψ_{oe} = Potencial osmótico del extracto de saturación, en atmósferas.

2.2.4 Retención de agua en el suelo

El suelo contiene agua en poros que circundan las partículas de suelo. La cantidad de agua en el suelo aumenta después del riego o de lluvias, cuando el agua llena todos los poros y disminuye como consecuencia del drenaje de agua de los poros más grandes hacia abajo, de su absorción por las plantas y su evaporación desde la superficie del suelo.

La cantidad de agua que un suelo puede almacenar se conoce como la capacidad de retención de humedad. Fundamentalmente intervienen tres clases de fuerzas en la retención de humedad por la fase sólida del suelo: a) Las fuerzas de adhesión o sea la atracción de la superficie del sólido por el agua, b) Las fuerzas de cohesión o de atracción entre las moléculas de agua y c) Las fuerzas capilares dadas por la combinación de las dos anteriores dentro de los microporos. El efecto combinado de estas tres fuerzas actuantes es denominado succión de humedad del suelo o tensión de humedad del suelo.

El hecho de saber la cantidad de agua que hay en el suelo, sin conocer otras características del mismo, no es relevante en problemas de relaciones agua - planta - suelo.

Por ejemplo, 15% de humedad en volumen, que significa que hay 450 m³/ha en una capa de 30 cm de espesor, representa un contenido de humedad elevado en suelos livianos, siendo esta humedad determinada uno o dos días después del riego. En suelos medianos, la misma cantidad de agua del suelo puede ser un mínimo para la planta (humedad para la cual las raíces cesan de absorber el agua del suelo); en tanto que, para un suelo pesado, esta cantidad de agua será menor que la humedad mínima y, en la práctica, sólo unos pocos centímetros de la parte superior, podrán secarse hasta tal punto.

De lo que precede, se puede inferir que es necesario definir el agua del suelo en forma "cualitativa", es decir definir la retención de agua en el suelo.

El agua es atrapada en los poros del suelo, lo que se demuestra por el hecho de que, muchos días después del riego, se encuentra agua en el suelo en grandes cantidades. A medida que el suelo se seca después del riego, debido al drenaje, a la evaporación superficial y a la absorción por las raíces de las plantas; el agua es extraída de los poros grandes y queda en poros más y más pequeños en los cuales está fuertemente retenida, dificultando progresivamente la extracción de agua por la planta.

Dentro del rango de humedad del suelo en que las plantas absorben agua, existen dos mecanismos principales en la retención de agua por el suelo:

- La tensión superficial del agua en contacto con el aire y el ángulo de contacto entre el agua y las partículas en los poros del suelo
- La repulsión entre las partículas de arcilla.

2.2.4.1 La Tensión Superficial (T)

La tensión superficial en los líquidos posee la característica de oponerse al agrandamiento de su superficie cuando entra en contacto con otra fase. La tensión superficial se expresa en unidades de gr/cm. Su valor, para el agua destilada en contacto con el aire a 20°C es de 0.075 gr/cm. Debido a las características de la tensión superficial, el agua asciende en un tubo capilar (Véase Figura 8). Se produce una fuerza de atracción entre el vidrio y el agua pero, debido a la resistencia al agrandamiento de su superficie, del agua en contacto con el aire; el agua asciende en el tubo en vez de cubrir su pared interior con una delgada lámina de agua extendiéndose a lo largo de una gran superficie. Cuando se alcanza la condición de equilibrio, es decir cuando el agua deja de subir, se produce una fuerza F_1 que actúa hacia abajo y que expresa el peso de la columna de agua:



Figura 8. Agua que asciende en un tubo capilar

$$F_1 = h \times \pi r^2 \times dw$$

En donde:

h = Altura de la columna de agua o altura de la ascensión capilar (cm).

r = Radio interno del tubo capilar (cm)

dw = Peso específico del agua (gr/cm³)

Existe también una fuerza F_2 que actúa hacia arriba y cuyo valor absoluto es igual al de la fuerza F_1 . La fuerza F_2 es función de la tensión superficial del agua en contacto con el aire, del diámetro interior del tubo capilar y del ángulo de contacto entre el agua y las paredes del tubo, conforme a la siguiente expresión: