

Norero (1974) comenta que tradicionalmente el agua ha sido clasificada según las formas en que se suponía que estaba en el suelo: Agua gravitacional, agua capilar, agua higroscópica (Figura 6). Sin embargo, estos términos son equívocos, ya que, no solo una parte, sino toda el agua del suelo se encuentra bajo atracción gravitacional; el fenómeno de capilaridad no comienza o termina a determinado tamaño de poro, ni las fuerzas de atracción coloidal, responsables de la hidratación, terminan a una determinada distancia intermicelar. El comportamiento del agua en el suelo, que se ha pretendido describir con esos términos, no se debe en realidad a distintas formas que adopta el agua, sino a diferentes estados de energía. En efecto el agua en el suelo al igual que cualquier otro cuerpo natural, posee cierto grado de energía.

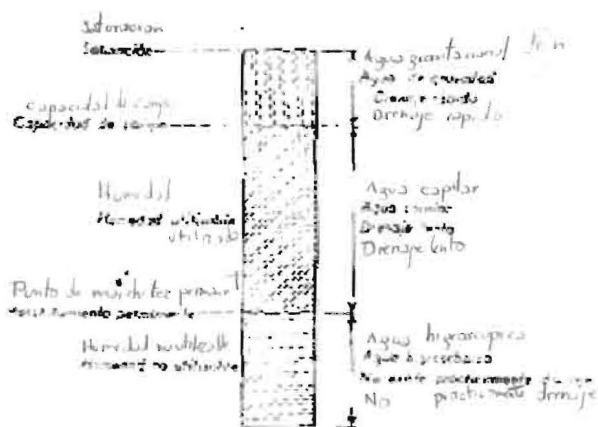


Figura 6. Clases de agua y disponibilidad para las plantas con sus características de drenaje (Israelson y Hansen, 1965).

En física se reconocen dos formas principales de energía: la cinética (mv^2) y la potencial (mgh). El agua se mueve con mucha lentitud en el suelo, por lo tanto su energía cinética, que es proporcional al cuadrado de la velocidad, es insignificante. La energía potencial del agua en el suelo difiere notoriamente del agua libre, debido a los cambios de posición y a condiciones internas, donde la energía potencial del agua varía de un lugar a otro del suelo, o en el mismo punto en el transcurso del tiempo pero en una forma gradual, sin discontinuidades o cambios abruptos. Por lo tanto es más correcto y práctico caracterizar la condición del agua en el suelo con base a su energía potencial, que pretender clasificarla de acuerdo con estados arbitrarios de ella.

Puede ser conveniente aclarar más el concepto de potencial por medio de un ejemplo. Supongamos que se extrae una muestra de suelo, se satura de agua y se deja escurrir. Una última gota quedará colgando y para extraerla será necesario aplicar una cantidad muy pequeña de energía. Esa energía es el potencial del suelo en ese momento, aunque, como la energía no la proporciona el suelo sino que hay que aplicarla exteriormente, el potencial será negativo. Si ese suelo se deseca parcialmente, para extraer una gota de agua habrá que aplicar mucha más energía que en el caso anterior: El potencial será mucho mayor en valor absoluto, pero debido al signo negativo, es mucho menor en valor relativo.

2.2.1.3 Agua útil

Ya se han visto los defectos e imprecisiones de los conceptos capacidad de campo y punto de marchitez. Sin embargo, independientemente de la dificultad de su determinación tienen un gran significado agronómico, ya que representan los límites máximo y mínimo de la humedad del suelo que puede ser utilizada por los cultivos; la cantidad de agua comprendida entre esos dos valores se define como agua útil (A.u.)

La humedad correspondiente a los estados de capacidad de campo (C.c) y punto de marchitez (P.m.) y el agua útil (A.u) se puede expresar en términos de humedad gravimétrica o volumétrica cuyos conceptos serán descritos a continuación; en cualquier caso se cumple: $A.u = C.c - P.m.$

2.2.2 Maneras de expresar el contenido de agua de un suelo

El contenido de agua de un suelo se puede expresar de varias maneras:

$$\theta_g \text{ (humedad gravimétrica en \%)} = (M_{ag} / M_s) * 100$$

$$\theta_v \text{ (humedad volumétrica en \%)} = (V_{ag} / V_T) * 100$$

donde:

M_{ag} = masa de agua

M_s = masa de suelo seco

V_{ag} = Volumen de agua

V_T = Volumen total o aparente del suelo

Recordando la definición de densidad aparente se obtiene la siguiente relación entre las humedades gravimétricas y volumétricas:

$$\theta_v = \theta_g * D_a$$

El volumen de poros ocupado por el aire se denomina espacio aéreo y se representa por {Ea}. Por definición:

$$E_a = \varepsilon - \theta_v$$

En la técnica del riego y drenaje es muy práctico expresar el contenido de agua del suelo en forma de altura o lámina de agua, es decir, de volumen por unidad de superficie. Las unidades más frecuentes son el m^3/ha y el mm, entre las que existe esta relación:

$$1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3/ha$$

La altura de agua (h), la humedad volumétrica (θ_v) y la profundidad del suelo (p) están relacionados por la expresión:

$$h = (\theta_v * p) / 100$$

2.2.3 Potencial hídrico del suelo

2.2.3.1 Generalidades

El contenido hídrico del suelo no es suficiente para especificar completamente el estado del agua en el suelo. Algunas de las observaciones que inducen a creer que existe la necesidad de definir alguna otra propiedad asociada con el agua del suelo son:

- Suelos que han sido tratados de manera similar tienen contenidos hídricos diferentes.
- Las plantas a menudo crecen de manera distinta en distintos suelos aunque ellos tengan los mismos contenidos hídricos.
- Si los suelos que tienen iguales contenidos hídricos pero con diferentes texturas se ponen en contacto entre sí, va a existir generalmente flujo de agua de un suelo a otro. En general, va a fluir desde el suelo de textura gruesa al de textura fina.

Se necesita definir una propiedad que ayude a explicar o tener en cuenta las observaciones mencionadas antes.

Desde el punto de vista de la extracción por las plantas del agua del terreno, más que el contenido de humedad interesa conocer la energía con que el agua es retenida. De nada sirve que un suelo contenga agua abundante si las raíces no tienen la fuerza de succión necesaria para extraerla.

Es indispensable conocer el estado termodinámico (energético) del agua en el suelo y no solamente su estado estático y cuantitativo. El conocimiento del estado energético del agua en el suelo permite saber si el agua se encuentra en equilibrio ó esta en flujo.

Para describir el estado energético del agua en el suelo se toma como estado de referencia - agua pura y libre a una cota determinada, a la temperatura ambiente y a presión de una atmósfera. El potencial del agua en estas condiciones tiene un valor de cero.

En la práctica, el suelo absorbe al agua libre en el momento en que ambos hacen contacto. Por este motivo el potencial del agua en un suelo no - saturado es negativo. En otras palabras, no se requiere trabajo alguno para transportar aguas

desde el punto de referencia a un punto del suelo no - saturado ya que este proceso se realiza espontáneamente con liberación de energía. Por el contrario, para extraer agua de un suelo se requiere una fuente de energía.

Teóricamente, cada fuerza que obre sobre el agua en el suelo corresponde a un potencial. En la práctica, por simplicidad, algunos potenciales se combinan en uno solo.

La energía potencial absoluta es difícil de definir, por lo tanto, el potencial debe definirse con respecto a un nivel arbitrario de referencia. Para el agua en el suelo en reposo, la suma de todos los potenciales o potencial total de un punto debe ser constante o cero, según el nivel de referencia que se tome.

La cantidad total y el grado de aprovechamiento del agua del suelo por las plantas, el drenaje, la infiltración, las pérdidas por evaporación, los aportes desde los niveles freáticos, dependen del nivel energético o potencial del agua en el suelo y su comprensión es esencial para un adecuado y eficiente control técnico del recurso hídrico, ya sea en los sistemas de riego, en la regulación de las operaciones de drenaje o en la planificación del uso del suelo bajo condiciones de secano.

La principal ventaja al describir el agua del suelo en términos de energía potencial es que se provee una base común de expresión para estudiar y cuantificar su estado y flujo en el suelo, en las plantas y en la atmósfera; es decir, para analizar en forma integral y cuantitativa el movimiento de agua en el sistema suelo - planta - atmósfera.

Quizás la siguiente analogía sea útil para una mayor comprensión del potencial de agua en el suelo. El contenido calórico (análogo al contenido de agua en el suelo) es una propiedad de un material que es útil para muchos propósitos. Sin embargo no va a decir directamente si el calor está fluyendo. Sin embargo se ha definido un término que mide la intensidad del calor, la temperatura, el cuál permite determinar la dirección del flujo. El término relacionado con el agua en el suelo que es análogo a la temperatura (v.g. la intensidad con la cual el agua esta en el suelo) se denomina potencial del agua en el suelo.

El potencial del agua es una propiedad mucho más complicada que la temperatura. Estas complicaciones van a constituir la discusión que sigue:

El agua del suelo está sometida a la acción de una serie de factores que tienden a retenerla o expulsarla. El concepto de potencial hídrico del suelo, al que algunos autores denominan potencial del agua del suelo, surgió como un intento de elaborar una teoría general que englobase a todos esos factores. A partir de la definición de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (1963), el potencial hídrico del suelo se puede considerar como " *La cantidad de trabajo que es preciso aplicar para transportar reversible e isotérmicamente la unidad de cantidad de agua desde una situación estándar de referencia hasta el punto del*

suelo considerado". dos observaciones conviene hacer inmediatamente a esta definición:

- No hay que preocuparse demasiado de la situación estándar de referencia: Lo que importa son las diferencias de potencial y no los valores absolutos.
- El agua se mueve de mayor a menor potencial.

Finalmente, se indica que la energía potencial del agua es de particular importancia ya que es función de su posición, de la atracción de la fase sólida del suelo, así como de la concentración de sales en solución y de la temperatura.

2.2.3.2 Definición

El potencial del agua en el suelo se define como el trabajo necesario para llevar la unidad masa de agua desde un punto determinado de referencia a otro de igual temperatura; en consecuencia, es el producto de fuerza (ML^2T^{-2}), por unidad de masa (M) y distancia(L); sus dimensiones son: L^2T^{-2}

El punto de referencia, asociado al trabajo comentado y al agua en el sistema suelo, es generalmente el del agua pura y libre.

2.2.3.3 Unidades

El potencial hídrico se puede medir en términos de trabajo dividido por masa, en cuyo caso la unidad más frecuente es el Joule/kg, o en términos de trabajo dividido por volumen, es decir, de presión. Este segundo sistema es el que se utiliza generalmente y las unidades empleadas son:

$$1 \text{ atmósfera} = 101.3 \text{ Joule/kg} = 1.013 \text{ erg/g}$$

$$1 \text{ bar} = 1.020 \text{ cm de columna de agua (aprox. 10 m)}$$

$$= 75,9 \text{ cm. de columna de mercurio}$$

$$= 0,987 \text{ atm.}$$

Otras equivalencias de interés son:

$$1 \text{ bar} = 100 \text{ julios/Kg} = 10^6 \text{ dinas/cm}^2 = 10^5 \text{ newton/m}^2 = 100 \text{ centibar}$$

$$1 \text{ cbar (centibar)} = 10 \text{ cm de columna de agua.}$$

También se puede expresar el potencial en metros columna de agua, centímetros de agua, en pF, ó en mm columna de mercurio (Hg).

$$1 \text{ bar} = 10 \text{ m de agua} = 1000 \text{ cm de agua} = pF3 = 760 \text{ mm de mercurio.}$$