



Guía de Estudio

AGUA

*Cátedra de Fisiología Vegetal*

*Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y  
Agrimensura*

*-UNNE-*

*Arntzen, Daniela*

*2014*

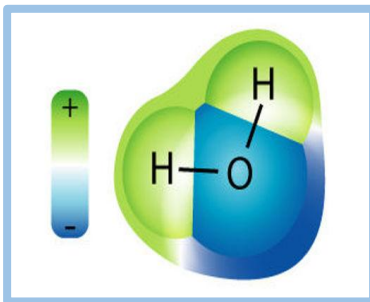
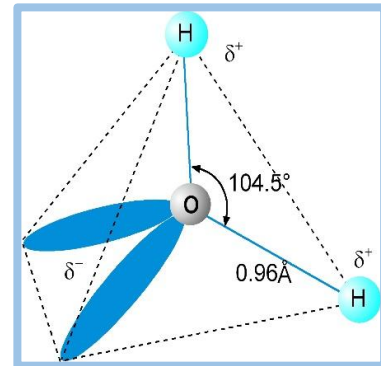
*Corrección: Ing. Agr. María A. Marassi  
Profesor adjunto A/C Fisiología vegetal  
Dpto de Biología FaCENA-UNNE*

## 1. Introducción

La molécula de agua es un compuesto muy particular que a diferencia de los otros hidruros no metales, como el sulfuro de hidrógeno  $H_2S$  o el amoníaco  $NH_3$  que son gases a temperatura ambiente, el agua es líquida. Esta característica la convierte en uno de los compuestos fundamentales para los organismos vivos. Esto se debe principalmente a una de sus características, la **polaridad**.

### 1.1 La molécula de agua

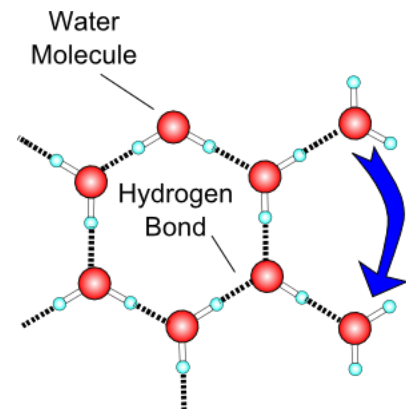
La molécula de agua se forma por la unión covalente (se comparten electrones) de dos átomos de hidrógeno con un átomo central de oxígeno lo que da como resultado una estructura tetraédrica. Los dos enlaces no están opuestos, sino que forman un ángulo de **104,45°** debido a la hibridación del átomo de oxígeno así que, en conjunto, los tres átomos forman una molécula angular, cargado negativamente en el vértice del ángulo, donde se ubica el oxígeno y, positivamente, en los extremos de la molécula, donde se encuentran los hidrógenos.



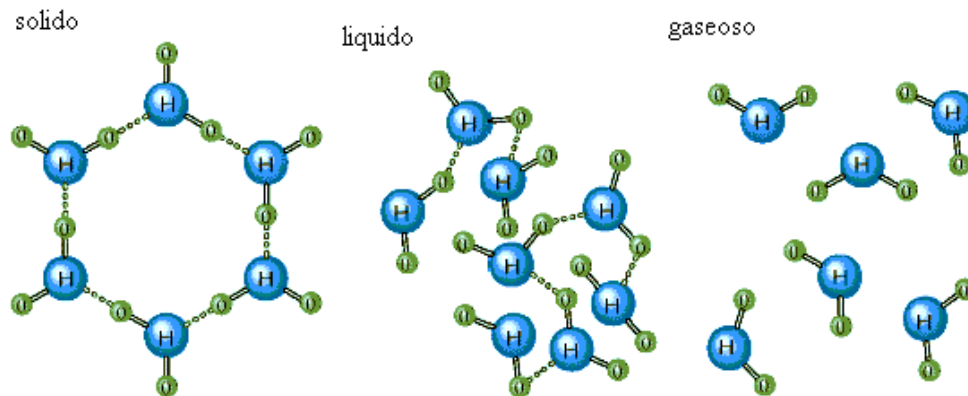
Esta diferencia de cargas se produce debido a que en la molécula de agua existe una separación parcial de cargas (a pesar que la molécula es eléctricamente neutra), porque el átomo de oxígeno es más electronegativo que los dos hidrógenos lo que origina zonas dentro de la molécula que son ligeramente más positivas o más negativas; estas zonas se denominan **dipolos electrostáticos**.

### 1.2 Puentes de hidrógeno

Debido a la formación de los dipolos electrostáticos las moléculas de agua tienden a unirse de una determinada forma, a través de las zonas donde sus cargas son opuestas. Un átomo de hidrógeno sirve como puente entre el átomo de oxígeno al que está unido covalentemente y el oxígeno de otra molécula; es decir el hidrógeno que posee un dipolo positivo sirve de puente entre el oxígeno su molécula y el oxígeno de otra molécula de agua, que posee un dipolo negativo. Esta estructura se denomina enlace de hidrógeno o **punto de hidrógeno**.



### 1.3 Propiedades



Se denomina **cohesión** a la tendencia de las moléculas de agua a permanecer unidas por puentes de hidrógeno. Los puentes de hidrógeno mantienen las moléculas de agua fuertemente unidas, formando una estructura compacta que la convierte en un líquido *casi incompresible*. Al no poder comprimirse puede funcionar en algunos animales como un esqueleto hidrostático, como ocurre en algunos gusanos perforadores capaces de agujerear la roca mediante la presión generada por sus líquidos internos. Estos puentes se pueden romper fácilmente con la llegada de otra molécula con un polo negativo o positivo dependiendo de la molécula, o, con el calor.

La fuerza de cohesión permite que el agua se mantenga líquida a temperaturas medias y que se formen columnas de agua en el interior de los vasos xilemáticos y que estas puedan ascender sin romperse hasta la cima de un árbol.

Las moléculas de agua, debido a su polaridad, son atraídas por otras moléculas polares, formando **capas de hidratación** o **capas de solvatación** alrededor de moléculas pequeñas como iones o alrededor de macromoléculas como proteínas.

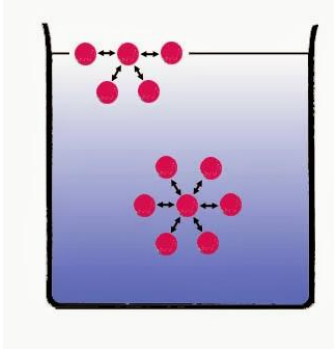
Esta atracción de las moléculas de agua entre si es fuerte y hace que se necesite una gran cantidad de energía para que las moléculas se separen y un pequeño volumen de eleve su temperatura. Cuando se aumenta la temperatura del agua, las moléculas vibran más rápido produciéndose la ruptura de los puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua.

El cambio de temperatura que sufre un objeto cuando absorbe una cantidad determinada de energía está determinado por su **capacidad calorífica**. *Calor específico*, es la energía calórica necesaria para *eleva la temperatura de una sustancia en una cantidad específica*. La unidad estándar para medir el calor es la caloría. Una caloría es la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1 gramo de agua en un °C.

El agua absorbe grandes cantidades de calor que utiliza en romper los puentes de hidrógeno. Su temperatura desciende más lentamente que la de otros líquidos a medida que va liberando energía al enfriarse. Esta propiedad permite al citoplasma acuoso sirva de protección para las moléculas orgánicas en los cambios bruscos de temperatura.

El agua tiene el **calor específico** más alto de todas las sustancias excepto el amoníaco líquido. Comparada con otros líquidos, el agua necesita que entre una cantidad de energía relativamente grande para elevar la temperatura. Esa gran necesidad de energía es importante para las plantas porque ayuda a suavizar las fluctuaciones de temperatura potencialmente dañinas y es importante para los animales ya que les permite eliminar el exceso de energía calórica generada.

El **calor de vaporización** es la energía necesaria para pasar de una fase líquida a una gaseosa a temperatura constante. Para evaporar un gramo de agua se requieren 540 cal a 20 °C; esa energía, se usa para romper puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua y aumentar la cinética de las mismas. El calor de vaporización del agua es el más alto que se conoce. Debido al alto calor de vaporización, la evaporación que ocurre durante la transpiración, tiene un notable efecto refrigerante.



Por su misma propiedad de cohesión, el agua tiene una gran atracción entre las moléculas de su superficie, creando **tensión superficial**. La superficie del líquido se comporta como una película capaz de alargarse y al mismo tiempo ofrecer cierta resistencia al intentar romperla; esta propiedad contribuye a que algunos objetos muy ligeros floten en la superficie del agua aun siendo más densos que esta.

Dentro de un líquido, alrededor de una molécula actúan atracciones simétricas, pero en la superficie, una molécula se encuentra sólo parcialmente rodeada por moléculas y en consecuencia es atraída hacia adentro del líquido por las moléculas que la rodean. Esta fuerza de atracción tiende a arrastrar a las moléculas de la superficie hacia el interior del líquido y de ahí el nombre de tensión superficial. Cuando el agua se coloca sobre una superficie cerosa, esta se curva formando esferas distorsionadas, el líquido se comporta como si estuviera rodeado por una "membrana elástica" invisible.

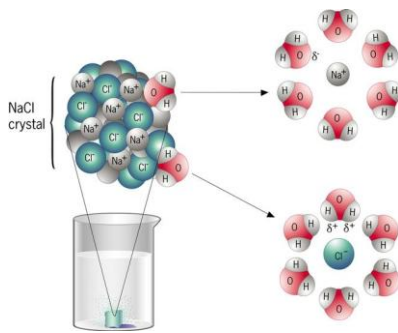
Termodinámicamente la tensión superficial es un fenómeno de superficie y es la *tendencia de un líquido a disminuir su superficie hasta que su energía de superficie potencial es mínima*, condición necesaria para que el equilibrio sea estable. Como la esfera presenta un área mínima para un volumen dado, entonces por la acción de la tensión superficial, la tendencia de una porción de un líquido lleva a formar una esfera o a que se produzca una superficie curva o menisco cuando un líquido está en contacto con un recipiente.

Debido a su elevada tensión superficial, algunos insectos pueden estar sobre ella sin sumergirse e, incluso, hay animales que corren sobre ella, como el basilisco. También es la causa de que se vea muy afectada por fenómenos de capilaridad.

Las gotas de agua son estables también debido a su alta tensión superficial. Esto se puede ver cuando pequeñas cantidades de agua se ponen en superficies no solubles, como el vidrio, donde el agua *se agrupa en forma de gotas*.



### 1.4 Poder disolvente



La formación de dipolos electrostáticos es la causa del gran **poder disolvente** del agua, pudiendo separar los componentes de determinadas sales, ácidos o bases. Las moléculas de agua pueden insertarse entre los iones constitutivos del cristal orientando hacia ellos el dipolo opuesto. Por estas razones, se debilita considerablemente la atracción entre los iones cristalinos, reduciendo la cohesión del cristal y facilitando su disolución.

Por su capacidad para formar puentes de hidrógeno con otras sustancias, el agua es el líquido que más sustancias disuelve (**disolvente universal**). Su versatilidad como solvente se debe al *tamaño pequeño* de la molécula y a su *naturaleza dipolar*, lo cual hace del agua un buen solvente para sustancias iónicas y para moléculas como azúcares y proteínas, que contienen grupos hidroxilos y residuos  $-NH_2$ .

Las moléculas de agua se orientan alrededor de iones y solutos polares en solución y orientan los dipolos positivos a las cargas negativas de la molécula y viceversa. Esta **capa de solvatación** disminuye la atracción electrostática entre las sustancias cargadas y por consiguiente aumentan su solubilidad. Es decir, los extremos polares de las moléculas de agua se pueden orientar próximos a los grupos cargados o parcialmente cargados de las macromoléculas, formando envolturas de hidratación. Los puentes de hidrógeno entre moléculas y agua, reducen la interacción entre las macromoléculas y ayuda a mantenerlas en solución.

De manera similar, cualquier sustancia que contiene una carga eléctrica neta, incluyendo los compuestos iónicos y moléculas covalentes polares (las que tienen un dipolo), pueden disolverse en el agua. Esta idea también explica el por qué algunas sustancias no se disuelven en el agua. El aceite, por ejemplo, es una molécula no-polar. Ya que no hay una carga eléctrica neta a través del aceite, éste no atrae las moléculas de agua y no se disuelve en ella.

El agua, constituye el medio para el movimiento de las moléculas dentro y entre las células e influye marcadamente sobre la estructura de proteínas, ácidos nucleicos y otros constituyentes celulares ya que se intercala entre los monómeros componentes y altera su estructura tridimensional. En el agua ocurre la mayoría de reacciones bioquímicas celulares y la molécula directamente participa en reacciones químicas esenciales como la de hidrólisis y deshidratación. La corriente de agua absorbida por las raíces, también es un medio principal para conducir sales minerales disueltas en el suelo hacia la superficie de la raíz donde son absorbidas.

## Potencial Hídrico

### Definición

Se puede definir como potencial hídrico a la capacidad de hacer trabajo: indica la variación de energía libre. Se define como la variación del potencial químico del agua en una condición dada, respecto al potencial químico del agua pura y libre en condiciones estandar de presión y temperatura. (=0)

El sistema hidrodinámico suelo-planta-atmosfera, la planta representa un sistema intermedio situado entre una diferencia del potencial del agua del suelo y de la atmosfera.

El  $\Psi_{\text{agua}}$  en los seres vivos es siempre negativo o cero y se expresa en unidades de presión (atm o bares )

### Componentes del Potencial Hidrico

$$-\Psi_{\text{agua}} = (+) \Psi_p + (-) \Psi_o + (-) \Psi_m + (+) \Psi_g$$

**$\Psi_p$ , potencial presión.** Aumento de la capacidad de realizar trabajo por la presión que ejerce el agua sobre una superficie al ingresar.

**$\Psi_o$ , potencial osmótico,** disminución de la capacidad de realizar trabajo debido a la presencia de solutos.

**$\Psi_m$ , potencial matricial,** disminución de la capacidad de realizar trabajo debido el grado de retención del agua a las matrices solidas o coloidales.

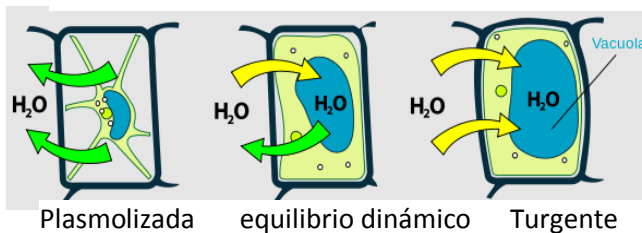
**$\Psi_g$ , potencial gravedad,** aumento de la capacidad de realizar trabajo debido al efecto de la gravedad. Aumenta en 0,01MPa por metro de altura.

El potencial mátrico ( $\Psi_m$ ) adquiere fundamental importancia en el proceso de imbibición, en el cual las sustancias coloidales cargadas eléctricamente fijan agua o iones en su superficie. Los  $\Psi_p$  y  $\Psi_s$  tienen importancia en la absorción y pérdida de agua por parte de la planta.

***El agua se mueve de mayor a menor potencial lo que permite predecir cómo se moverá.***

### Gradiente y potencial hídrico

Las moléculas de agua se encuentran en un movimiento continuo al azar. Como resultado las moléculas migran por difusión. La difusión es un proceso muy importante en los seres vivos y se puede definir como el movimiento neto de las moléculas de regiones de mayor potencial a regiones de menor potencial hasta alcanzar una condición de equilibrio.



**$\Psi_{\text{interno}} = \Psi_{\text{externo}}$  (equilibrio dinámico)**

**$\Psi_{\text{interno}} > \Psi_{\text{externo}}$  plasmólisis)**

**$\Psi_{\text{interno}} < \Psi_{\text{externo}}$  (turgencia)**

**Plasmólisis**

Fenómeno que se produce en las células vegetales por la semipermeabilidad de la membrana plasmática y la permeabilidad de la pared celular. Se produce cuando la células son sometidas a medios hipertónicos (con una concentración de solutos mayor que la contenida en el interior de la célula) el agua en la vacuola sale al medio exterior, la célula se deshidrata reduciendo su tamaño y la membrana plasmática se separa de la pared. Si la deshidratación es marcada esta separación de la pared es irreversible y se la denomina **plasmólisis permanente** y lleva a la muerte celular.

También existe la **plasmólisis incipiente** que es el caso en el que la célula vegetal pierde agua pero puede volver al estado natural.

***Métodos de determinación del potencial hídrico*****Método densimétrico de Chardakov****Método volumétrico****Método gravimétrico**

Los tres se basan en encontrar una molalidad de equilibrio entre una solución y un tejido y se calcula mediante la ecuación de Van't Hoff

$$\Psi_{\text{tejido}} = m \cdot i \cdot T \cdot R$$

m = molalidad de equilibrio

i constante de ionización de la sustancia utilizada

T temperatura absoluta Kelvin

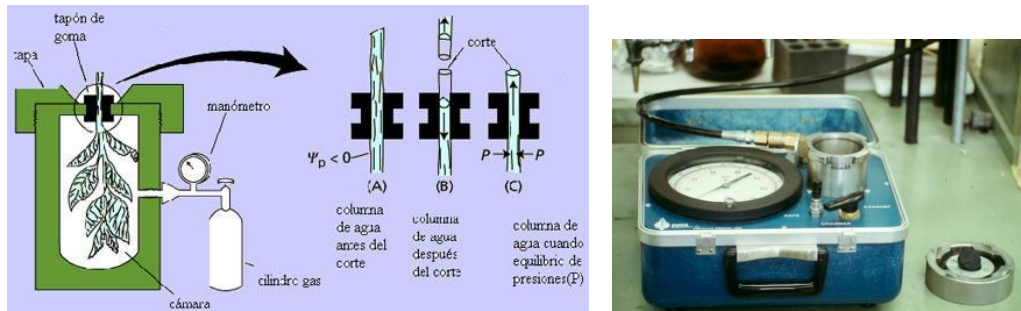
R constante de los gases

**Cámara de presión o bomba Schölander**

Un método rápido para medir el potencial hídrico de trozos grandes de tejidos, tales como ramas y hojas es utilizando. La cámara de presión de Scholander mide la presión hidrostática negativa (tensión) que existe en el xilema de muchas plantas. Se asume que el potencial hídrico del xilema es muy cercano al potencial hídrico promedio de todo el órgano.

En ésta técnica, se separa de la planta el órgano a ser medido, se introduce en una cámara de presión sellada, se aplica una presión con N<sub>2</sub> comprimido, hasta que el agua en el xilema aparece de nuevo en la superficie cortada. La presión necesaria para restaurar la columna líquida, se llama presión de balance. La presión de balance es igual en magnitud pero de signo contrario, a la tensión que existía en el xilema, antes de cortar el órgano.





Cuanto mayor es el estrés hídrico, mayor será la presión para equilibrar la tensión del xilema

**Psicrómetro:** El psicrómetro estima el potencial hídrico midiendo el cambio de temperatura debido a la evaporación o condensación del agua.

Es una aplicación del efecto Peltier a la medida de parámetros hídricos, concretamente para medir el potencial hídrico de tejidos, fragmentos de órganos y pequeños órganos enteros. Son medidas destructivas.

El Psicrómetro consiste de una cámara sellada con un termopar conectado a un medidor de temperatura. Una gota de una solución estándar de potencial hídrico conocido es colocada en el termopar y un segmento de tejido vegetal es depositado en el fondo de la cámara.

La cámara es sellada. Se permite que la gota de solución y el tejido vegetal entren en equilibrio.

Si la gota de solución en el termopar presenta un potencial hídrico mayor que el del tejido vegetal, el agua se moverá de la solución al tejido causando una disminución de la temperatura debido al enfriamiento por evaporación.

Si el tejido tiene un potencial hídrico mayor que el de la gota de solución, el agua se moverá del tejido vegetal y se condensará sobre la gota de solución, causando un incremento en la temperatura por condensación

En el punto en el que no se detectan cambios de temperatura se asume que los potenciales hídricos de la gota de solución y del tejido vegetal son iguales.

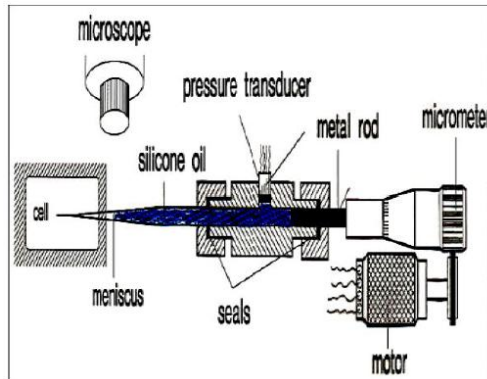
Las lecturas registradas por los psicrómetros son microvolts ( $\mu\text{V}$ ) generados por la diferencia de temperaturas de la unión de referencia y la unión de medición. Para convertir las lecturas a valores de potencial hídrico será necesario realizar una curva de calibración con la respuesta del psicrómetro a diferentes concentraciones de disoluciones de potencial hídrico conocido.

Comúnmente se utilizan disoluciones de cloruro de sodio a diferentes concentraciones, a menor potencial hídrico.



**Sonda de presión:** estudio del potencial presión de la célula vegetal, con presión positiva, debido al mecanismo de las propias sondas. Por lo tanto, este método no permite medir potenciales negativos de la célula.

Un microcapilar es introducido en una célula viva para medir la turgencia celular. Mide utilizando un sensor de presión



$$P_f = (P_i \cdot V_i) / V_f$$

$P_f$ : potencial de presión o turgencia

$P_i$ : presión inicial

$V_i$ : volumen total del capilar

$V_f$ : volumen del aire comprimido en el capilar

**Dendometro:** Mide microvariaciones del diámetro de la planta, o sea la pérdida del diámetro debido a la transpiración durante el día, y su recuperación durante la noche.



El máximo se produce por la mañana temprano y el mínimo por la tarde.

Las variaciones del diámetro indican el estado hídrico de la planta (envían una señal en continuo que se puede utilizar para la programación del riego)

Cuando el estrés hídrico es elevado las variaciones entre el día y la noche disminuyen.

### Sensores de medición del flujo xilemático



Determinan la velocidad en el contenido del xilema.

Con déficit hídrico, el flujo de savia disminuye.

**Porómetro de difusión:** mide la conductancia foliar (estima la tasa de transpiración).



Con esta técnica se relaciona el nivel de apertura de los estomas con la disponibilidad de agua en las plantas.

La apertura estomática es una respuesta fisiológica altamente sensible a cualquier pequeña modificación en la disponibilidad de agua en el suelo. Los estomas se cierran con estrés hídrico, disminuyendo la conductancia y aumentando la resistencia estomática.

**Termómetro infrarrojo:** mide la temperatura foliar para estimar el estrés hídrico de la hoja y de la planta.

Altas T° de la planta indican condiciones de estrés hídrico, ya que cierra los estomas para impedir la pérdida de agua y, por tanto, se reduce la transpiración (mecanismo de refrigeración).



## ***Déficit hídrico***

La diferencia entre la entrada y la salida de agua en la planta se conoce como **balance hídrico de la planta** (absorción - transpiración).

Llamamos **déficit hídrico** al fenómeno por el cual la pérdida de agua por transpiración supera a la ganancia por absorción y se evidencia por una pérdida de turgencia de las células y tejidos. Se distinguen dos **tipos de déficit**

***Marchitez temporal:*** fenómeno que ocurre cuando la transpiración supera a la absorción, aún cuando el suelo está bien provisto de agua. Está relacionado con las tardes calurosas de verano, por un exceso temporario de transpiración

El síntoma más aparente es el cierre total o parcial de los estomas Durante la noche, la turgencia se recupera debido a la menor pérdida de agua por el cierre de estomas, por la humedad relativa más alta y la menor carga energética

Se caracteriza por el cierre estomático, disminución de la expansión foliar, aumento relativo de la expansión de la raíces, ajustes osmóticos, acartuchamiento de las hojas.

***Marchitez permanente:*** este fenómeno ocurre por factores edáficos y depende fundamentalmente del potencial suelo y del potencial matrico de la raíz. La recuperación nocturna del estado hídrico de la planta es posible mientras se mantenga el gradiente entre  $\Psi$  raíz y  $\Psi$  suelo. Si no se resuministra agua al suelo y la sequia edáfica se acentúa, el agua no se moverá del suelo a la planta ni aun durante la noche. En este caso: punto de marchitez permanente, las hojas marchitas (por déficit hídrico) no se recuperan de su marchitez ni aun colocándolas en una atmosfera saturada de humedad, a menos que la deshidratación celular no haya sido severa, se agregue agua al suelo y se vuelva a crear un gradiente que permita la absorción radical de agua

**Punto de marchitez permanente** es el potencial hídrico al cual la planta ya no puede absorber más agua del suelo. Siendo el potencial suelo igual al potencial raíz.

## ***Déficit hídrico y procesos fisiológicos***

Los déficits hídricos llevan a modificaciones en la fisiología de los vegetales que pueden ser evidenciados a niveles morfológicos y visibles (Figura 1) que pueden llevar a cambios en la relación de la parte aérea y radicular de las plantas y si es muy marcado a la muerte de las hojas o del vegetal completo y a niveles fisiológicos (Figura 2)

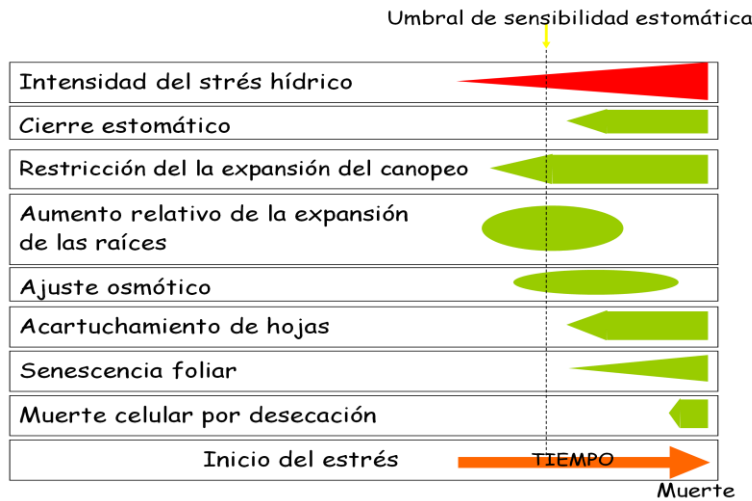


Fig 1 Efecto de los déficits hídricos sobre el vegetal

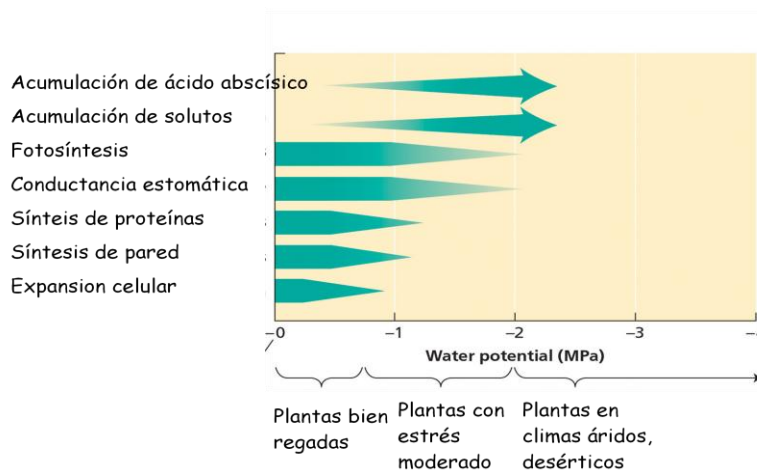


Fig 2 Efecto de los déficits hídricos sobre la fisiología y bioquímica del vegetal

**BIBLIOGRAFÍA**

Cátedra de Fisiología vegetal FAUBA 2004 Las plantas y el agua. CEABA

García Petillo, Mario. 2008. Manejo del riego: uso de instrumentos de medición de agua del suelo y del estado hídrico de los cultivos, presentación de casos de estudio incluso en riego deficitario. Jornadas sobre "Ambiente y Riegos: Modernización y Ambientalidad", La Antigua (Guatemala), 11 al 14 de agosto de 2008, Red Riegos, CYTED y AECID

Sánchez-Díaz, M. y Aguirreolea, J. 2000. El agua en la planta. Azcón Bieto, J. y M. Talón. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Ed. Universidad de Barcelona

Squeo F.A. 2007. El Agua y el Potencial Hídrico. En Fisiología vegetal. Squeo F.A. y L. Cardemil eds. Ediciones Universidad de La Serena.