

EL AGUA EN LAS PLANTAS

Preparado por: José Régulo Cartagena V.
Profesor Asociado

La Fisiología Vegetal es en buena parte el estudio del agua. El agua es una de las más comunes y más importantes sustancias sobre la superficie de la tierra. Ella es esencial para la existencia de la vida, muchos organismos entre ellos los vegetales dependen para sobrevivir, más del agua disponible que de cualquier otro factor ambiental. El agua es la forma en la cual el átomo de H, elemento esencial de todas las moléculas orgánicas, es absorbido y, posteriormente, asimilado durante la fotosíntesis. Por lo tanto, ha de considerarse como un nutriente para la planta, de la misma manera que lo son el CO_2 o el NO_3^- . No obstante, la cantidad de agua que se requiere para el proceso fotosintético es pequeña y, sólo constituye, aproximadamente, un 0.01 por 100 de la cantidad total utilizada por la planta. La razón de esta baja utilización es que la mayoría de las funciones en las cuales participa son de naturaleza física.

IMPORTANCIA ECOLÓGICA DEL AGUA

La distribución de las plantas sobre la superficie de la tierra es principalmente controlada por el agua y la temperatura, y donde esta última lo permite, las plantas crecen dependiendo de la cantidad y distribución de la precipitación.

Así, donde las lluvias son abundantes y constantes se aprecia una vegetación exuberante como en el Chocó; lugares con variaciones fuertes, similares al clima Mediterráneo, caracterizado por días calientes y noches frías, resultan ser adecuados para el cultivo de la caña de azúcar y frutales; por ejemplo, el Valle del Cauca; aquellos sitios donde las épocas de verano son muy largas, se aprecia un notable desarrollo de los pastos y praderas como sucede en los llanos orientales y el Tolima, finalmente donde no llueve, son comunes los paisajes desérticos, como se aprecian en la Guajira y el Norte del Huila. En contraste donde el suelo tiene mal drenaje, lo que provoca una más o menos permanente saturación del suelo, se aprecia la vegetación propia de los pantanos, esto es corriente en los humedales existentes en la Sabana de Bogotá.

IMPORTANCIA FISIOLÓGICA DEL AGUA

La importancia ecológica del agua es el resultado de su importancia fisiológica. La única manera en la cual un factor ambiental, como el agua, puede afectar el crecimiento de las plantas, es a través de su influencia sobre los procesos fisiológicos.

Casi todos los procesos en la planta son afectados directa o indirectamente por el suministro de agua. Por ejemplo, la respiración de las semillas en formación, es inicialmente muy alta, pero esta se reduce rápidamente durante la maduración. En semillas secas al aire, la respiración es muy baja, pero esta se incrementa lentamente en la medida que se aumenta el contenido del agua, hasta un punto crítico, en el cual hay un rápido incremento en la respiración, como respuesta a un aumento adicional del contenido del agua.

El crecimiento de la planta es controlado por la velocidad en la división y elongación celular y por el suministro de compuestos: orgánicos e inorgánicos requeridos para la síntesis de nuevo protoplasma y pared celular. El crecimiento de la célula es particularmente dependiente de al menos un mínimo grado del turgor de la célula, la elongación del tallo y las hojas son rápidamente reducidas o detenidas por déficit de agua. Una reducción en el contenido de agua inhibe la fotosíntesis y generalmente disminuye la velocidad de respiración y otros procesos donde hay la intervención de las enzimas.

En resumen, la reducción en el contenido de agua es acompañado por la pérdida de turgencia y marchitamiento, cesación del ensanchamiento celular, cierre de los estomas, reducción de la fotosíntesis, y la interferencia con muchos otros procesos metabólicos. Eventualmente, una continua deshidratación causa desorganización en el protoplasma y la muerte de la planta.

FUNCIONES DEL AGUA EN LA PLANTA

La importancia del agua en muchas actividades fisiológicas puede resumirse en cuatro funciones principales.

1. CONSTITUYENTE.

El agua es importante cuantitativamente ella constituye el 80-90 % del peso fresco de muchas plantas herbáceas y más del 50% del peso fresco de las plantas leñosas. El agua es parte importante del protoplasma, como también de las proteínas y moléculas de lípidos; una reducción en el contenido de agua en estos componentes de la célula, por debajo de un nivel crítico causa cambios en la estructura celular y finalmente la muerte.

Unas pocas plantas y órganos de plantas pueden ser deshidratadas en condiciones de temperatura ambiental o aún en estufa, como es el caso de algunas semillas, sin perder su viabilidad, pero tienen una marcada reducción en su actividad fisiológica, siempre acompañada por una disminución en el contenido en los tejidos.

2. SOLVENTE

El agua es un solvente en el cual gases, minerales y otros solutos entran a las células de las plantas y se mueven de célula a célula y de órgano a órgano. La relativa alta permeabilidad de la pared celular y las membranas del protoplasma permiten la formación de una fase líquida, que se extiende a través de la planta, sirviendo de medio para que ocurra la translocación de los elementos disueltos.

3. REACTANTE

El agua es un reactante o sustrato para muchos procesos importantes, como la fotosíntesis y otros hídricos como la hidrólisis del almidón a azúcar en la germinación de semillas.

4. MANTENIMIENTO DE LA TURGENCIA

La turgencia es esencial para el crecimiento y alargamiento de la célula, para el crecimiento y mantenimiento de la forma en las plantas herbáceas. La turgencia también es importante para la apertura de los estomas, el movimiento de las hojas, de los pétalos y otras estructuras especializadas. La incapacidad para mantener la turgencia resulta en una inmediata reducción en el crecimiento.

PROPIEDADES DEL AGUA

La importancia del agua en los organismos vivos resulta de sus exclusivas propiedades físicas y químicas. Una sustancia con el peso molecular del agua debería existir a temperatura de salón en forma de gas y tener un punto de congelación a -100°C . Sin embargo el agua a temperatura de salón es líquida y su punto de congelación es 0°C .

Tiene el más alto calor específico de cualquier sustancia conocida, excepto el amoníaco líquido, el cual es un 13% más alto. (La cantidad de energía necesaria para elevar en 1°C la temperatura de una sustancia equivalente a 1 gramo es su calor específico). Para el agua es casi 1 caloría, equivalente a 4.184 joules. El alto calor específico del agua sirve para estabilizar la temperatura, esto se aprecia en la temperatura relativamente uniforme de islas y tierras cercanas a grandes cuerpos de agua. Esto es importante para las plantas.

El calor latente de vapor es el más alto conocido, 540 cal /g a 100°C. el calor de fusión, 80 cal/g, es también inusualmente alto. Debido a esto, la evaporación del agua tiene un pronunciado efecto refrigerante y la condensación un efecto calentador. También tiene un alto calor de fusión, para fundir un gramo de hielo a 0°C, deben aplicarse 335 j (80 cal/g).

El agua es extremadamente buen conductor de calor comparado con otros líquidos y sólidos no metálicos, aunque es pobre comparado con los metales.

El agua es transparente a la radiación visible (390-760 nm). Esto le permite a la luz penetrar cuerpos de agua y hace posible que las algas hagan fotosíntesis y crezcan a profundidades considerables.

El agua tiene una más alta tensión superficial que otros líquidos, debido a las altas fuerzas cohesivas entre las moléculas. (Cohesión, es la atracción entre moléculas semejantes - Adhesión, atracción entre moléculas distintas). Esto hace que pueda soportar hasta 1000 atmósferas de tensión, sin que las moléculas se rompan. Propiedad que sirve para respaldar la teoría de la cohesión que explica el ascenso del agua en los árboles de gran altura.

El agua también es de alta densidad y es destacable que su máxima densidad es a 4°C en vez de ser a 0°C. Pero es más sobresaliente el hecho de que el agua se expanda al congelarse, de manera que el hielo tiene un volumen 9% mayor que la forma líquida de donde se formó. Las moléculas se empaquetan mejor sólidas. Esto explica por que el hielo flota y las latas de cerveza estallan cuando se dejan en el congelador.

El agua tiene una de las constantes dieléctricas más altas que se conocen (78.54). Una sustancia no polar tiene una constante dieléctrica de 1.84. Este parámetro es una medida de la capacidad de neutralizar la atracción entre cargas eléctricas. Debido a esto el agua se comporta como casi un solvente universal, especialmente para electrolitos y moléculas polares, como los azúcares. La porción (+) de la molécula es atraída hacia la superficie (-) y viceversa, lo cual resulta en que cada ión es rodeado por un escudo de moléculas de agua, que mantienen los iones de carga opuesta separados.

También es un buen solvente para muchos no electrolitos, por que puede formar uniones de H con el N en grupos amino y O en grupos de carbono. Esto le permite ser absorbida o unida fuertemente a la superficie de las micelas de arcilla, celulosa, proteínas y muchas otras sustancias. Esta característica es de mucha importancia para la relación entre agua suelo y planta.

Posee además un coeficiente de viscosidad (resistencia a fluir) muy bajo, a 20°C es de 1.002 centipoises, mientras que a 19°C en el aceite industrial es de 120 centipoises. La viscosidad del agua decrece de manera notable al aumentar la temperatura, pero esto no tiene mucha importancia en la fisiología de la planta.

EXPLICACIÓN A LAS PROPIEDADES EXCLUSIVAS DEL AGUA

Gran parte de las propiedades del agua se deben a que los segmentos lineales que conectan los centros de los átomos de hidrógeno con el centro del átomo de oxígeno, no están en línea recta, sino que forman un ángulo de $104,5^\circ$.

Los electrones que forman cada enlace covalente entre los átomos de hidrógeno y el de oxígeno, están más cerca del núcleo del oxígeno, dejando a los dos núcleos de hidrógeno (protones) con sus cargas positivas sobre la superficie del átomo de oxígeno que tiene carga negativa. Una molécula así dispuesta es polar. El resultado es que el lado positivo de la molécula de agua es atraída por el lado negativo de la otra, formando un enlace entre las dos moléculas. A este enlace se le conoce como puente de hidrógeno. La energía de estos enlaces varía entre 8 y 42 kilojoules/mol (kJ mol^{-1}). Cada molécula de agua es donante de dos H otras dos moléculas de agua y a la vez es receptora de otros dos H. Esto quiere decir que cada molécula de agua es capaz de hacer cuatro puentes de hidrógeno.

Los puentes de hidrógeno juegan un papel muy importante en propiedades del agua, como el calor latente de vaporización, el calor latente de fusión y la viscosidad.

Otro factor que contribuye a la atracción entre las moléculas son las llamadas fuerzas de van der Waals, que se caracterizan por ser muy débiles. Su energía no es mayor a $4,2 \text{ kJ mol}^{-1}$. En moléculas neutras no polares, estas fuerzas resultan del hecho de que los electrones (-), están en continuo movimiento de manera que el centro de la molécula para las cargas negativas no siempre corresponde al centro para las cargas positivas. De esta manera cuando dos moléculas semejantes se aproximan lo suficiente entre sí pueden inducirse mutuamente ligeras polarizaciones, por lo que las regiones con cargas distintas se atraen. Estas fuerzas mantienen juntas a las moléculas en los hidrocarburos, pero también se dan en membranas y partes internas de proteínas.

Hecha esta discusión sobre agua, sus funciones y propiedades, ahora se tratará de entender como el agua y otras sustancias entran y salen de la célula.

FLUJO MASIVO Y DIFUSIÓN

Los fluidos son sustancias líquidas o gaseosas que fluyen o se ajustan a la forma del recipiente que los contiene. Cuando el flujo ocurre en respuesta a diferencias en la presión e implica átomos o moléculas que se mueven simultáneamente, se le llama flujo masivo. Las diferencias de presión se pueden deber a la gravedad, o a fuerzas mecánicas. En los vegetales los fluidos se desplazan por los tejidos vasculares por flujo masivo, en respuesta a diferencias en presión que se crean por difusión.

Difusión es el movimiento de las moléculas entre dos puntos en respuesta a las diferencias de concentración en las sustancias.

La velocidad de difusión es proporcional a la energía cinética de las moléculas (su temperatura), su tamaño (la velocidad de difusión es proporcional a la raíz cuadrada del peso molecular), la densidad del medio que atraviesan y el gradiente de concentración sobre el cual se difunden. Cuando ocurre la distribución uniforme de las moléculas, se establece un equilibrio dinámico y cesa su movimiento neto (aunque existe continuo movimiento o difusión de moléculas dentro del sistema en equilibrio).

La difusión ocurre en respuesta a un gradiente de concentración. La concentración es la cantidad de sustancia o número de partículas por unidad de volumen. Se produce un gradiente cuando la concentración cambia de manera gradual de un volumen de espacio a otro. Visto así es muy sencillo.

Pero para entenderlo mejor, es necesario revisar los conceptos de **TERMODINÁMICA**.

Los principios de termodinámica, inicialmente desarrollados para entender el calor y las máquinas, son ahora aplicados a todas las formas de energía.

Primera ley de la termodinámica. En todos los cambios físicos (la difusión es un proceso físico) y químicos, la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma. En un proceso como la difusión, la transformación ocurrirá de manera espontánea, si el estado final tiene menor nivel de energía que el inicial. La termodinámica del equilibrio informa sobre el nivel de energía en un estado inicial (antes) y el nivel de energía en un estado final (después).

Una medida de energía asociada a un estado en particular (inicial, antes de o final, después de ocurrido el proceso), se conoce como entalpía (H).

$$H=E+PV$$

Donde: E = energía interna

P = presión

V = volumen

La energía interna existe en dos formas potencial y cinética. La organización de estas formas de energía puede conducir a producir trabajo.

Las diferencias en entalpía (ΔH) pueden cuantificarse, si se mide el calor liberado o ganado por el sistema al moverse de un estado a otro. Los procesos que liberan calor son exotérmicos y tienen un ($-\Delta H$), pero si obtienen calor se llaman endotérmicos (ΔH).

Los procesos con $(-\Delta H)$ son espontáneos ya que van de un estado energético mayor a uno menor.

Como no es posible cuantificar la energía interna total o absoluta de un sistema, debe haber algo más que contribuya al estado energético total del sistema, esto es la entropía

Segunda ley de la Termodinámica. Cualquier sistema más sus alrededores, tiende en forma espontánea a un mayor desorden. La medida de ese desorden se llama entropía (S).

La entropía aplica muy bien en el proceso de difusión y se considera que un sistema alcanza su equilibrio, cuando logra su máximo desorden.

Gibbs tomó los dos elementos que se derivan de las leyes de termodinámica (entalpía y entropía), y desarrolló el concepto de energía libre que se expresa con la fórmula:

$$G = H - TS$$

Donde: G = energía libre

H = entalpía

S = entropía

T = temperatura en ° Kelvin

La energía libre se define como la energía disponible (sin cambio de temperatura) para producir trabajo. A partir de esa apreciación se establece que el potencial químico de una sustancia bajo cualquier condición (esto es, pura, en solución o como integrante de un sistema complejo), es la energía libre por mol de esa sustancia. A mayor energía libre/mol, mayor potencial químico. Para el agua por ser la sustancia más común e importante sobre la tierra, se ha establecido que su potencial equivale a su potencial químico y es una medida de la energía disponible para reaccionar con otras sustancias o para moverse:

El agua circula entre dos puntos siempre que su potencial termodinámico no sea idéntico entre dichos puntos. El potencial hídrico, ψ , utilizado en fisiología se deriva de esta magnitud. Constituye la resultante de fuerzas de orígenes diversos (osmótica, capilar, de imbibición, turgencia, etc.) que liga el agua al suelo o a diferentes tejidos del vegetal. El potencial hídrico corresponde desde el punto de vista energético al trabajo que habría que suministrar a una unidad de masa de agua ligada al suelo, o a los tejidos de una planta para llevarla de este estado de unión a un estado de referencia, correspondiente al del agua pura (a menudo denominada libre por oposición a la ligada) a la misma temperatura y a la presión atmosférica. El potencial hídrico para el agua pura o libre es 0, todos los ψ que caracterizan el agua ligada son negativos, puesto que sería necesario suministrar trabajo para llevar esta agua a un $\psi = 0$.

El agua como todas las sustancias, se mueve a favor de un gradiente de energía, cediéndola a medida que se mueve. Mientras que la energía pueda perderse, como resultado del movimiento del agua, este continuará. El equilibrio se alcanzará solo cuando ya no ocurran circunstancias que propicien pérdida de energía. En un sistema particular, el potencial hídrico total es la suma algebraica de varios componentes:

$$\Psi = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_m + \Psi_g$$

siendo $\Psi_p, \Psi_s, \Psi_m, \Psi_g$ respectivamente, componentes debidos a fuerzas de presión, osmótica, mátrica y gravitacional. El componente de presión (Ψ_p) representa la diferencia en presión hidrostática con la referencia y puede ser positivo o negativo. El componente osmótico (Ψ_s) es consecuencia de los solutos disueltos, disminuye la energía libre del agua y es siempre negativo. El potencial mátrico (Ψ_m) es similar al Ψ_s excepto que la reducción en la actividad del agua es consecuencia de fuerzas en las superficies de los sólidos. La distinción entre Ψ_p y el Ψ_m es, hasta cierto punto, arbitraria puesto que, frecuentemente es difícil decidir si las partículas son solutos o sólidos. El componente gravitacional (Ψ_g) es consecuencia de diferencias en energía potencial debidas a diferencia de altura con el nivel de referencia, siendo positivo si es superior al de referencia y negativo cuando es inferior.

El potencial hídrico de un sistema expresa esta capacidad de realizar trabajo. Este puede ser negativo, cero o positivo, debido a que la presión puede ser positiva y muy elevada, en tanto que el Ψ_s puede ser cero o negativo. A medida que aumenta la presión sobre la solución, también aumenta la capacidad del solvente par realizar trabajo y por lo tanto el potencial de agua de la solución.

El potencial hídrico se expresa en atmósferas, bars, pascales (Pa) o megapascales (MPa). 1 bar 10 MPa.

BIBLIOGRAFIA

AZCON J. y M. TALON. 1993. Fisiología y bioquímica vegetal, interamericana - MacGrawilill. Madrid. 581 p.

BIDWELL, R.G.S. 1983. Fisiología vegetal. AGT Editor. México, D. F. p63.

KRAMER, P.J. and J. S. BOOYER. 1995. Water relations of plants and soils. Academic press. NewYork,N. Y. 482p.

SALISBURY, E. y C. ROSS. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D. F. p. 37- 40.