

LibroBotánicaOnLine

<http://www.forest.ula.ve/~rubenhg>

RELACIONES HIDRICAS EN LAS PLANTAS

CONTENIDO

[/INTRODUCCIÓN/](#) [ESTRUCTURAS Y PROPIEDADES DEL AGUA](#) / [IMBIBICIÓN](#) / [MOVIMIENTO DEL AGUA](#) /
[/ ÓSMOSIS Y PRESIÓN OSMÓTICA](#) / [SOLUCIONES ISOTÓNICAS, HIPOTÓNICAS E HIPERTÓNICAS](#) /
[/ RELACIONES ENERGÉTICAS](#) / [SIGNIFICADO DE LAS CANTIDADES OSMÓTICAS](#) /
[/ DETERMINACIÓN DE LAS CANTIDADES OSMÓTICAS/](#)

[PÁGINA PRINCIPAL](#)

INTRODUCCIÓN

No se puede concebir la vida sin la presencia de agua. Es el líquido más común y extraordinario conocido. Tres cuartas partes de la superficie terrestre están cubiertas por agua. En la tierra existen reservas ocultas de agua en el subsuelo, en los casquetes polares se encuentra en forma de hielo y en la atmósfera está presente en forma de vapor de agua. A pesar de que el agua es la molécula más abundante en la superficie terrestre, su disponibilidad es el factor que limita más la productividad vegetal en la tierra, en una escala global. La poca disponibilidad de agua limita la productividad de los ecosistemas terrestres, principalmente en climas secos.

Como promedio el protoplasma celular contiene de 85 a 90 % de agua e inclusive los orgánulos celulares con un alto contenido de lípidos, como cloroplastos y mitocondrias tienen 50% de agua. El contenido de agua de las raíces expresado en base al peso fresco varía de 71 a 93 %, el de los tallos de 48 a 94%, las hojas de 77 a 98 %, los frutos con un alto contenido entre 84 a 94 %. Las semillas con el menor contenido de 5 a 11 %, aunque las de maíz tierno comestible pueden tener un contenido elevado de 85%. La madera fresca recién cortada puede tener hasta 50% de agua.

En las plantas el agua cumple múltiples funciones. Las células deben tener contacto directo o indirecto con el agua, ya que casi todas las reacciones químicas celulares tienen lugar en un medio acuoso. Para que un tejido

funcione normalmente requiere estar saturado con agua, manteniendo las células turgentes. Todas las sustancias que penetran en las células vegetales deben estar disueltas, ya que en las soluciones se efectúa el intercambio entre células, órganos y tejidos. El agua como componente del citoplasma vivo, participa en el metabolismo y en todos los procesos bioquímicos. Una disminución del contenido hídrico va acompañado por una pérdida de turgencia, marchitamiento y una disminución del alargamiento celular, se cierran los estomas, se reduce la fotosíntesis y la respiración, y se interfieren varios procesos metabólicos básicos. La deshidratación continuada ocasiona la desorganización del protoplasma y la muerte de muchos organismos. Sin embargo, las semillas, las células de musgos secos y líquenes resisten condiciones desfavorables por años, reasumiendo rápidamente su actividad cuando son humedecidos y encuentran las condiciones favorables.

[Ir al principio](#)

ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DEL AGUA

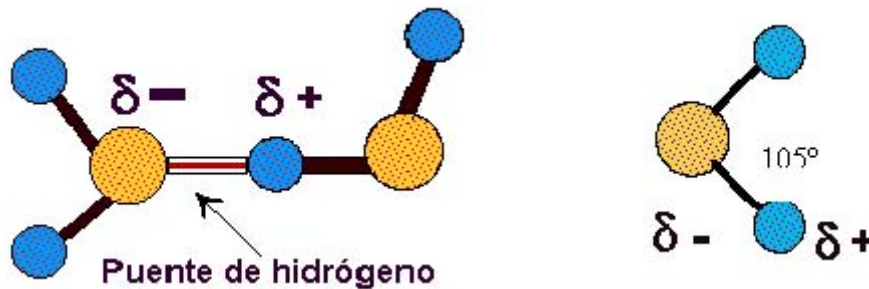
Las propiedades del agua radican en su estructura molecular, que difiere de compuestos hidruros tales como H_2S , H_2Se y H_2Te , pertenecientes al grupo VI A de la Tabla Periódica, al que pertenece el oxígeno (Tabla I).

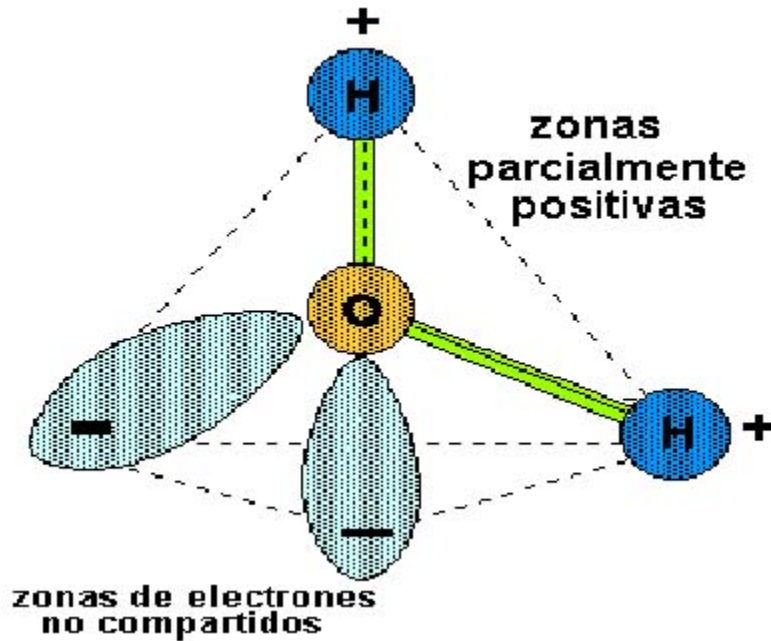
Propiedades periódicas de los hidruros del grupo VI A en comparación con el agua.			
Compuesto	Peso Molecular	Punto de Congelación ° C	Punto de Ebullición ° C
H_2Te	129,63	-51	-4
H_2Se	80,98	-64	-42
H_2S	34,08	-83	-62
H_2O	18,02	0,0	+ 100

Debido a sus extraordinarias propiedades, es el solvente universal. Existen muy pocas sustancias que no sean solubles en agua. La molécula de agua está formada por dos átomos de hidrógeno (H) unidos a un átomo de oxígeno (O) por dos enlaces covalentes. Debido a la fuerte atracción del núcleo de oxígeno por el hidrógeno, los electrones de los átomos de hidrógeno se distorsionan, dejando la región alrededor de estos con una

carga parcial positiva. El ángulo de enlace entre los hidrógenos es de 105° . El átomo de oxígeno atrae con más fuerza los electrones de cada enlace, concentrando una carga parcial negativa. El resultado es que la molécula de agua aunque tiene una carga neutra, presenta una distribución asimétrica de sus electrones, lo que la convierte en una **molécula polar**. Por eso la molécula de agua se comporta como un **dipolo**, con una fuerte separación de carga positiva y negativa. Debido a la polarización, el agua comparte sus hidrógenos con el oxígeno de otras moléculas de agua, lo que produce una atracción dipolo-dipolo denominada **enlace de hidrógeno**.

Debido a sus extraordinarias propiedades, es el solvente universal. Existen muy pocas sustancias que no sean solubles en agua. La molécula de agua está formada por dos átomos de hidrógeno (H) unidos a un átomo de oxígeno (O) por dos enlaces covalentes. Debido a la fuerte atracción del núcleo de oxígeno por el hidrógeno, los electrones de los átomos de hidrógeno se distorsionan, dejando la región alrededor de estos con una carga parcial positiva. El ángulo de enlace entre los hidrógenos es de 105° . El átomo de oxígeno atrae con más fuerza los electrones de cada enlace, concentrando una carga parcial negativa. El resultado es que la molécula de agua aunque tiene una carga neutra, presenta una distribución asimétrica de sus electrones, lo que la convierte en una **molécula polar**. Por eso la molécula de agua se comporta como un **dipolo**, con una fuerte separación de carga positiva y negativa. Debido a la polarización, el agua comparte sus hidrógenos con el oxígeno de otras moléculas de agua, lo que produce una atracción dipolo-dipolo denominada **enlace de hidrógeno**.





La fuerza de un enlace de hidrógeno entre moléculas de agua es aproximadamente 4 Kcal.mol^{-1} . Un grupo de moléculas de agua describe un tetraedro alrededor del oxígeno, en la que la parte positiva de una molécula de agua se orienta hacia la parte negativa de una molécula de agua vecina.

Las propiedades extraordinarias de la molécula de agua, están dadas por la formación de enlaces o puentes de hidrógeno. Por ejemplo, el agua tiene una alta tensión superficial causada por la cohesión de las moléculas de agua, lo que mantienen las moléculas unidas con mucha fuerza. Así mismo, el agua tiene un calor específico elevado de 1° C (el calor específico, es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado centígrado un gramo de agua), tiene un elevado calor latente de vaporización de 582 calorías x gramo a 25° C (calor latente de vaporización, es la cantidad de calor requerida para convertir un gramo de agua en un gramo de vapor) y un calor latente de fusión alto que a 0° C es de 80 calorías(calor latente de fusión, es la cantidad de calor necesaria para convertir un gramo de sólido, en su punto de congelación en un gramo de líquido a la misma temperatura).

El agua se hace menos densa cuando se congela. El agua líquida se contrae al enfriarse, pero cuando alcanza los 4° C se dilata. Esto cae en el ámbito de la experiencia diaria. Sabemos que los cubitos de hielo flotan en un vaso de agua y que los témpanos de hielo flotan en los océanos. Si el agua no se dilatara al congelarse, continuaría congelándose a partir del fondo, impidiendo la vida en el fondo del mar; sin embargo al comportarse como lo hace el agua más densa a 4° C se hunde, desplazando el agua más fría hacia la superficie, permitiendo la vida en el mar.

[Ir al principio](#)

IMBIBICIÓN

Las moléculas de agua se adhieren debido a la atracción de los dipolos, como resultado de esto se pueden adherir a superficies cargadas positivamente o negativamente. La mayoría de las sustancias orgánicas como la celulosa tienden a desarrollar cargas cuando están mojadas y de este modo atraen las moléculas de agua. La adhesión de las moléculas de agua es **responsable de la imbibición o hidratación**. La imbibición es el movimiento de las moléculas de agua en sustancias como la madera o la gelatina, las que aumentan de volumen por la hidratación. Las semillas hidratadas pueden aumentar varias veces su volumen, gracias a la imbibición.

La cohesión, adhesión y la tensión superficial dan como resultado el fenómeno de capilaridad, que consiste en el movimiento ascendente de agua en tubos de vidrio capilares. Los elementos conductores del xilema forman capilares finos, que bajo ciertas condiciones pueden mover agua en forma ascendente en un trozo de madera seca. Sin embargo el agua en elementos del xilema funcionales forma una columna continua desde la raíz a la hoja. El movimiento de agua en el xilema difiere del movimiento de agua en tubos capilares. Las paredes celulares de las plantas retienen aguas con una tensión de 1,5 a 15 MPa (15 a 150 atm), lo que depende de la densidad de las fibrillas de celulosa.

[Ir al principio](#)

MOVIMIENTO DEL AGUA

Las moléculas de agua se encuentran en un movimiento continuo al azar. Como resultado de este movimiento migran las moléculas por **difusión**. La difusión es un proceso muy importante para los organismos vivos. La fotosíntesis depende de la difusión de ; así mismo la de vapor agua por transpiración es un proceso difusivo . La absorción de los minerales de la solución del suelo por las raíces en parte depende de la difusión; así mismo todo los proceso químico, incluyendo los catalizados por enzimas dependen de colisiones producidas por moléculas que difunden.

Difusión. Es el movimiento de moléculas a lo largo de un gradiente de concentración, debido a la agitación térmica aleatoria. **Es el movimiento de moléculas de zonas de mayor concentración a zonas de menor concentración, hasta que se alcanza la condición de equilibrio, se puede definir también como el movimiento neto de moléculas de regiones de alta energía libre hacia regiones de energía libre baja.**

Sí se produce un cambio en la energía libre (ΔG) cuando el proceso va de G_1 a G_2 , esto es si $G_2 - G_1 = - (\Delta G)$ el proceso ocurre espontáneamente. La

disminución en la energía libre está relacionada a un aumento en la entropía o desorden molecular, que es la fuerza que mueve la difusión.

Ley de difusión de Fick. La velocidad a la cual una sustancia difunde a través de un área, depende no solamente del tamaño y forma de la molécula, sino también del gradiente de concentración de la sustancia. Esta idea quiere decir que a medida que disminuye la distancia, aumenta la velocidad de difusión, el gradiente se expresa como $-dC/dx$, donde C es la concentración (moles/ litro) y x es la distancia (cm). Si dejamos que dm/dt represente la velocidad a la que m moles de soluto cruce la barrera o plano de referencia (A), en un tiempo t (seg), la Primera Ley de Fick se puede escribir de la siguiente forma donde

$$\frac{dm}{dt} = -D.A. \frac{dC}{dx}$$

D es el coeficiente de difusión, o tasa de difusión específica

A es el área de la membrana (cm²)

El **signo negativo** se debe a que la difusión se realiza de mayor a menor concentración.

A este nivel es importante definir el concepto de gradiente de concentración para poder entender el proceso de difusión. Por definición, un gradiente es la diferencia de concentraciones entre dos puntos específicos.

Necesariamente no necesitan ser dos diferencias de concentraciones, pero puede ser una diferencia de presiones (en el caso de un gas) o cualquier otro parámetro indicador de energía libre. Por ejemplo si comenzamos con una fuente, con una concentración de 12 g H₂O.L⁻¹ y un sumidero de 4 g.L⁻¹, la diferencia de concentraciones entre la fuente y el sumidero debe ser la diferencia ΔC .

$$\Delta C = C_1 - C_2 = 12 - 4 = 8$$

Para definir un gradiente se debe conocer la distancia entre C₁ y C₂ en centímetros. Si por ejemplo la distancia que separa C₁ de C₂ fuera de 5 cm, el gradiente sería la concentración a C₁ menos la concentración a C₂ dividida por la distancia (x), de 5 cm:

$$C_1 - C_2 / x = 12 - 4 / 5 = 1,6 \text{ g.L}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} .$$

La difusión depende de la temperatura, ya que al aumentar la temperatura, aumenta el movimiento molecular y la energía cinética.

El coeficiente de difusión (D), es una constante para cada sustancia que difunde a través de una membrana a una temperatura determinada. Cuando se comparan diferentes sustancias, se encuentra que moléculas pequeñas difunden más rápidamente que las grandes. **La difusión es inversamente proporcional al tamaño molecular:**

$D \propto 1/\text{tamaño molecular}$; podemos decir también que para moléculas pequeñas, la difusión es inversamente proporcional a la masa: $D \propto 1/\text{masa}$.

Para moléculas grandes y partículas coloidales se cumple que la difusión es inversamente proporcional al radio: $D \propto 1/\text{radio}$. Las partículas coloidales de un gran radio molecular, como las proteínas difunden lentamente.

El coeficiente de difusión (D) varía inversamente con la densidad de materiales diferentes. Mientras más densa sea una sustancia, más lenta es su difusión. Si se comparan gases, se puede aplicar la ley de Graham, en la que las densidades relativas se estiman mediante las raíces cuadradas de los pesos moleculares de las sustancias que difunden.

Ley de difusión de Graham. La velocidad de difusión de dos gases es inversamente proporcional a las raíces cuadradas de sus densidades; ya que los pesos moleculares de los gases a la misma temperatura son proporcionales a sus densidades. Las velocidades de difusión vienen dada por la ecuación siguiente

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}} \quad \text{Donde } M_1 \text{ y } M_2 \text{ son los pesos moleculares}$$

El vapor de agua ($M_1 = 18 \text{ g.Mol}^{-1}$) puede difundir más rápido que el CO_2 ($M_2 = 44 \text{ g.Mol}^{-1}$). La velocidad relativa de difusión para el agua

comparada con el anhídrido carbónico es: $\frac{\sqrt{44}}{\sqrt{18}} = 1,56$

Resumiendo podemos decir que la difusión depende de la temperatura, del gradiente de concentración, del tamaño molecular y de la permeabilidad de la membrana a la sustancia a difundir, en otras palabras de la solubilidad de la sustancia a difundir en la membrana.

La velocidad de difusión disminuye con la duración del proceso y la distancia afectada por la difusión (x) es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo:

(2ª. ley de la difusión de Fick). Así, e.g., el colorante fluoresceína se difunde en agua (a una temperatura dada y con un gradiente determinado) hasta 87 mm en un segundo, en un minuto (60 segundos) alcanza 674 μm ($87 \cdot (60)^{1/2} = 674$) en una hora unos 5,2 mm y en un año sólo unos 49 cm. Dentro de las dimensiones de la células vegetales, la rapidez de difusión es considerable a cortas distancias, pero es muy lenta a distancias grandes. Para que la fluoresceína alcance el extremo de una hoja de maíz de un metro requiere 4,2 años. Lo que es un tiempo considerable asumiendo que la planta de maíz vive unos tres meses.

Después de analizar estos ejemplos numéricos, podemos concluir que la difusión es efectiva en dimensiones celulares, pero es inefectiva a grandes distancias.

Flujo de masas. Es el flujo de agua que ocurre en el xilema como

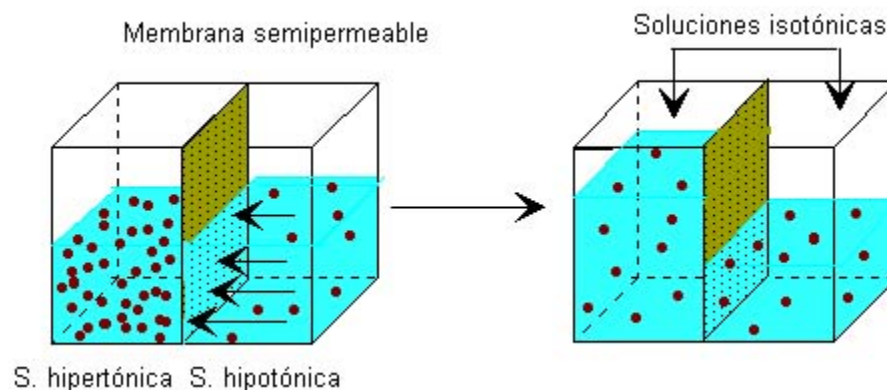
resultado de una diferencia de presiones. El flujo a través de un tubo depende del gradiente de presiones entre los extremos del tubo, el radio del tubo y la viscosidad del fluido. A medida que el radio se duplica, la velocidad de flujo aumenta por un factor de 2^4 (**16**); de tal forma que el flujo en tubos anchos es mucho mayor que en los de menor diámetro. Los tubos de mayor diámetro son más susceptibles de sufrir **embolia y cavitación**, por la formación de burbujas de aire y el rompimiento de las columnas de agua. Esto se debe a que la columna líquida en el xilema se encuentra sometida a **tensiones (hipopresión)**, producidas por las fuerzas de transpiración, en lugar de presiones producidas desde la parte de abajo por la presión radical. Es por ello que el movimiento de agua en el xilema se denomina corriente de transpiración

[Ir al principio](#)

ÓSMOSIS Y PRESIÓN OSMÓTICA

ÓSMOSIS. Es una forma especial de difusión, en la que el solvente agua se mueve a través de una membrana de permeabilidad selectiva, de una zona de potencial hídrico alto a una zona de potencial hídrico bajo. En el caso de movimiento de agua al interior de una célula vegetal, la ósmosis implica una combinación de difusión a través de la bicapa de la membrana y flujo de masas a través de los poros de la membrana. Esos poros están formados por **acuaporinas**, proteínas integrales que forman canales selectivos al agua a través de la membrana. **La ósmosis es un proceso pasivo, por lo tanto no utiliza energía metabólica.**

Si tenemos dos disoluciones acuosas de distinta concentración separadas por una membrana selectivamente permeable (deja pasar el agua pero no el soluto), se produce el fenómeno de la ósmosis que sería un tipo de difusión pasiva caracterizada por el paso de agua a través de la membrana semipermeable desde la solución más diluida (hipotónica) a la más concentrada (hipertónica), la difusión continuará hasta que las dos soluciones tengan la misma concentración (isotónicas o isoosmóticas).



PRESIÓN OSMÓTICA. Es la presión hidrostática que se debe aplicar a una solución que se halla separada del solvente puro por una membrana semipermeable, para impedir la ósmosis. Podemos decir también, que la presión osmótica es la presión hidrostática extra que se debe aplicar a la solución para que su potencial hídrico sea igual al del agua pura.

La presión osmótica de una solución diluida se puede calcular por la ecuación:

$$P_0 = C \cdot R \cdot T$$

Donde:
 P_0 = presión osmótica;
 C = presión osmótica;
 $R = 0,082 \text{ lt atm. } ^\circ \text{ K. ;}$
 $T = t^\circ \text{ C} + 273^\circ \text{ K.}$

[Ir al principio](#)

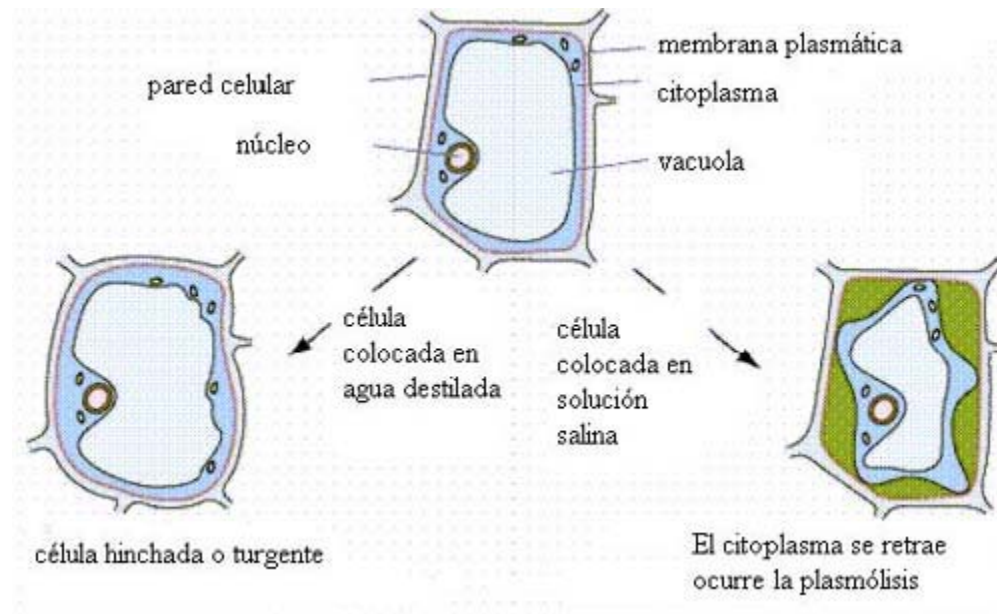
SOLUCIONES ISOTÓNICAS, HIPOTÓNICAS E HIPERTÓNICAS.

Las membranas biológicas están formadas por una bicapa lipídica que contiene proteínas integrales y periféricas. Se caracterizan por ser semipermeables o selectivamente permeables, esto significa que permiten el paso libre de agua y sustancias de bajo peso molecular sin carga a través de ellas, más fácilmente que el movimiento de sustancias cargadas y grandes moléculas de soluto.

Las soluciones **isotónicas** tienen una concentración de soluto igual a la del citoplasma celular, por lo que los potenciales hídricos son iguales, la célula se encuentra en equilibrio osmótico con el medio. Una solución **hipotónica** tiene una concentración de soluto menor que el citoplasma celular, por lo que la célula absorbe agua y se hincha, aumentando la presión de turgencia, que es una presión hidrostática que se ejerce sobre la pared celular. Una solución **hipertónica** tiene una concentración de soluto mayor que el citoplasma celular, por lo que tiene un potencial hídrico menor que el del contenido celular. La célula pierde agua, la membrana se retrae separándose de la pared y la células se vuelve flácida, **se dice que la célula se ha plasmolizado**. En la figura siguiente se observan los fenómenos descritos.

Las soluciones **isotónicas** tienen una concentración de soluto igual a la del citoplasma celular, por lo que los potenciales hídricos son iguales, la célula se encuentra en equilibrio osmótico con el medio. Una solución **hipotónica** tiene una concentración de soluto menor que el citoplasma celular, por lo que la célula absorbe agua y se hincha, aumentando la presión de turgencia, que es una presión hidrostática que se ejerce sobre la pared celular. Una solución **hipertónica** tiene una concentración de soluto mayor que el

citoplasma celular, por lo que tiene un potencial hídrico menor que el del contenido celular. La célula pierde agua, la membrana se retrae separándose de la pared y la células se vuelve flácida, **se dice que la célula se ha plasmolizado**. En la figura siguiente se observan los fenómenos descritos.



La presión es una fuerza por unidad de área ($P=F/A$), de tal forma que la presión osmótica generada en la célula resultante de la ósmosis, produce una presión hidrostática sobre las paredes celulares denominada: presión de turgor (P_t). El turgor en las plantas da lugar al crecimiento, movimientos y otras respuestas como la apertura de los estomas. Desde que las fuerzas se desarrollan en pares, acordémonos de la Tercera Ley de Acción y Reacción de Newton, que dice que las fuerzas reales existen en pares iguales en magnitud y opuestas en dirección, desde el exterior de la célula se ejerce una presión en sentido contrario, pero con la misma magnitud que se llama presión parietal (P_p). Cuando se alcanza la condición de equilibrio, no ocurre difusión neta de agua al interior de la célula y las tres presiones se igualan:

$P_o = P_t = P_p$. Sin embargo en cualquier otra condición que no sea la de equilibrio,

$P_t = P_p$ pero ambas son diferentes a la presión osmótica, P_o .

[Ir al principio](#)

RELACIONES ENERGÉTICAS.

La ósmosis ocurre siempre de una zona de alto potencial químico del solvente a otra de bajo potencial químico o en otras palabras de soluciones diluidas hacia soluciones concentradas, separadas por una membrana semipermeable.

La endósmosis (ósmosis hacia dentro del sistema) ocurre si el agua en la solución externa está a un potencial químico más alto que la interna, el

agua se mueve hacia el interior de la célula. La **exósmosis** (ósmosis hacia fuera del sistema) ocurre si el agua interna está a un potencial químico mayor que el agua externa, el agua se mueve hacia fuera de la célula. El potencial químico del agua (π) es afectado por tres factores:

- 1. Temperatura.** Al aumentar la temperatura aumenta el potencial químico del agua, ya que ésta es una medida de la energía cinética de las moléculas.
- 2. Presión.** La presión aumenta el potencial químico del agua, ya que aumenta su energía libre.
- 3. Concentración.** Al aumentar la concentración de soluto disminuye el potencial químico del agua, ya que la atracción entre soluto y solvente disminuye la energía libre de las moléculas de agua.

El efecto del soluto sobre la energía libre del solvente se puede demostrar estudiando los cambios en las propiedades coligativas de las soluciones, ya que estas dependen de la energía libre de las moléculas de solvente.

Efecto de disolver 180 g de glucosa en 1000 g de agua (solución uno molar de glucosa)			
Propiedad coligativa	Agua	Solución 1 molar	Efecto de la glucosa sobre la propiedad
Presión de vapor	17,5 mm Hg a 200 C	17,2 mm Hg	Disminuye
Punto de congelación	0° C	- 1,86° C	Disminuye
Punto de ebullición	100° C	100,51° C	Aumenta
Presión osmótica	0 atm	24 atm	Aumenta
Potencial hídrico	0 joules/g	- 2,4 joules/g	Disminuye

El efecto de añadir un soluto al agua disminuye la energía libre del agua. El cambio en la energía libre del agua producido por el soluto se denomina potencial osmótico (π) de la solución.

Potencial osmótico (π) . Es la variación en el potencial hídrico resultante de la presencia de solutos. Es equivalente a los valores de la presión osmótica (P_0) con signo negativo

(π) = - P_0). En la célula (π) es siempre negativo.

Cuando se diluye una solución el valor de aumenta, hasta alcanzar el valor de cero a dilución infinita.

Potencial hídrico ψ . Es el potencial químico del agua en un sistema o parte de un sistema, expresado en unidades de presión y comparado con el potencial químico del agua pura , a la presión atmosférica y a la misma temperatura y altura, con el potencial químico del agua tomado como referencia e igual a cero. Matemáticamente se puede expresar de la siguiente forma

$$\psi = (\mu_w - \mu_w^*) / V_w$$

Donde:
 ψ = potencial hídrico
 μ_w = potencial químico del agua en el sistema estudiado
 μ_w^* = potencial químico del agua pura a la presión atmosférica y a la misma temperatura que el sistema estudiado
 V_w = volumen molar parcial del agua (18 cm³. Mol⁻¹.).

La importancia del potencial hídrico es que indica la dirección de la ósmosis. Se puede expresar también de la siguiente manera :

$$\psi = \pi + P_p$$

Donde:
 π = potencial osmótico
 P_p = presión parietal

La ósmosis se realiza siempre de una región de potencial hídrico alto (valores negativos pequeños de ψ) a una región de bajo potencial hídrico (valores negativos grandes). Por ejemplo, la ósmosis ocurrirá desde una célula A con un valor $\psi = - 3 \text{ atm}$. a una célula B con un valor $\psi = - 4 \text{ atm}$.

Cuando una solución se encuentra a presión atmosférica $P_p = 0$ y $\psi = \pi$. El potencial hídrico es siempre negativo y alcanza un valor máximo de cero para el agua pura: $\psi_{\text{agua pura}} = 0$. Cuando se ponen en contacto dos células que tienen el mismo potencial hídrico, no se produce un movimiento neto de agua, ni hacia dentro ni hacia fuera, por lo que las células se mantienen en equilibrio.

La unidad en que se expresa el potencial hídrico es: 1 atm. = 1,01 bar o 0,1 MPa (Mega Pascal).

El potencial osmótico (π) es siempre negativo, mientras que la presión parietal (P_p) y la presión de turgencia (P_t) tienen valores positivos. La terminología de potencial hídrico fue introducida por Slatyer y Taylor en 1960, aunque previamente se utilizaron nombres como: presión de succión (SP), equivalente osmótico (E) y déficit de presión de difusión (DPD). Todos estos tienen valores positivos, de lo que hoy sabemos son negativos. Por ejemplo: SP = - ψ y DPD = - ψ

Vamos a analizar el siguiente ejemplo teórico, de dos células en contacto que tengan los valores que se muestran en la figura.

Célula A	Célula B
$\pi = - 20 \text{ bars}$	$\pi = - 16 \text{ bars}$

$P_p = + 6 \text{ bars}$	$P_p = + 12 \text{ bars}$
¿Cual es el potencial hídrico de las células A y B? En que dirección ocurre la ósmosis.	

El potencial hídrico de la célula A es $\psi = - 14 \text{ bars}$ y el de la célula B es $\psi = - 4 \text{ bars}$. La ósmosis ocurre de la célula B hacia la A.

¿Qué le sucede a una célula que se coloca en una solución hipertónica?
¿Cómo son los valores de la presión de turgencia (P_t) y del potencial hídrico ψ ?

Bajo esa condición sabemos que: $\psi = \pi + P_p$, de donde $P_p = 0$ y $P_t = 0$, por lo tanto $\psi = \pi$. En una solución hipertónica el potencial osmótico es igual al potencial hídrico

¿Qué le ocurre a una célula cuando se coloca en un medio hipotónico?
¿Cómo son los valores del potencial hídrico, del potencial osmótico y de la presión parietal?
 $\psi = \pi + P_p$, el potencial hídrico $\psi = 0$ y $\pi = -P_p$. El potencial hídrico vale cero y el potencial osmótico es igual a menos la presión parietal.

¿Qué le ocurre a una célula que se coloca en un medio isotónico y cómo son los valores del potencial hídrico, del potencial osmótico y de la presión de turgencia?
El contenido celular se mantiene en equilibrio con el medio y el $\psi = \pi$, ya que la presión parietal es cero: $P_p = 0$, pero como $P_p = P_t = 0$, la presión de turgencia es cero.

En una célula completamente turgida el potencial hídrico es cero ($\psi = 0$) y la presión parietal es igual al potencial osmótico con signo negativo ($P_p = -\pi$). En esta condición la célula no puede absorber más agua del exterior. Bajo la condición de flacidez completa de la célula o de plasmólisis incipiente, la presión parietal es cero ($P_p = 0$) y el potencial hídrico se equipara al potencial osmótico ($\psi = \pi$).

En el siguiente ejemplo se representan 7 células en contacto con valores en atmósferas de presión parietal y potencial osmótico. ¿Calcular los valores de ψ y en que sentido ocurre la ósmosis?
Expresar los resultados en Mega Pascal.

1	2	3	4	5	6	7
P_p 3	6	12	9	12	11	13
π -10	-12	-17	-13	-15	-13	-14

[Ir al principio](#)

SIGNIFICADO DE LAS CANTIDADES OSMÓTICAS

El potencial hídrico permite predecir la dirección de la ósmosis, la que ocurre de un alto a un bajo potencial hídrico. Existe por lo tanto un gradiente con valores altos en la zona absorbente de las raíces de la planta y valores bajos en los órganos de la planta que pierden agua por transpiración (hojas). Esto se ilustra en el cuadro que se muestra a continuación.

Potencial hídrico de la corteza interna de diferentes órganos de *Parthenocissus tricuspidata* (Vitaceae).

Organo	Potencial Hidrico (MPa)
Pecíolo	- 0,84
Tallo (a una altura de 225 cm)	- 0,50
Tallo (a una altura de 35 cm)	- 0,29
Raíz (parte vieja)	- 0,24
Raíz (zona de absorción)	- 0,16

Resumamos mediante el siguiente cuadro el significado de las cantidades osmóticas

Cantidad	Simbolo	Signo celula Turgente	Significado	Mide
Presión osmótica	P_p	+	Fuerza por unidad de área para impedir la ósmosis	1. Máxima Pt y Pp teóricas 2. Mide concentración de solutos
Potencial osmótico	π	-	Potencial hídrico que resulta de los solutos	Grado de hidratación del protoplasma
Presión de turgor	Pt	+	Presión hidrostática instantánea que ejerce la pared sobre el	Estira la pared celular y produce alargamiento si las paredes son plásticas

			protoplasto	
Presión parietal	P_p	+	Presión instantánea que ejerce la pared sobre el protoplasto	Aumenta la energía libre de las moléculas de agua
Potencial hídrico	ψ	-	Potencial químico del agua en el sistema menos el potencial químico del agua pura en condiciones normales	Indica dirección y velocidad de difusión relativa

La presión osmótica de una solución depende de la presencia de solutos disueltos. El potencial osmótico de la savia celular puede revelar el grado de hidratación del protoplasma. Si la concentración de solutos en la vacuola aumenta, su potencial osmótico disminuye y el agua se mueve desde el protoplasto hacia la vacuola, lo que resulta en la deshidratación del protoplasto.

Las células en una fase de crecimiento rápido y metabolismo activo, se caracterizan por una concentración baja del jugo vacuolar y una alta hidratación del protoplasma. Las células inactivas y en estado de latencia se caracterizan por una alta concentración de jugo vacuolar y una baja hidratación del protoplasma, esto se observa en semillas y en los tallos de plantas durante el período de invierno en la Zona Templada y de sequía en los Llanos Venezolanos donde la vegetación pierde las hojas.

La presión parietal aumenta el potencial hídrico del agua en la célula, lo que se traduce en un aumento en la tendencia de las moléculas de agua a escapar por exósmosis. En este mismo orden de ideas, la presión de turgor puede producir un estiramiento de la pared y en consecuencia un alargamiento celular. Las células de las plantas terrestres, donde el factor agua es limitante, no se encuentran en un estado de equilibrio, sino que continuamente pierden (evapo-transpiración) y absorben agua dependiendo de las condiciones ambientales. La presión de turgencia y la parietal deben ser mucho menores que la presión osmótica de la savia vacuolar debido a la pérdida de agua hacia el medio. Las relaciones entre la presión parietal, el potencial osmótico y el potencial hídrico, se pueden ilustrar con mediciones realizadas en células de pecíolos de girasol durante los procesos de plasmólisis y expansión final cuando se colocan en agua. Todos los valores aumentan, pero el aumento de ψ para cualquier incremento en el volumen celular es igual a la suma de π y P_p . Cualquier punto se obtiene aplicando: $\psi = \pi + P_p$

Volumen relativo del protoplasto	ψ (MPa)	π (MPa)	Pp (MPa)
0,9(plasmólisis)	-1.6	-1.6	0
1,1	-1.0	-1.3	0.3
1,15	-0.67	-1.27	0.6
1,25 (célula turgente)	0	-1.17	1.17

En éste caso, la célula como un todo se comporta como un osmómetro, debido a la presencia de la membrana celular que es semipermeable, como ejemplo podemos mencionar que las células guardianes que controlan la apertura y cierre de los estomas, se mueven por un mecanismo de tipo osmótico mediante cambios en la presión de turgencia. Podemos concluir que, cualquier organelo celular que esté rodeado por una membrana semipermeable, se comporta también como un osmómetro.

Conclusión: El flujo de agua es un proceso pasivo. Esto quiere decir que el agua se mueve como una respuesta a fuerzas físicas, hacia regiones de potencial hídrico bajo o de baja energía libre. En otras palabras no se requiere de una bomba operada por energía metabólica movida por la hidrólisis de ATP, que empuje el agua de un sitio a otro.

[Ir al principio](#)

DETERMINACIÓN DE LAS CANTIDADES OSMÓTICAS

Potencial osmótico.

1. Se puede calcular midiendo la plasmólisis incipiente, en otras palabras se determina la solución de un valor osmótico conocido que produce 50 % de plasmólisis en el tejido estudiado.
2. Mediante la comparación que se realiza del tejido o de las células con soluciones de un valor osmótico conocido. Es conveniente determinar el potencial hídrico de una solución a partir de su concentración. Para soluciones diluidas se puede aplicar la ecuación siguiente

$$\pi = - C.R.T \quad \text{Donde:}$$

π = potencial osmótico en bar o Mega Pascal (MPa)

C = concentración en moles/ litro

R = constante de los gases (0,082 litro. atm/ °K . mol

T = Temperatura °K o grados absolutos.

Cuando se quiere aplicar esta ecuación a electrolitos se debe multiplicar por el coeficiente de isotonicidad i (mide el promedio de partículas por molécula), teniendo en cuenta que las sales disueltas en agua disocian formando iones. La ecuación se transforma en: $\pi = -i \cdot C \cdot R \cdot T$ El valor de i para el NaCl es igual a 1,8 (medido), su valor teórico es $i = 2$. El CaCl_2 tiene un valor de $i = 2,4$ (medido), mientras que el teórico es de 3.

Vamos a considerar un ejemplo.

- ¿Calcular el potencial osmótico de una solución de glucosa 1,0 molar a 30°C?

$$\begin{aligned} \text{Aplicamos la ecuación } \pi &= -C \cdot R \cdot T \quad \pi = - (1,0 \text{ M}) \cdot \\ &(0,082 \text{ l.atm.}^\circ\text{K}^{-1} \cdot \text{Mol}^{-1}) \cdot (303 \text{ }^\circ\text{K}) = - 24,8 \text{ bar o -} \\ &2,48 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- ¿Calcular el potencial osmótico de la misma solución de glucosa a 10°C?

$$\pi = - (1,0 \text{ M}) \cdot (0,082 \text{ l.atm.}^\circ\text{K}^{-1} \cdot \text{Mol}^{-1}) \cdot (283 \text{ OK}) = - 23,2 \text{ bar o -} \\ 2,32 \text{ MPa}$$

Concluimos que el potencial osmótico es menor a 10°C que a 30°C, por lo que el agua difundirá de la solución fría hacia la caliente si se colocan en celdas separadas por una membrana semipermeable.

- ¿Calcular el potencial osmótico de una solución 1,0 M de NaCl a 30°C $i=1,8$?

$$\pi = - (1,8) \cdot (1,0 \text{ M}) \cdot (0,082 \text{ l.atm.}^\circ\text{K}^{-1} \cdot \text{Mol}^{-1}) \cdot (303 \text{ }^\circ\text{K}) = - 44,64 \\ \text{bar o - 4,46 MPa}$$

El efecto osmótico producido por la solución 1,0 M NaCl es 1,8 veces mayor que el de la solución de glucosa de la misma concentración y a la misma temperatura.

El potencial osmótico se puede determinar a partir de dos propiedades coligativas que son:

1. El descenso en el punto de congelación aplicando la ecuación $\pi = -12,06 \cdot \Delta P_f$ (bar), donde ΔP_f = el descenso en el punto de congelación de la solución o de la savia (comparado con el del agua pura). Cuando se determina el punto de congelación, se puede calcular el potencial osmótico.

2. El método de la presión de vapor. El tejido se coloca en un pequeño volumen de aire cerrado. El potencial hídrico del aire se pone en equilibrio con el Ψ del tejido, el cual tiene un cambio insignificante durante el proceso. Luego se determina el potencial hídrico del aire, midiendo su densidad (humedad) a una temperatura conocida. Si se conoce el valor de la humedad relativa (HR) se puede calcular el potencial hídrico. La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua en el aire a una temperatura dada, comparada con la cantidad de vapor de agua que el aire

puede contener a la misma temperatura.

Se puede expresar por la siguiente ecuación:

$$HR = \frac{P}{P_0} \times 100$$

Donde:

P = presión de vapor del agua a una temperatura dada ,
 P₀ = presión de vapor del agua pura a la misma temperatura .

La cantidad de humedad que el aire puede contener aumenta con la temperatura , por lo que la HR tiene significado solo si se conoce la temperatura.

$$\pi = - \frac{RT}{V^1} \ln \frac{P_0}{P}$$

Donde V¹ = al volumen de un mol de solvente (es lo mismo que V_w).

$$V^1 = \frac{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}} = 18 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \approx 0,018 \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$$

Después de realizar la operación de dividir R entre V¹ y transformar los logaritmos Neperianos en logaritmos de base 10, tenemos la siguiente ecuación que permite calcular el potencial osmótico en bars a partir de la humedad relativa, conociendo la temperatura en °K.

$$\pi(\text{bars}) = -10,5T \log \frac{100}{HR}$$

Ejemplo:

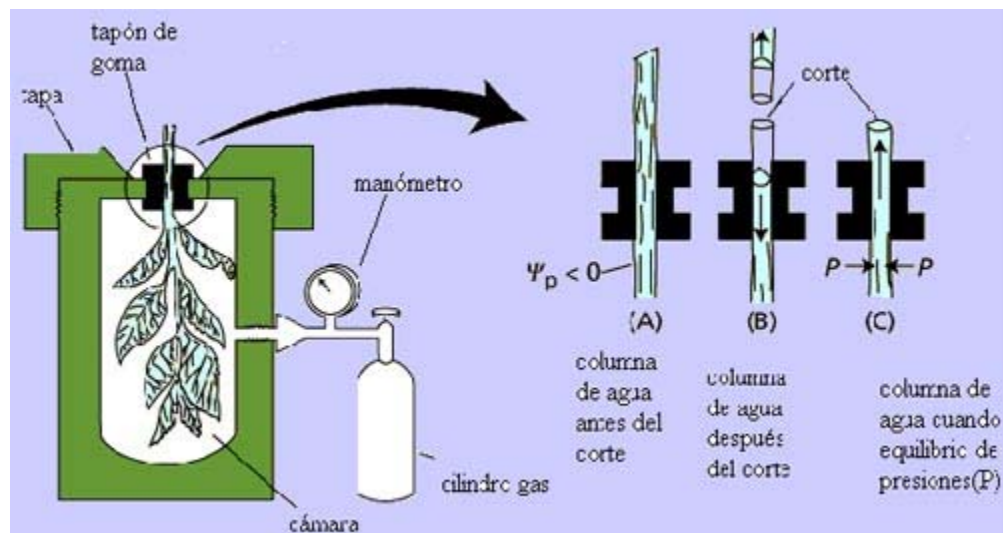
- ¿Calcular el potencial hídrico cuando la humedad relativa a 25°C es de 80 %?

$$\pi = - 10,5 \cdot 298 \log 100/80 = - 303,2 \text{ bars o } - 30,32 \text{ MPa.}$$

Potencial hídrico. Sabiendo que la difusión de agua no ocurre entre sistemas con el mismo potencial hídrico, el método más simple para su determinación, es hallar la solución de un potencial hídrico conocido, en la que las células vivas no muestren ni endósmosis ni exósmosis o sea encontrar la solución en la cual las células no se contraigan ni se hinchen. Esto se puede lograr midiendo la longitud de células o tejidos.

Un método rápido de medir el potencial hídrico de pedazos grandes de tejidos, tales como ramas y hojas es utilizando la cámara de presión de **Scholander**. La cámara de presión 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 N₂ 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.



[Ir al principio](#)

Este es un Material didáctico elaborado por:
[Rubén Hernández Gil, PhD.](#)
 Profesor de Fisiología Vegetal, Departamento de
 Botánica, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales.
 Universidad de Los Andes - Mérida - Venezuela
 e-mail: rubenhg@ula.ve

Revisado: en Marzo de 2007 .
 sitio mantenido por : [María Alejandra B](#)