

# Tema 2. El agua y la célula vegetal

## • Introducción

- Importancia del agua

## • Transporte de agua en plantas (pasivo)

- Concepto de potencial hídrico. Componentes

- Simplificaciones de las relaciones hídricas en las células

- ¿Cómo se desplaza el agua?

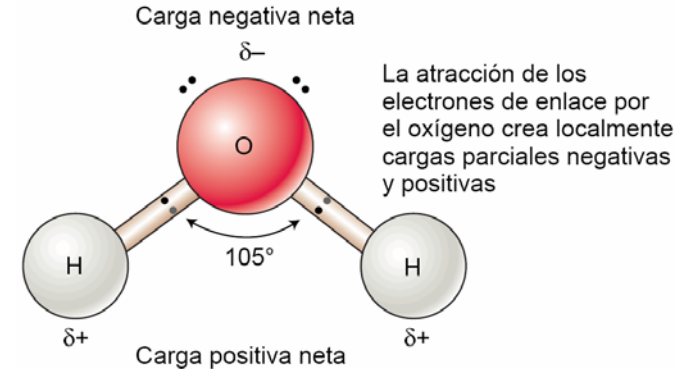
- Distancias cortas: Difusión

- Distancias largas: Flujo másico

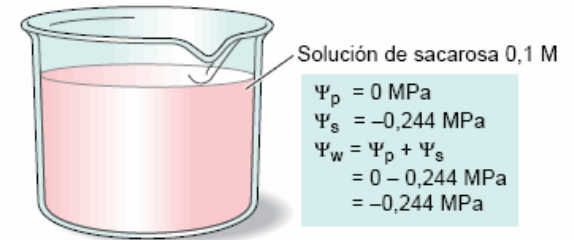
- Membranas: ósmosis

- Acuaporinas

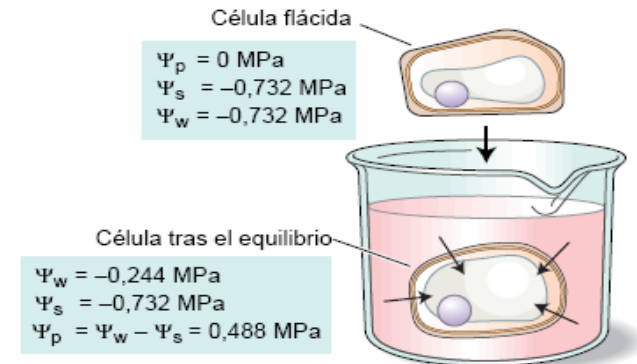
## • Cuantificación y terminología del estado hídrico en la planta



(B) Solución de sacarosa 0,1 M



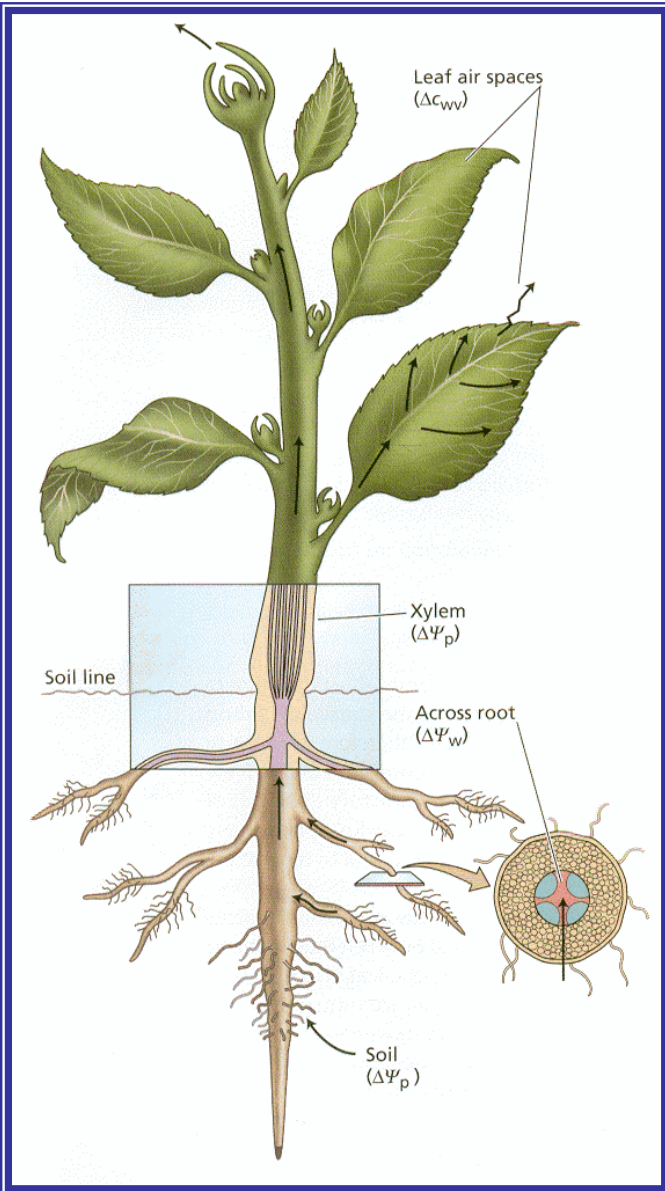
(C) Se introduce la célula en la solución de sacarosa



# Introducción

## Importancia del agua en las plantas

- **Principal componente tejidos 85-90%**
  - Madera (35-75%), semillas (5-15%)
- **Los procesos de transporte y distribución de nutrientes y metabolitos dependen de los movimientos del agua**
  - En plantas: el **transporte de agua es pasivo**
  - Flujo depende de la cantidad de agua absorbida por las raíces y la pérdida por transpiración
  - Pequeñas fluctuaciones de este flujo: déficit hídricos
    - Ej. C3: 1 g materia orgánica → absorbe 500 g H<sub>2</sub>O
    - Principal factor limitante productividad cultivos



# Propiedades fisicoquímicas del agua. Repaso

Los puentes de hidrógeno confieren una **gran cohesión** (atracción mutua entre las moléculas que permite que éstas se comporten como un sistema continuo) **interna al agua. Propiedades:**

**Cohesión:** permite formar un **sistema continuo** dentro de la célula e incluso con el ambiente.

**Sustrato:** Fotosíntesis: H<sub>2</sub>O sustrato reacciones de hidratación y deshidratación.

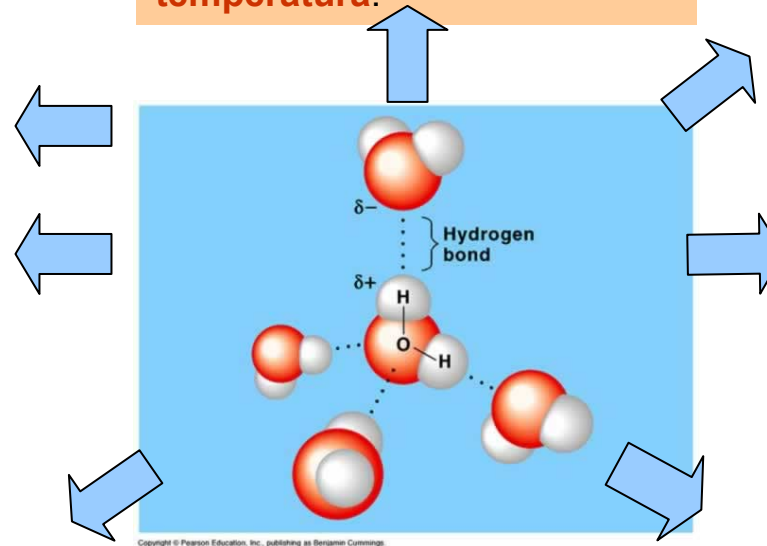
**Capacidad de disolución e hidratación.** H<sub>2</sub>O atraída por otras moléculas polares. Por la cohesión capas de hidratación, que disuelven a gases, iones y moléculas o macromoléculas polares o mojan superficies sólidas.

**Elevado calor específico** (energía necesaria para elevar la t° del agua 1°C) proporciona un **sistema regulador de temperatura.**

**Elevada temperatura (t°) fusión y ebullición:** agua estado líquido en el rango de t° en que se desarrolla la vida.

**Alto calor de vaporización** (energía necesaria para la evaporación del agua). Mejor **sistema refrigerante** conocido: planta puede disipar la mitad de la energía solar que recibe por transpiración.

**Alta tensión superficial** (energía necesaria para romper la superficie de un líquido). La tensión, la cohesión y la adhesión permiten la **continuidad de una columna de agua**, vital para el transporte de agua de la raíz a las hojas.



## Explicar las relaciones hídricas en términos termodinámicos

**Potencial químico del agua ( $\mu_w$ )** expresión cuantitativa de la energía libre (de Gibbs) asociada al agua.

Unidades: J mol<sup>-1</sup>

$$\text{Potencial hídrico } (\Psi_w) \quad \frac{\mu_w - \mu_w^*}{V_w} = \frac{\text{J mol}^{-1}}{\text{m}^3 \text{ mol}^{-1}} = \frac{\text{N m}}{\text{m}^3} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa}$$

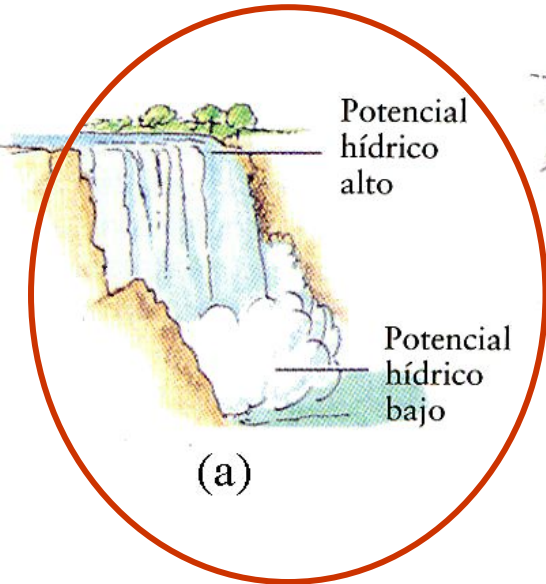
El agua se desplaza a favor de gradiente de potencial hídrico

$\Psi_w^* = 0$ . **Potencial de referencia del agua pura** “libre”.

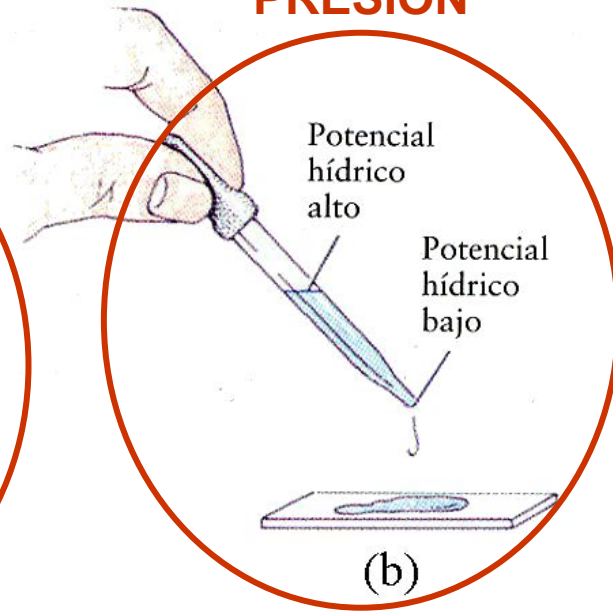
# Componentes del potencial hídrico

$$\Psi_w = \Psi_g + \Psi_p + \Psi_s$$

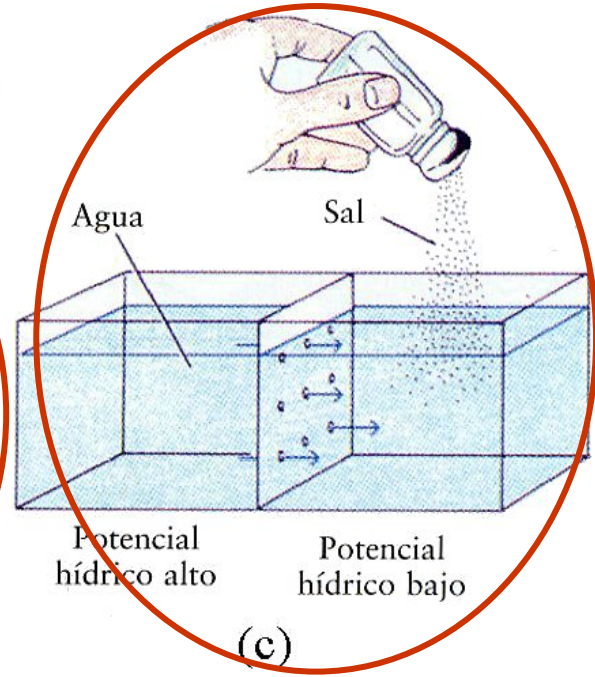
## GRAVEDAD



## PRESIÓN



## SOLUTOS



$$\Psi_w > \Psi_w$$

→

$H_2O$

## Componentes del potencial hídrico: $\Psi_w = \Psi_g + \Psi_p + \Psi_s$

$\Psi_g$  **Potencial gravitatorio** es consecuencia de la diferencia en energía potencial debida a diferencias en altura

$$\Psi_g = \rho_w g h$$

$\rho_w$  es la densidad de la solución acuosa

$g$  aceleración debida a la fuerza de la gravedad

$h$  es la altura

Por cada metro ¿cuánto aumenta  $\Psi_g$ ?

$$\Psi_g = 1000 \text{ (kg m}^{-3}\text{)} * 10 \text{ (ms}^{-2}\text{)} * 1 \text{ (m)}$$

$$\Psi_g = 0.01 \text{ MPa}$$

## Componentes del potencial hídrico: $\Psi_w = \Psi_g + \Psi_p + \Psi_s$

**$\Psi_p$  Presión hidrostática** (potencial de presión celular) **puede ser positivo o negativo y representa la presión ejercida por el protoplasto contra la pared celular**

Representa la presión que la pared celular ejerce sobre el agua en respuesta a la presión de turgencia

Nota: valor de referencia la P atmosférica

- $\Psi_p > 0$  en células turgentes
- $\Psi_p = 0$  en plasmolisis
- $\Psi_p < 0$  en el xilema (tensión o presión hidrostática negativa).

Valores del  $\Psi_p$  :  $-3.0 \leq \Psi_p \leq +1.0$  MPa

## Componentes del potencial hídrico: $\Psi_w = \Psi_g + \Psi_p + \Psi_s$

$\Psi_s$  **Potencial osmótico** o de solutos **es negativo** y expresa el efecto de los solutos en la disolución celular.

presión osmótica ( $\Pi = -\Psi_s$ ).

*Cálculo de  $\Psi_s$ . Ecuación de Van't Hoff*

$$\Psi_s = - R T i C_s$$

R:  $8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

T: temperatura absoluta (K)

i: coeficiente de disociación de los solutos iónicos

$C_s$ : concentración de la solución:  $\text{mol m}^{-3}$

El **signo menos** indica que los solutos disueltos disminuyen  $\Psi_w$

Valores medios de  $\Psi_s$  :  $-10.0 \text{ MPa} \leq \Psi_s < 0 \text{ MPa}$



## Potencial matricial: $\Psi_m$

$\Psi_m$  **Potencial matricial.** Representa las fuerzas que retienen al agua por capilaridad, adsorción e hidratación

### pared celular:

- retención de agua por capilaridad en las microfibrillas y
- los espacios intermicelares de la pared,

### citoplasma:

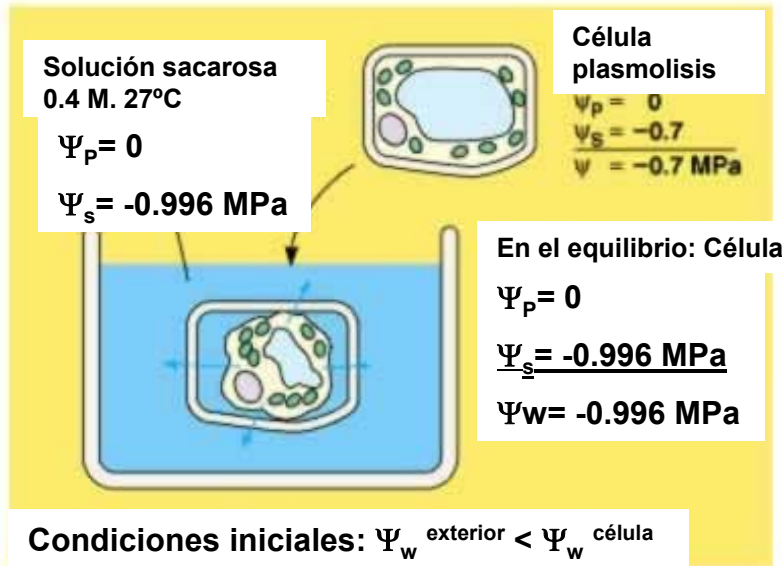
- formación de capas de hidratación alrededor de macromoléculas polares
  - polisacáridos y
  - proteínas

- Se acepta cuando es difícil determinar  $\Psi_s$  y  $\Psi_p$  por separado**
- No se incluye en la fórmula general (representado por  $\Psi_s$  y  $\Psi_p$ )

## Simplificaciones de las relaciones hídricas en la célula

$$\Psi_w \text{ célula} = \Psi_s \text{ célula} + \Psi_p \text{ célula}$$

$$\Psi_g \approx 0$$



$$\Psi_w \text{ exterior} < \Psi_w \text{ célula}$$

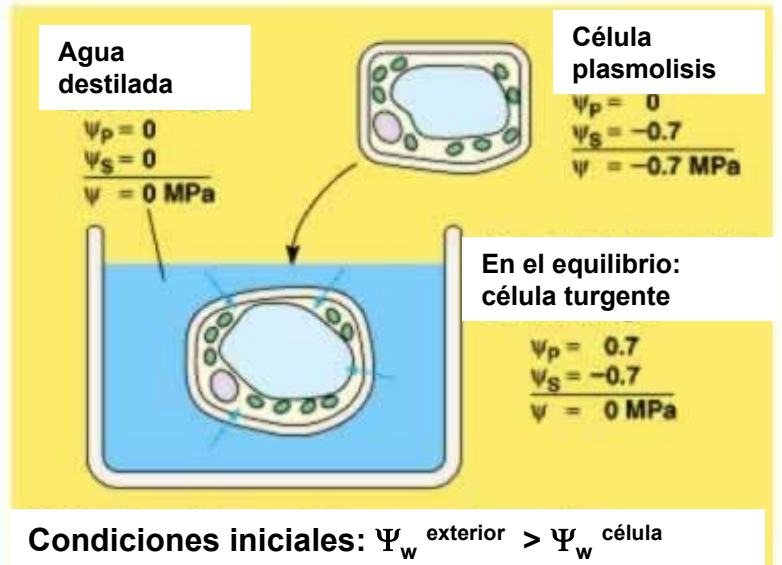


Salida H<sub>2</sub>O de la célula → volumen vacuola disminuye

- Disminución de la presión de turgencia
- No presión hidrostática

**PLASMOLISIS:  $\Psi_p \text{ célula} = 0$**

- Se usa para la determinación de  $\Psi_s$



$$\Psi_w \text{ exterior} > \Psi_w \text{ célula}; \Psi_w \text{ exterior} = 0$$



Entrada H<sub>2</sub>O a la célula → volumen vacuola aumenta

- interior célula → turgencia o presión de turgencia que ejerce una presión sobre el plasmalema y éste sobre la PC
- Generación en dirección opuesta de una presión igual positiva: presión hidrostática

Equilibrio:  $\Delta\Psi_w = 0 \text{ MPa}$  → transporte neto agua = 0

**TURGENCIA:  $\Psi_p \text{ célula} = -\Psi_s \text{ célula}$**



**Para la supervivencia de la planta es necesario que sus células se encuentren en estado de turgencia. Si no tiene lugar la plasmolisis y el marchitamiento**

# Relaciones entre $\Psi_w$ , $\Psi_p$ , $\Psi_s$ y volumen celular

## (Diagrama de Höfler)

### Inicio del marchitamiento

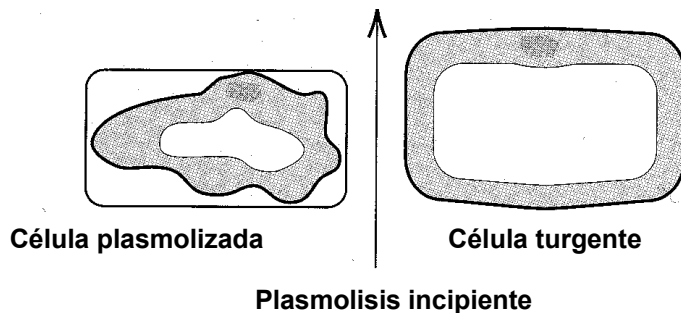
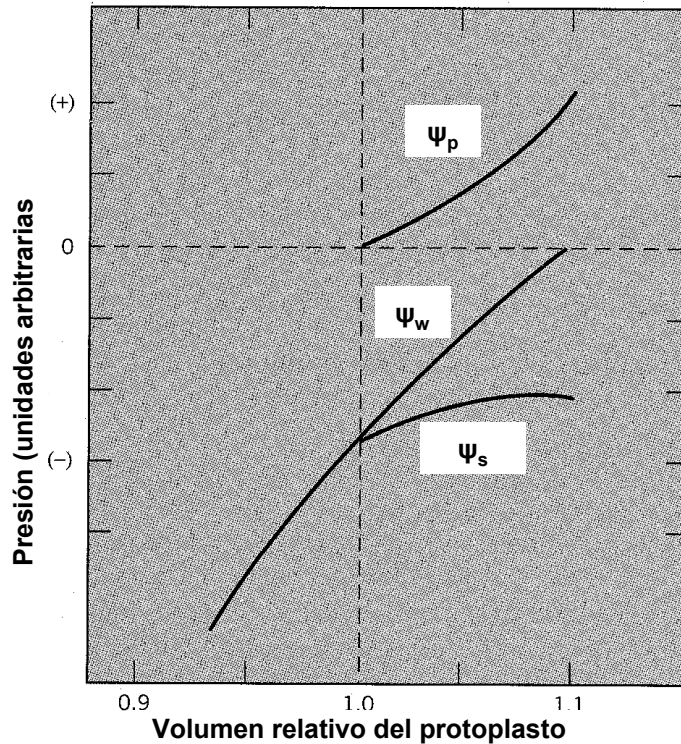
- Plasmolisis:  $\Psi_p = 0$
- Volumen célula = 1

### Máxima turgencia

- Rigidez de la PC
- Volumen célula: aumento 10% (1.1)

$\Psi_w$  aumenta. Se debe a:

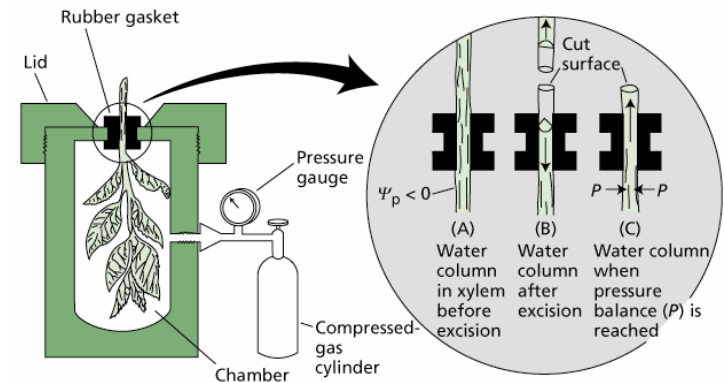
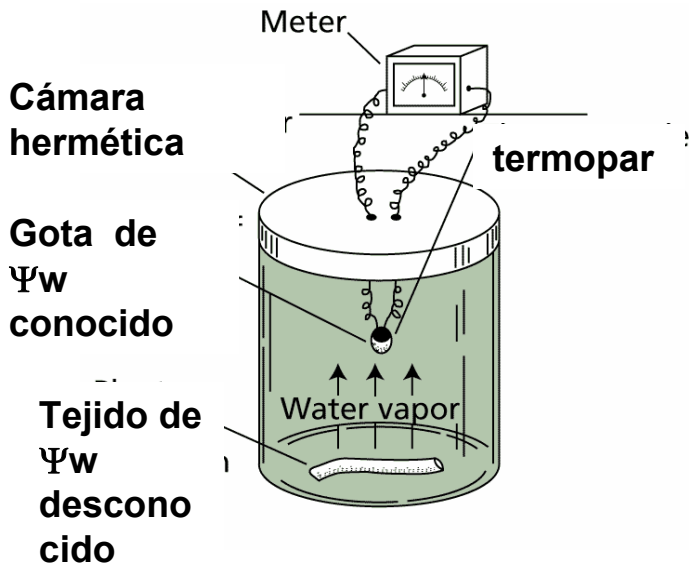
- $\Psi_p$ : aumenta
- $\Psi_s$ : apenas varía



# Determinación del potencial hídrico y sus componentes

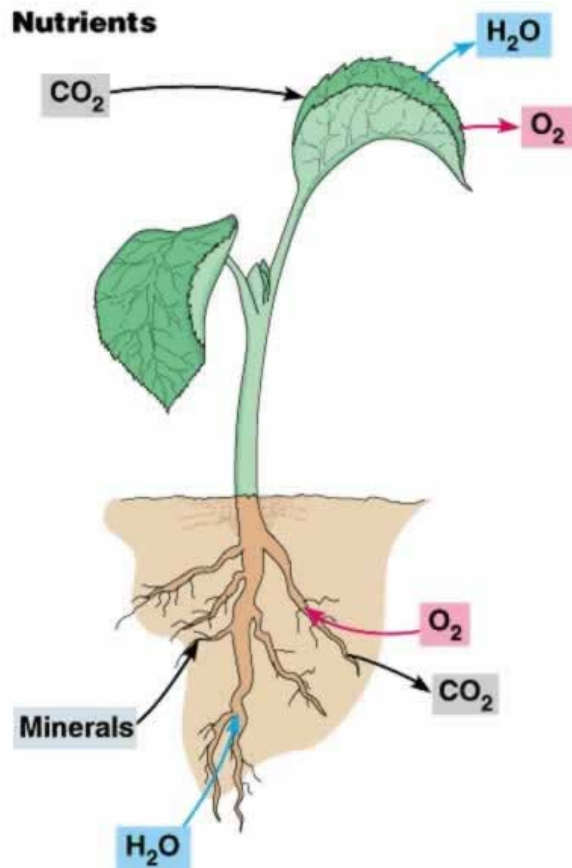
**Principio:** Potencial hídrico de un tejido es el mismo que el de una solución o atmósfera con las que el tejido está en equilibrio

- Psicrómetro ( $\Psi_w$ )
- Cámara de presión ( $\Psi_w$ )
- Osmómetro crioscópico ( $\Psi_s$ )
- Sonda de presión ( $\Psi_p$ )



$$\Psi_w = (RT/V) \ln(e/e_o)$$

# Movimientos del agua: Difusión, flujo de masas y ósmosis



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

**Difusión:** movimiento debido a la agitación térmica de las moléculas

$$J_s = -D_s (\Delta C_s / \Delta x)$$

$J_s$  = Flujo difusivo ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

$-D_s$  = Coeficiente de difusión

- característico de cada sustancia
- depende del medio
- no constante: varía con la concentración y la temperatura

$\Delta C_s$  = Diferencial de concentración

$\Delta x$  = Distancia

El **símbolo negativo** de la ecuación indica que el flujo se mueve en una dirección de gradiente de concentración decreciente: de mayor a menor concentración de la sustancia.

# La difusión: ¿es operativa a cualquier distancia?

calcular el tiempo necesario para que una proporción de moléculas difundan a una cierta distancia a partir de su posición de origen.

$$t_{c=1/2} = \frac{(\text{distancia})^2}{D_s} K$$

Glucosa:  $D_s$   $10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

Dimensiones celulares:  $50 \mu\text{m}$

Largas distancias:  $1\text{m}$

$$t_{c=1/2} = \frac{(50 \times 10^{-6} \text{ m})^2}{10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}} = 2.5 \text{ s}$$

$$t_{c=1/2} = \frac{(1 \text{ m})^2}{10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}} = 10^9 \text{ s} \approx 32 \text{ años}$$



## **La difusión sólo tiene significación fisiológica a nivel celular**

La difusión como mecanismo de movimiento de agua es importante:

- En parte, para el transporte de agua entre las soluciones del suelo y el apoplasto.
- Para el transporte de agua entre el apoplasto y simplasto.
- En parte para el transporte de agua a través de las membranas.
- Para el paso del agua desde el apoplasto hacia los espacios aéreos intercelulares. Por ej. cámaras aeríferas de las hojas.
- Para el paso de las moléculas de agua desde el espacio intercelular hacia la atmósfera.

**El flujo másico es el movimiento en masa del agua en respuesta a un gradiente de presión. Transporte larga distancia**

Plantas:

Transporte xilema, floema

Apoplasto



flujo másico

**¿De qué depende?**

$$\text{Flujo (m}^3 \text{ s}^{-1}\text{)} = (\pi r^4 / 8\eta) * (\delta\Psi_p / \delta x)$$

**radio** (r; m) del tubo,

**viscosidad** del fluido ( $\eta$ ; poise, Pa s),

**gradiente de presión** ( $\delta\Psi / \delta x$ )

**Ecuación de Poiseuille**

**¿qué ocurre si**

**duplicamos el radio?**

$$\text{Flujo (m}^3 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{)} = \frac{\pi r^4}{\pi r^2 * 8\eta} * (\delta\Psi_p / \delta x)$$

**La velocidad de flujo aumenta 2<sup>4</sup>**

**Riesgo de embolia: cavitación**

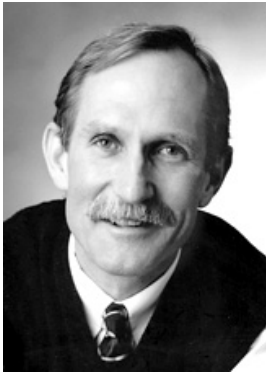
# Ósmosis: movimiento de agua a través de una membrana selectiva. Transporte de agua a nivel molecular

¿Cómo atraviesa el agua las membranas de las células?

**Dirección del flujo agua:** depende del diferencial de potencial hídrico

**Membrana celular: es semipermeable** → velocidad del flujo dependerá también de la **conductividad hidráulica** de la membrana.

Tema de gran controversia. Identificación de proteínas (canal): **acuaporinas** (25-30 kDa)



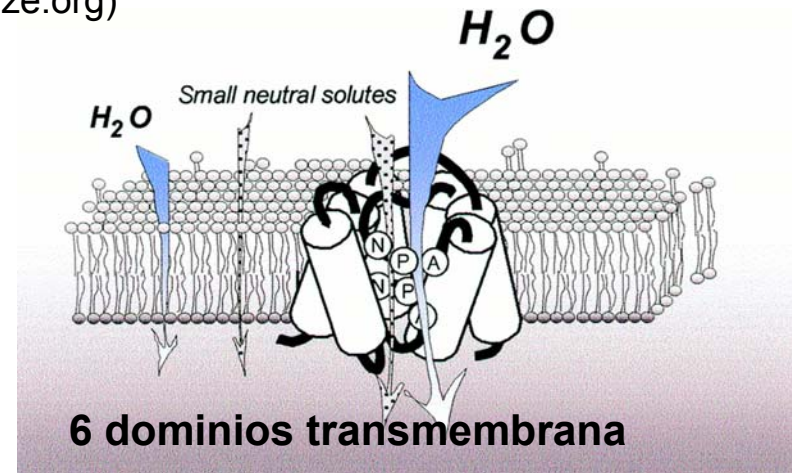
**Premio Nobel Química 2003**

Peter Agre

(Tomado de: [www.nobelprize.org](http://www.nobelprize.org))

## Plantas:

- *Acuaporinas plasmalema*
- *Acuaporinas tonoplasto:*
  - Permeabilidad agua en vacuola 100 veces superior a la del plasmalema
  - mantener volumen citosol constante



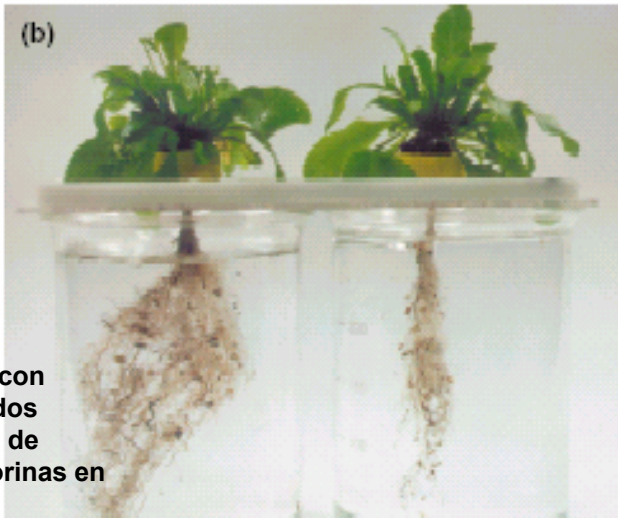
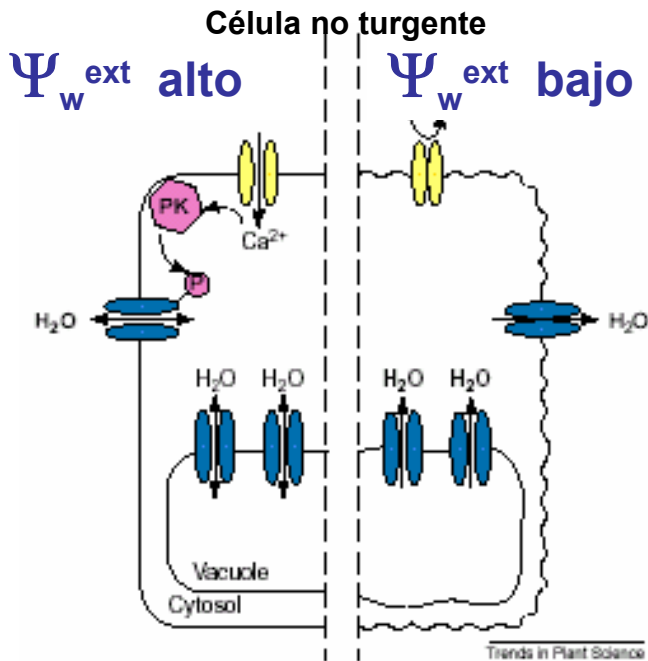
# Acuaporinas. Regulación:

## control de expresión

- Fitohormonas (ácido abscísico, giberelinas)
- Factores ambientales (luz azul); y también es posible
- *regulación de la actividad*
  - Proteín quinasas dependientes de calcio
    - fosforilación/ desfosforilación
    - Regulación: intensidad del flujo no la dirección

Mediante la regulación de los niveles de acuaporinas y la fosforilación de las mismas la célula es capaz de modificar la permeabilidad al agua de sus membranas según sus necesidades

Comparación fenotípica de una planta de *Arabidopsis* con reducidos niveles de acuaporinas en raíz y una planta normal. Vástago es el mismo en ambas plantas sin embargo el sistema radicular es 5 veces mayor en la planta transgénica. **La velocidad de toma de agua es la misma en ambas.** Planta transgénica **compensa la baja permeabilidad de sus membranas radiculares al agua incrementando el tamaño de su sistema radicular**



Planta con reducidos niveles de acuaporinas en raíz

Tomado de: Trends Plant Sci. (1999)4:308

Las plantas necesitan incorporar  $\text{CO}_2$  atmosférico para realizar la fotosíntesis. A lo largo de la evolución no se ha creado ninguna **cubierta superficial que permita el paso de  $\text{CO}_2$  e impida la pérdida de agua.**

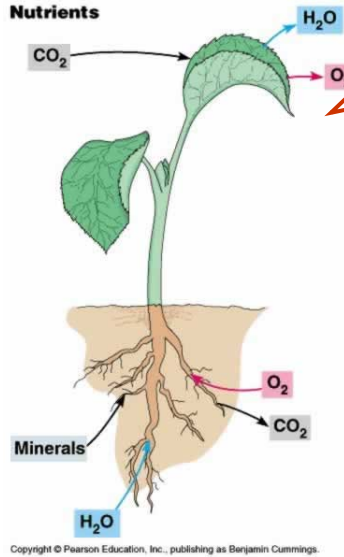
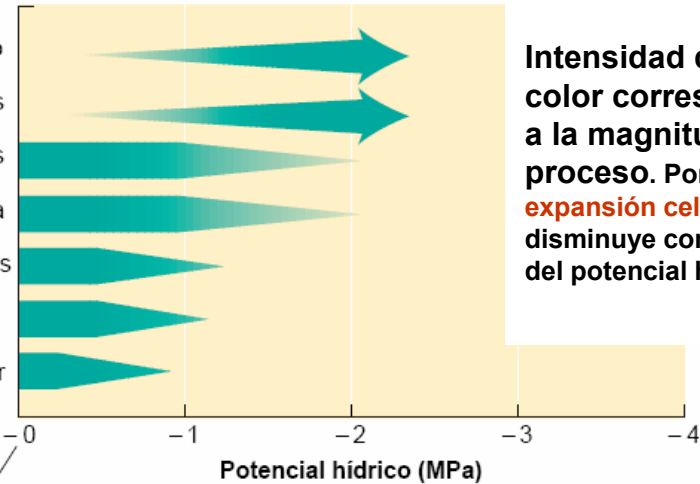


Imagen tomada de Campbell & Reece (2005). Biology. Pearson. Benjamin Cummings

Debido a las pérdidas de agua por la transpiración, las plantas rara vez están completamente hidratadas: sufren déficit hídricos

Cambios fisiológicos producidos por deshidratación:

- Acumulación de ácido abscísico
- Acumulación de solutos
- Fotosíntesis
- Conductancia estomática
- Síntesis de proteínas
- Síntesis de pared
- Expansión celular



Intensidad del color corresponde a la magnitud del proceso. Por ej., la **expansión celular** disminuye con la caída del potencial hídrico

Agua pura  
Plantas bien regadas  
Plantas con estrés hídrico suave  
Plantas de clima desértico

# El estado hídrico de las plantas se puede expresar en términos de contenido hídrico (CH)

## *Contenido hídrico. Determinación:*

- Peso fresco (Pf)
- Peso seco (Ps)

$$CH = [(Pf - Ps) / Ps] * 100$$

**Ps y Pf** - presentan cambios diarios y estacionales  
- determinaciones comparativas no son satisfactorias

## **Contenido hídrico a plena turgencia o contenido hídrico relativo (CHR):**

Peso turgente (Pt), grado de hidratación máxima de las células.

$$\text{CHR} = \frac{[(P_f - P_s)]}{(P_t - P_s)} * 100$$

**Ventaja** de la plena turgencia: *corresponde a un estado hídrico determinado*, independientemente de la especie vegetal.

- Plantas (mayoría) mueren cuando su CHR baja del 20-50%
- **Plantas de la resurrección** (100 especies de 160.000 angiospermas) CHR 4-13%



***Craterostigma plantagineum* (Escrofulariáceas). A)** Planta turgente. **B)** Planta desecada (7 días sin riego). **C)** Planta desecada y rehidratada durante 6 h