

CAPÍTULO 3.- RELACIONES HÍDRICAS EN LA CÉLULA VEGETAL. Concepto de potencial hídrico y sus componentes. Equilibrios hídricos en la célula. Medida del potencial hídrico y sus componentes. Flujos hídricos.

Importancia del agua en los seres vivos. Limitaciones de desplazamiento de la planta para la captación de agua. Fundamentos físicos (termodinámicos): leyes que gobiernan el tráfico de materia.

Principios generales aplicables a la captación, pérdida y tráfico de agua y solutos. En este capítulo se aplicarán mayoritariamente a la captación, pérdida y tráfico de agua y solutos por la célula vegetal.

Recordatorio de la situación de la célula vegetal con pared rígida y membrana semipermeable.

Conceptos de potencial químico y potencial hídrico.

El potencial químico de la especie i (μ_i) es la derivada parcial de la energía libre (G) respecto del número de moles, n_i de la especie i :
 $\mu_i = (\partial G / \partial n_i)_{T,P,n}$, cuando permanecen constantes otras variables del sistema como temperatura (T), presión (P) y el número de moles (n) de cada uno de los otros componentes del sistema.

Como una aplicación del Segundo Principio de la Termodinámica, salvo acoplamiento moleculares que se estudiarán en su caso, una especie química tiende a desplazarse desde zonas donde tiene alto potencial químico a zonas donde tiene bajo potencial químico.

Fórmula desarrollada, útil en Fisiología Vegetal, del potencial químico de la especie i (μ_i):

$$\mu_i = \mu_i^* + (R \times T \times \ln a_i) + (V_i \times P) + (z_i \times F \times E) + (m_i \times g \times h)$$

Donde: R es la constante de los gases (8,31441 julios por mol⁻¹ por grado Kelvin⁻¹), T es la temperatura absoluta (temperatura centígrada + 273,14), a_i es la actividad de la especie química i , V_i (volumen molar parcial) = $(\partial V / \partial n_i)$, F es la constante de Faraday (96.490 culombios por mol⁻¹), P es la presión del sistema, z_i es la carga eléctrica (como referencia carga del protón +1) de la especie i , E es el potencial eléctrico del sistema (en voltios), m_i es la masa molecular de la especie i (en el sistema internacional en kilogramos por mol, g es la aceleración de la gravedad (normalmente 9,8 metros por segundo⁻²), h es la altura del sistema respecto al nivel de referencia (normalmente el nivel del mar).

Interpretación práctica de los sumandos de la fórmula del potencial hídrico.

Uso apropiado de unidades.

Para solutos: actividad de i , $a_i = \gamma_i \times c_i$; para disolvente: $a_i = \gamma_i \times N_i$

Donde; γ_i es el coeficiente de actividad de la especie i (1 para disoluciones diluidas), c_i es la concentración del soluto (en el sistema internacional en moles por metro⁻³), N_i es la fracción molar del disolvente.

Para el vapor de agua: actividad $a_{\text{agua}} = P_{\text{agua}}/P_{\text{agua}}^* = \text{HR}/100$

Donde: P_{agua} presión parcial del agua, P_{agua}^* presión de saturación del agua, HR humedad relativa.

Definición del potencial hídrico Ψ (Psi): $\Psi = (\mu_{\text{agua}} - \mu_{\text{agua}}^*) / V_{\text{agua}}$

Donde; μ_{agua}^* es el potencial químico estándar (de referencia) del agua y V_{agua} es el volumen molar parcial del agua (aproximadamente $18 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$).

Extendiendo la regla dada para el potencial químico, al agua tiende a desplazarse desde zonas de alto potencial hídrico a zonas de bajo potencial hídrico. Además, no se conoce en plantas ningún acoplamiento molecular que, consumiendo energía, pueda llevar agua desde bajo a alto potencial hídrico.

En fase líquida: $\Psi = \Psi_P + \Psi_\pi + \Psi_\tau + \Psi_h$

Donde: Ψ_P (potencial de presión) = P (presión estática o de turgencia), Ψ_π (potencial osmótico) = $-\pi$ (presión osmótica cambiada de signo), Ψ_τ (potencial mátrico o matricial) = $-\tau$ (presión matricial cambiada de signo), Ψ_h (potencial de altura) = $\rho_{\text{agua}} \times g \times h$, ρ_{agua} densidad del agua, g aceleración de la gravedad (normalmente $9,8 \text{ metros por segundo}^{-1}$) y h altura sobre el nivel de referencia (normalmente el nivel del mar).

La presión osmótica, π , obedece la fórmula: $\pi = R \times T \times \Sigma c_i$

Donde R es la constante de los gases ($8,3143 \text{ julios por mol}^{-1} \text{ por grado Kelvin}^{-1}$), T la temperatura absoluta y Σc_i es la suma de todas las concentraciones de solutos (en el sistema internacional en moles por metro cúbico - m^3 - de agua).

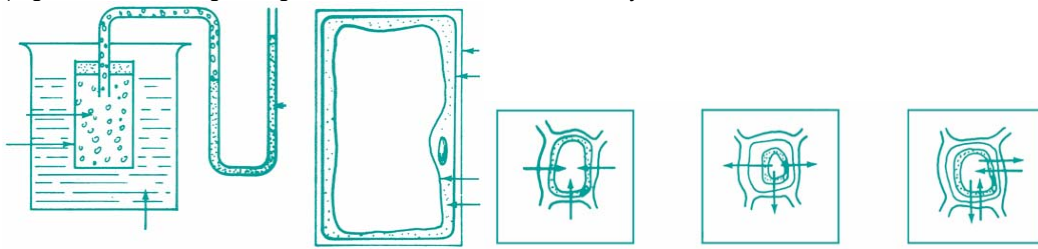
En fase gaseosa (vapor de agua): $\Psi = (R \times T / V_{\text{agua}}) \times \ln (\text{HR}/100)$

Fórmula simplificada del potencial hídrico en fase líquida: $\Psi = \Psi_P + \Psi_\pi$

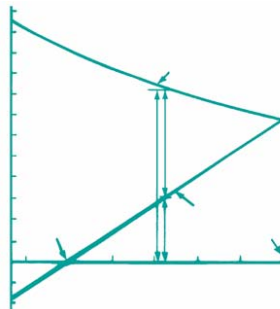
Interpretación de la célula como un sistema osmótico. Estados hídricos celulares: turgencia, plasmolisis y plasmolisis incipiente.

Medios que bañan la célula: hipo-, hiper- e isotónico.

(Figuras de "Fisiología Vegetal", Barceló, Nicolás, Sabater y Sánchez-Tamés. Pirámide, Madrid. 2005).

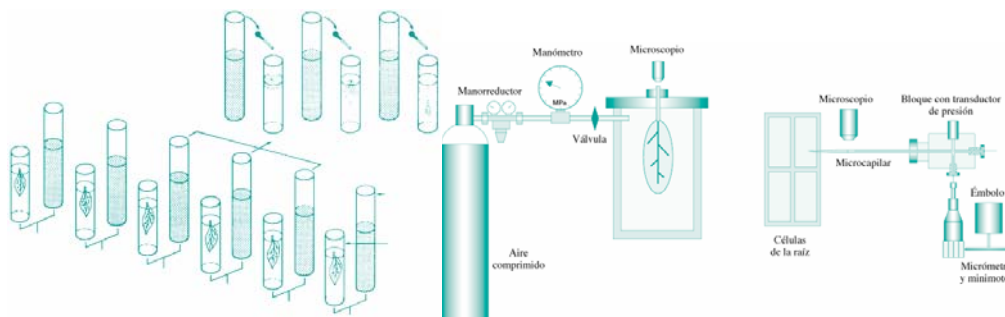


Potenciales de presión y



osmótico y volumen celular.

Medida del potencial hídrico y de sus componentes. Cámara de Scholander



Flujos hídricos.

Con solutos impermeables:

flujo (volumen por unidad de superficie y unidad de tiempo) = $J_v = L_p \times \Delta\Psi = L_p \times (\Delta P - \Delta\pi - \Delta\tau)$; aproximadamente: $J_v = L_p \times \Delta\Psi = L_p \times (\Delta P - \Delta\pi)$. Donde L_p es el coeficiente de conductividad hidráulica.

Con solutos permeables:

$J_v = L_p \times (\Delta P - \Delta\tau - \sum \sigma_i \times \Delta\pi_i)$; aproximadamente: $J_v = L_p \times (\Delta P - \sum \sigma_i \times \Delta\pi_i)$. Donde σ_i es el coeficiente de reflexión del soluto i en ese medio (normalmente una membrana). Si son completamente permeables, $\sigma_i = 0$, y $J_v = L_p \times (\Delta P - \Delta\tau)$; aproximadamente: $J_v = L_p \times \Delta P = L_p \times \Delta\Psi_p$