

RELACIONES HÍDRICAS. ECONOMÍA DEL AGUA.

- ❖ **Generalidades. Energía Libre. Potencial Químico**
- ❖ **Potencial Agua. Factores que lo afectan.**
- ❖ **El agua en la célula. Componentes.**
- ❖ **Relación suelo-planta-atmósfera.**
- ❖ **Apoplasto-simplasto.**
- ❖ **Transpiración-Gutación-Condiciones. Beneficios.**
- ❖ **Mecanismo estomático. Conductancia-resistencias**
- ❖ **Punto de marchitez temporaria y permanente**
- ❖ **Eficiencia en el uso del agua. CO_2/H_2O**

- El agua cubre tres cuartas partes de la superficie de la Tierra.
- El 3% de su volumen es dulce.
- De ese 3%, un 1% está en estado líquido, componiendo los ríos y lagos.
- El 2% restante se encuentra formando casquetes polares en las latitudes próximas a los polos.

- El agua representa entre el 10% y el 90% de la masa de los seres vivos.
- Es una sustancia relativamente abundante aunque sólo ocupa el 0,02% de la masa de la Tierra.
- Se mueve desde el suelo-planta-atmósfera
- Una planta para sintetizar 1 Kg de materia seca requiere entre 20 y 1000 Lts de agua.
- El manejo del agua en el cultivo es una actividad agronómica estratégica.

- PROPIEDADES DEL AGUA
- ES UNA SUSTANCIA ANÓMALA

- El agua es una molécula polar;
- Los dos enlaces entre hidrógeno y oxígeno forman un ángulo de $104^{\circ}45'$.
- El agua es considerada un disolvente universal, por ser una molécula polar.

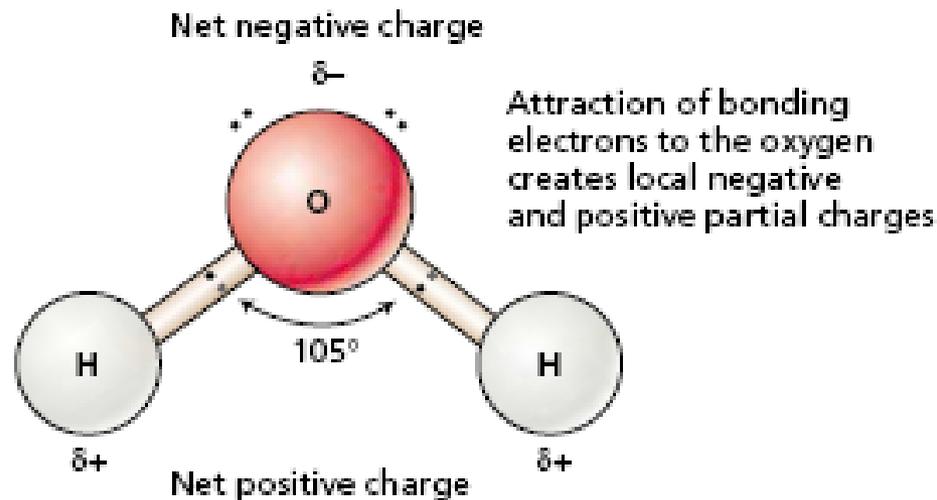
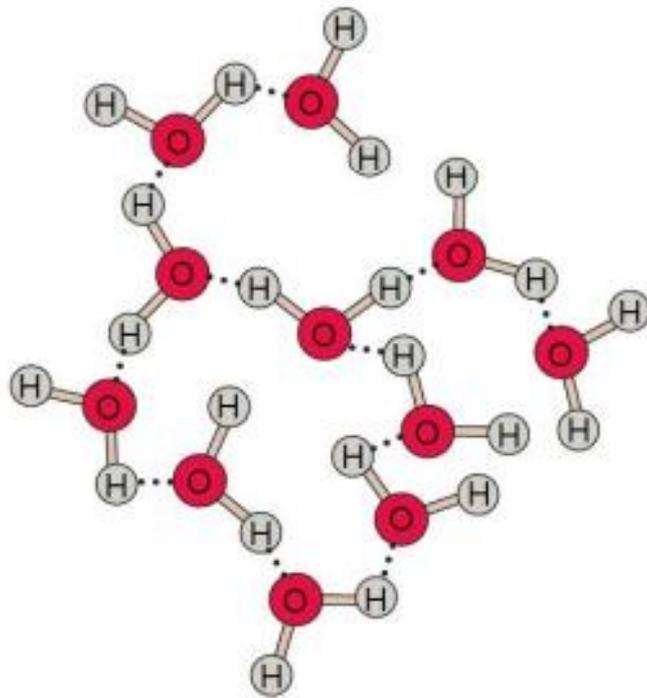


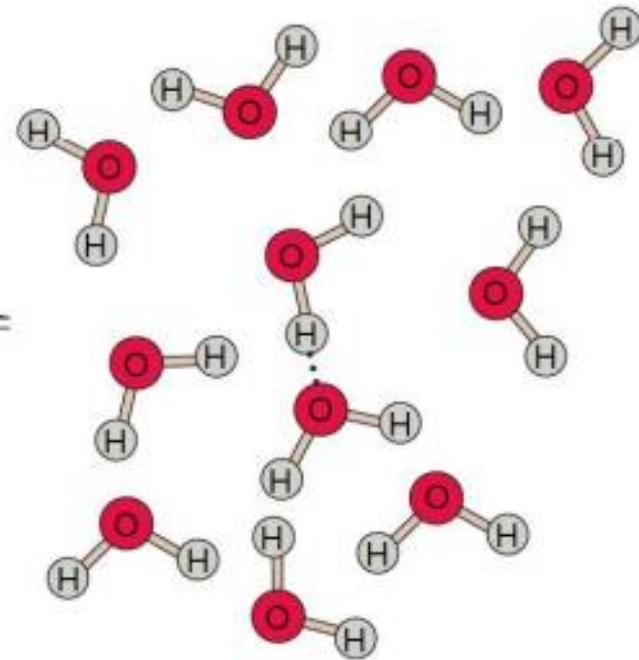
FIGURE 3.3 Diagram of the water molecule. The two intramolecular hydrogen–oxygen bonds form an angle of 105°. The opposite partial charges (δ⁻ and δ⁺) on the water molecule lead to the formation of intermolecular hydrogen bonds with other water molecules. Oxygen has six electrons in the outer orbitals; each hydrogen has one.

- A) Uniones hidrógeno entre moléculas de agua.**
B) La agitación térmica continua provoca la ruptura de los agregados originando configuraciones al azar.

(A) Configuración organizada



(B) Configuración al azar



- Las moléculas de agua están unidas por *puentes de hidrógeno*.
- El agua tiene una tensión superficial elevada.
- El calor específico es de $1 \text{ cal/}^\circ\text{C}\cdot\text{g}$.

- El punto de ebullición del agua a presión de una atmósfera, es de 100 °C.
- El punto de congelación es de 0 °C.
- La densidad máxima del agua líquida es 1 g/cm³, alcanzándose este valor a una temperatura de 4,0 °C.
-
- La densidad del agua sólida es menor que la del agua líquida a la misma temperatura, 0,917 g/cm³.

- Calor latente de fusion del hielo a 0 °C.
80 cal/g (ó 335 J/g)
- Calor latente de evaporación del aqua
a 100 °C: 540 cal/g (ó 2260 J/g)

- Absorbe radiación infrarroja,
- efecto invernadero.
- El agua también tiene un calor específico alto, importante en la regulación del clima global.

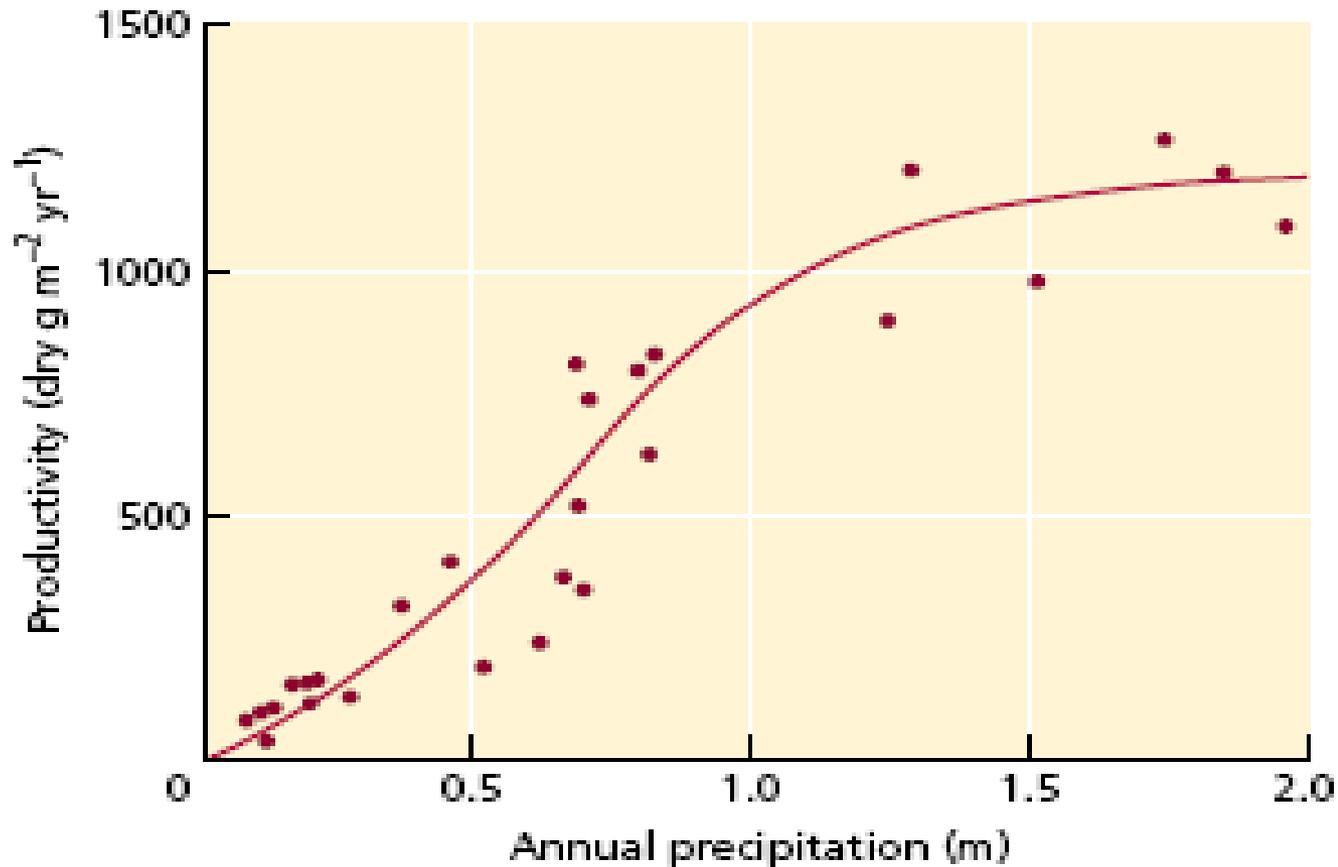


FIGURE 3.2 Productivity of various ecosystems as a function of annual precipitation. Productivity was estimated as net aboveground accumulation of organic matter through growth and reproduction. (After Whittaker 1970.)

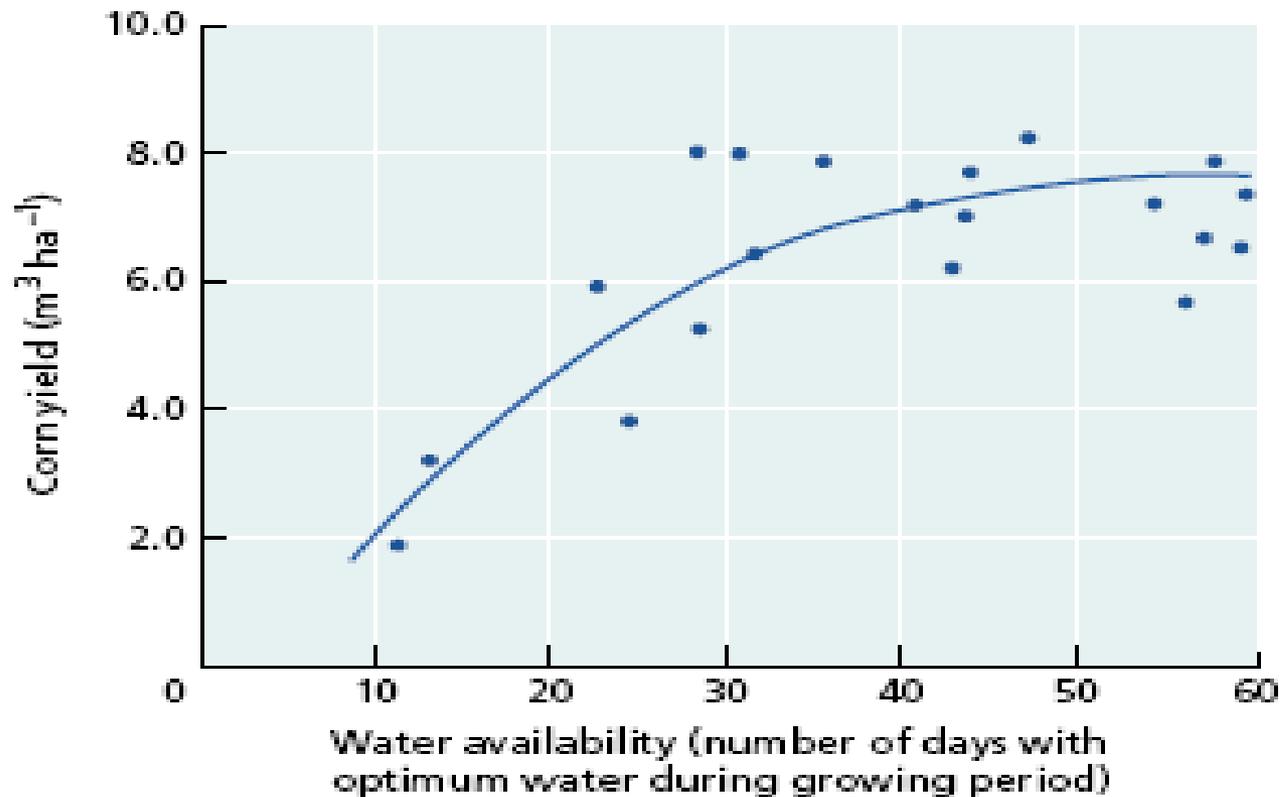


FIGURE 3.1 Corn yield as a function of water availability. The data plotted here were gathered at an Iowa farm over a 4-year period. Water availability was assessed as the number of days without water stress during a 9-week growing period. (Data from *Weather and Our Food Supply* 1964.)

- Energía libre de Gibbs
- Movimiento del agua

RELACIONES HÍDRICAS

- **ENERGÍA LIBRE DE GIBBS:**
 Máxima energía disponible en un sistema que puede convertirse en trabajo (T° y P° Cte).
- **$G =$ ENERGÍA LIBRE DE GIBBS**
- **$G = H - (T \cdot S)$**
- **$H =$ ENTALPÍA (Contenido de E de una sustancia (cal.mol^{-1}))**
- **$T =$ Temperatura Absoluta**
- **$S =$ ENTROPÍA (Grado de desorden (cal.mol^{-1}))**
- **$\Delta G = \Delta H - (T \cdot \Delta S)$**
- **$\Delta G (-)$ Reacción Exergónica. Espontánea**
- **$\Delta G (+)$ Reacción Endergónica. No Espontánea**
- **$\Delta G (0)$ Sistema en Equilibrio**

RELACIONES HÍDRICAS

- **Potencial Químico: $G \cdot \text{mol}^{-1}$**
- **Potencial Químico del Agua: POTENCIAL AGUA (Ψ)**
- **POTENCIAL AGUA (Ψ) = $G \cdot \text{mol}^{-1}$ de agua**
- **$\Psi = \mu - \mu^{\circ}/v$**
- **$\Psi = \text{ergios.mol/cm}^{-3} \cdot \text{mol} = \text{ergios/cm}^3 = \text{dinas.cm/cm}^2 \cdot \text{cm} = \text{dinas/cm}^2$**
- **$10^6 \text{ din.cm}^{-2} = 1 \text{ bar} = 0.987 \text{ atm} = 0.1 \text{ MPa}$**

La conclusión última es importante pues la determinación del ψ de un sistema acuoso cualquiera se calcula según la fórmula (3).

$$\psi = \mu - \mu_0 \quad (3)$$

donde:

$\mu = \psi$ del sistema.

$\mu_0 = \psi$ del agua pura bajo condiciones estándar.

Como μ y μ_0 están dados en unidades de energía ($\text{ergios} \cdot \text{mol}^{-1}$) y es más conveniente emplear unidades de presión (atmósferas, bares o más recientemente mega Pascuales: MPa), se divide el término $\mu - \mu_0$, por el volumen molar parcial del agua que se expresa en $\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$:

$$\frac{\psi = \mu - \mu_0}{V} = \frac{\text{ergio} \cdot \text{mol}^{-1}}{\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}} = \frac{\text{ergio}}{\text{cm}^3} = \frac{\text{dina} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^3} = \frac{\text{dina}}{\text{cm}^2} \quad (4)$$

$10^{-6} \text{ dinas} \cdot \text{cm}^{-2} = 1 \text{ bar} = 0,987 \text{ atm} = 0,1 \text{ MPa (mega Pascal)}$.

El grado de disminución del potencial químico del agua por debajo del potencial del agua pura, causada por los efectos de otros componentes o factores del sistema que pueden modificar su potencial químico se expresa por la fórmula (5)

$$\mu - \mu_0 = R \cdot T \cdot \ln e/e_0 \quad (5)$$

donde:

$\mu =$ potencial químico del agua en un sistema cualquiera.

$\mu_0 =$ potencial químico del agua pura

$R =$ constante general de los gases.

$T =$ temperatura absoluta

$e =$ presión de vapor del agua en el sistema considerado a la temperatura T .

$e_0 =$ presión de vapor del agua pura a la misma temperatura.

De la fórmula (5) se deduce que cuando la presión de vapor del agua en el sistema es igual a la del agua pura, el valor del término $\ln e/e_0$ se hace cero y por lo tanto la diferencia $\mu - \mu_0$ también se iguala a cero.

Por lo tanto se considera que el potencial químico del agua pura tiene un valor de cero y se usa como valor de referencia para comparar el potencial agua de cualquier sistema acuoso.

RELACIONES HÍDRICAS

- Ecuación General de los Gases

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

25 °C

- $P = \frac{n \cdot R \cdot T}{V}$ (Gases - Soluciones)

$$100\% = 0 \text{ MPa}$$

$$99,5\% = - 0,7 \text{ MPa}$$

$$99 \% = - 1,38 \text{ MPa}$$

$$95 \% = - 7,04 \text{ MPa}$$

$$90 \% = - 14,45 \text{ MPa}$$

$$80 \% = - 30,60 \text{ MPa}$$

$$50 \% = - 95,09 \text{ MPa}$$

- $\Psi (\text{aire}) = \frac{- R \cdot T}{V} \ln \frac{P}{P^\circ}$

- $\Psi (\text{aire}) = \frac{- R \cdot T}{V} \lg \frac{100}{HR}$

- $\Psi (\text{aire}) = \frac{- 1.06 \cdot T}{HR} \lg \frac{100}{HR}$

- $\Psi (\text{aire}) = \frac{- 1.06 \cdot T}{HR (100 \%)} \lg \frac{100}{HR (100 \%)} = 0 \text{ (CERO)}$

- Movimiento del agua
- Difusión
- Ósmosis. Potencial osmótico.

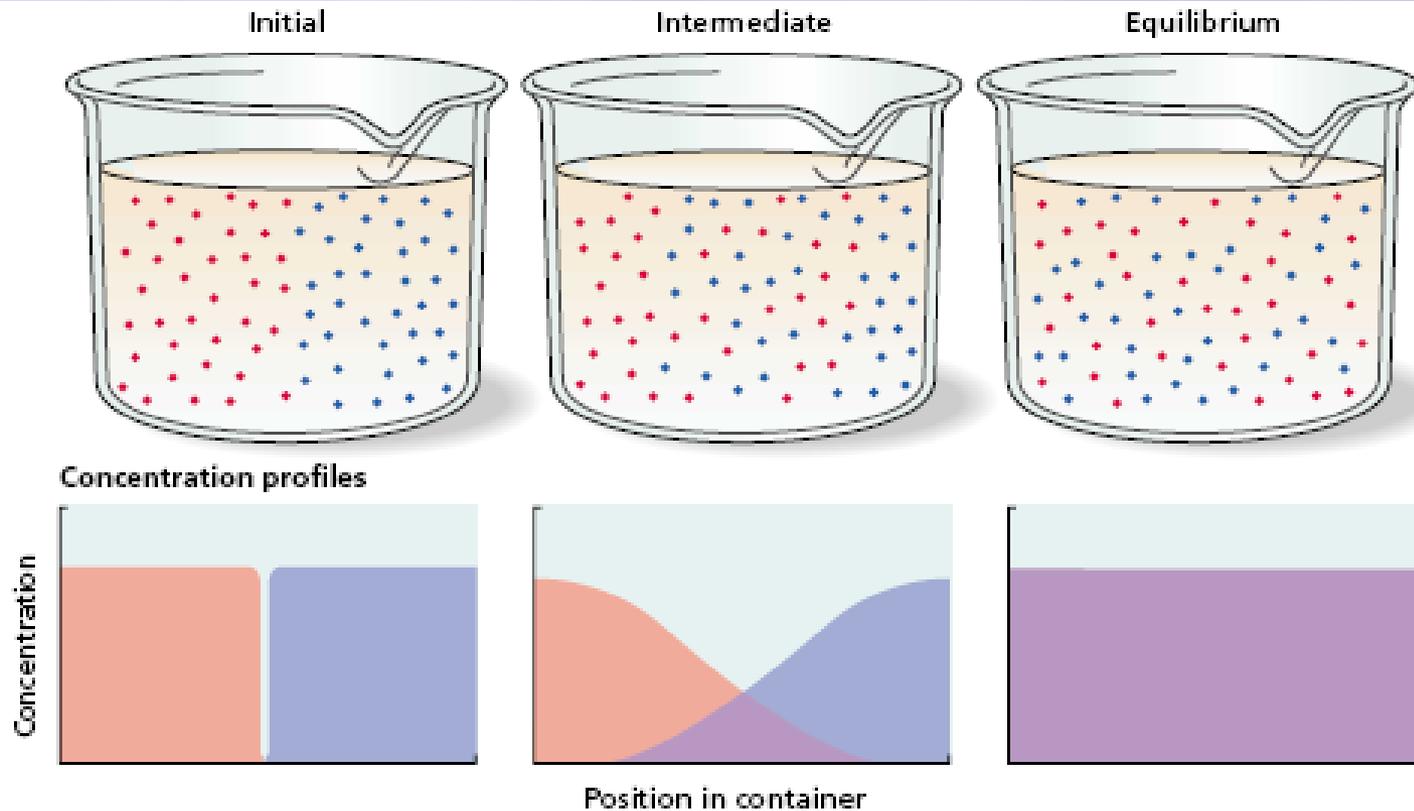


FIGURE 3.7 Thermal motion of molecules leads to diffusion—the gradual mixing of molecules and eventual dissipation of concentration differences. Initially, two materials containing different molecules are brought into contact. The materials may be gas, liquid, or solid. Diffusion is fastest in gases, slower in liquids, and slowest in solids. The initial separation of the molecules is depicted graphically in the upper panels, and the corresponding concentration profiles are shown in the lower panels as a function of position. With time, the mixing and randomization of the molecules diminishes net movement. At equilibrium the two types of molecules are randomly (evenly) distributed.

El estado del agua en las plantas se expresa a través del concepto de:

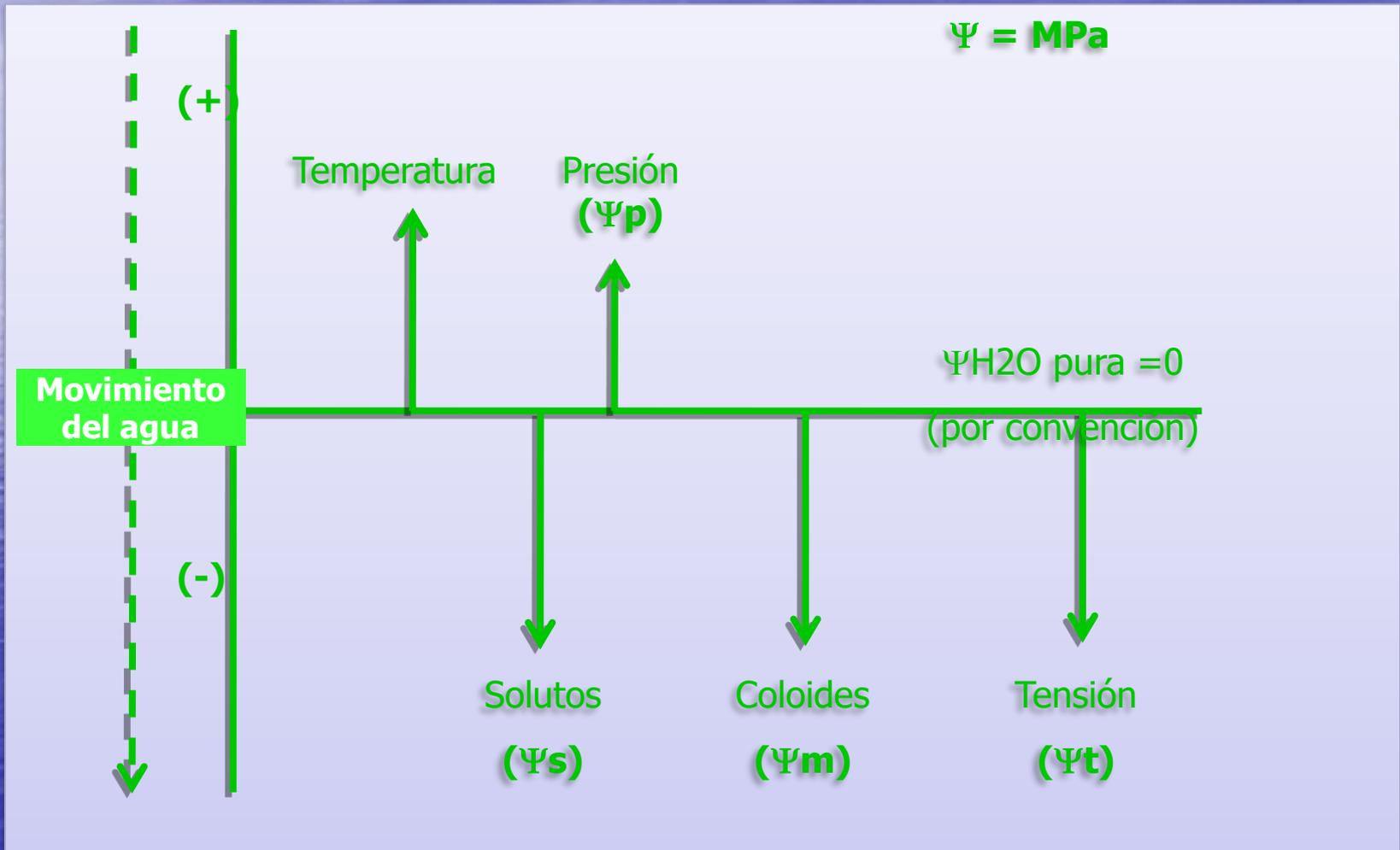
POTENCIAL AGUA DEL SISTEMA. S-PL-AT

$$\Psi_w$$

- 1) Qué significa este concepto?
- 2) En qué unidades se expresa?
- 3) Qué valor se le asigna al potencial hídrico del agua pura?

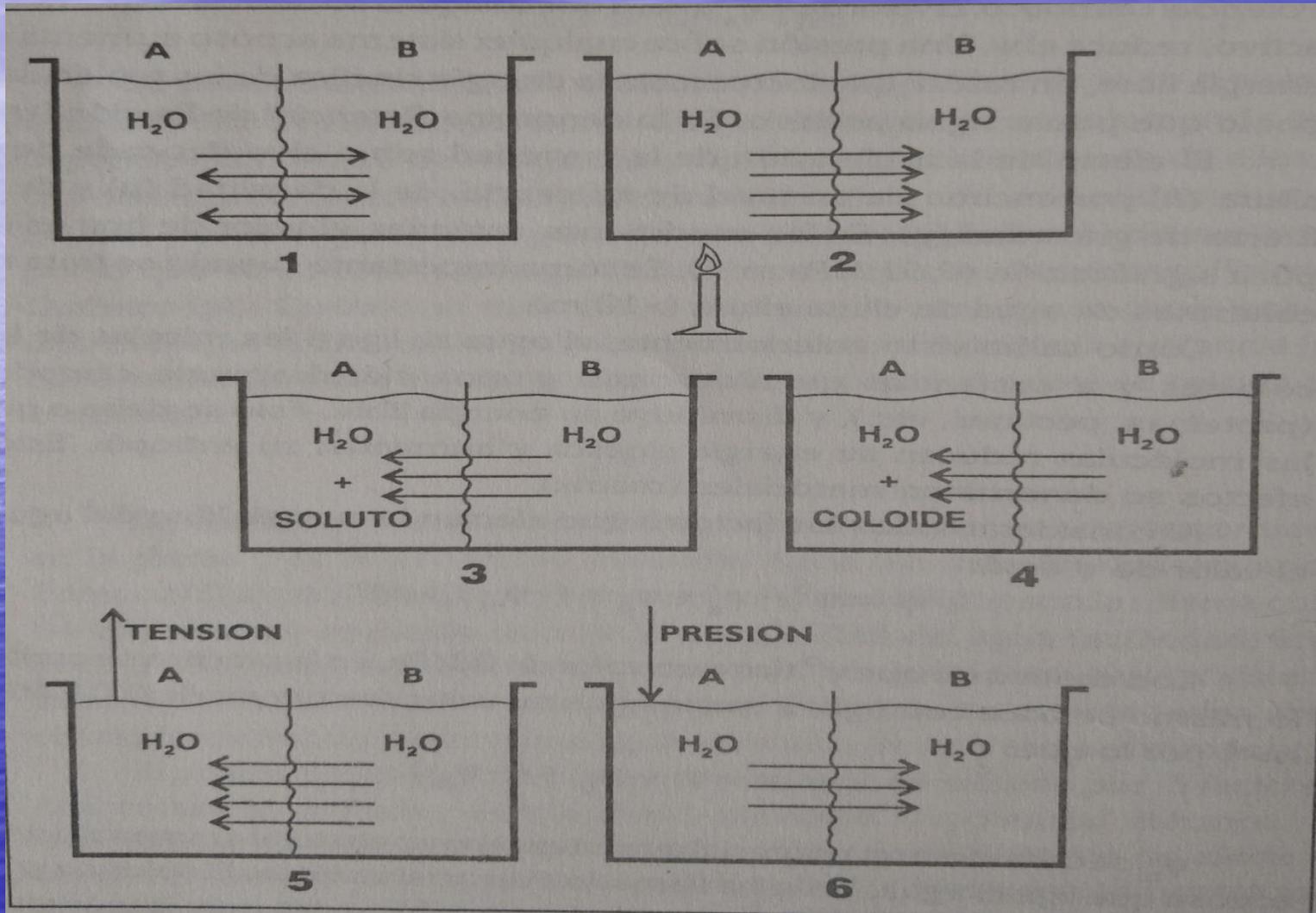
Factores que modifican el potencial agua (Ψ_{H_2O}) en la planta

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

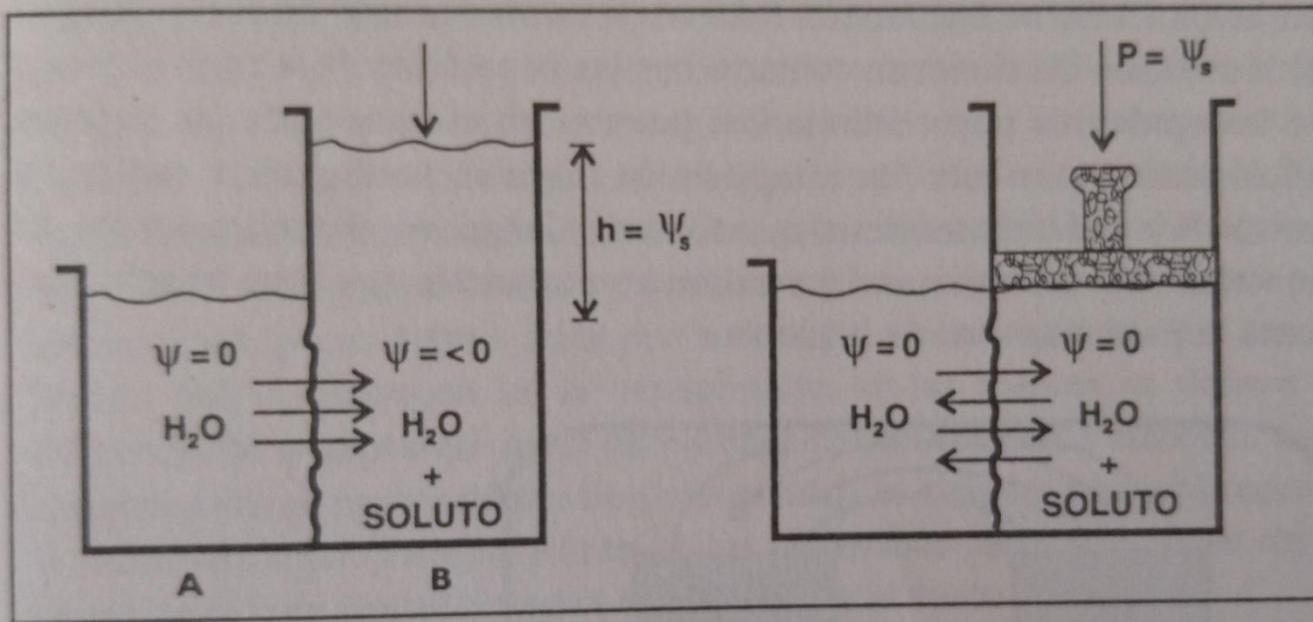


Ganancia y perdida de Energía Libre

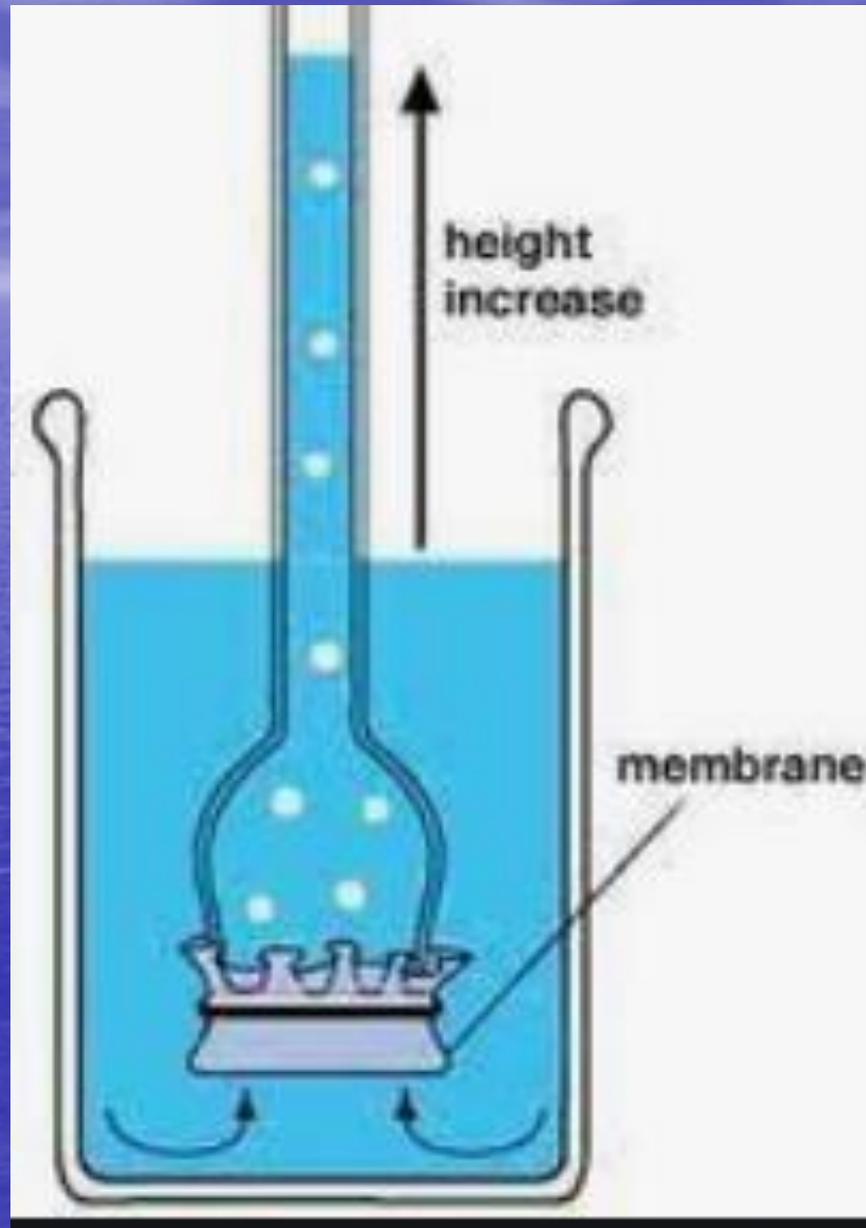
$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$



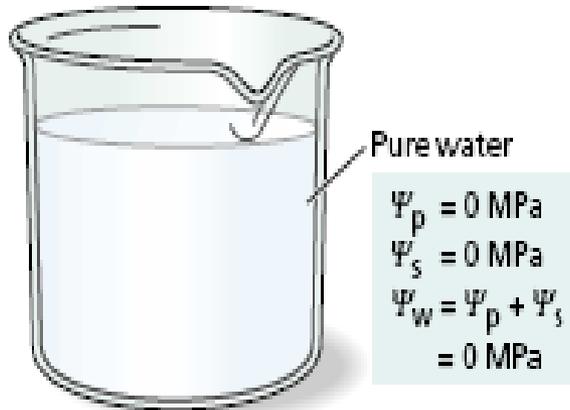
$$\Downarrow\Downarrow \Delta G = \Delta H - T \Delta S \Uparrow\Uparrow$$



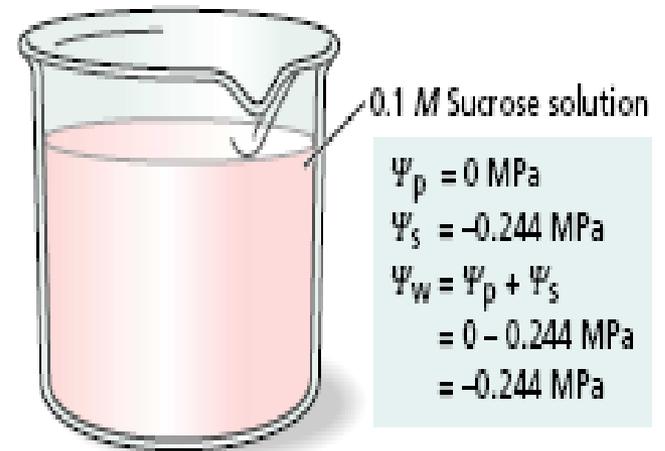
LA CELULA COMO OSMOMETRO



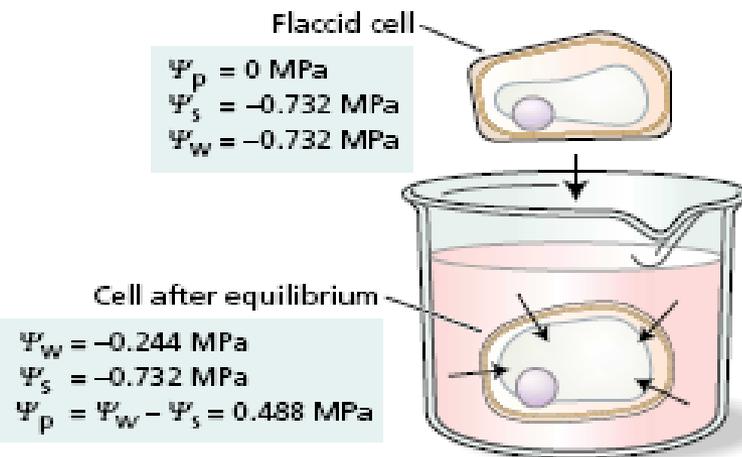
(A) Pure water



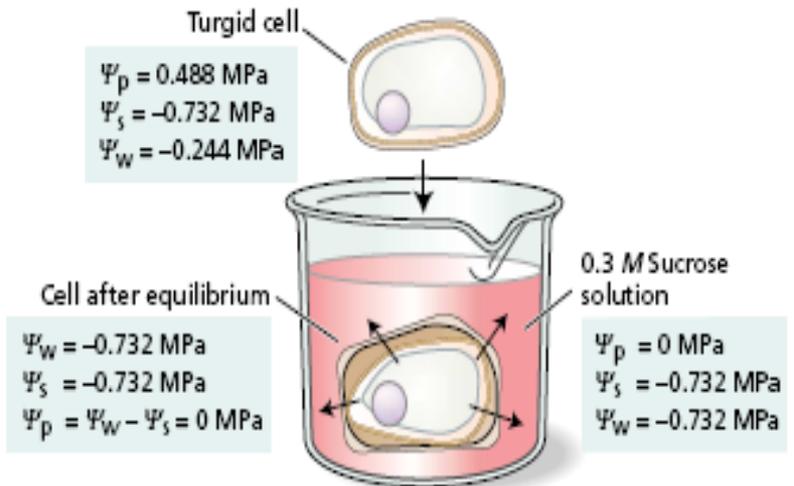
(B) Solution containing 0.1 M sucrose



(C) Flaccid cell dropped into sucrose solution



(D) Concentration of sucrose increased



Sistemas Coloidales

- **Soluciones** moléculas disueltas en un líquido
- **Sist. Coloidales** partículas dispersas en un medio

Así tenemos que el humo es un sólido disperso en un gas

La niebla es un líquido disperso en un gas.

Sistema Coloidal Hidrofílico; partículas dispersas con afinidad en el agua.

A nivel celular tenemos, proteínas, sustancias pépticas (laminilla media), celulosa y hemicelulosa (pared celular), etc.

Todas son MICELAS cargadas donde se adhiere el agua por puente de H.

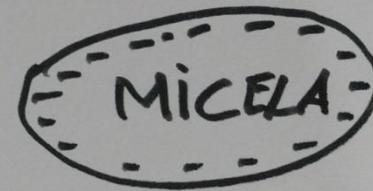
Sistema coloidal en estado de Sol (se desplaza en un plano inclinado).

Sistema coloidal en estado de Gel (no se desplaza en un plano inclinado)

Citoplasma: Sistema coloidal Hidrofílico en estado de Sol, Gel y Soluciones.

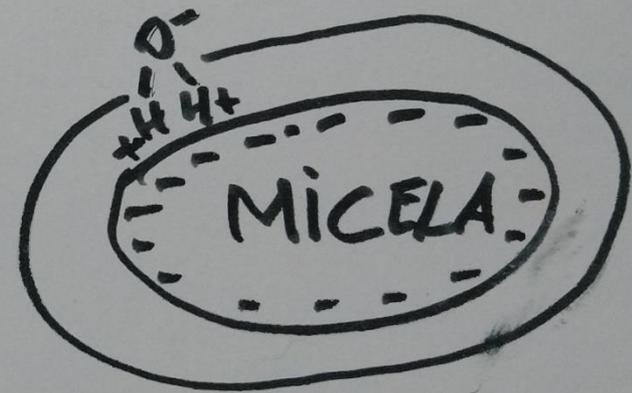
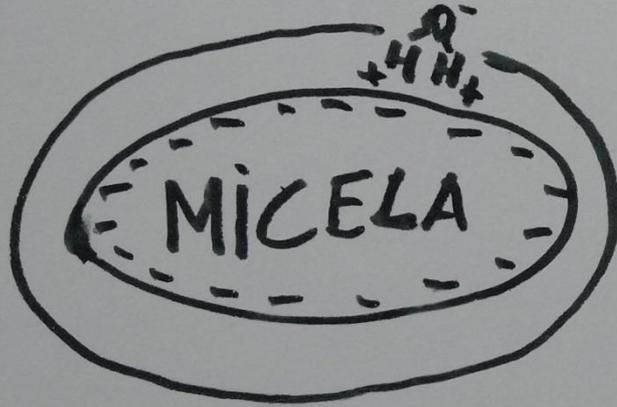
Pared Celular y Laminilla media: Sistema coloidal Hidrofílico en estado Gel y Soluciones

Suelo como Sistema Coloidal



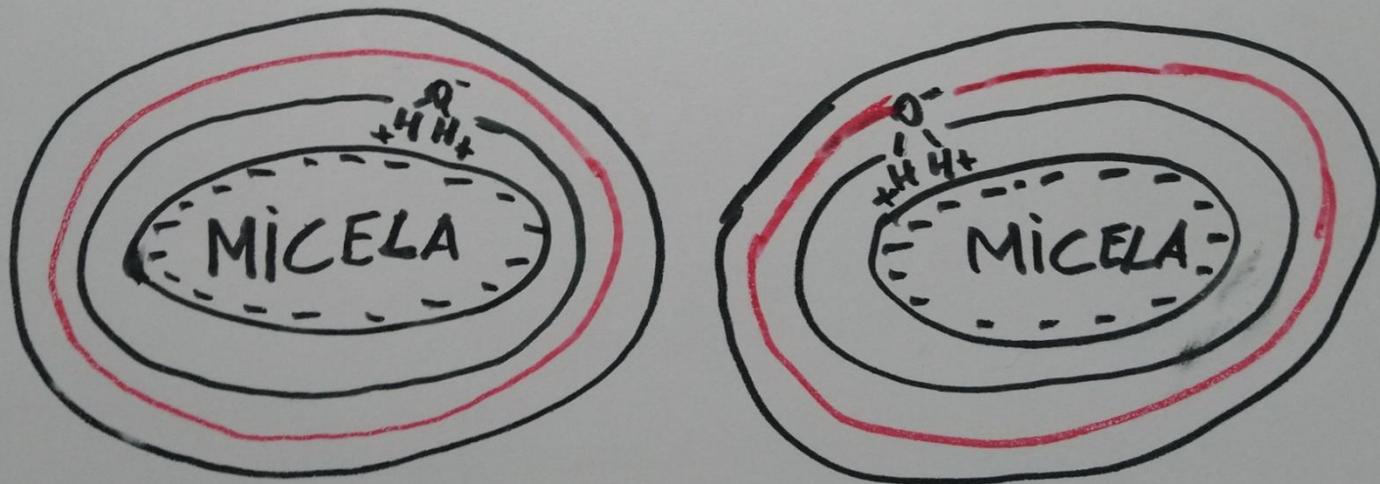
CENIZA VOLCÁNICA
MICELA CARGADA ---

Agua retenida sin Energía Libre, hieloide



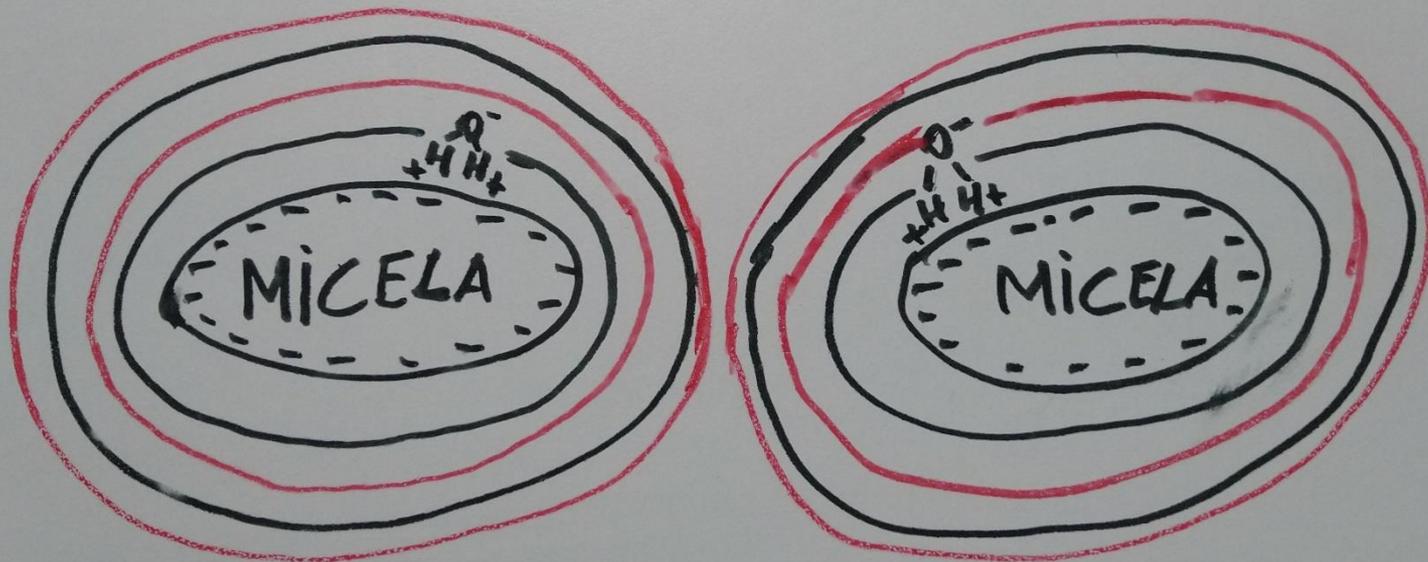
Las primeras capas de H_2O quedan retenidas con mucha fuerza

Agua retenida pero con Energía Libre



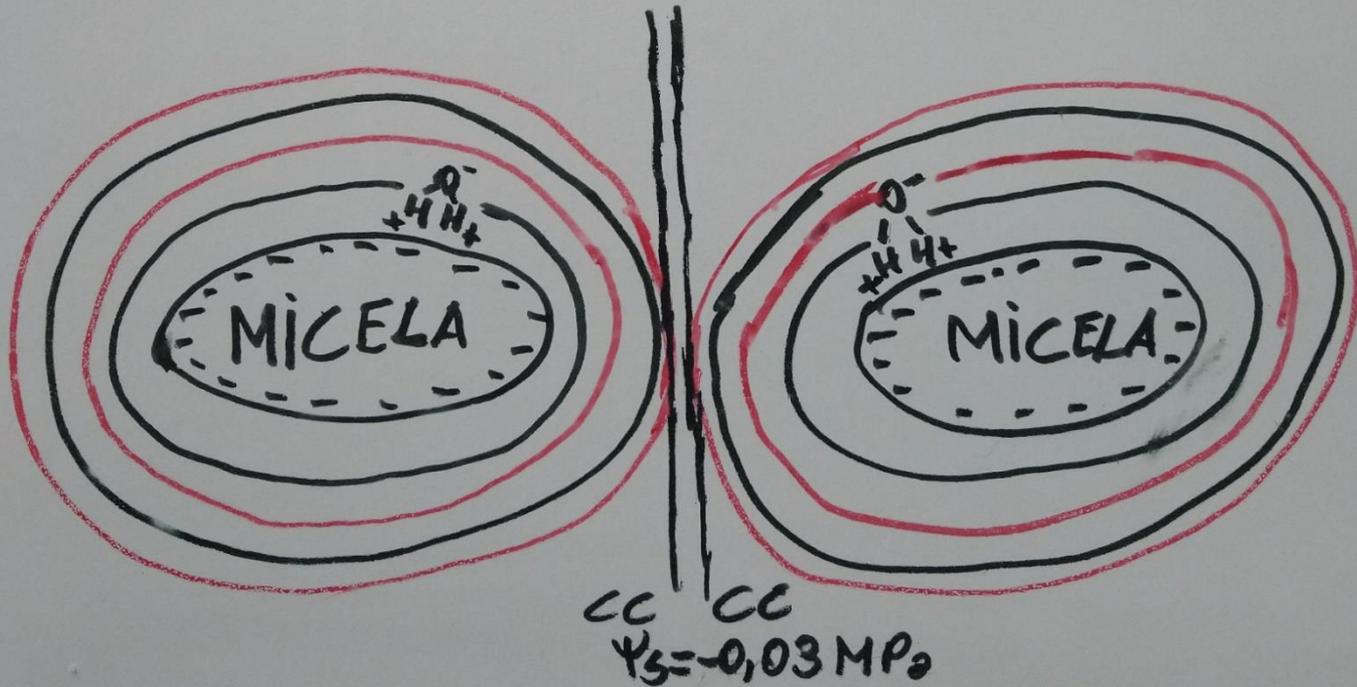
Las otras capas quedan retenidas con menor fuerza.

Se lixivia el agua gravitacional



Las micelas retienen hasta que la fuerza de la gravedad se lleve el H_2O gravitacional.

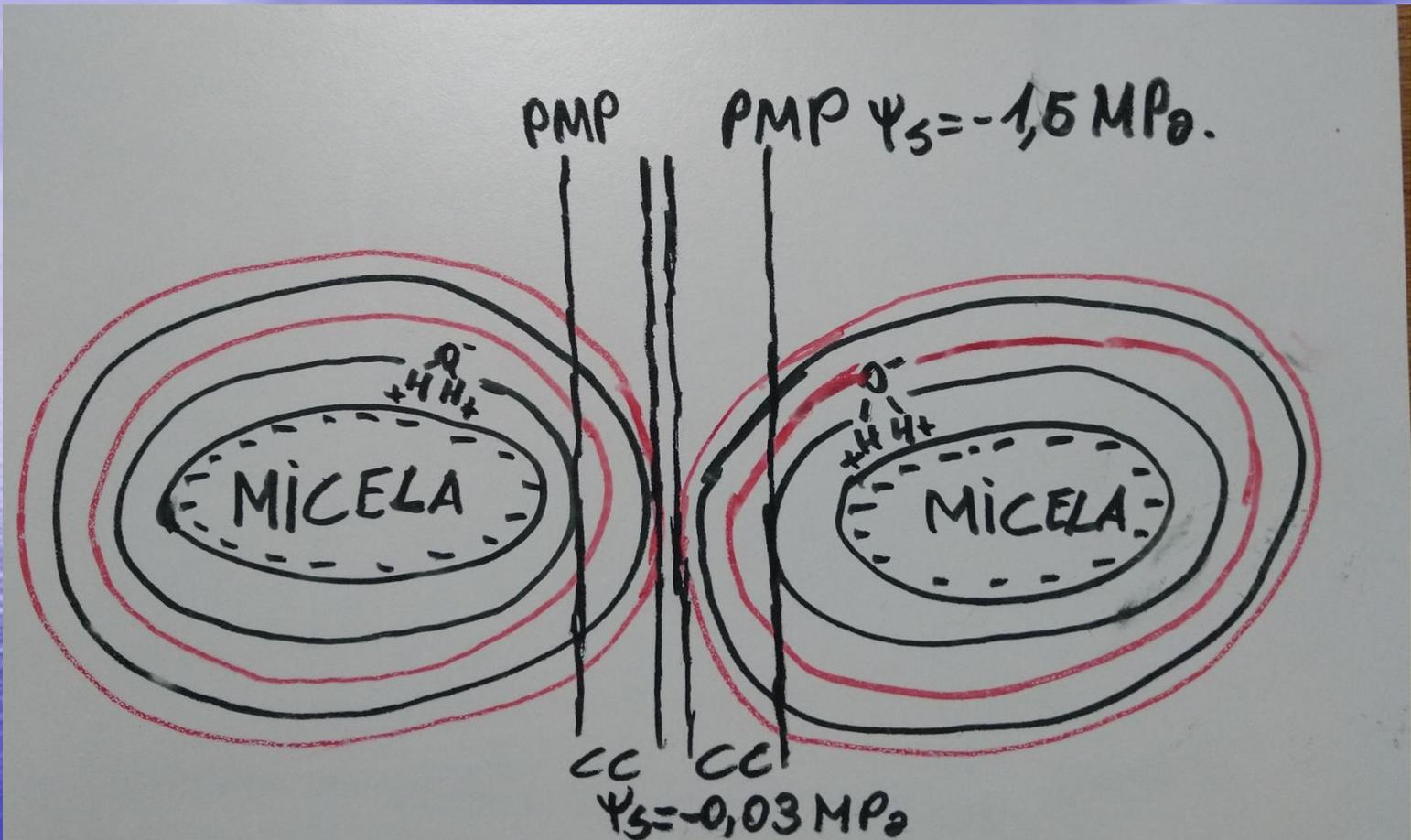
Capacidad de Campo CC



Cuando el suelo no puede retener más H_2O se encuentra a Capacidad de Campo (CC).

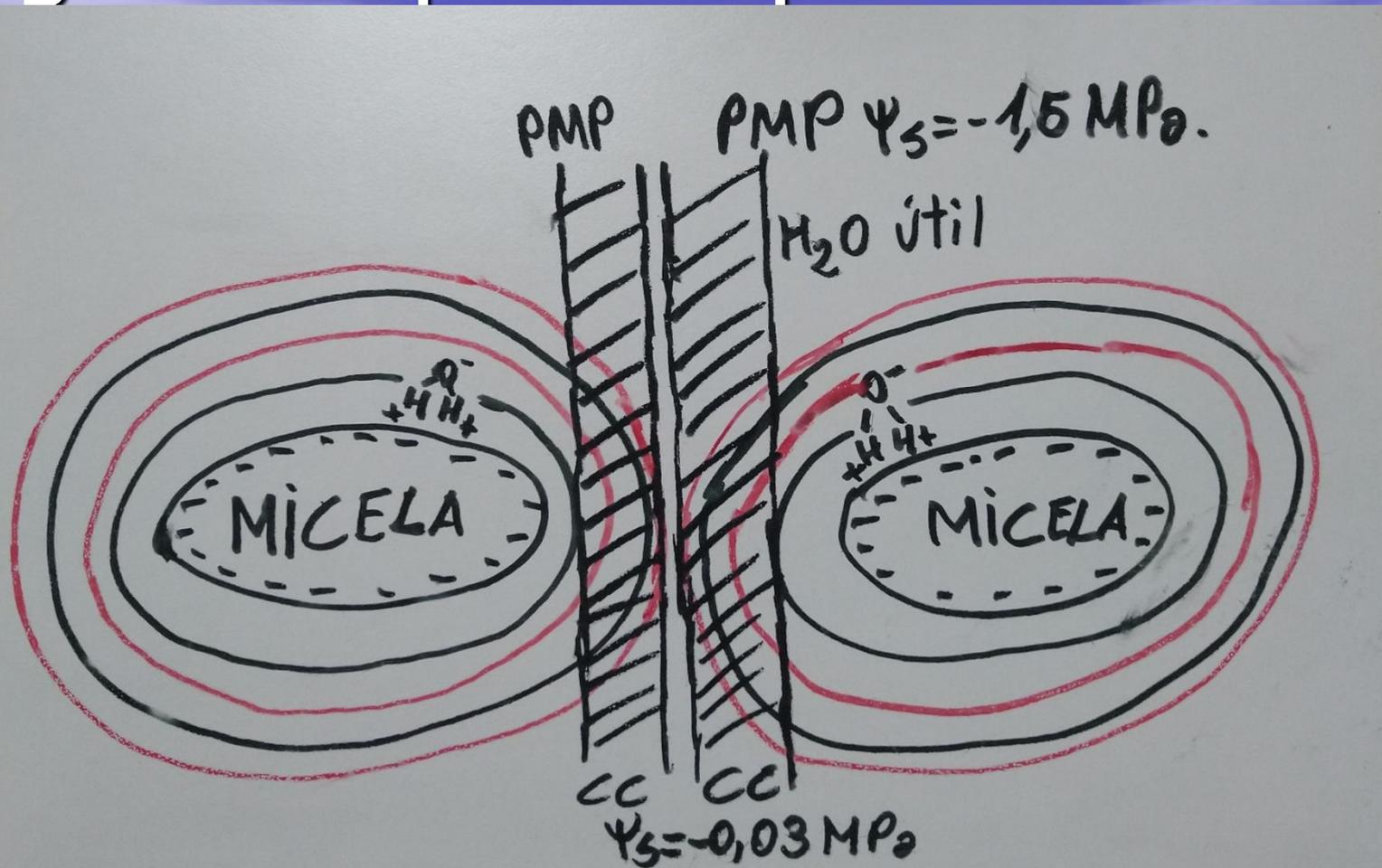
El $\Psi_s = -0,03 \text{ MPa}$

Punto de Marchitez Permanente PMP



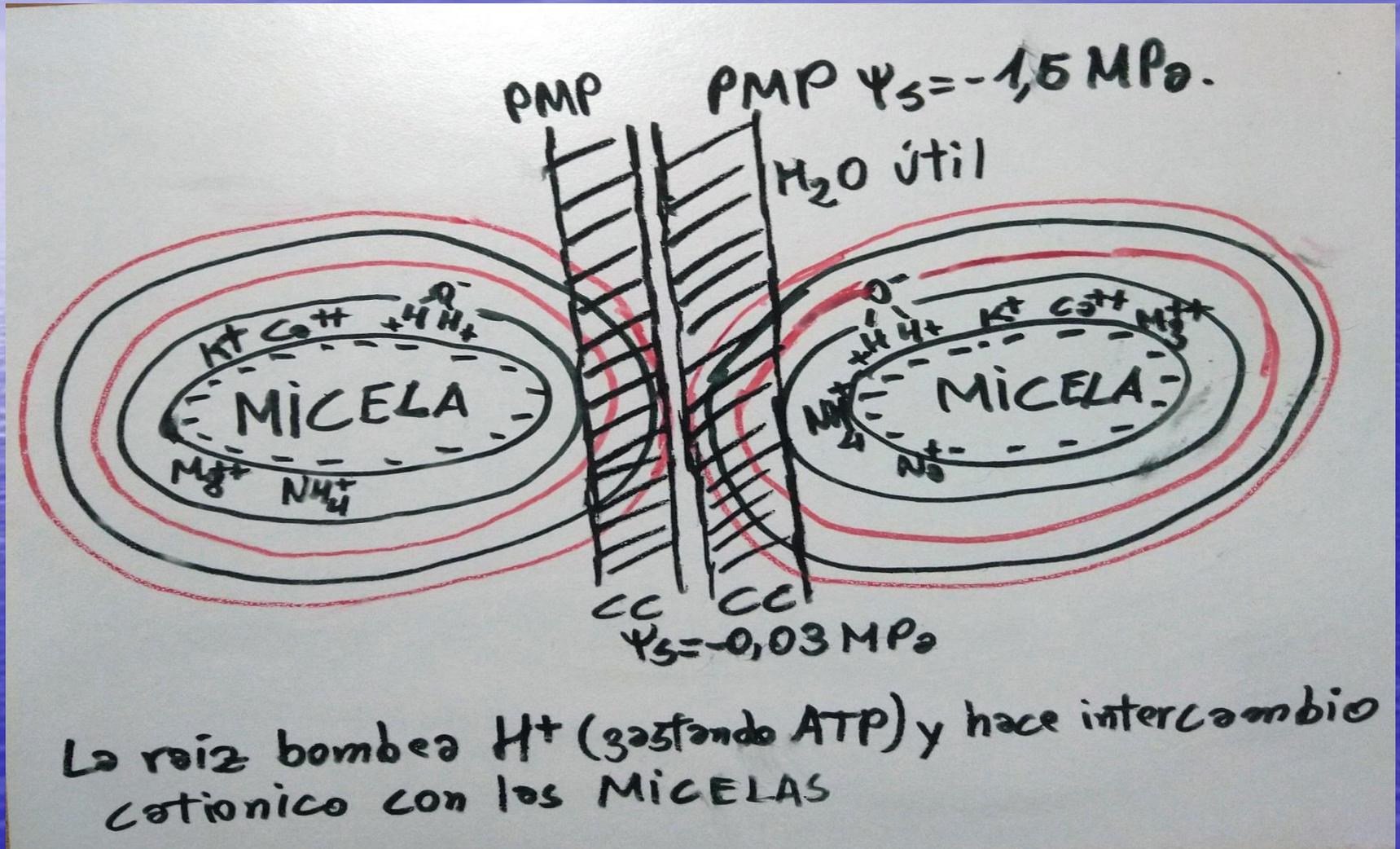
La raíz puede absorber H_2O hasta que las micelas retienen el H_2O con un $\psi_s = -1,5 \text{ MPa}$; Punto de Marchitez Permanente PMP.

Agua Útil para la planta

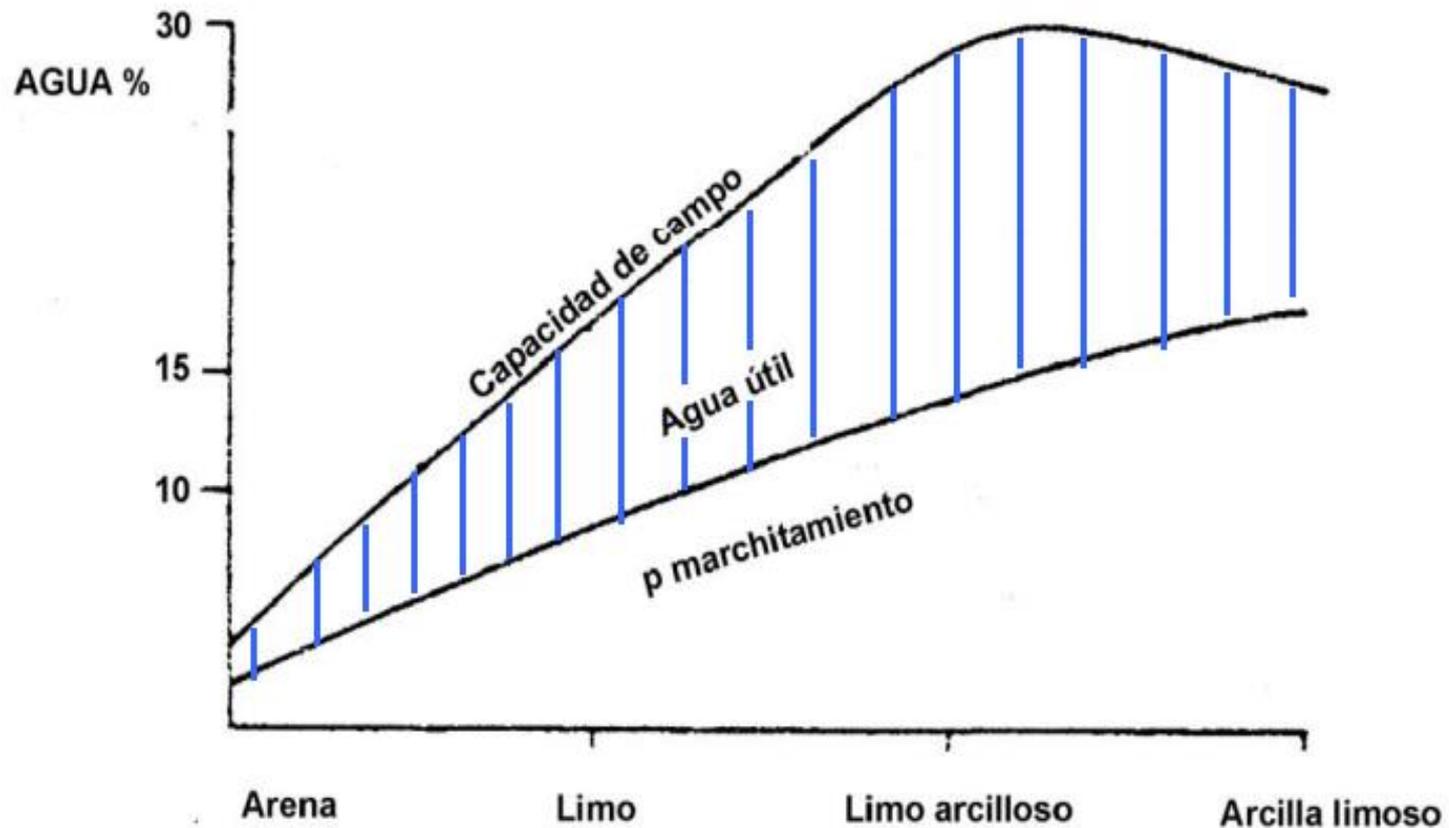


La diferencia entre CC y PMP es el H₂O útil para la Planta.

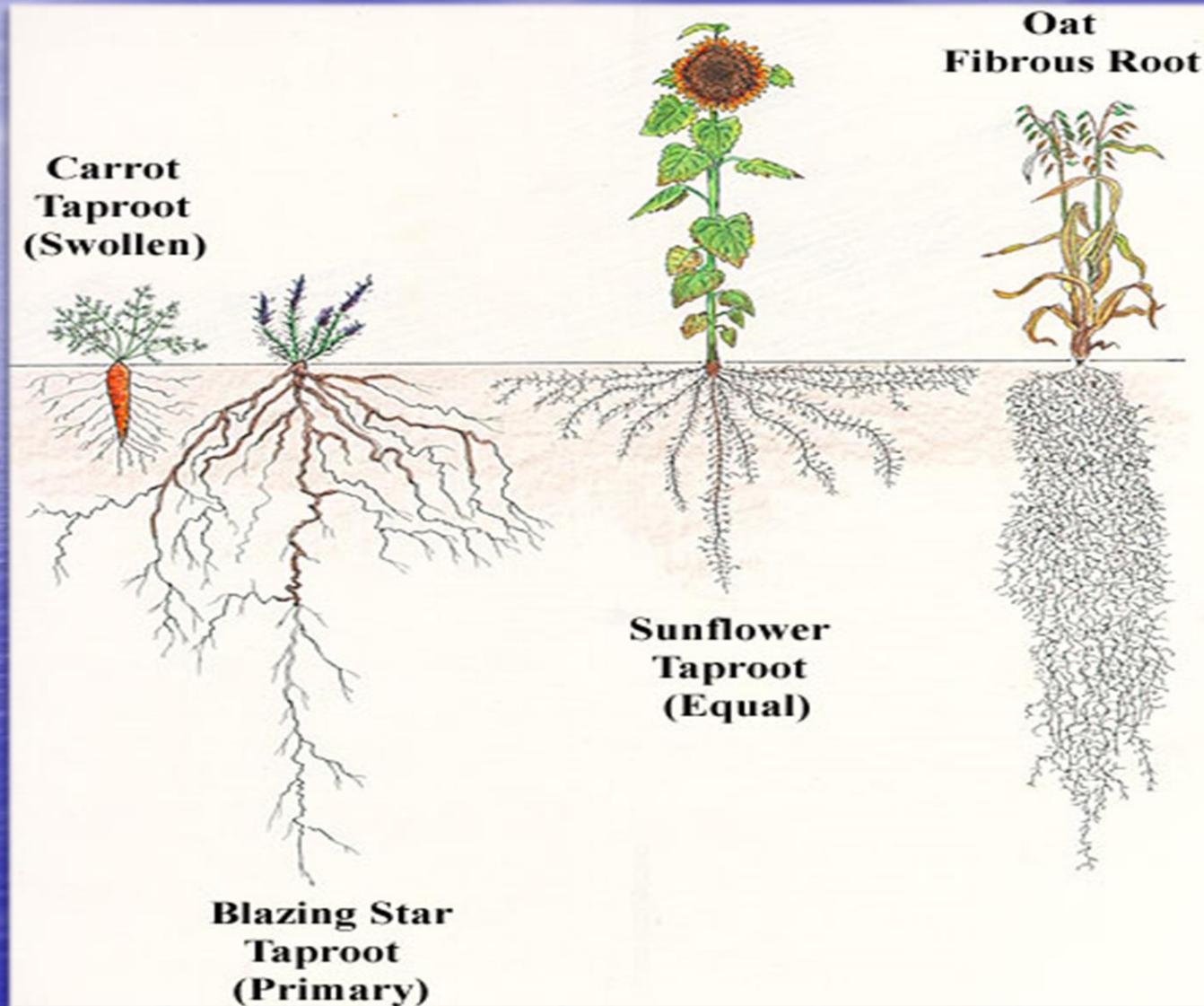
Absorción de agua y nutrientes minerales

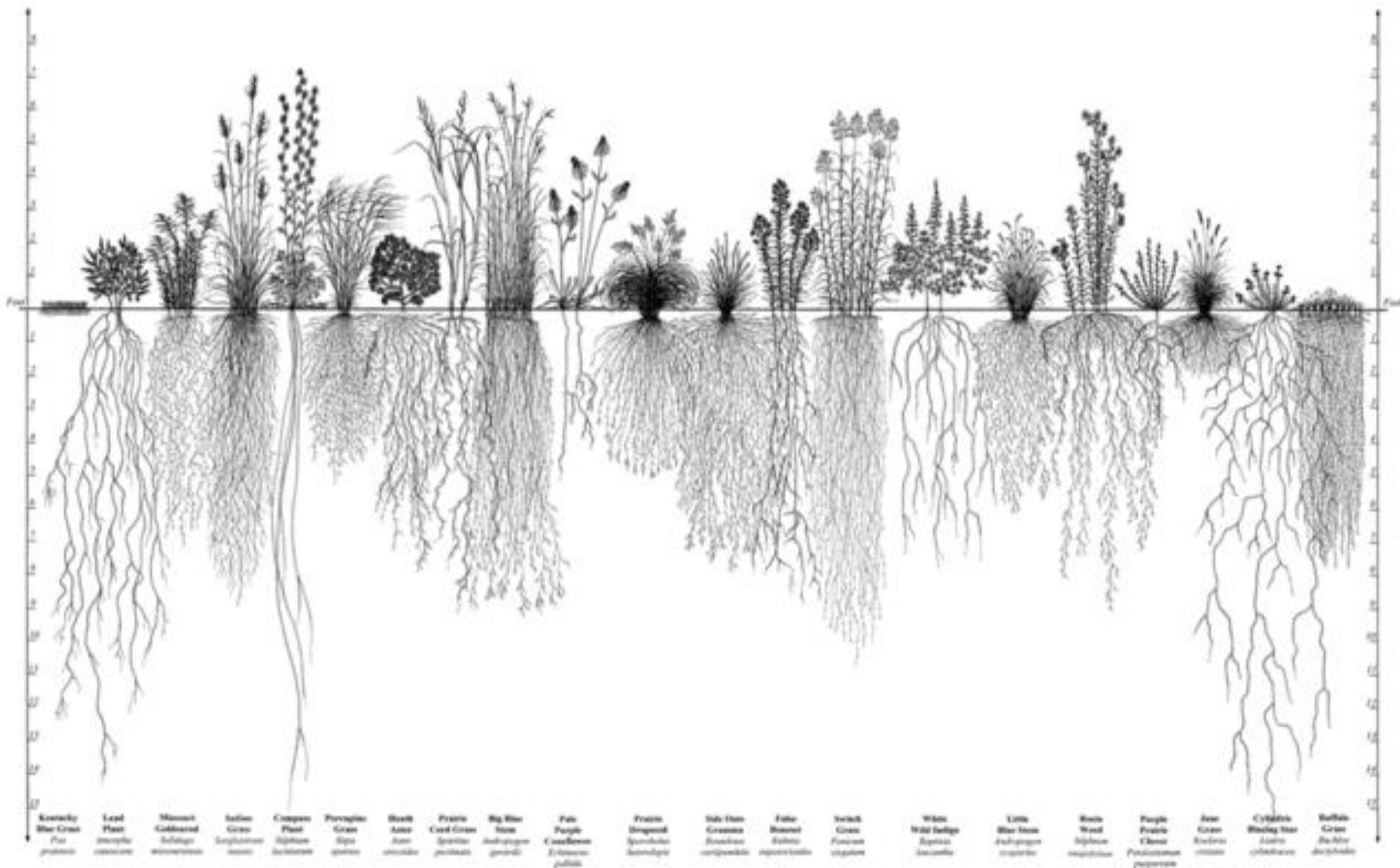


Agua útil: agua entre capacidad de campo y el punto de marchitez permanente



Diferentes sistemas radicales

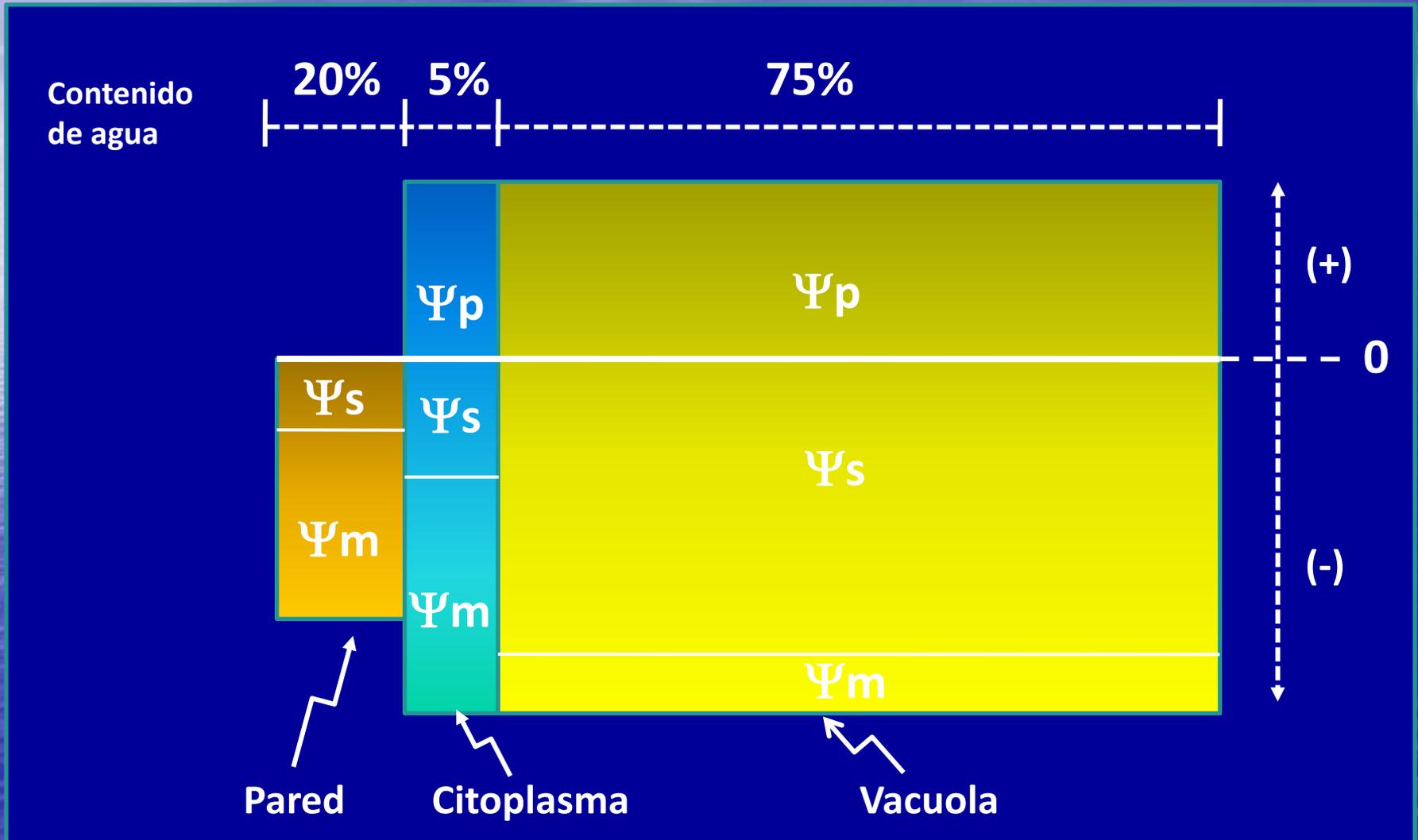




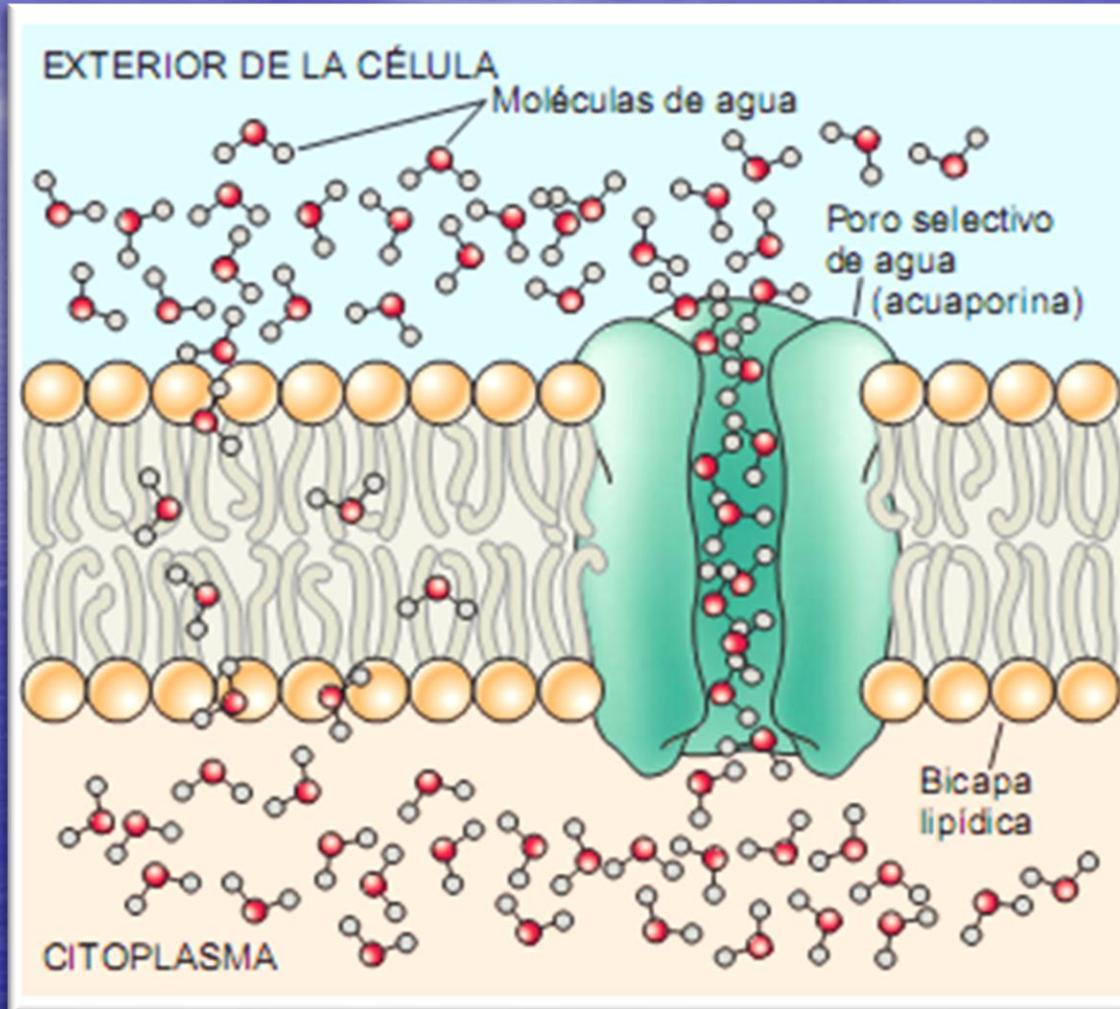
Root Systems of Prairie Plants

Living Habitats

COMPONENTES DEL POTENCIAL AGUA (Ψ_{H_2O}) : PARED, CITOPLASMA Y VACUOLA DE UNA CELULA VEGETAL MADURA.

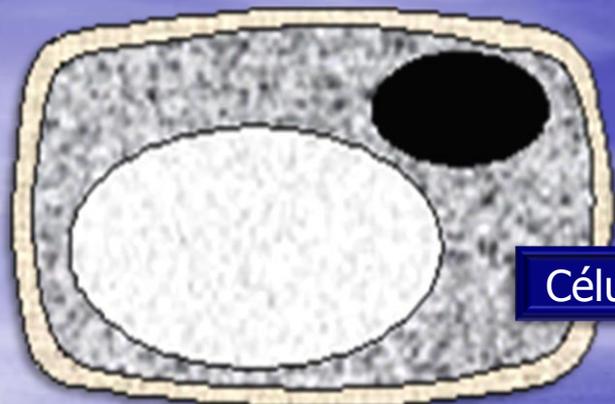


Acuoporinas

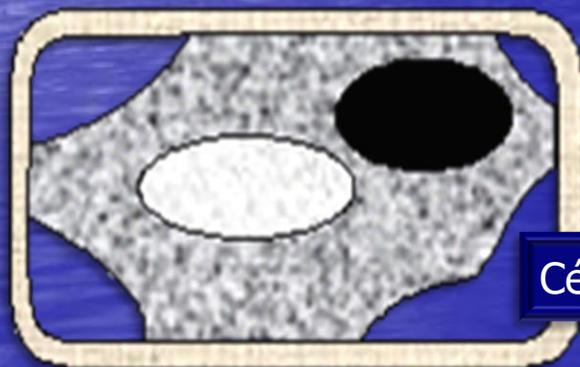
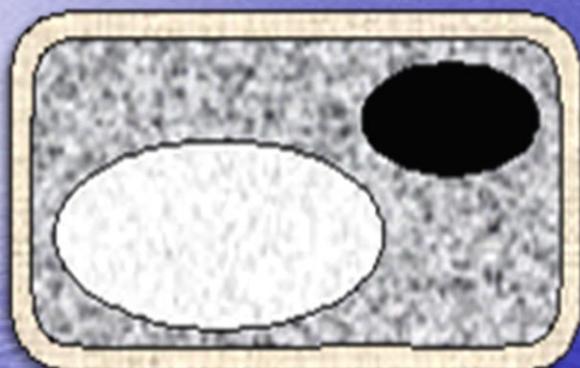


El agua penetra libremente paredes y membranas celulares por simple difusión, pasando espontáneamente desde regiones de mayor potencial de agua a regiones de menor potencial de agua a este movimiento en el cual están involucradas membranas se conoce como ósmosis.

El **PARADIGMA** actual para atravesar las membranas hace intervenir a las acuoporinas, las cuales son canales que para estar abiertos tienen que estar fosforilados.



Célula turgente

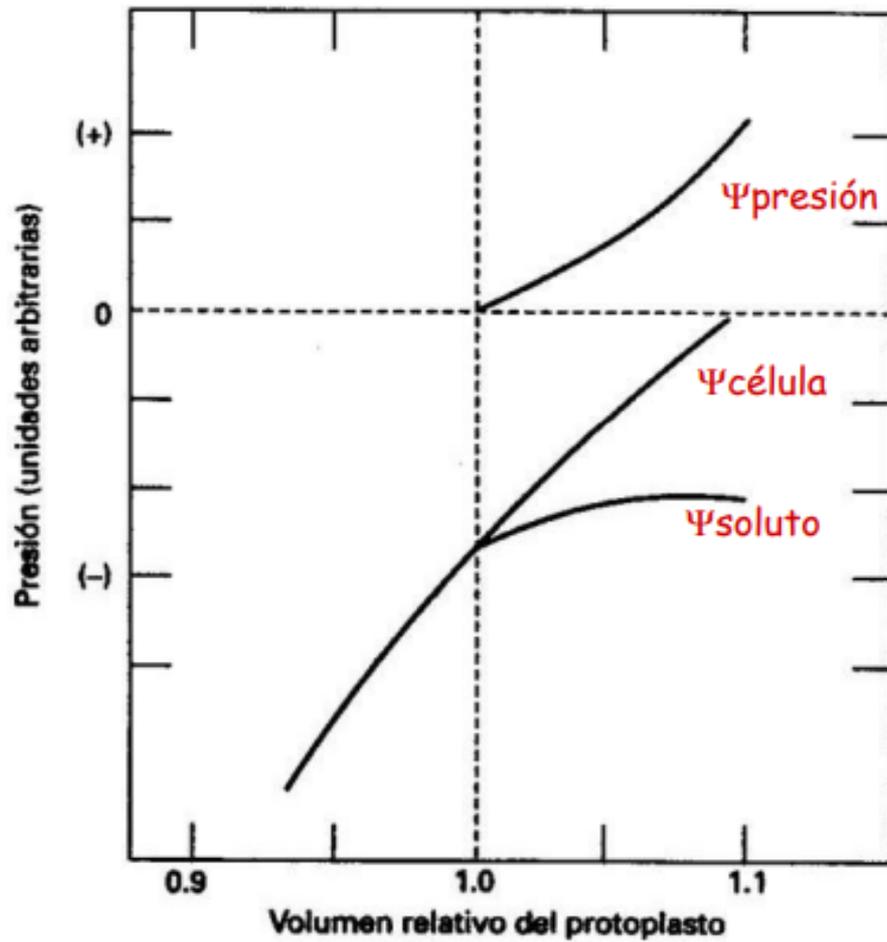


Célula plasmolizada

MPa

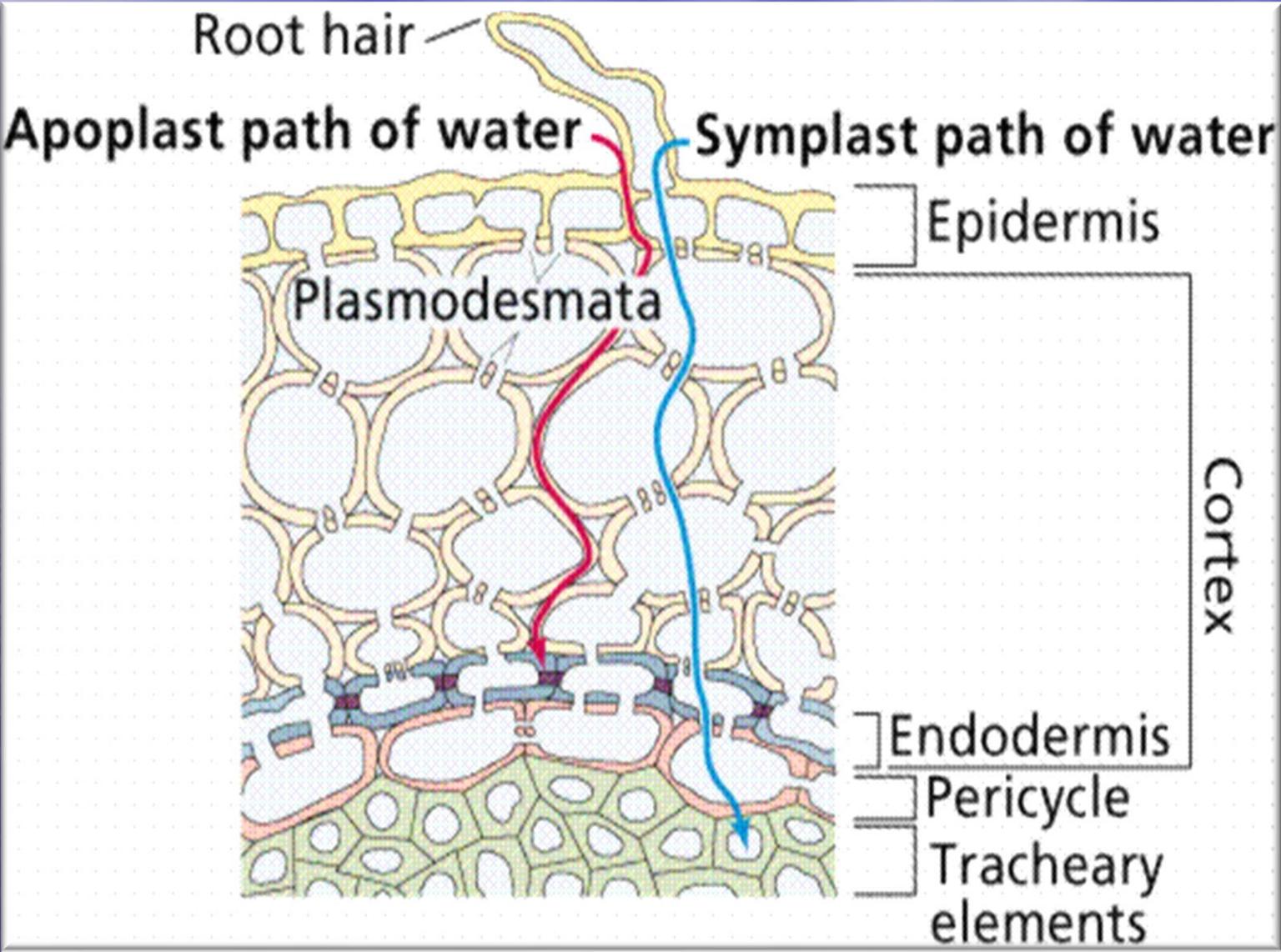
$$\begin{aligned} \Psi_{sol} &= \Psi_c = \Psi_s + \Psi_p \\ 0,0 &= 0 = -1,4 + 1,4 \\ -0,5 &= -0,5 = -1,5 + 1,0 \\ -2,5 &= -2,5 = -2,5 + 0,0 \end{aligned}$$

DIAGRAMA DE HÖFLER



- 1) Qué representa este diagrama?
- 2) Qué representa cada una de estas curvas?
- 3) Indique el estado de una célula vegetal cuando el volumen relativo del protoplasto es menor a <1 , 1 y >1 .

Apoplasto - Simplasto



PRESIÓN RADICAL. GUTACIÓN



GUTACIÓN

Se puede definir como:

“Perdida de H₂O en forma líquida por las plantas, haciéndolo a través de los hidatodos”

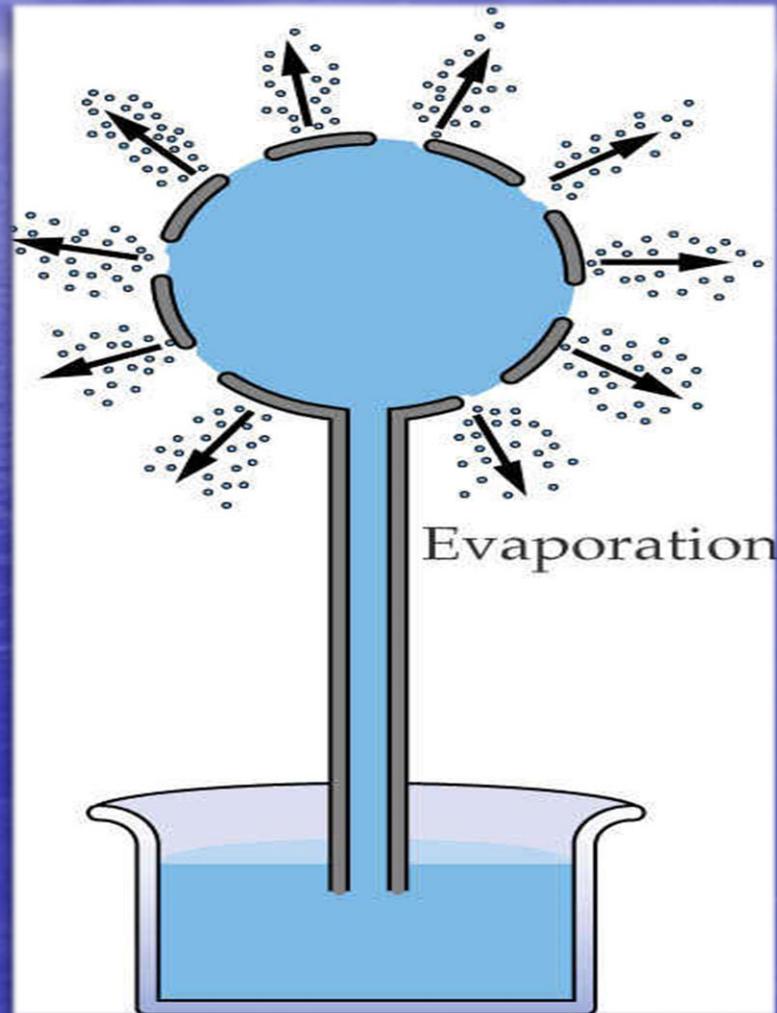
Motivada por la **Presión Radical** al absorber en forma activa (**consumiendo ATP**) elementos esenciales

SUELO	PELO RADICAL	CORTEZA	XILEMA
$\psi = \psi_s + \psi_m$	$\psi = \psi_s + \psi_p$	$\psi = \psi_s + \psi_p$	$\psi = \psi_s$
$\psi = - 0,02 - 0,03$	$\psi = -1,1 + 1,0$	$\psi = - 1,15 + 1,0$	$\psi = - 0,2$
$\psi = - 0,05 \text{ MPa}$	$\psi = - 0,1 \text{ MPa}$	$\psi = - 0,15 \text{ MPa}$	$\psi = - 0,2 \text{ MPa}$

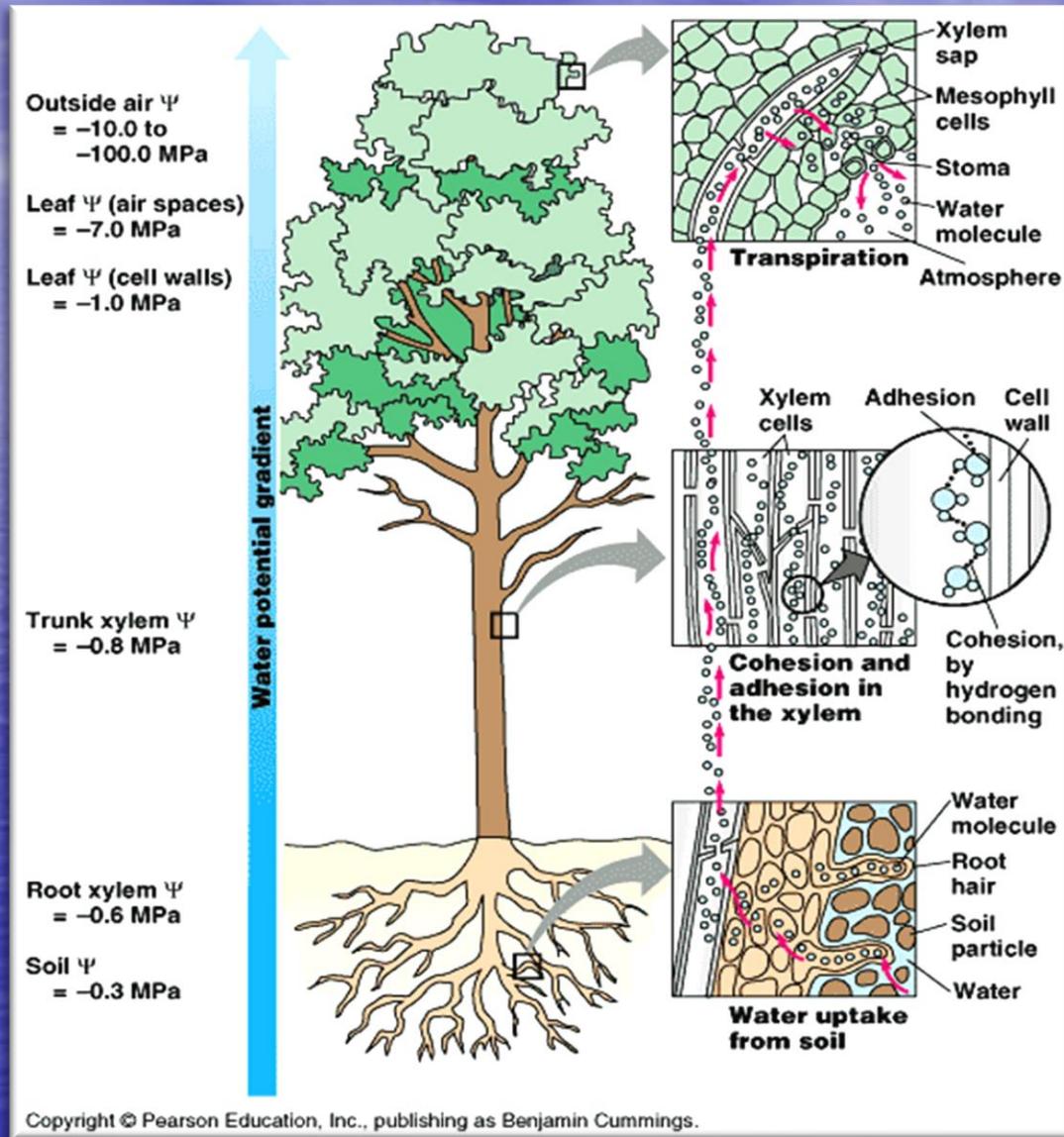
=====>Movimiento del agua <=====>



TEORÍA TENSO-COHESO-TRANSPIRATORIA MOVIMIENTO DEL AGUA. EVAPORACIÓN.



Movimiento del Agua en la Planta



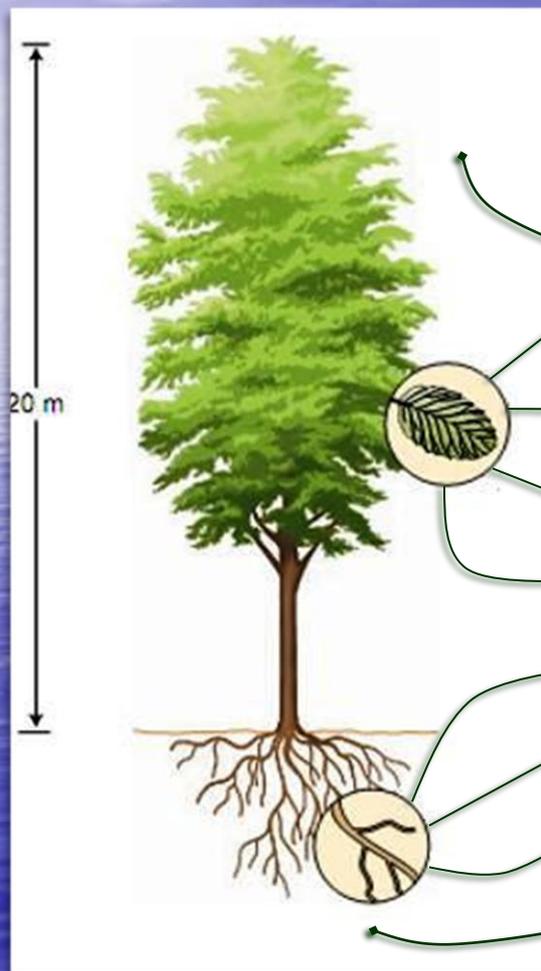
Teoría tenso-coheso-transpiratoria

SUELO	PELO RADICAL	CORTEZA	XILEMA
$\psi = \psi_s + \psi_m$	$\psi = \psi_s + \psi_p$	$\psi = \psi_s + \psi_p$	$\psi = \psi_s + \psi_t$
$\psi = -0,02 - 0,03$	$\psi = -1,1 + 1,0$	$\psi = -1,15 + 1,0$	$\psi = -0,1 - 0,6$
$\psi = -0,05 \text{ MPa}$	$\psi = -0,1 \text{ MPa}$	$\psi = -0,15 \text{ MPa}$	$\psi = -0,7 \text{ MPa}$
===== Movimiento del agua =====>			

Este proceso de absorción de agua se denomina **pasivo**

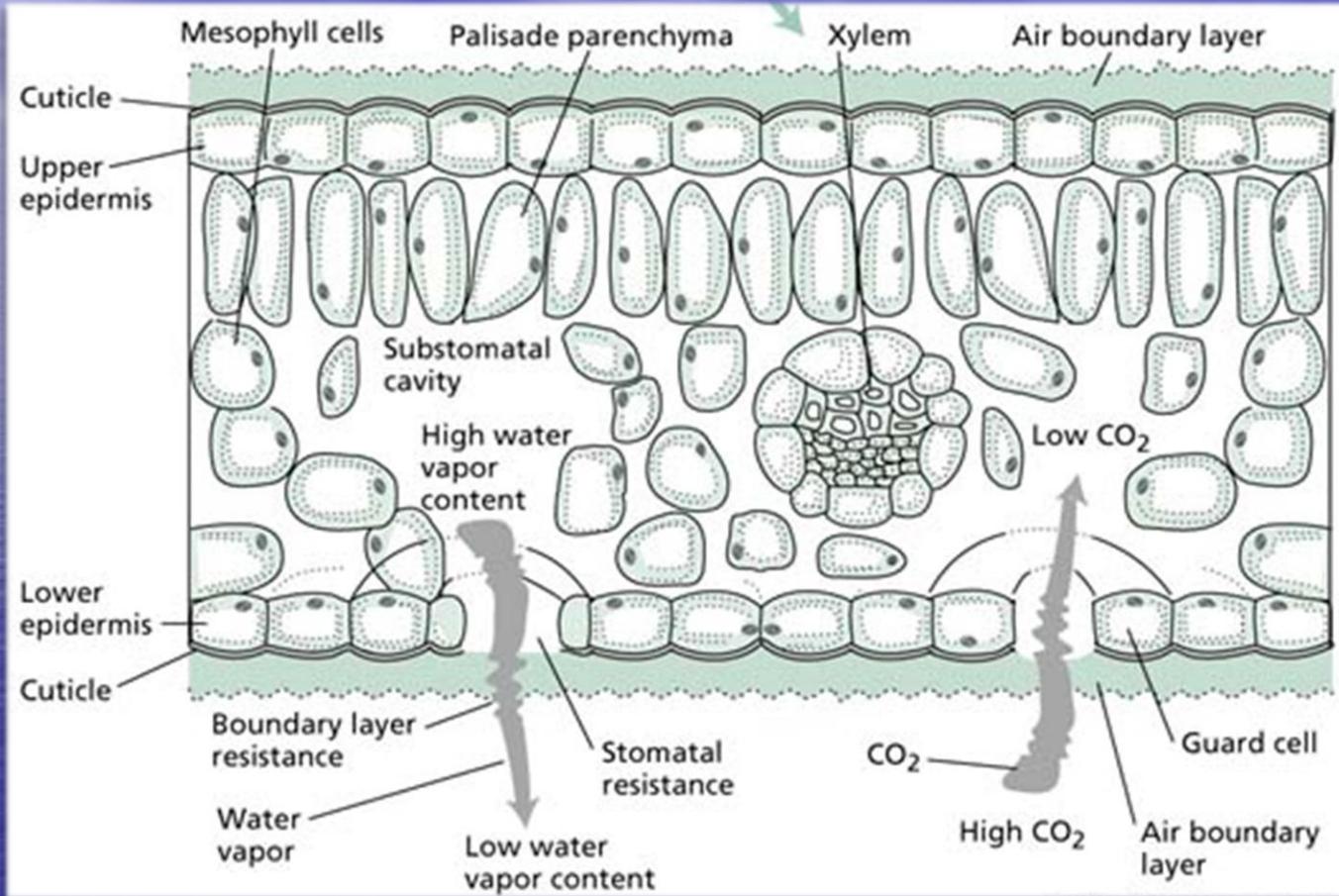
$$\begin{aligned}
 \text{Diferencia entre } \psi_{\text{suelo}} \text{ y } \psi_{\text{xilema}} &= -0,7 \text{ MPa} - (-0,05 \text{ MPa}) \\
 &= -0,65 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Diferencia de potenciales agua de una planta transpirando



Potencial hídrico y sus componentes (en Mpa)					
Localización	Potencial hídrico (Ψ_w)	Potenciales (Ψ)	Potencial osmótico (Ψ_s)	Gravedad (Ψ_g)	Potencial hídrico en la fase gaseosa ($\frac{RT}{V_w} \ln [RH]$)
Atmósfera externa (humedad relativa = 50%)	-95,2	-	-	-	-95,2
Espacio aéreo interno de la hoja	-1,1	-	-	-	-1,1
Pared celular del mesofilo (a 10 m)	-1	$-0,9\Psi_m$	-0,2	0,1	
Célula del mesofilo (a 10 m)	-0,9	$0,2\Psi_p$	-1,2	0,1	
Xilema de la hoja (a 10 m)	-0,8	$-0,8\Psi_t$	-0,1	0,1	
Xilema de la raíz (cerca de la superficie)	-0,6	$-0,5\Psi_t$	-0,1	0,0	
Célula radical (cerca de la superficie)	-0,6	$0,5\Psi_p$	-1,1	0,0	
Suelo adyacente a la raíz	-0,5	$-0,4\Psi_m$	-0,1	0,0	
Suelo a 10 mm de la raíz	-0,3	$-0,2\Psi_m$	-0,1	0,0	

Movimiento del agua en la hoja



$$E = \frac{\Psi_{w\text{hoja}} - \Psi_{w\text{aire}}}{\underline{RM} + \underline{RC} + \underline{RE} + \underline{RA}}$$

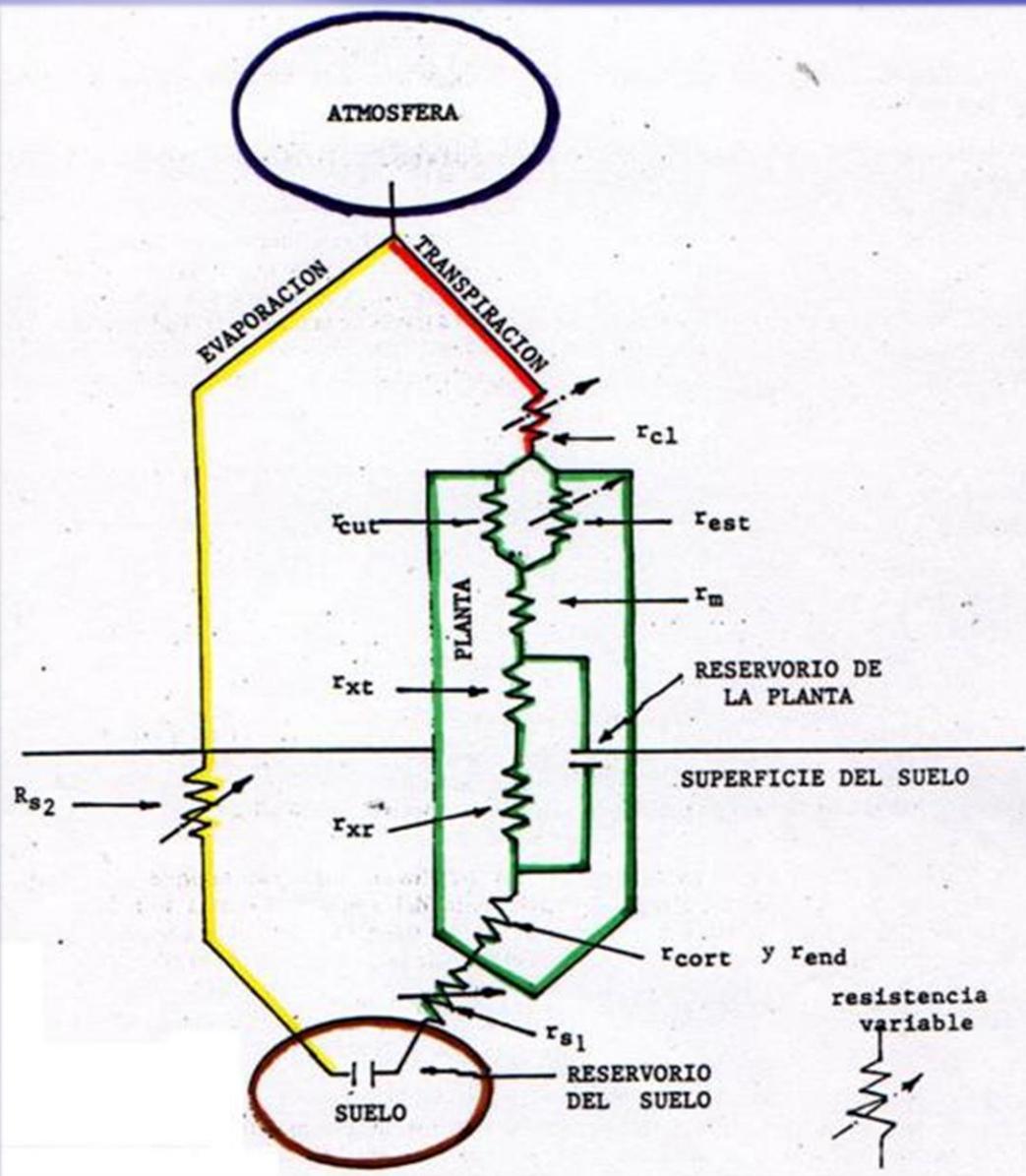
➤ CONTÍNUO SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA

➤ FLUJO = DIFERENCIAS DE ψ

- RESISTENCIAS

- RS+RR+RX+RM+RC+RE+RA

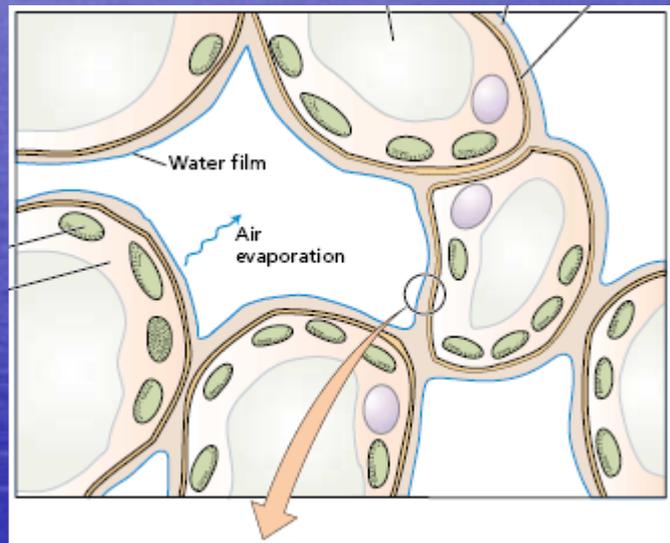
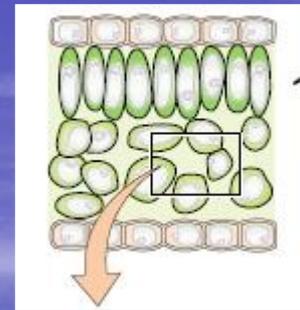
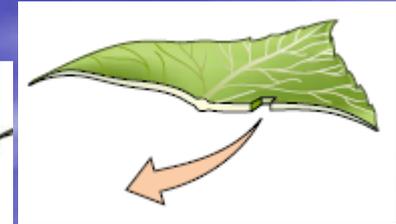
SISTEMA SUELO-PLANTA-ATMOSFERA



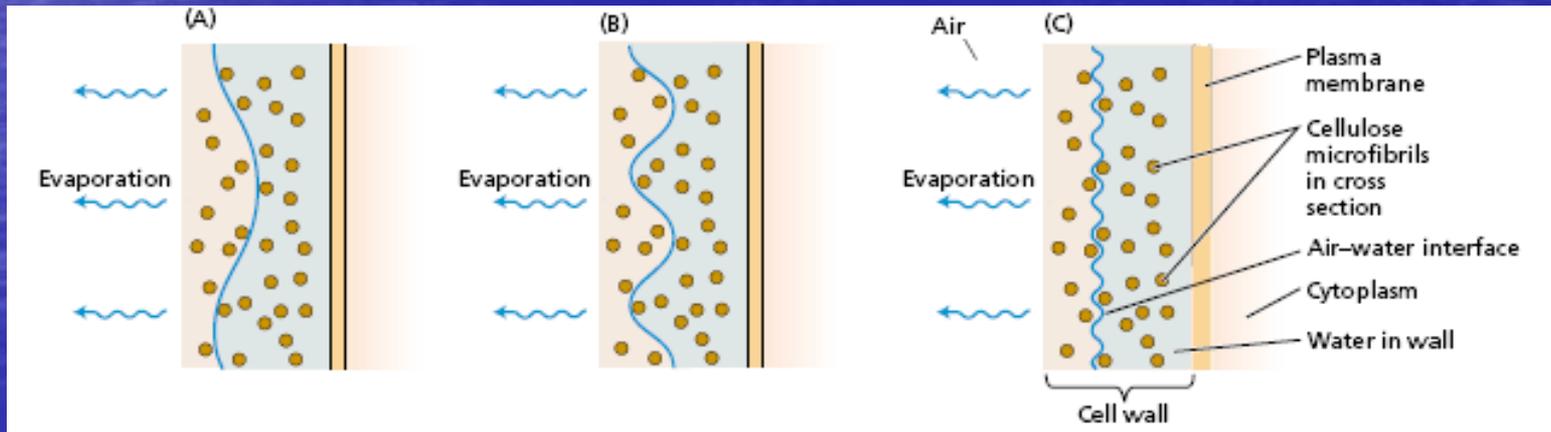
Podemos hacer una analogía entre el movimiento del agua a través del SPA con el flujo de corriente a través de un conductor.

Las resistencias que se encuentran en esta ruta:

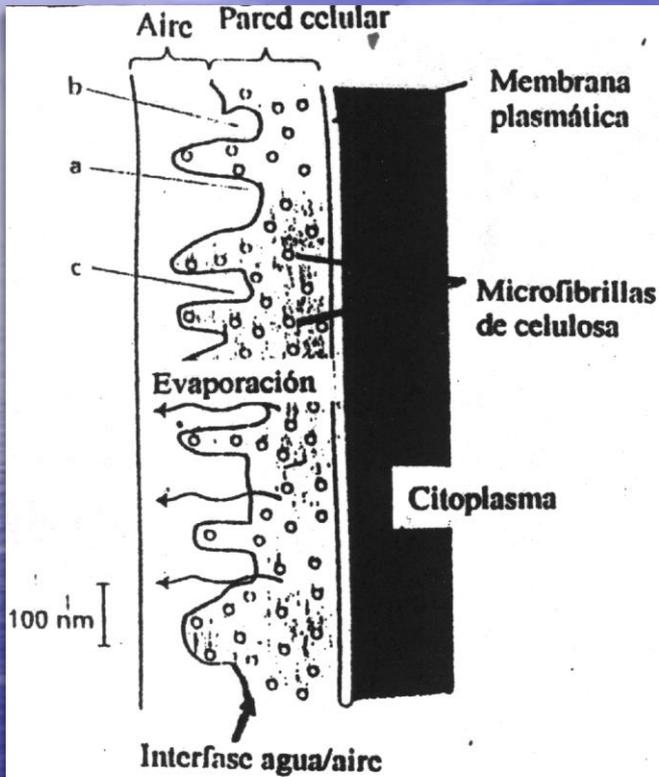
- ✓ Fijas
- ✓ Variables



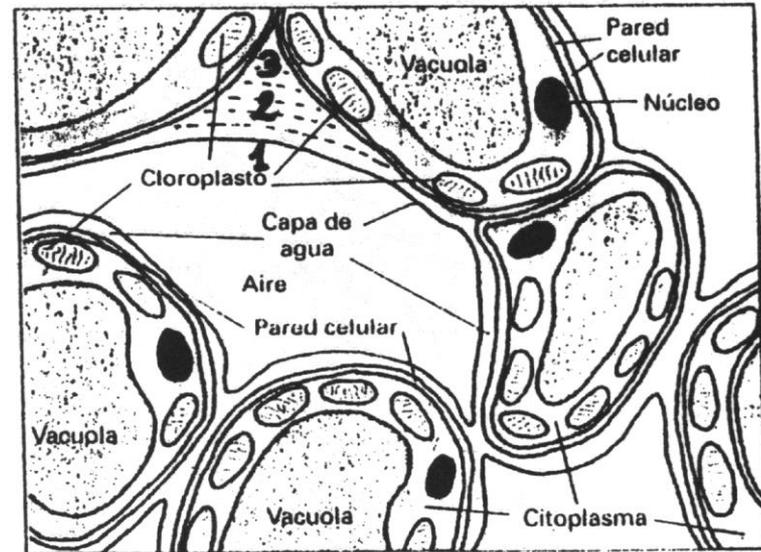
	Radius of curvature (μm)	Hydrostatic pressure (MPa)
(A)	0.5	-0.3
(B)	0.05	-3
(C)	0.01	-15



Pasaje del agua del estado líquido al gaseoso



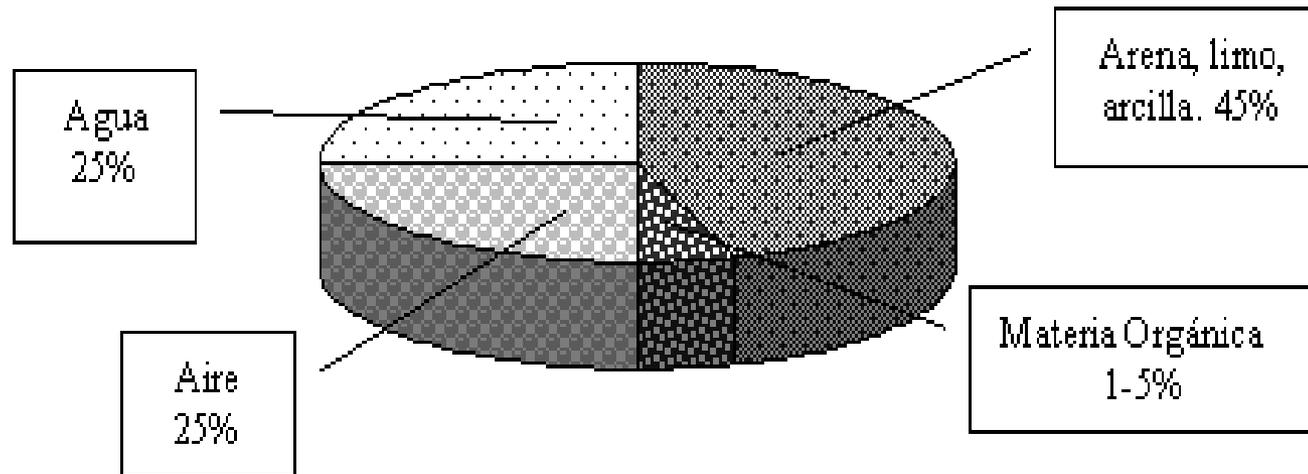
	Radio de curvatura (um)	Presión hidrostática (MPa)
(a)	0.5	-0.3
(b)	0.05	-3
(c)	0.01	-15



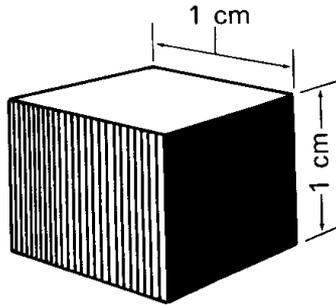
	Radio de curvatura (um)	Presión hidrostática (Mpa)
1	5	-0.03
2	0.005	-3
3	0.0005	-30

Para comprender la complejidad del funcionamiento de las plantas es necesario centrar la atención en el sistema poroso de sustento, donde se cumplen procesos físicos, químicos y biológicos .

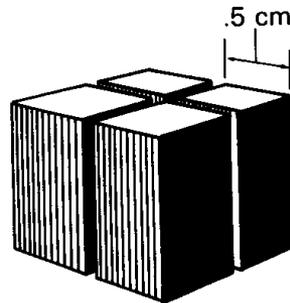
Figura 2: El espacio poroso que presentan los suelos está en parte ocupado por agua con sustancias disueltas (sales y gases) y en parte por una mezcla de diversos gases (incluido el vapor de agua) que se conoce como aire del suelo. Un ejemplo (50% espacio aéreo).



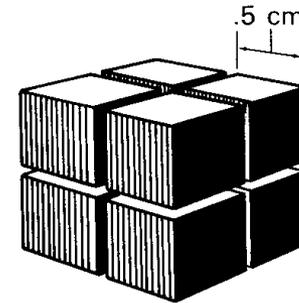
Volume = 1 cm^3
 Area = 6 cm^2



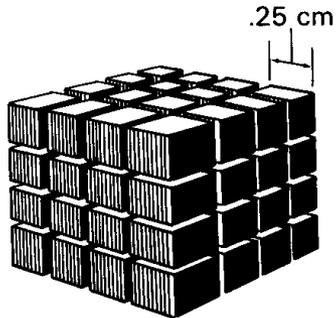
$V = 1 \text{ cm}^3$
 $A = 10 \text{ cm}^2$



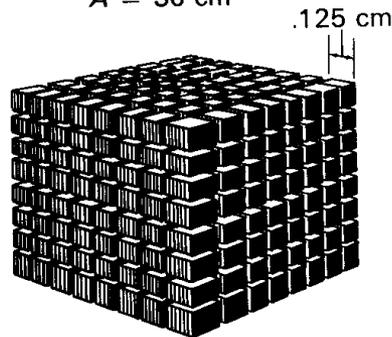
$V = 1 \text{ cm}^3$
 $A = 12 \text{ cm}^2$



$V = 1 \text{ cm}^3$
 $A = 20 \text{ cm}^2$



$V = 1 \text{ cm}^3$
 $A = 36 \text{ cm}^2$



$V = 1 \text{ cm}^3$
 $A = 600 \text{ m}^2 (6,000,000 \text{ cm}^2)$

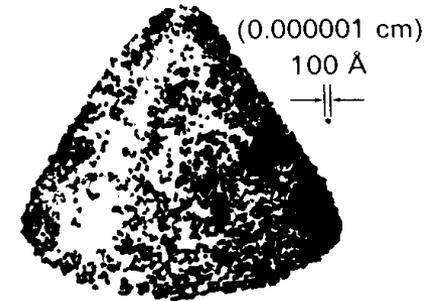


Figure 4-1

An illustration of the relationship between surface area and volume as particle size decreases.

Movimiento del agua en el suelo

$$F = -K \cdot d\Psi/dx$$

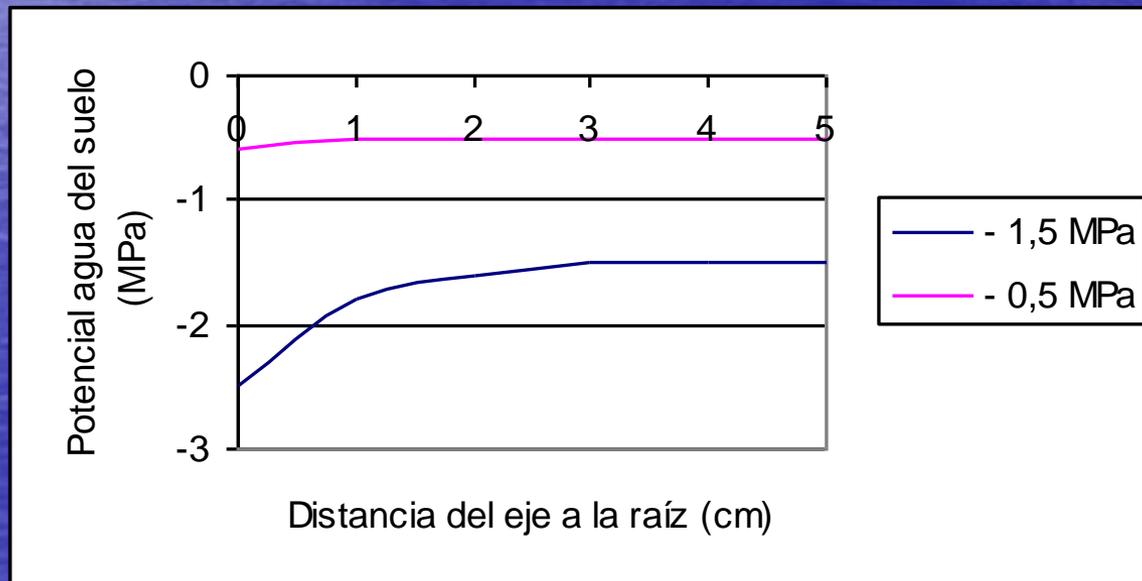
Donde: F es el flujo volumétrico, K la conductividad hidráulica del suelo y $d\Psi/dx$ el gradiente de potencial agua. Recuérdese que en la mayor parte de las circunstancias, el Ψ_s de la solución del suelo es relativamente pequeño, y el componente dominante es el Ψ_m .

En el rango de potenciales agua que corresponde al agua disponible para las plantas (-0.03 a -1.5 MPa) el Ψ disminuye en el orden de 50 veces, mientras que, en ese mismo rango, los valores de K disminuyen por lo menos 1000 veces. En consecuencia, buena parte de la reducción de absorción que se produce al desecarse el suelo es atribuible a los cambios de conductancia hidráulica del mismo.

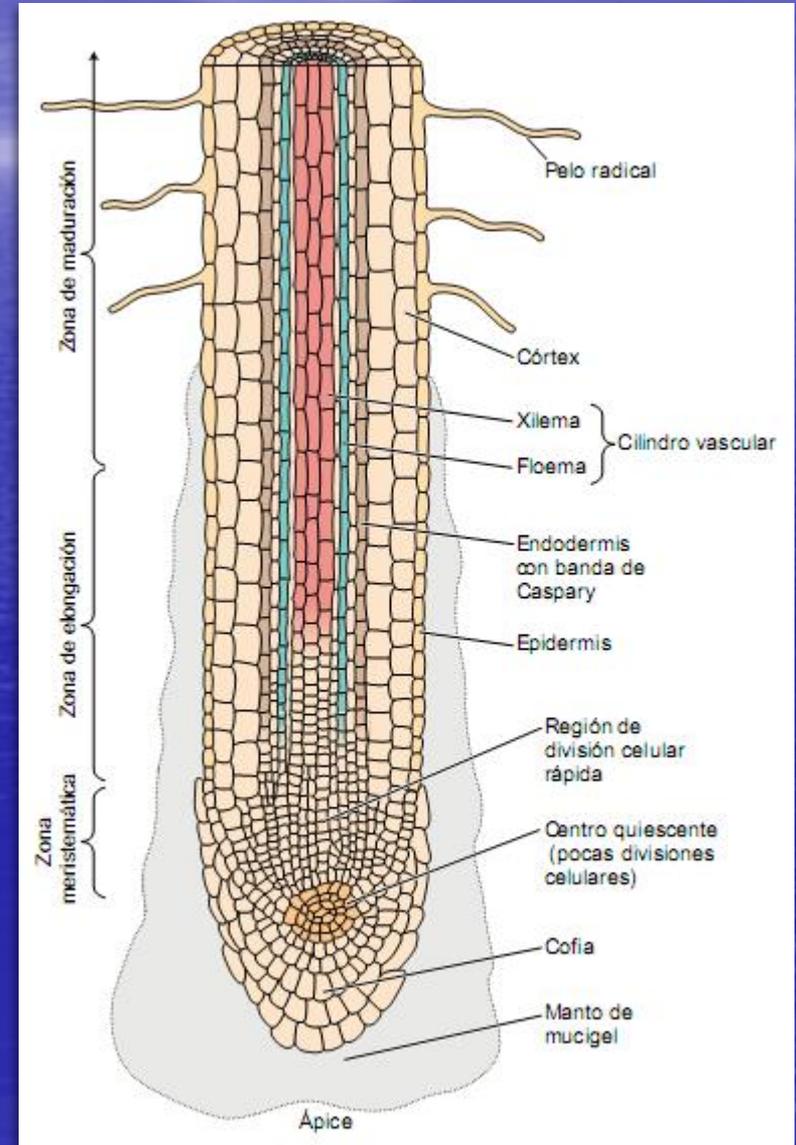
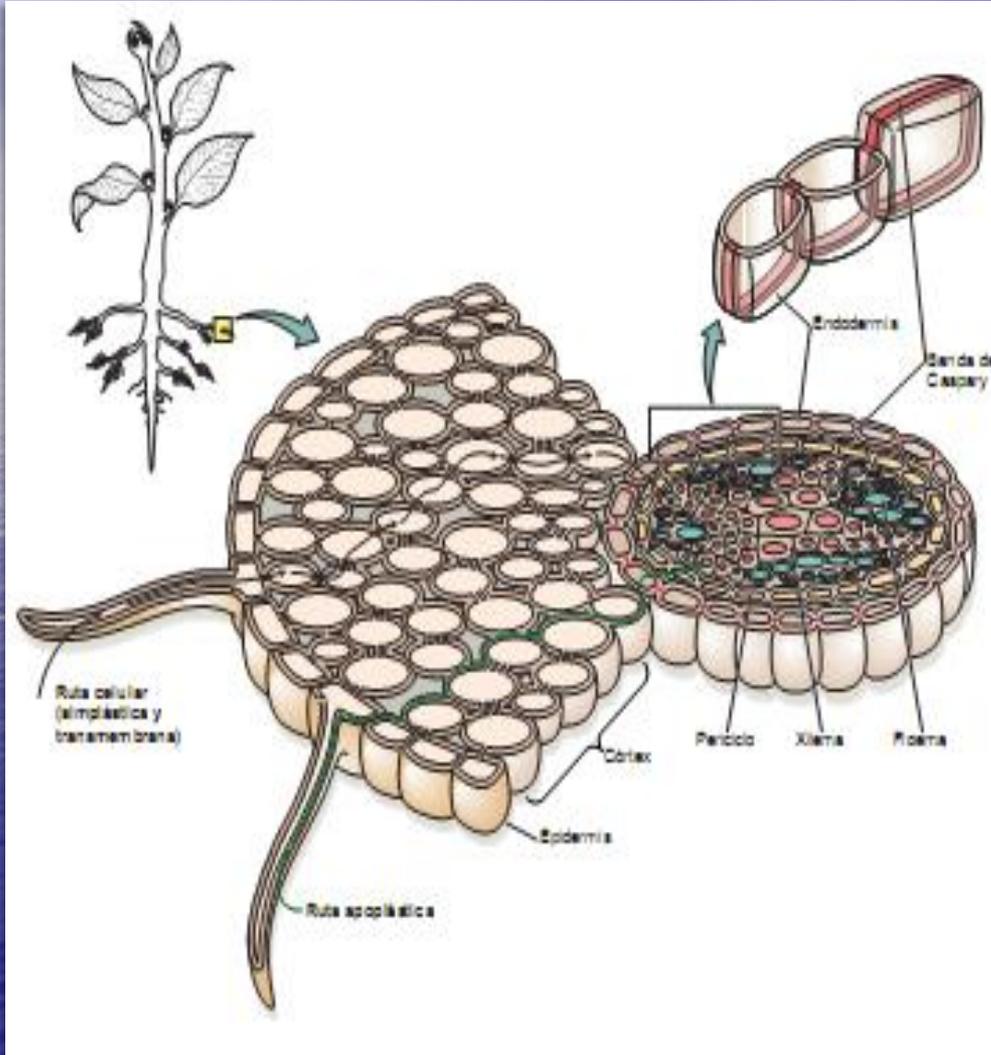
RESISTENCIA DEL SUELO

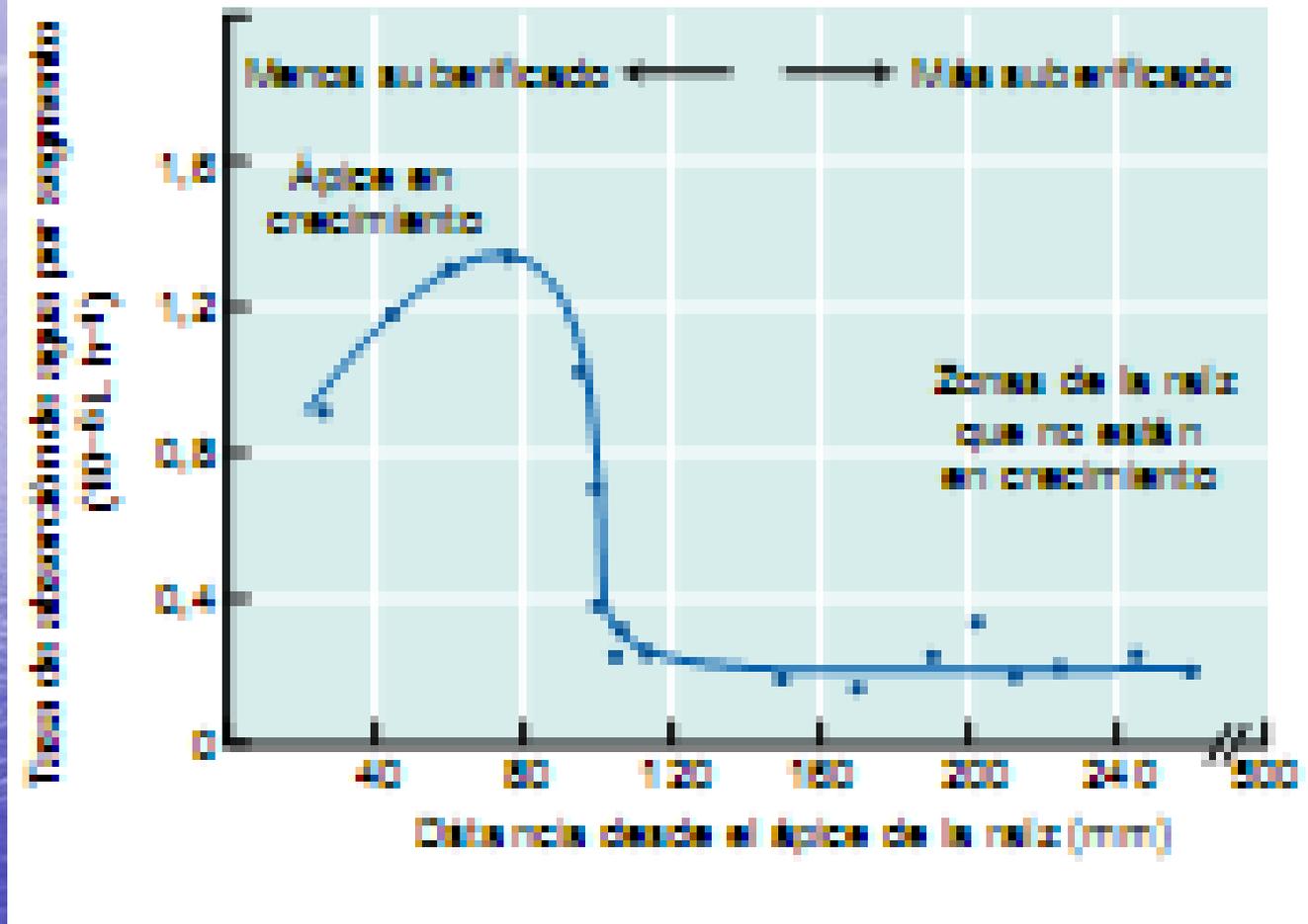
EL POTENCIAL HÍDRICO Y SUS COMPONENTES EN EL SUELO

$$\psi_{H_2O} = \psi_s + \psi_m$$

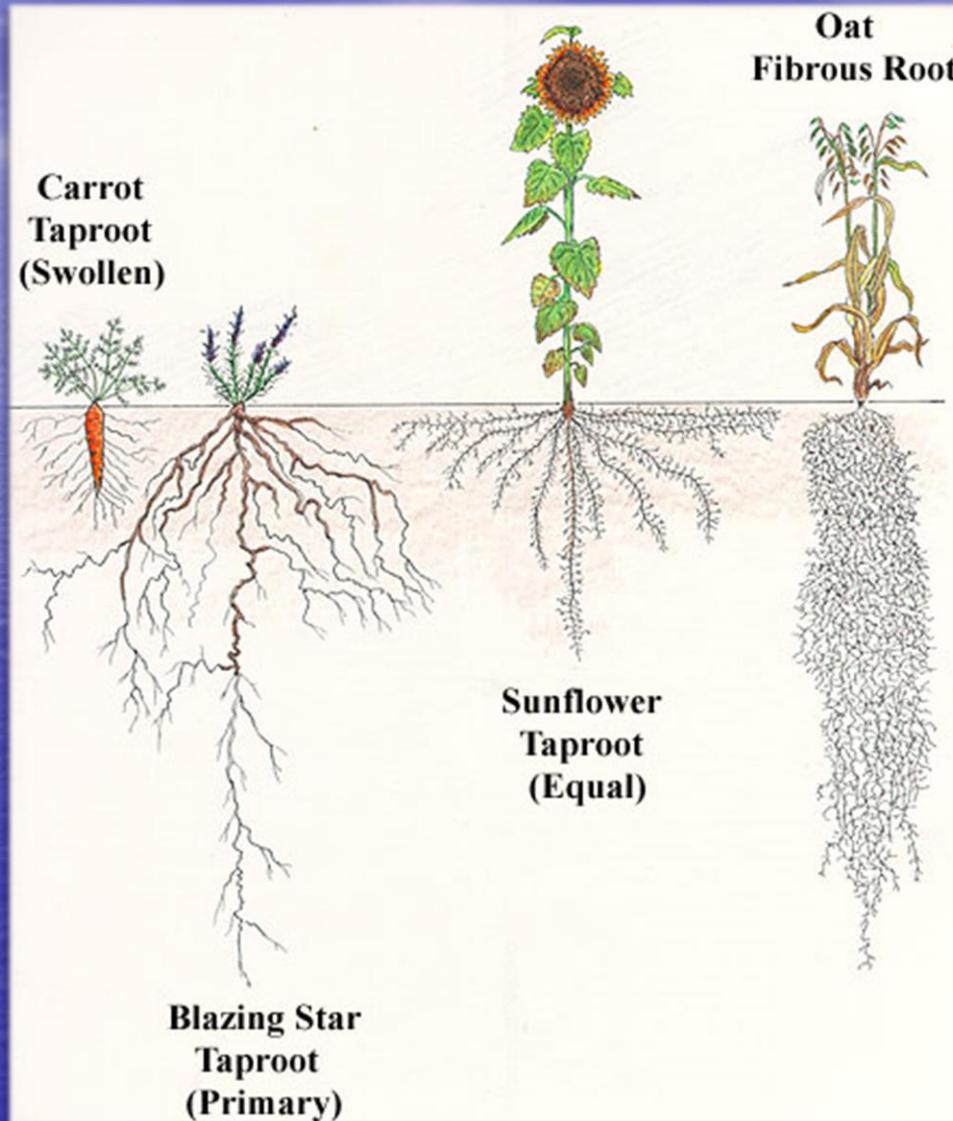


RESISTENCIA DE LA RAÍZ: Entrada del agua a la raíz

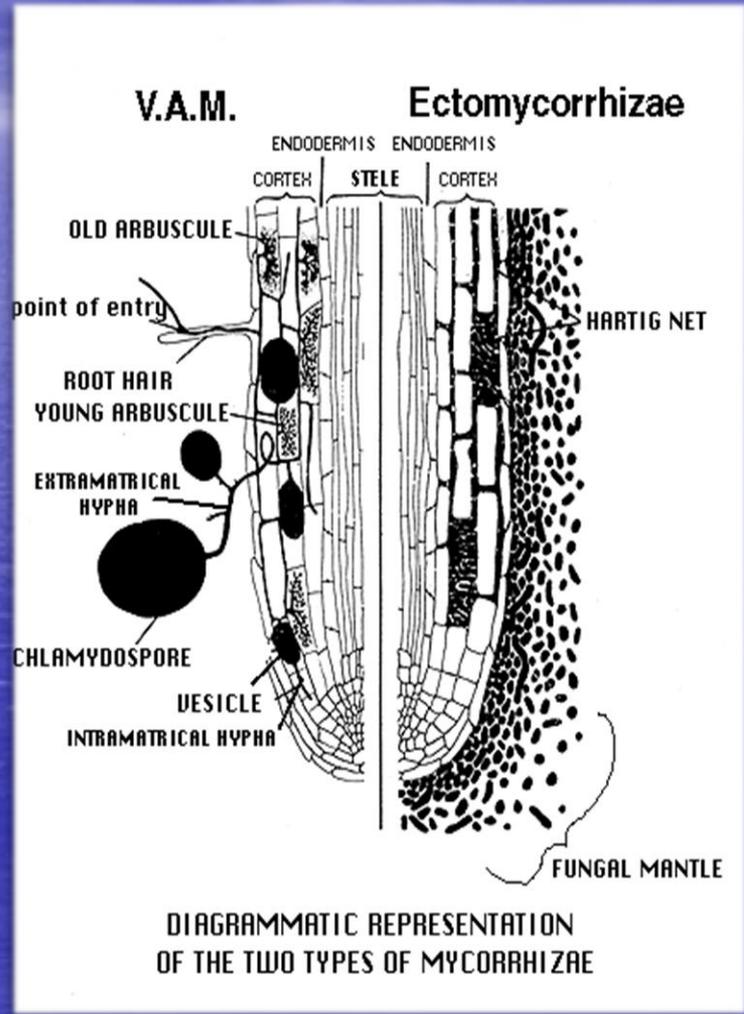


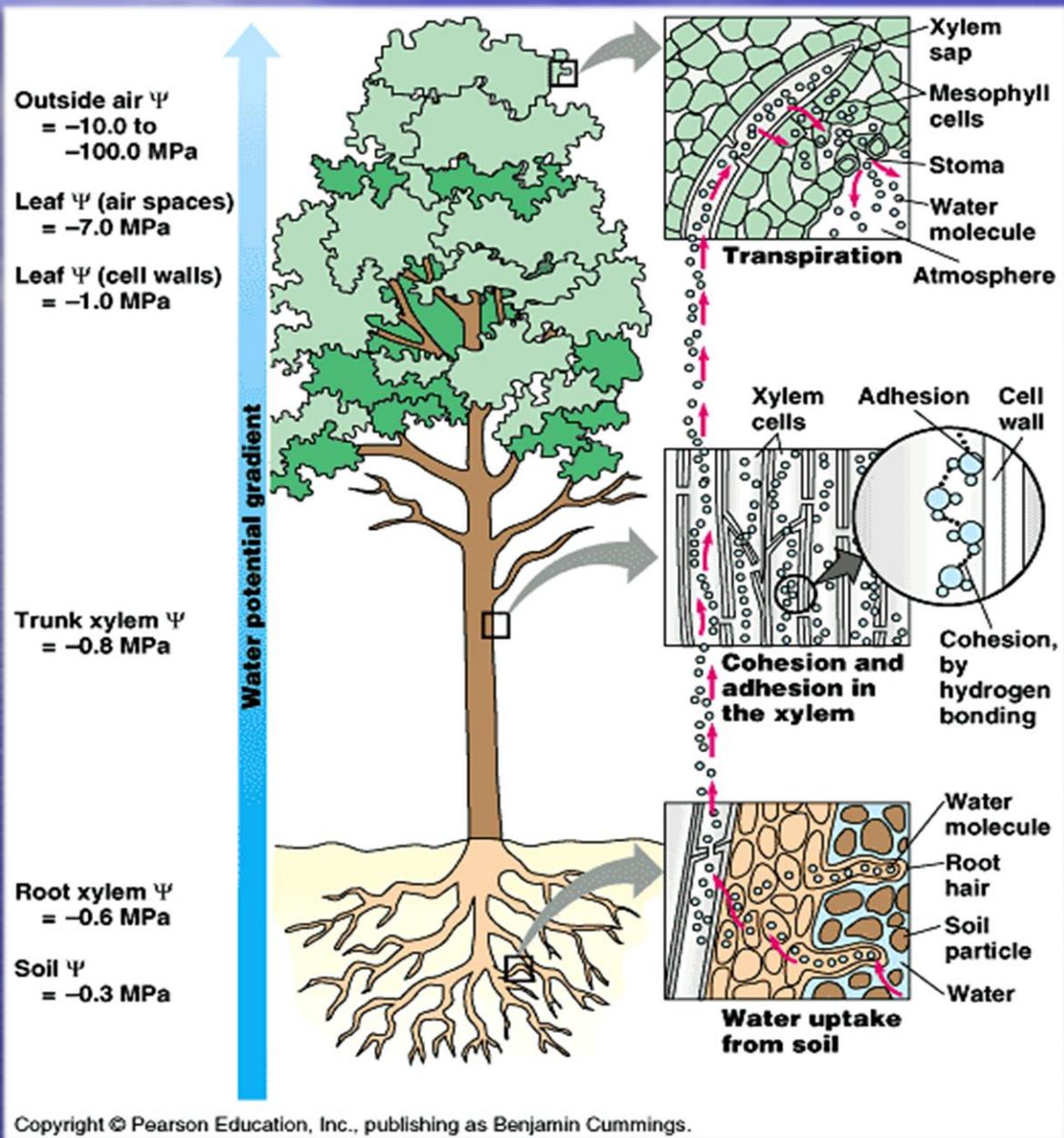


Diferentes sistemas radicales

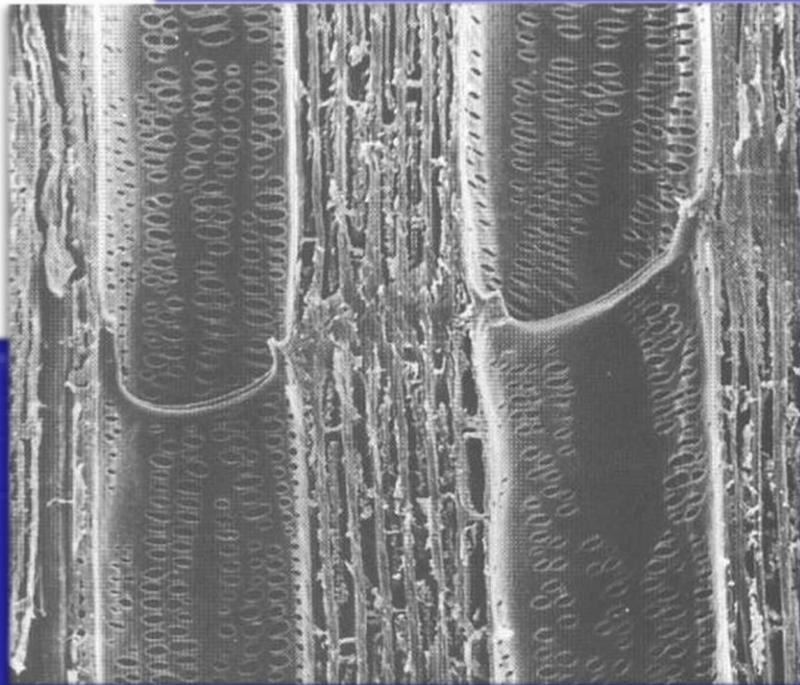
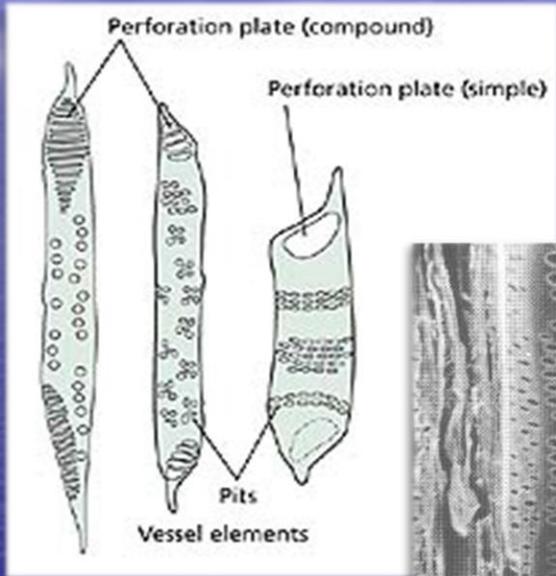
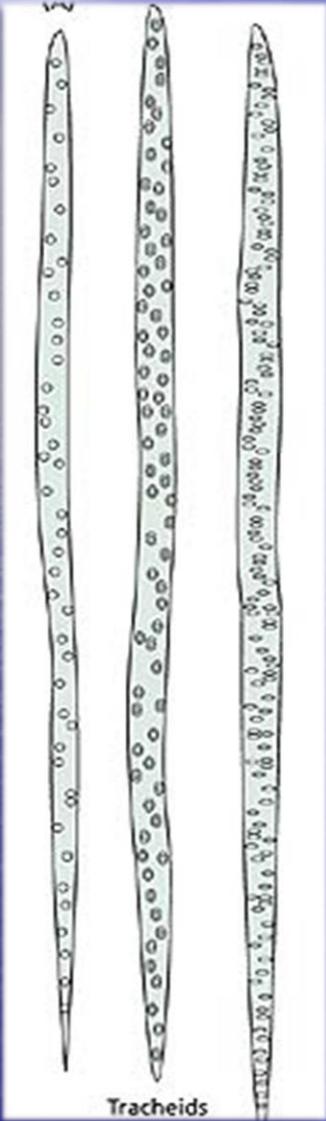


Micorrizas. Ecto y endo





Movimiento del agua a través del xilema



MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL XILEMA. FLUJO MASAL.

En angiospermas por vasos

En gimnospermas por traqueidas.

Ec. de Hagen-Poiseuille (para fluidos bajo presión en capilar)

Flujo o caudal, q_v ($m^3 \cdot s^{-1}$) es una función de la viscosidad de líquido (η), del gradiente de presión ΔP , del radio del capilar y de su longitud.

$$q_v (m^3 \cdot s^{-1}) = \frac{\pi * r^4 * \Delta P}{8 * \eta * l}$$

MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL XILEMA. FLUJO MASAL

qv ($m^3 \cdot s^{-1}$) = el flujo = es proporcional a la cuarta potencia del radio ($\pi * r^4$)

Traqueida: 40 μm ($r = 20\mu m$)

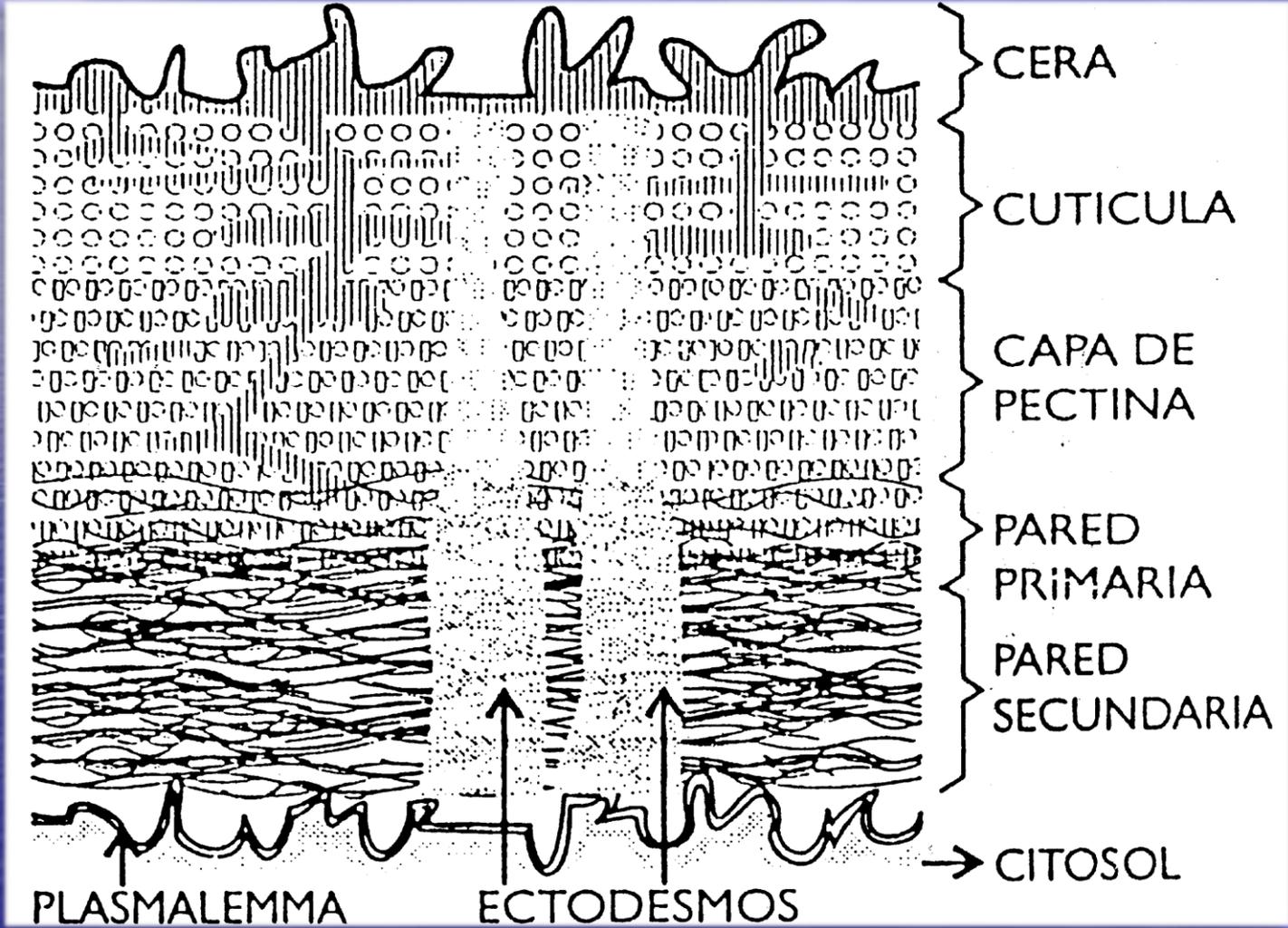
Vaso : 200 μm ($r = 100\mu m$)

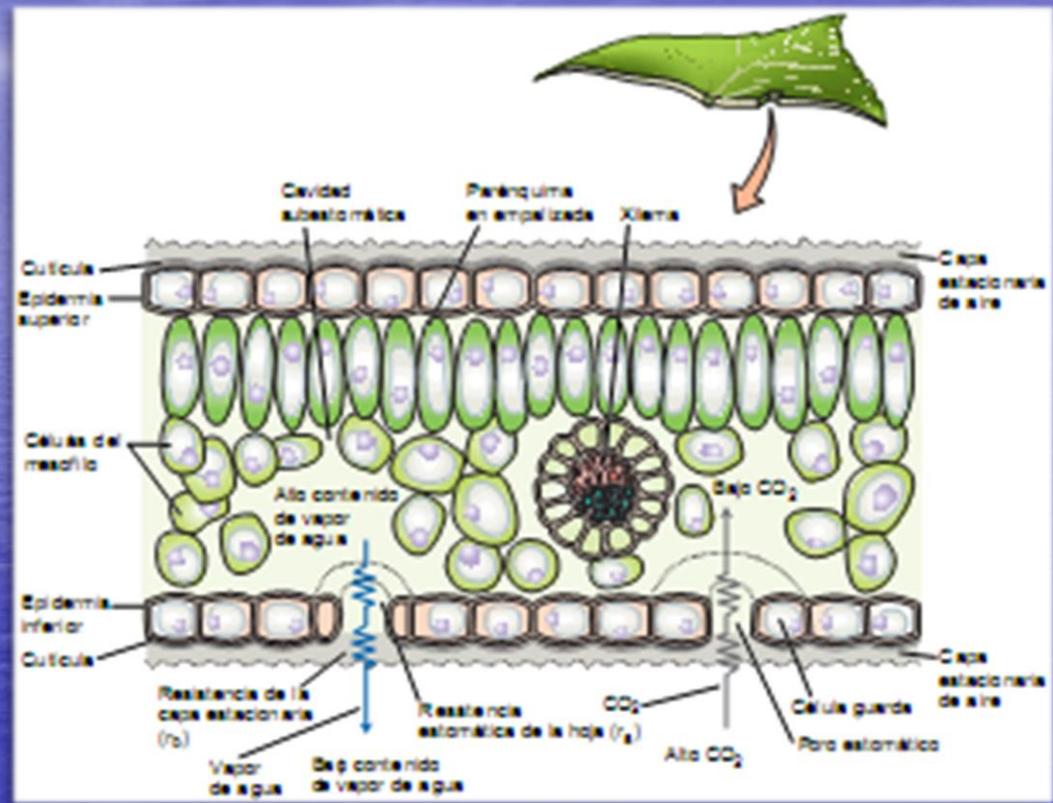
El diámetro del vaso es 5 veces mayor ($5^4 = 625$) el flujo es **625 veces superior en el vaso.**

Cambia la resistencia y aumenta la velocidad en el centro del conducto.

- CONTÍNUO SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA
- FLUJO = DIFERENCIAS DE ψ
RESISTENCIAS

RESISTENCIA de la Cutícula





RESISTENCIA DEL AIRE (R_a) O CAPA LÍMITE

Es la que le opone al vapor de agua la capa de aire calmo adherida a la epidermis.

En aire calmo, esa capa posee mayor espesor y se satura rápidamente de vapor de agua, lo que hace casi nulo el gradiente entre la hoja y el exterior.

Se presenta en interior de canopeos densos, en sus estratos más bajos, en períodos con aire atmosférico de turbulencia nula; este hecho ocurre solo en ocasiones.

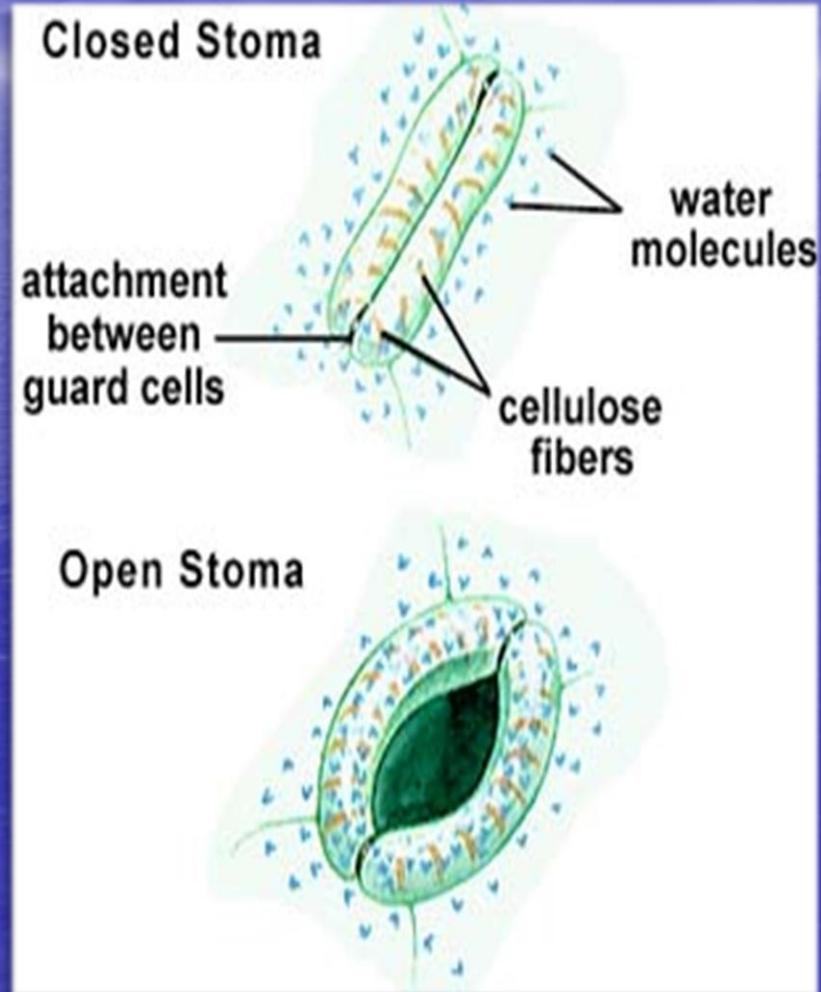
El espesor de las subcapas de aire calmo es variable según la velocidad del viento y el tamaño de las hojas. Una hoja de 5 cm de largo y una velocidad del viento de 35km/h tiene un espesor

de 280 μm y si es de solo 3 km/h la lámina es de 890 μm .

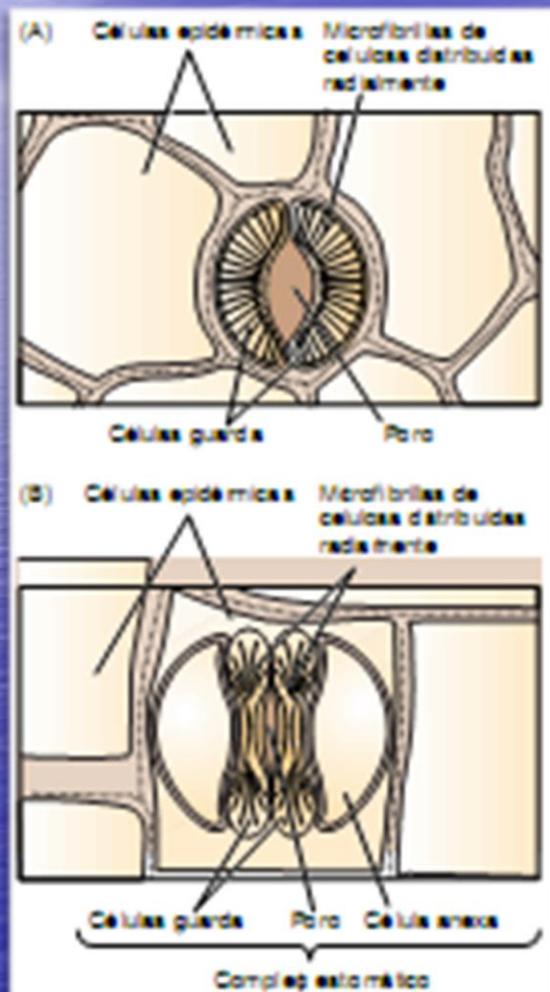
Cuadro 3-1. Resistencias (r) al transporte de agua en hojas con saturación luminosa y 22 °C (según Holmgren, Jarvis y Jarvis, 1965). (Adaptado de Azcón-Bieto y Talón, 1993.)

Especie vegetal	Resistencias al transporte de vapor de agua (sm^{-1})		
	Cutícula r_c	Estoma (abierto) r_e	Capa límite r_a
<i>Helianthus annuus</i>	-	38	55
<i>Lamium galeobdolon</i>	3700	1060	73
<i>Circaea lutetiana</i>	9000	1610	61
<i>Acer platanoides</i>	8500	1470	69
<i>Quercus robur</i>	38 000	670	69
<i>Betula verrucosa</i>	8300	92	80

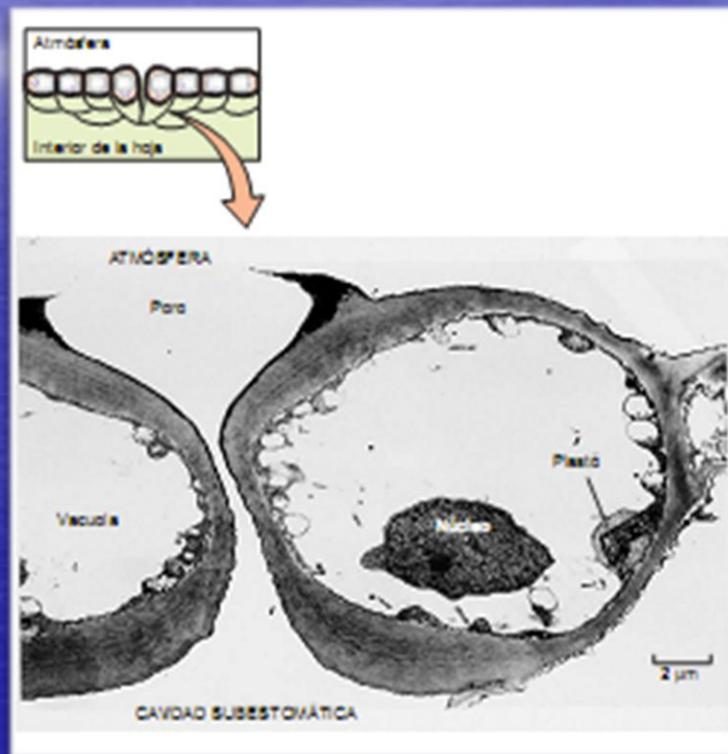
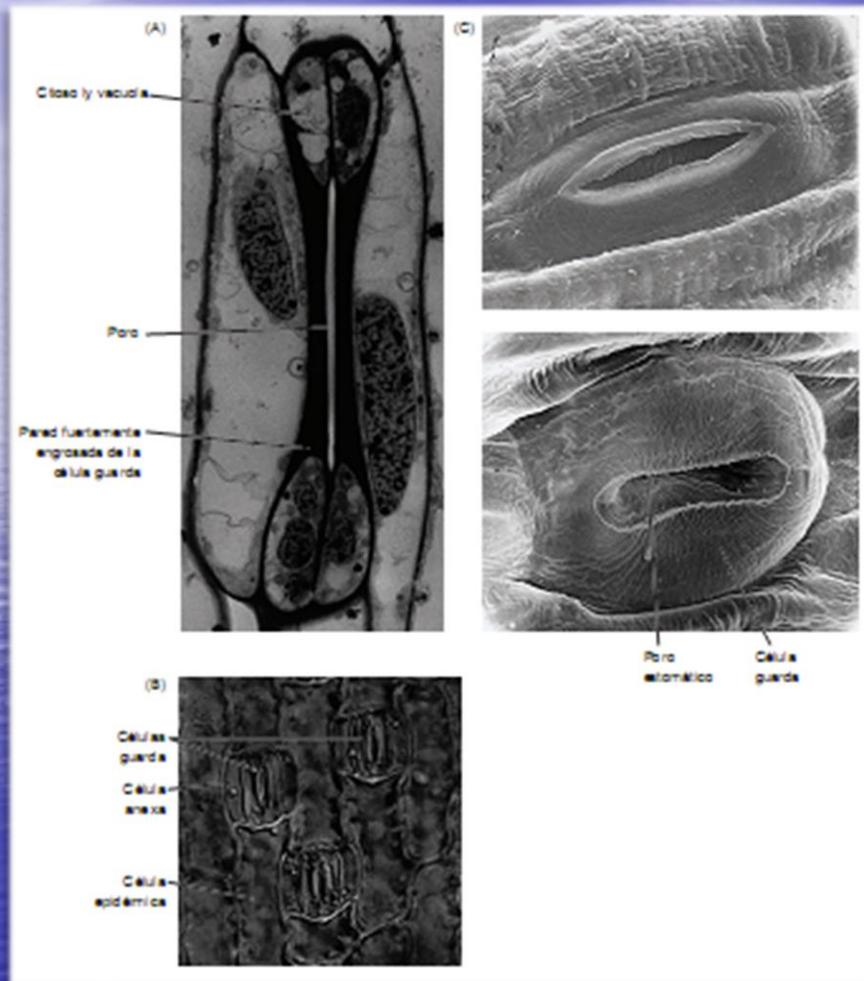
RESISTENCIA ESTOMÁTICA



Densidad de estomas en las hojas de algunas especies (número/mm²)

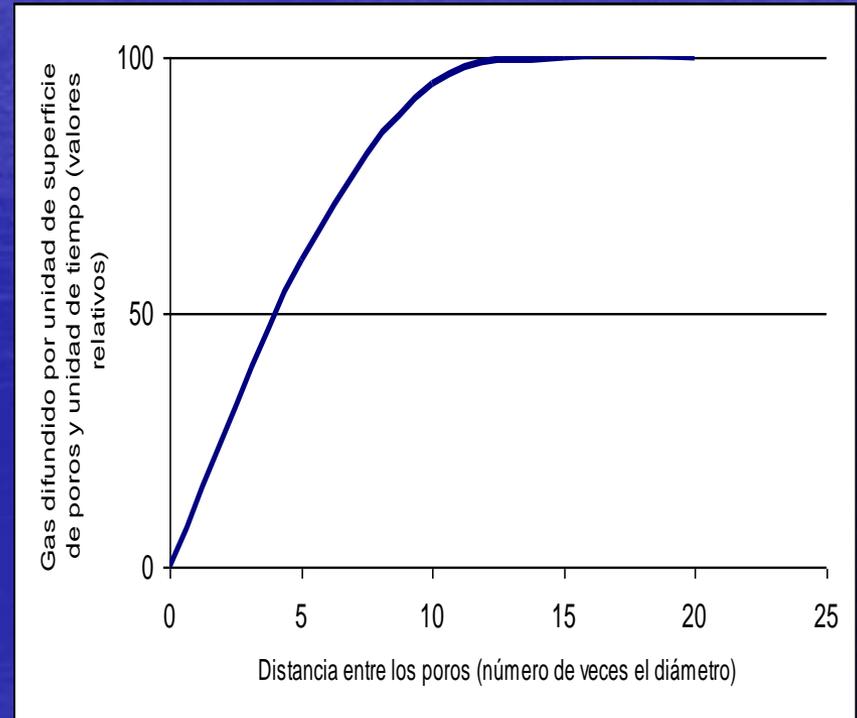
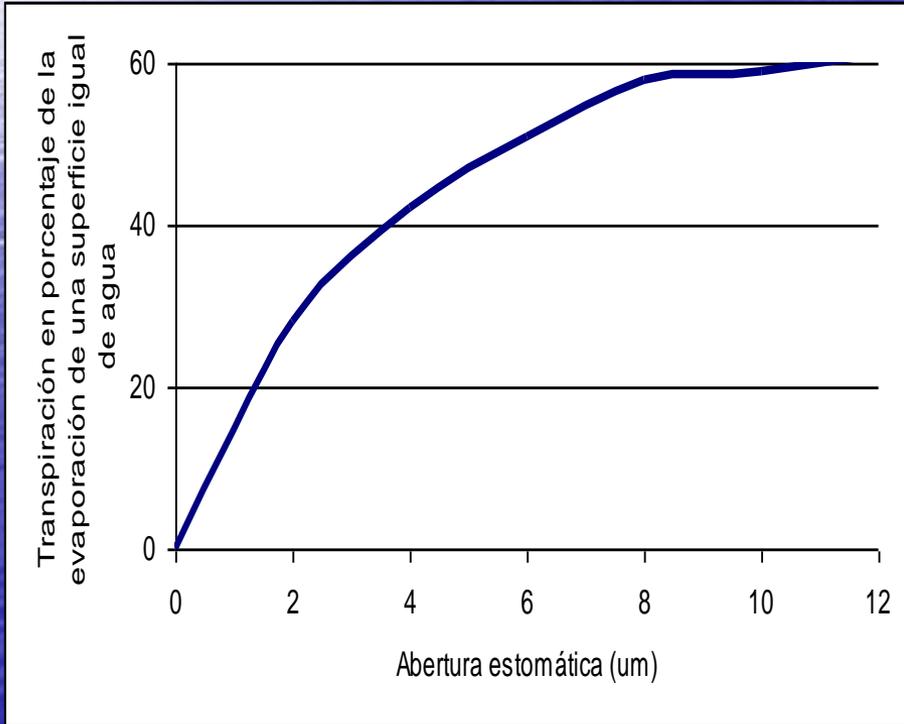
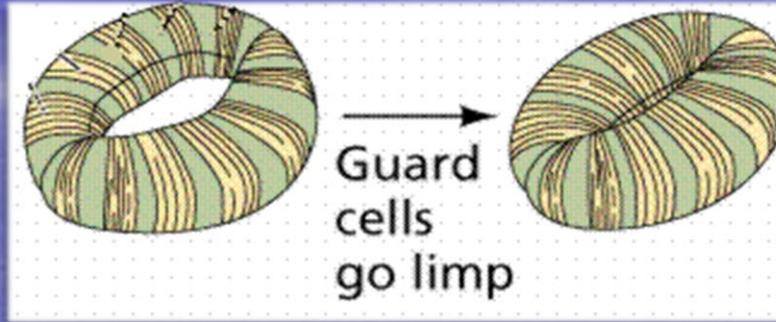


Especie	Envés	Haz
Alfalfa	138	170
Avena	23	25
Begonia	40	0
Coleo	141	0
Geranio	59	19
Girasol	150	85
Guisante	116	100
Judía	280	40
Maíz	68	52
Manzano	294	0
Naranja	450	0
Patata	160	51
Peral	225	0
Ricino	175	64
Roble	820	0
Tomate	130	12
Trigo	14	33

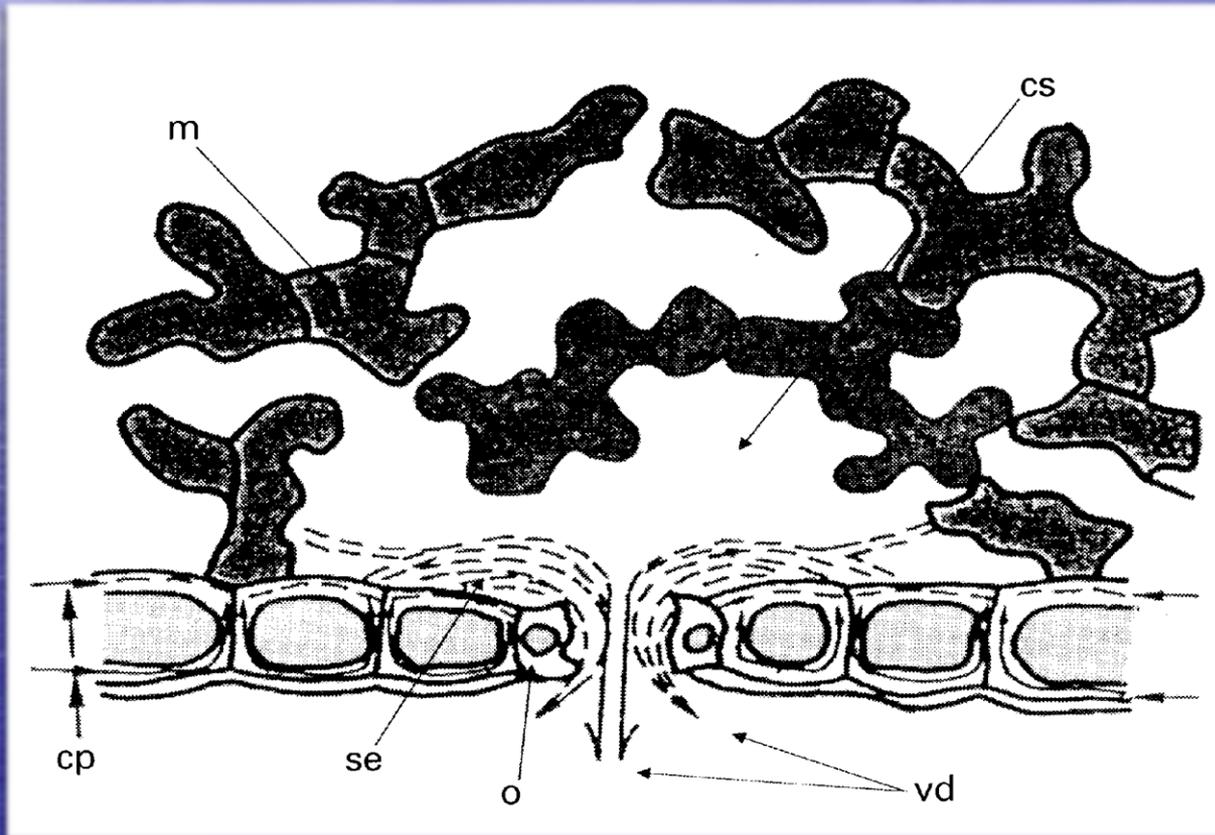


LA PARADOJA DE LOS POROS

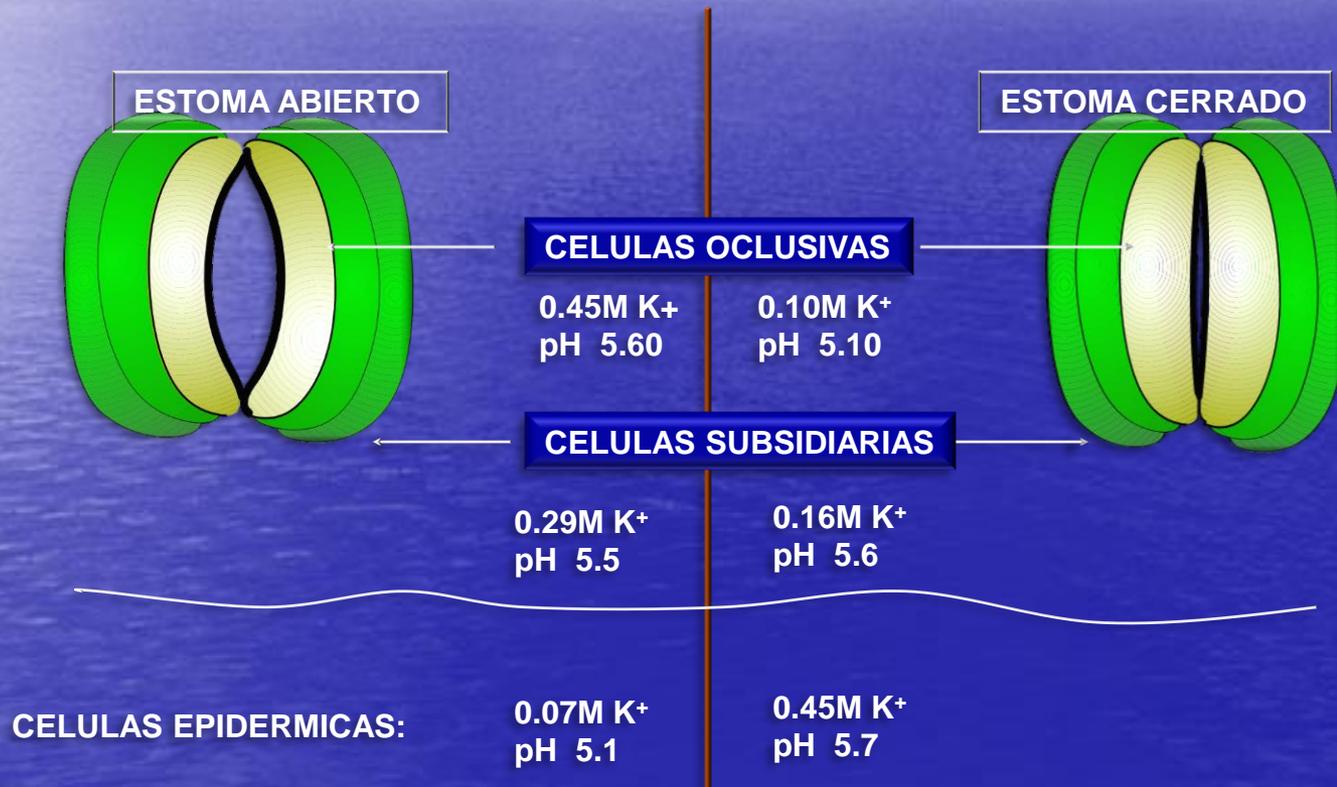
4% de Sup. de estomas evapora = al 60 % de sup. libre



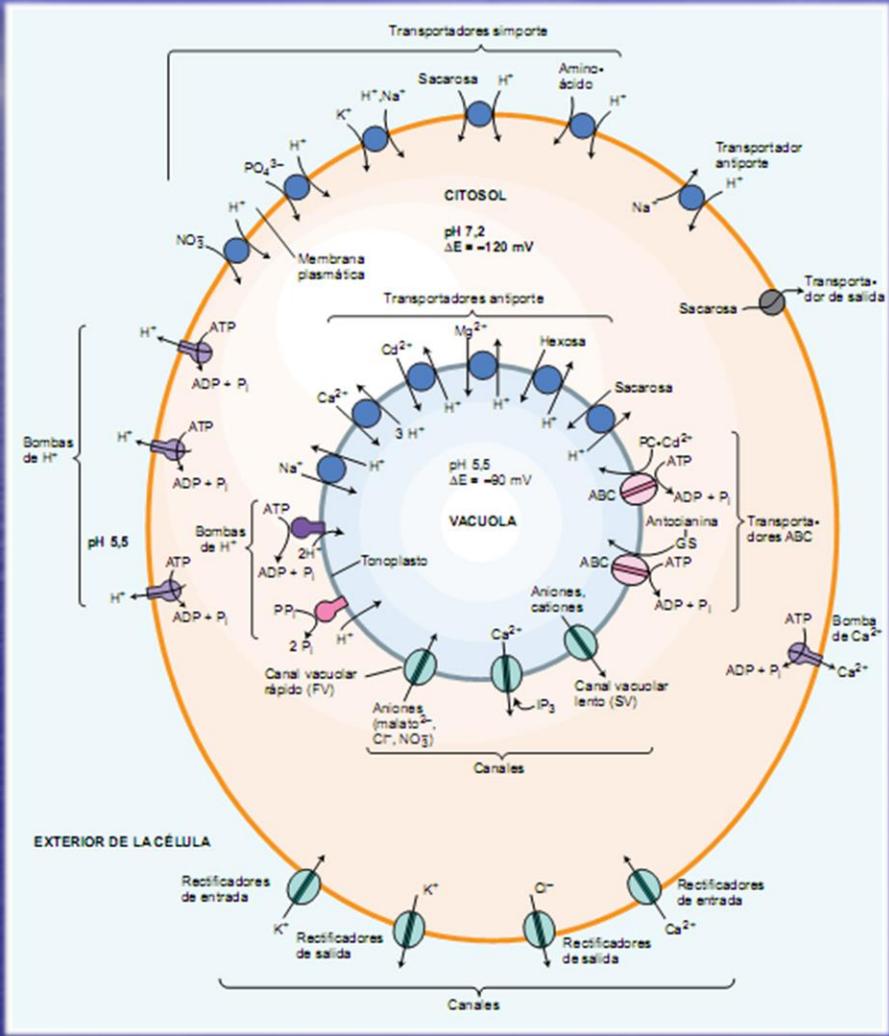
FLUJO DE VAPOR DE AGUA



Estoma abierto y cerrado. Concentración de K^+



Bomba de protones y entrada de K



FACTORES AMBIENTALES SOBRE LA APERTURA ESTOMATICA

- ❖ CO₂ interna**
- ❖ Irradiancia**
- ❖ ψ_w hoja**
- ❖ Temperatura ambiente**
- ❖ Humedad relativa del aire**
- ❖ Disponibilidad de agua en el suelo**

Aumento del CO₂ interno

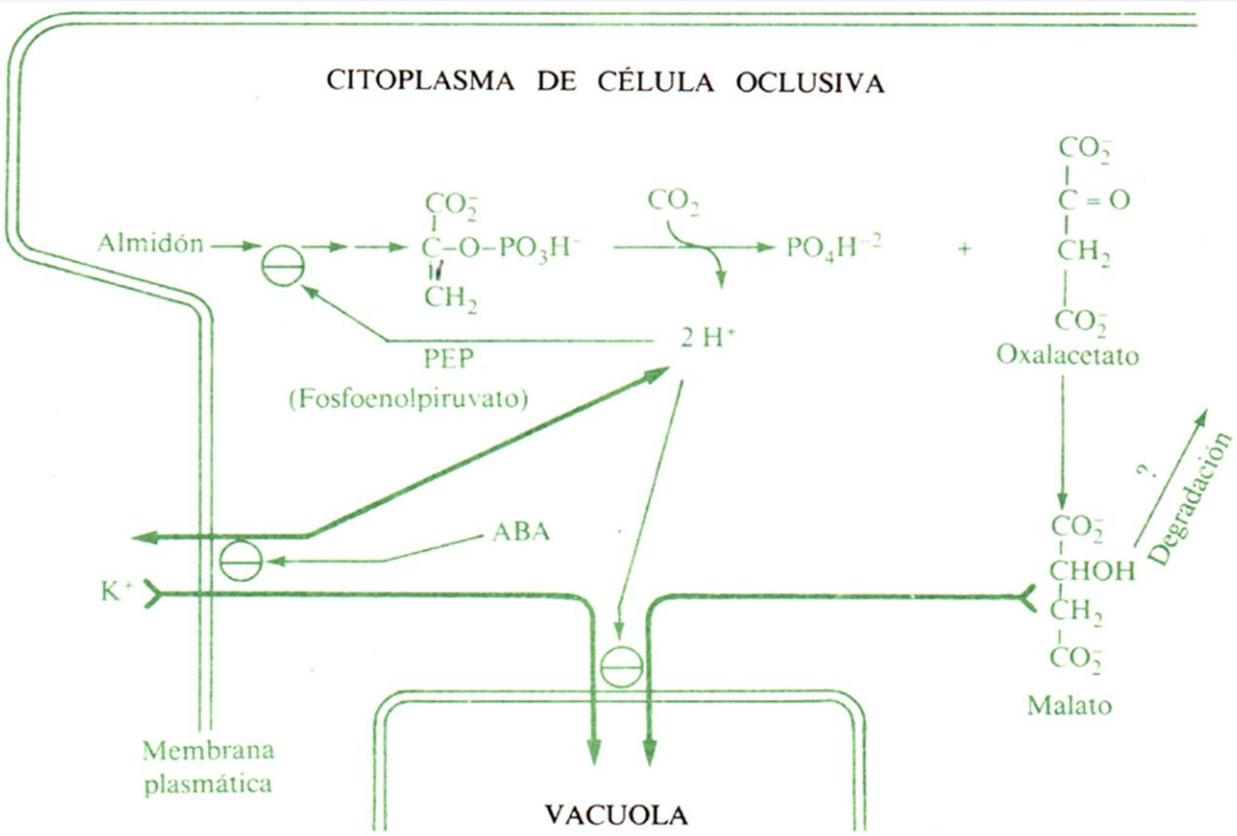
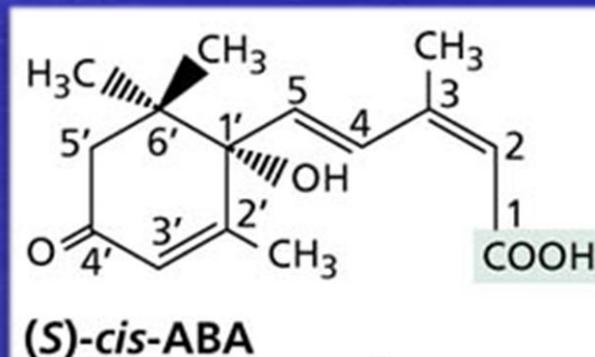
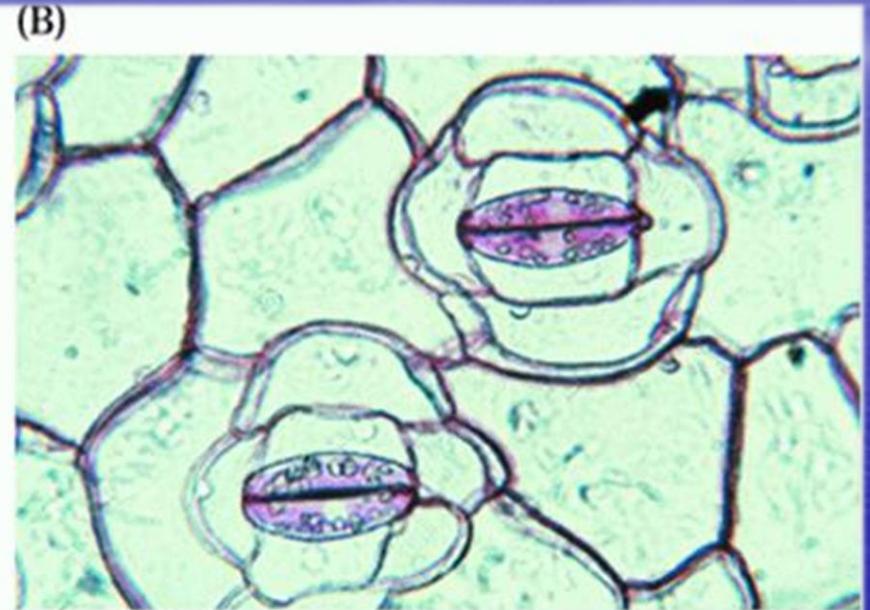


Figura 5.11.-Procesos que determinan apertura estomática y algunos probables mecanismos de control. Las flechas gruesas se refieren a transporte de compuestos. Las flechas delgadas acabadas en θ se refieren a inhibición, por el compuesto situado al comienzo de la flecha, del proceso situado al final de la flecha. La abreviatura ABA indica ácido abscísico.

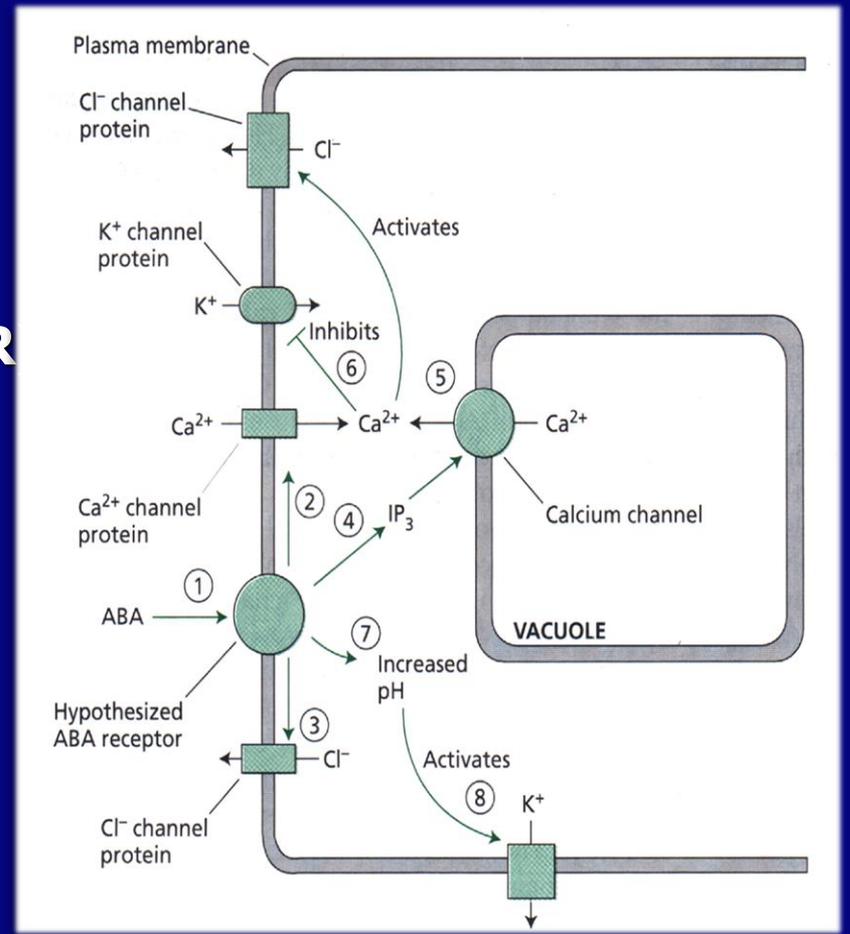
La hormona ACIDO ABSCISICO (ABA) induce el cierre estomático



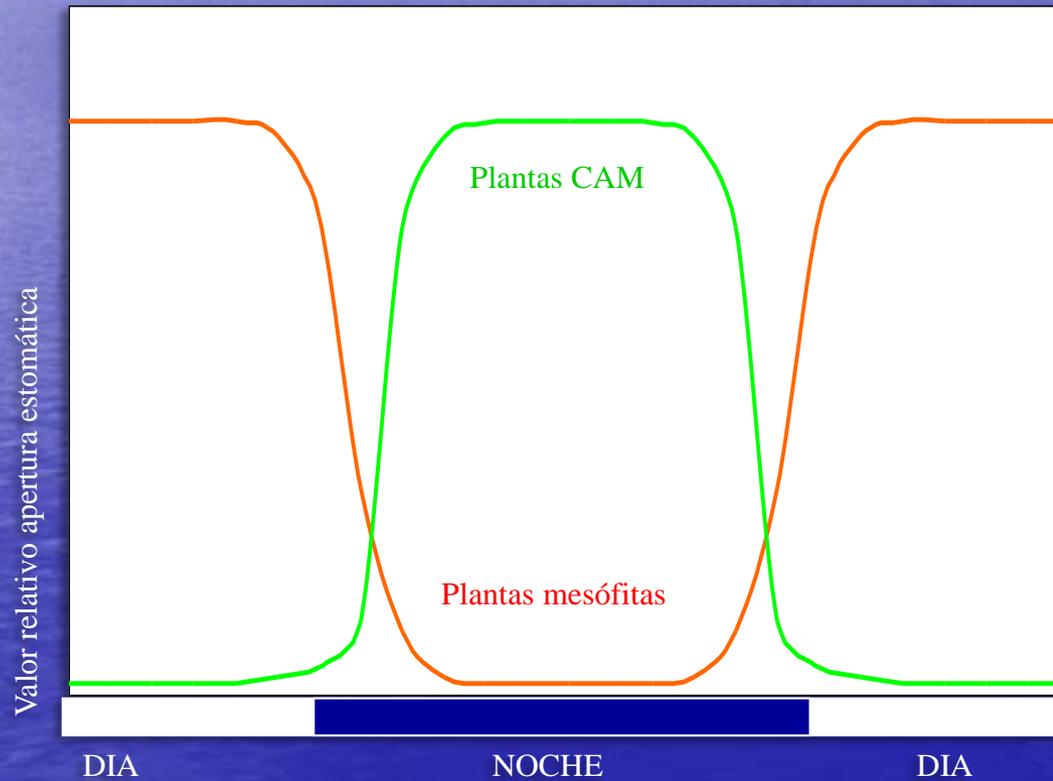
➤ **Cierre estomático. Un modelo.**

➤ **Coordinación del ión Ca en la actividades de canales y bombas protónicas durante el cierre estomático**

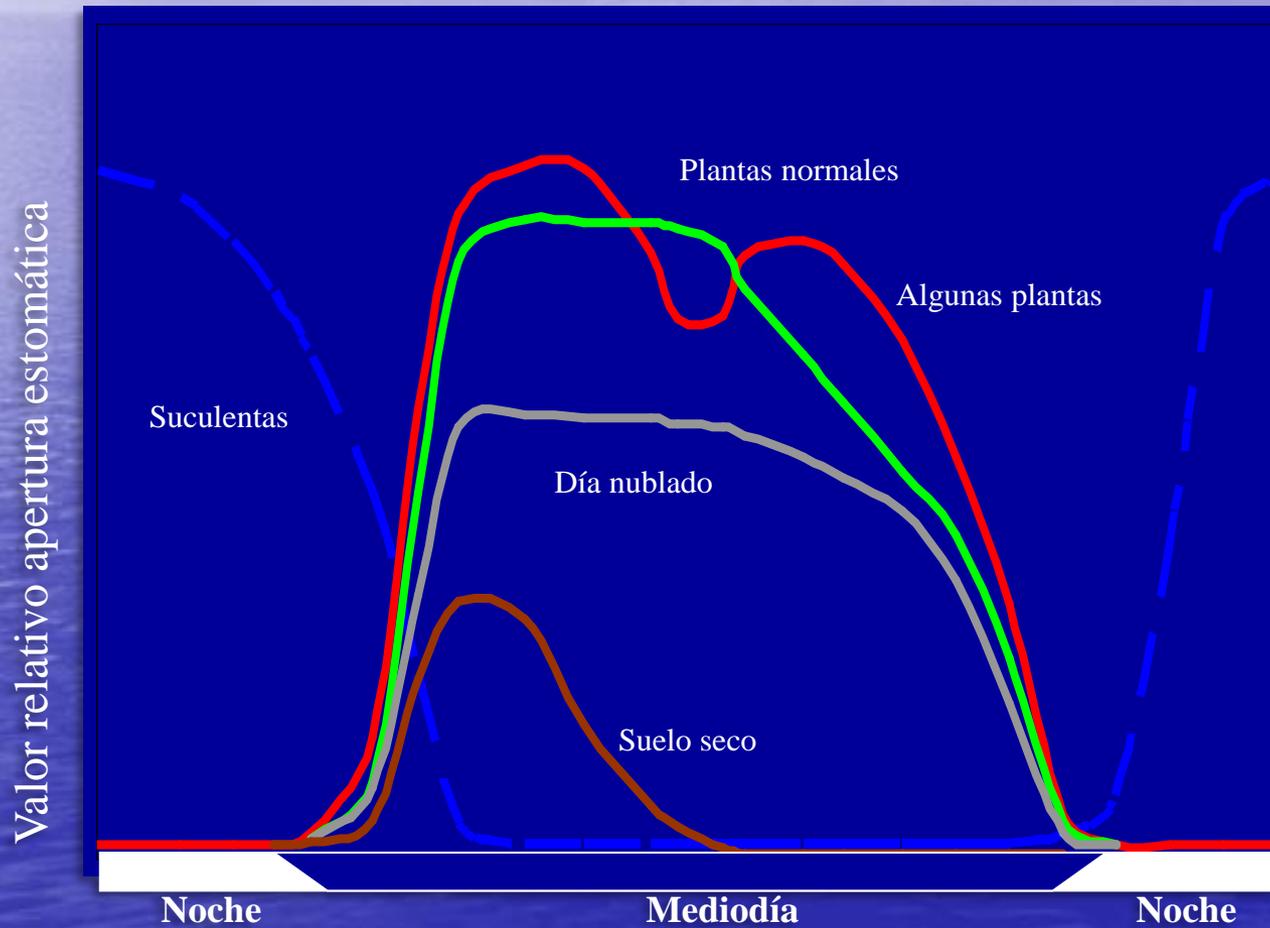
- **Modelo:**
- Percepción de ABA por receptor (R)**
- Aumento de Ca citosólico**
- Apertura de canales K de salida**
- Apertura de canales aniónicos.**
- Inhibibe canales K de entrada.**
- Salen iones y sale agua.**
- Se pierde turgencia.**
- El estoma se cierra.**



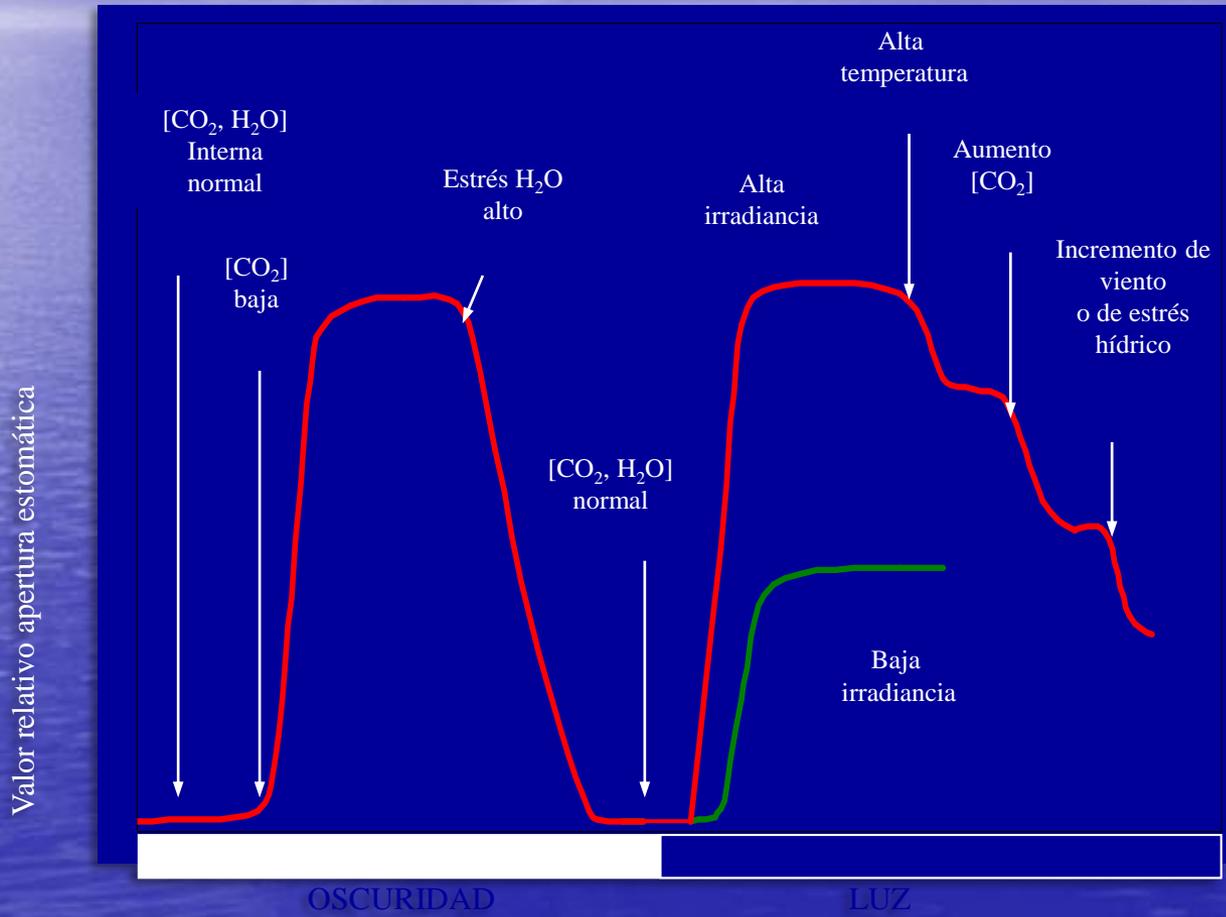
Apertura estomática en plantas CAM



Apertura estomática



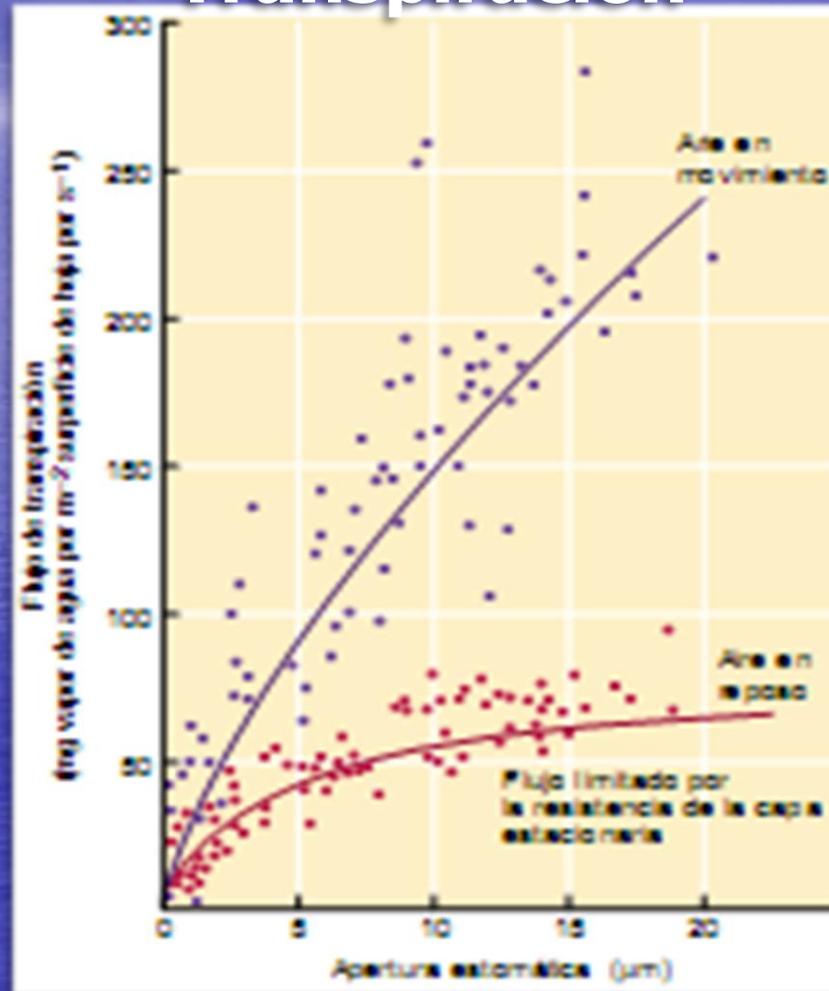
Apertura estomática



FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN LA TRANSPIRACIÓN

- ❖ **CO₂ interna**
- ❖ **Irradiancia**
- ❖ **Viento (Capa límite)**
- ❖ **Temperatura ambiente**
- ❖ **Humedad relativa del aire**
- ❖ **Disponibilidad de agua en el suelo**

Influencia del viento en la Transpiración



Humedad relativa del aire

➤ Ecuación General de los Gases

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

25 °C

$$➤ P = \frac{n \cdot R \cdot T \text{ (Gases)}}{V}$$

$$\begin{aligned} 100\% &= 0 \text{ MPa} \\ 99,5\% &= - 0,7 \text{ MPa} \\ 99\% &= - 1,38 \end{aligned}$$

MPa

$$➤ \Psi \text{ (aire)} = \frac{- R \cdot T \ln P^\circ}{V \quad P}$$

$$95\% = - 7,04$$

MPa

$$90\% = - 14,45$$

MPa

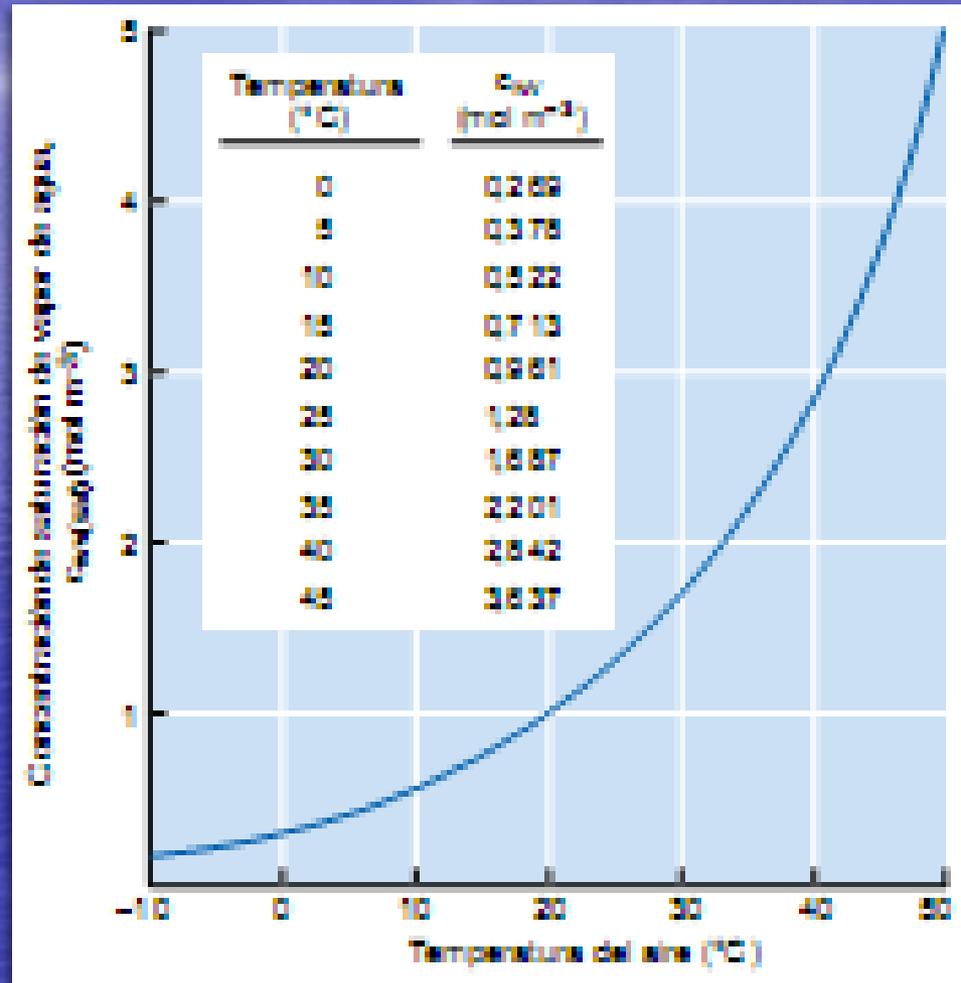
$$80\% = - 30,60$$

$$➤ \Psi \text{ (aire)} = \frac{- R \cdot T \lg 100}{V \quad HR}$$

$$50\% = - 95,09$$

$$➤ \Psi \text{ (aire)} = \frac{- 1.06 T \lg 100}{HR}$$

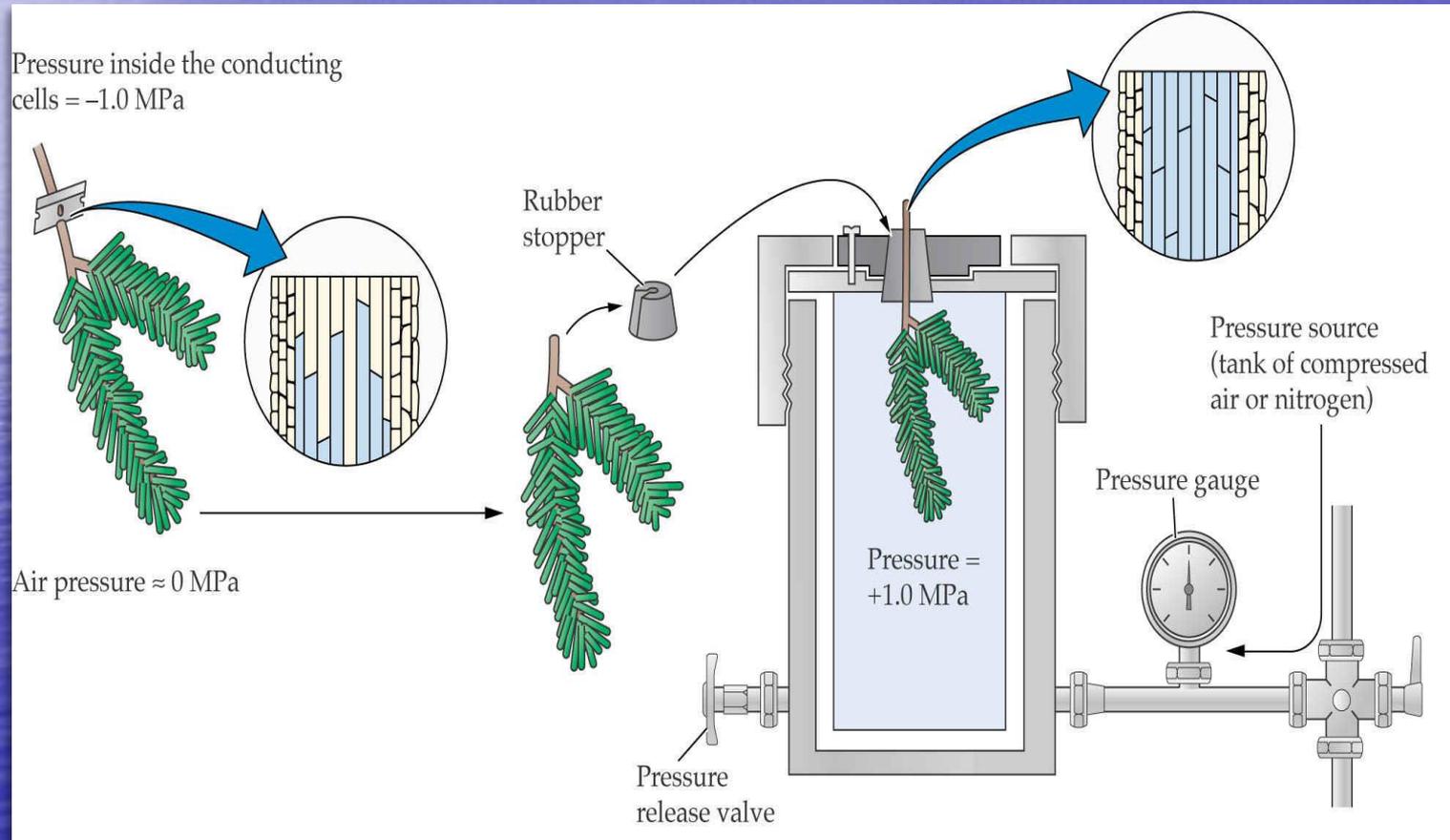
Humedad relativa (HR) y temperatura

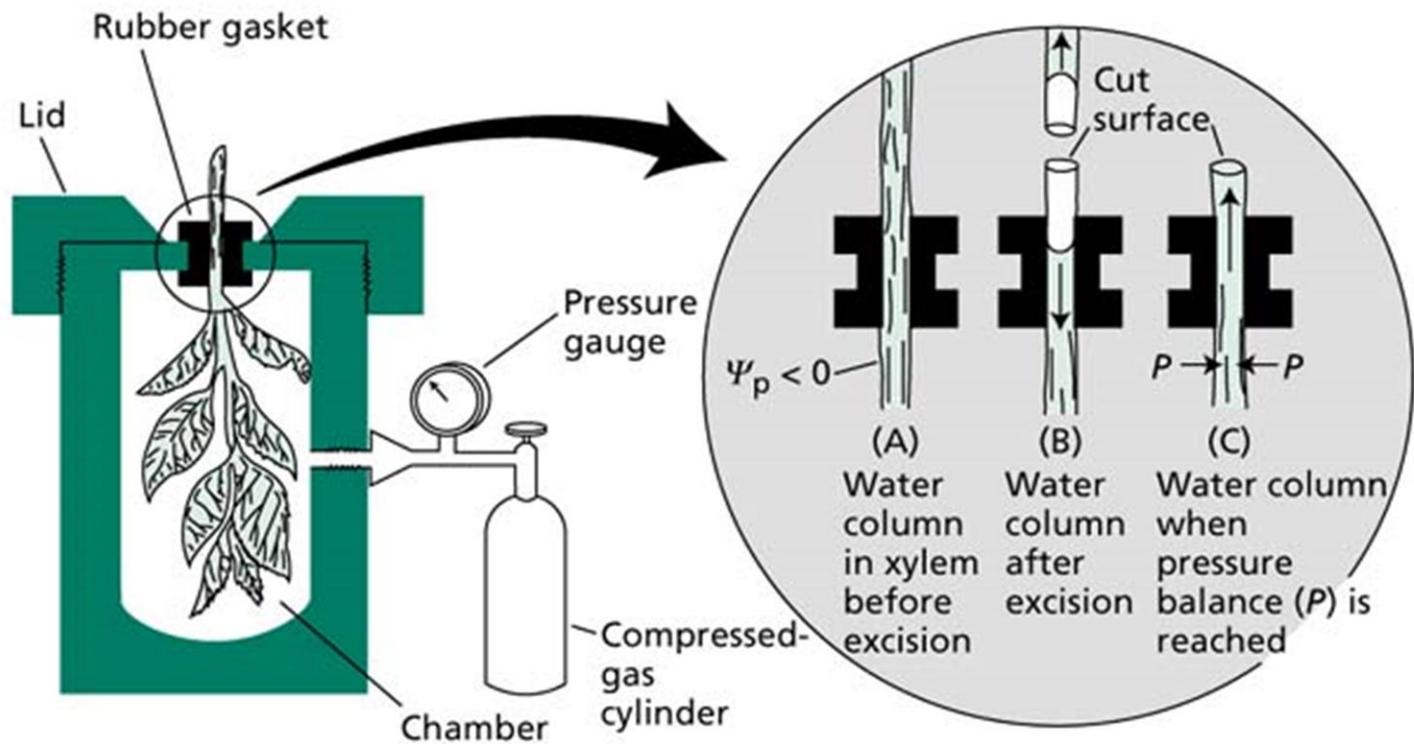


BOMBA DE PRESION BOMBA DE SCHOLANDER



RELACIONES HÍDRICAS. BOMBA DE SCHOLANDER. DETERMINACION DEL POTENCIAL AGUA.





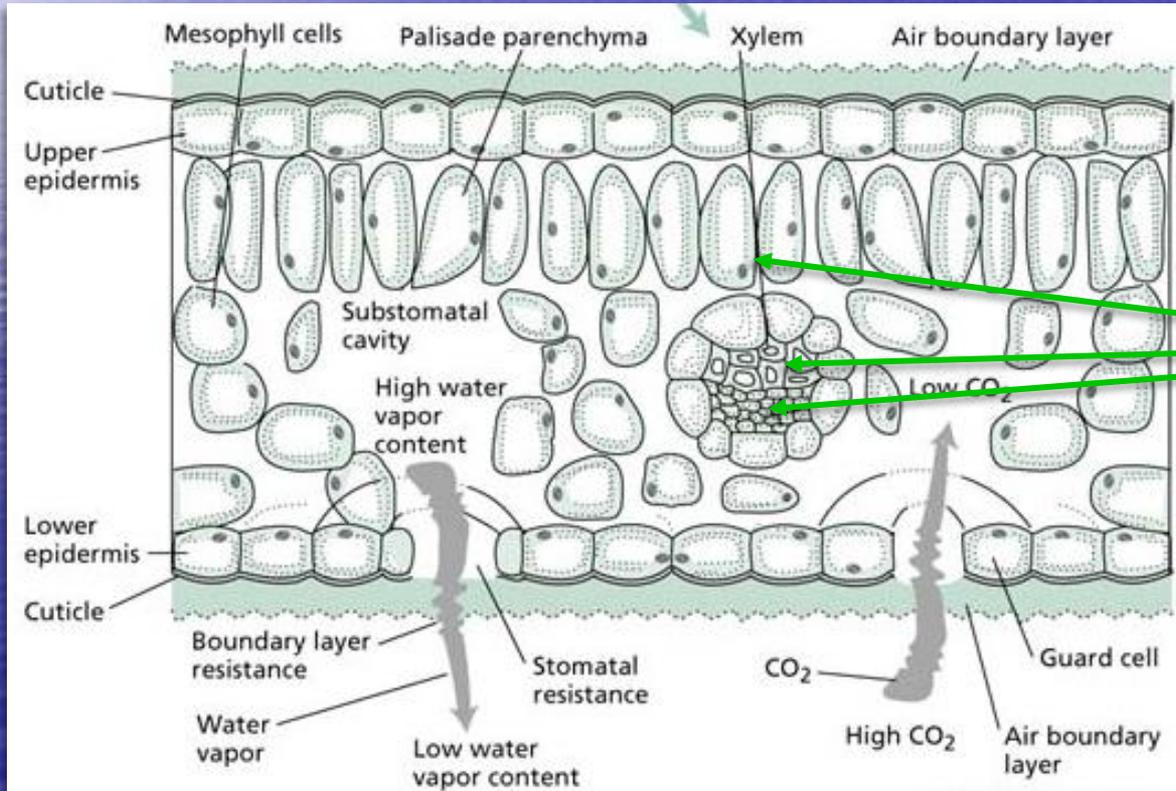
Para interpretar las medidas de la bomba de presión es necesario saber que PRIMERO:

- El agua en el xilema se encuentra bajo tensión. El potencial de presión es negativo.
- El potencial de solutos en el xilema es próximo a cero.
- Por lo tanto: El potencial hídrico en el xilema es aproximadamente igual al potencial de presión.

$$\psi_w \approx \psi_p$$

Segundo:

En condiciones de equilibrio, el potencial hídrico del xilema (células muertas) es igual al potencial hídrico de las células vivas que lo rodean.



ψ_w es el mismo

LEY DE Ohm para resistencias eléctricas.

$$\text{Cantidad de Flujo} = \frac{\text{Diferencia de Potencial}}{\text{Resistencia}}$$

$$\text{Transpiración} = \frac{\text{Diferencia de Potencial}}{\text{Resistencia}}$$

$$\text{Conductancia} = \frac{1}{\text{Resistencia}}$$

POROMETRIA

$$\frac{\text{mMol}}{\text{m}^2\text{s}}$$

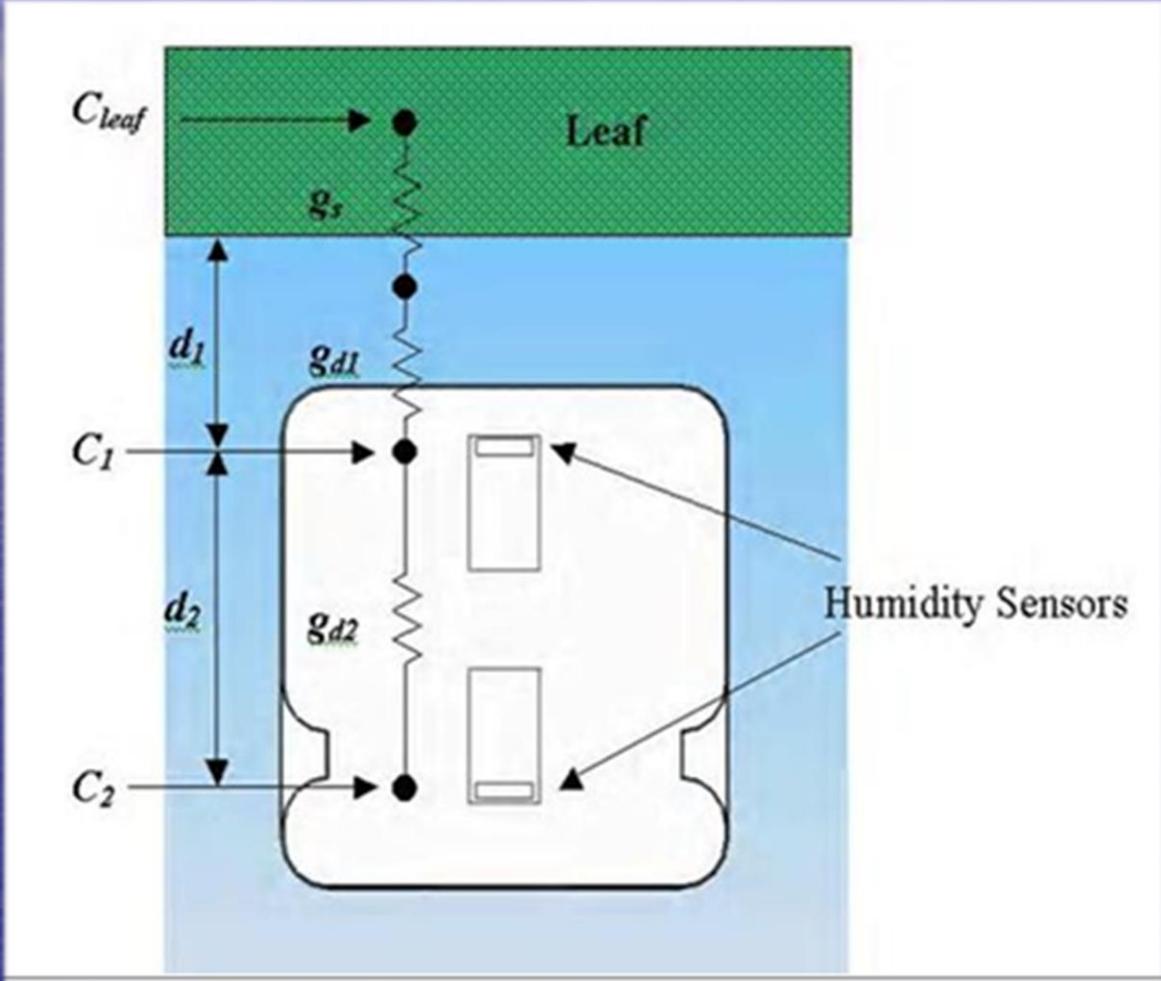
$$\text{s/m}$$

Ventajas para medir conductancia estomática con porómetro?

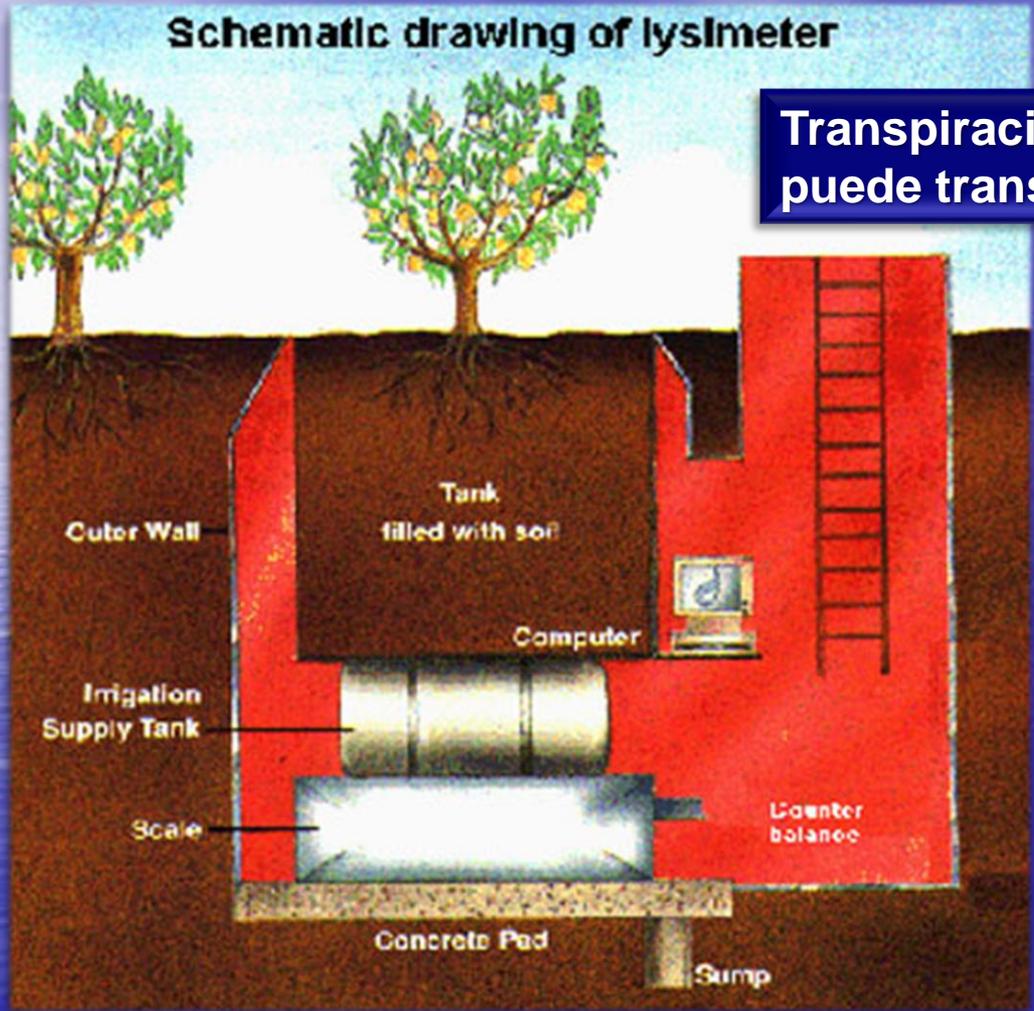
- 1. Las medidas con el porómetro son muy rápidas (30 segundos a minutos)**
- 2. Se puede medir la cara adaxial y la abaxial de la hoja por separado**
- 3. En general, las medidas son más representativas de las condiciones a las que está la hoja**



Funcionamiento del equipo de Porometría



Medida de la transpiración a través de un lisómetro



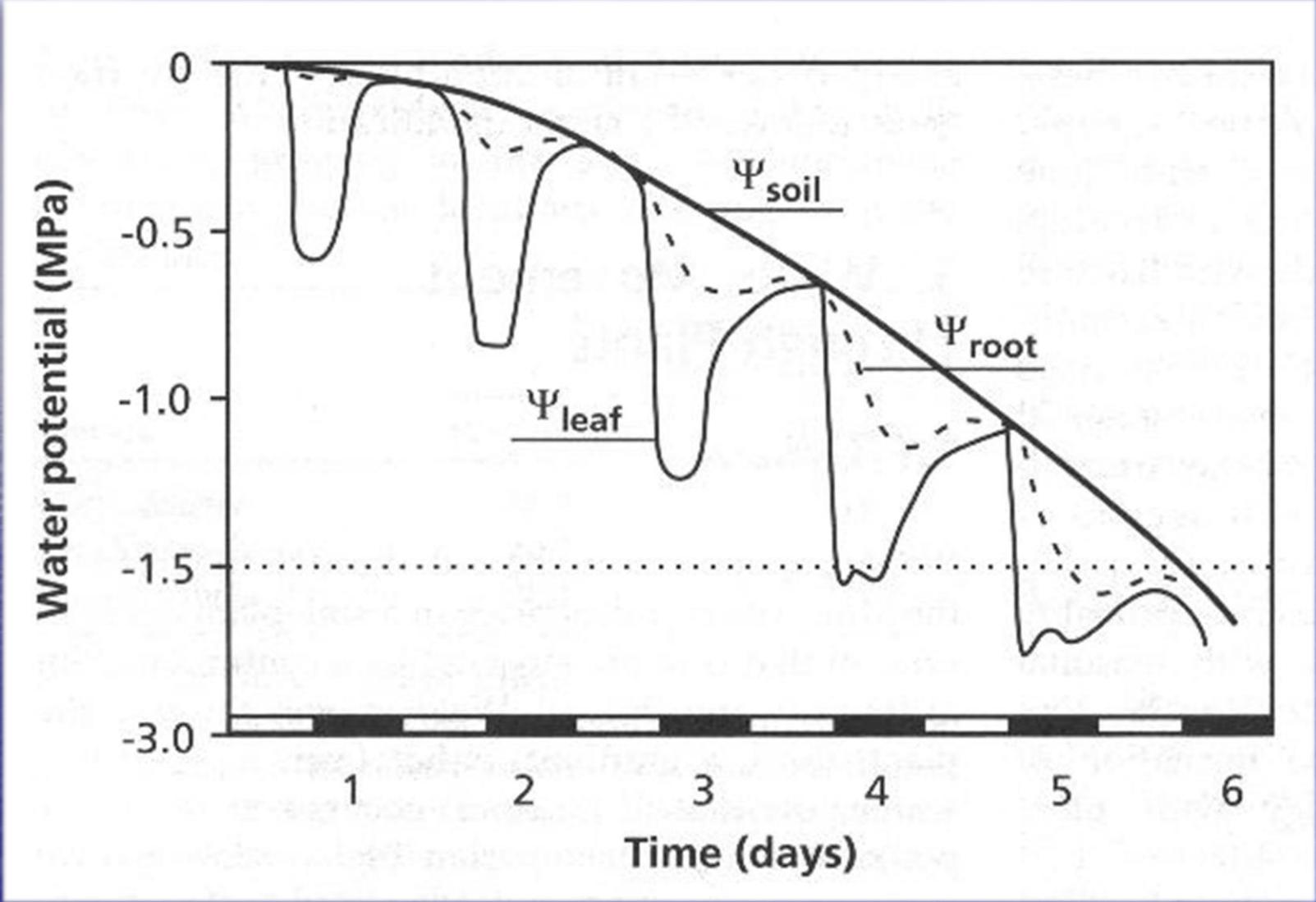
Transpiración: un árbol aislado puede transpirar $>200 \text{ L h}^{-1}$!!

RELACIONES HÍDRICAS

- ❖ **Transpiración**
- ❖ **Gutación**
- ❖ **Punto de marchitez temporaria**
- ❖ **Punto de marchitez permanente**
- ❖ **Eficiencia en el uso del agua:**

Litros de agua por Kg de MS. C3, C4 y CAM.

Generación de déficits hídricos en la planta



Absorción de agua y transpiración en Fresno

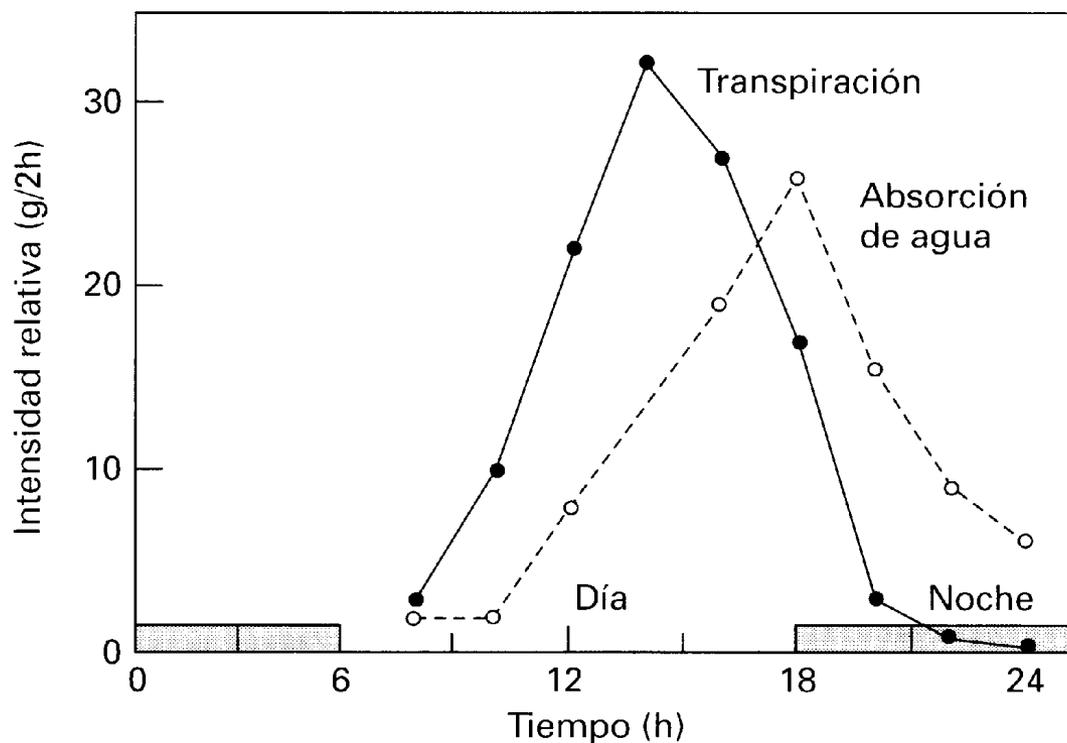
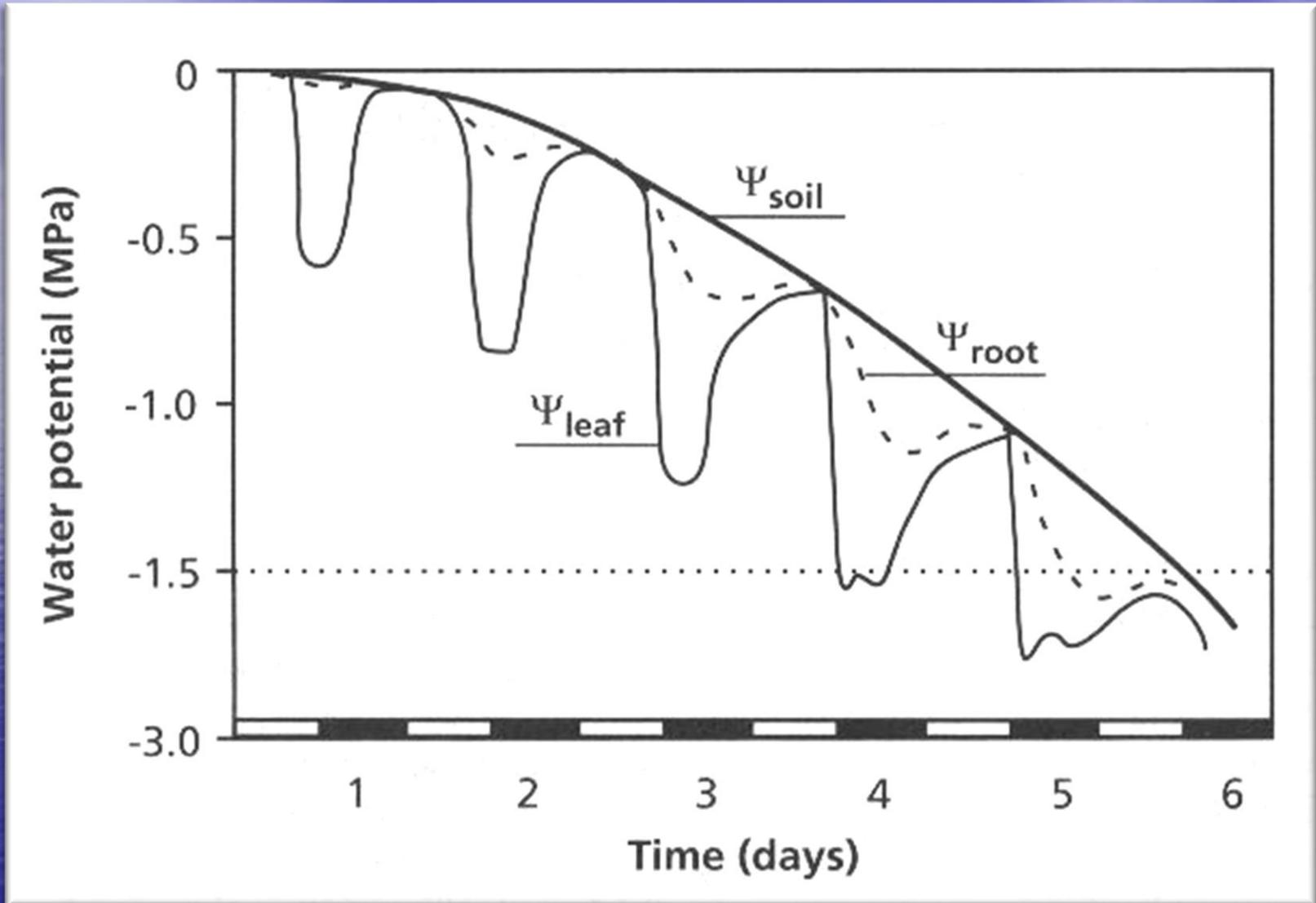
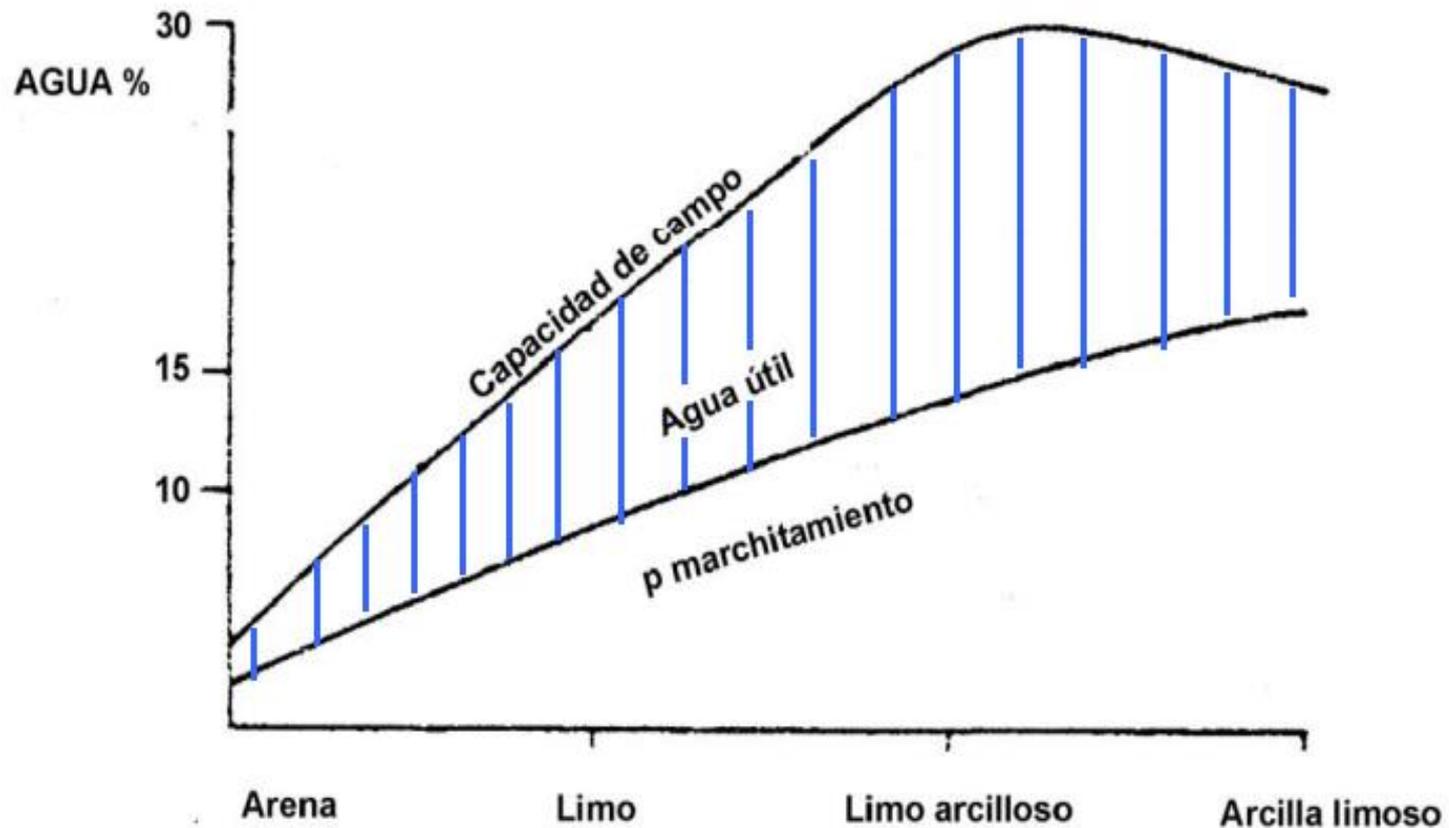


Figura 4-6. Relación entre absorción de agua y transpiración en el fresno (datos de Kramer, 1937). (Adaptado de Azcón-Bieto y Talón, 1993.)

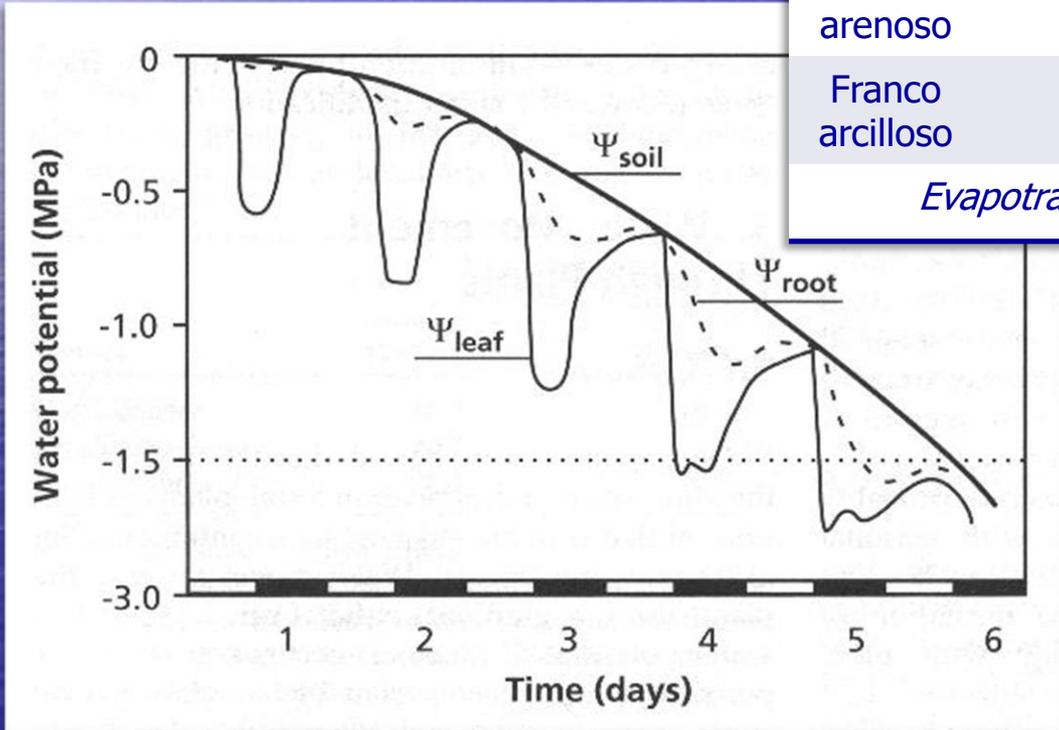


Agua útil: agua entre capacidad de campo y el punto de marchitez permanente

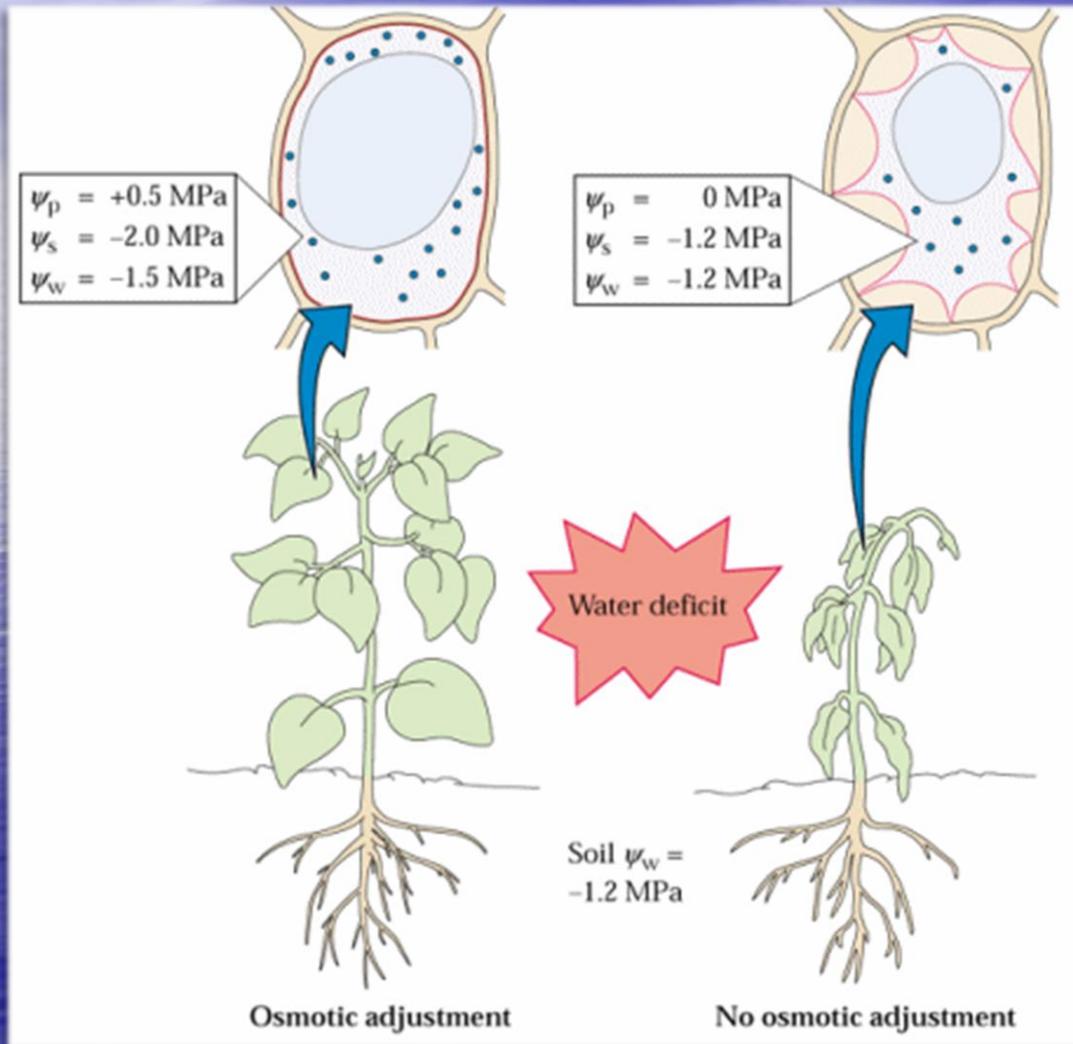


Tipo de suelo	Contenido de Agua en el suelo	Días de evapotransp
Arenoso	120 mm	30
Franco arenoso	196 mm	49
Franco arcilloso	233 mm	58

Evapotranspiración 4 mm por día



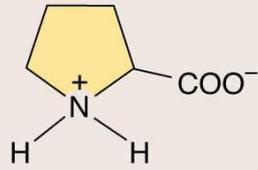
AJUSTE OSMOTICO



- 1) Qué significa este concepto?
- 2) Qué ventaja posee una planta que puede desarrollar este mecanismo?
- 3) Qué tipo de compuestos se acumulan?
 - No tienen carga neta a pH fisiológico.
 - No son tóxicos a altas concentraciones.
 - Se acumulan en el citoplasma, altamente solubles.

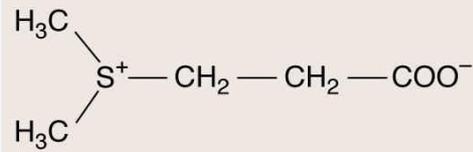
Compatible osmolytes

Amino acid:



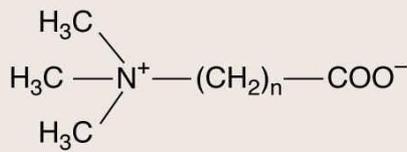
Proline

Tertiary sulfonium compound:



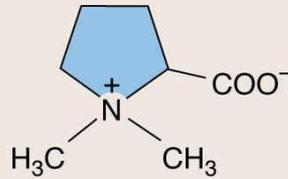
Dimethylsulfoniopropionate

Quaternary ammonium compounds:

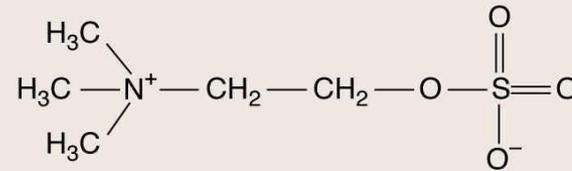


$n = 1$, Glycine betaine

$n = 2$, β -Alanine betaine

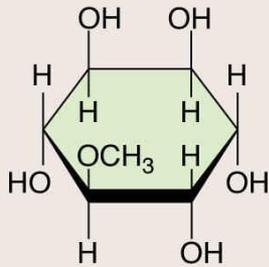


Proline betaine

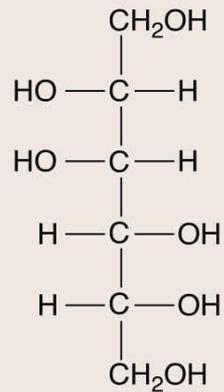


Choline-O-sulfate

Polyhydric alcohols:

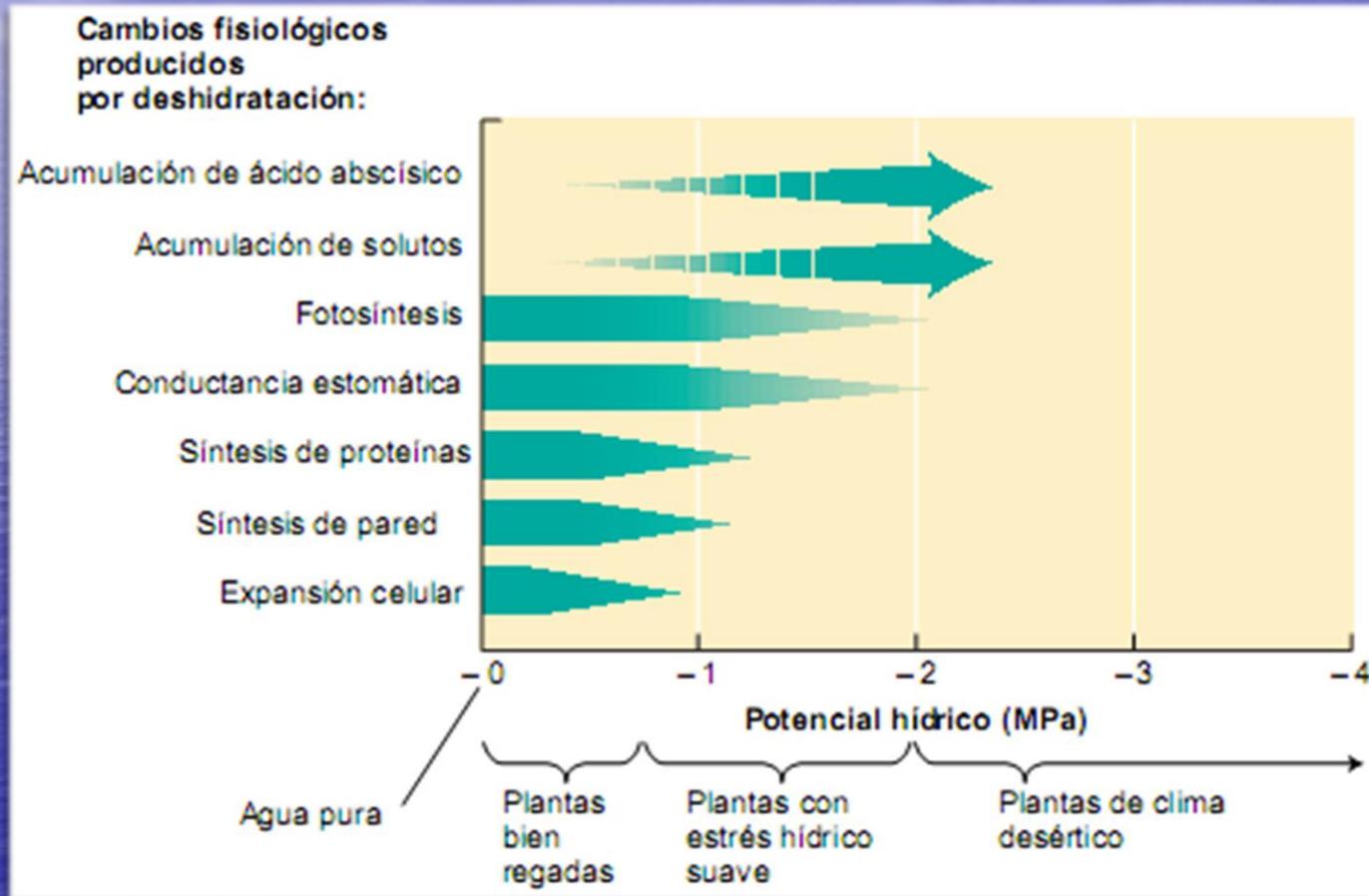


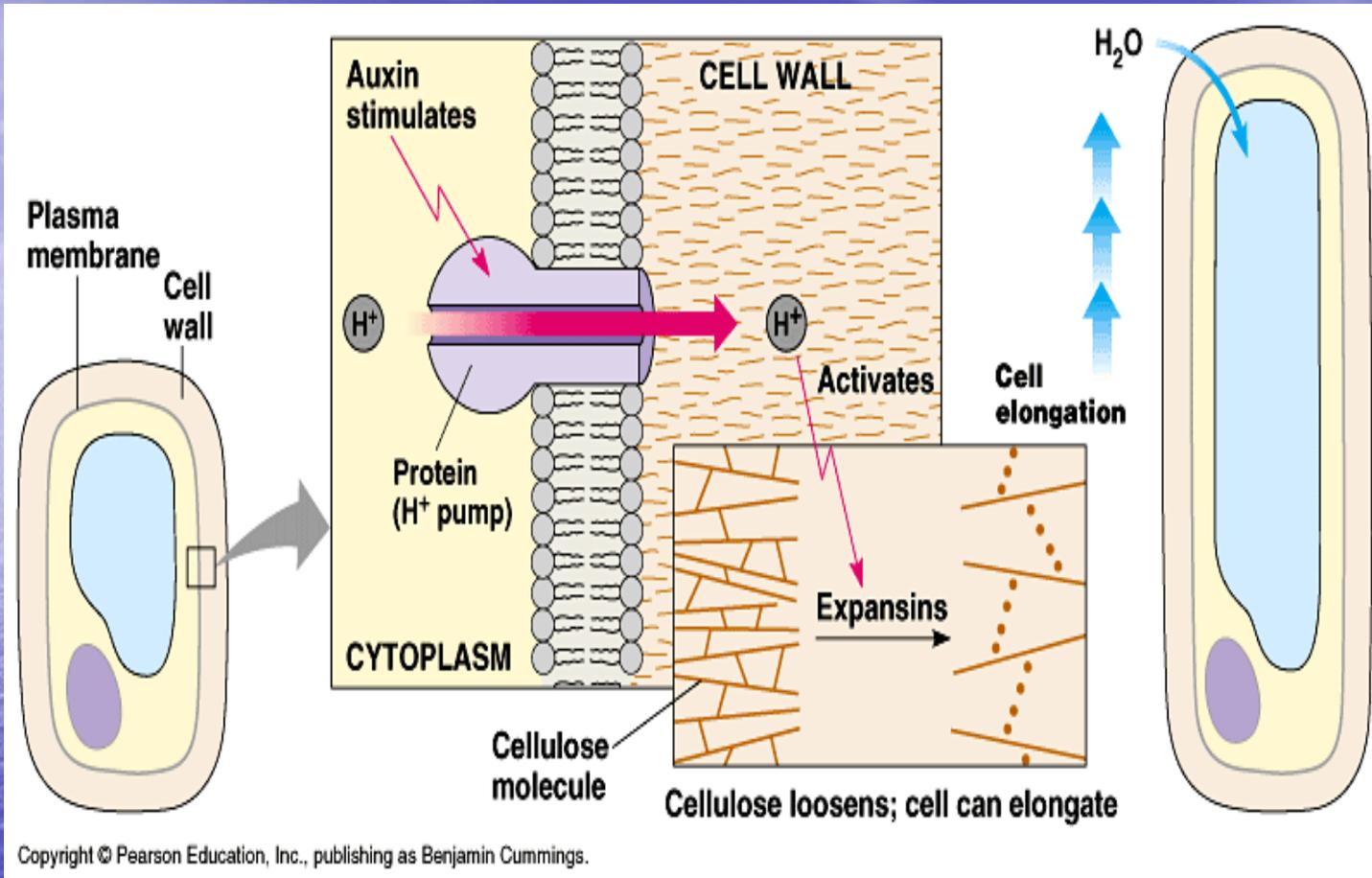
Pinitol



Mannitol

Sensibilidad a los déficits hídricos de procesos fisiológicos





$$\Psi_{sol} = \Psi_c = \Psi_s + \Psi_p$$

$$-0,1 = -0,1 = -1,1 + 1 \text{ MPa}$$

$$-0,1 = -0,6 = -1,1 + 0,5 \text{ Mpa}$$



➤ LA ***EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA (EUA)*** NOS INDICA LA CANTIDAD DE AGUA QUE SE UTILIZA PARA SINTETIZAR UN Kg DE MATERIA SECA.

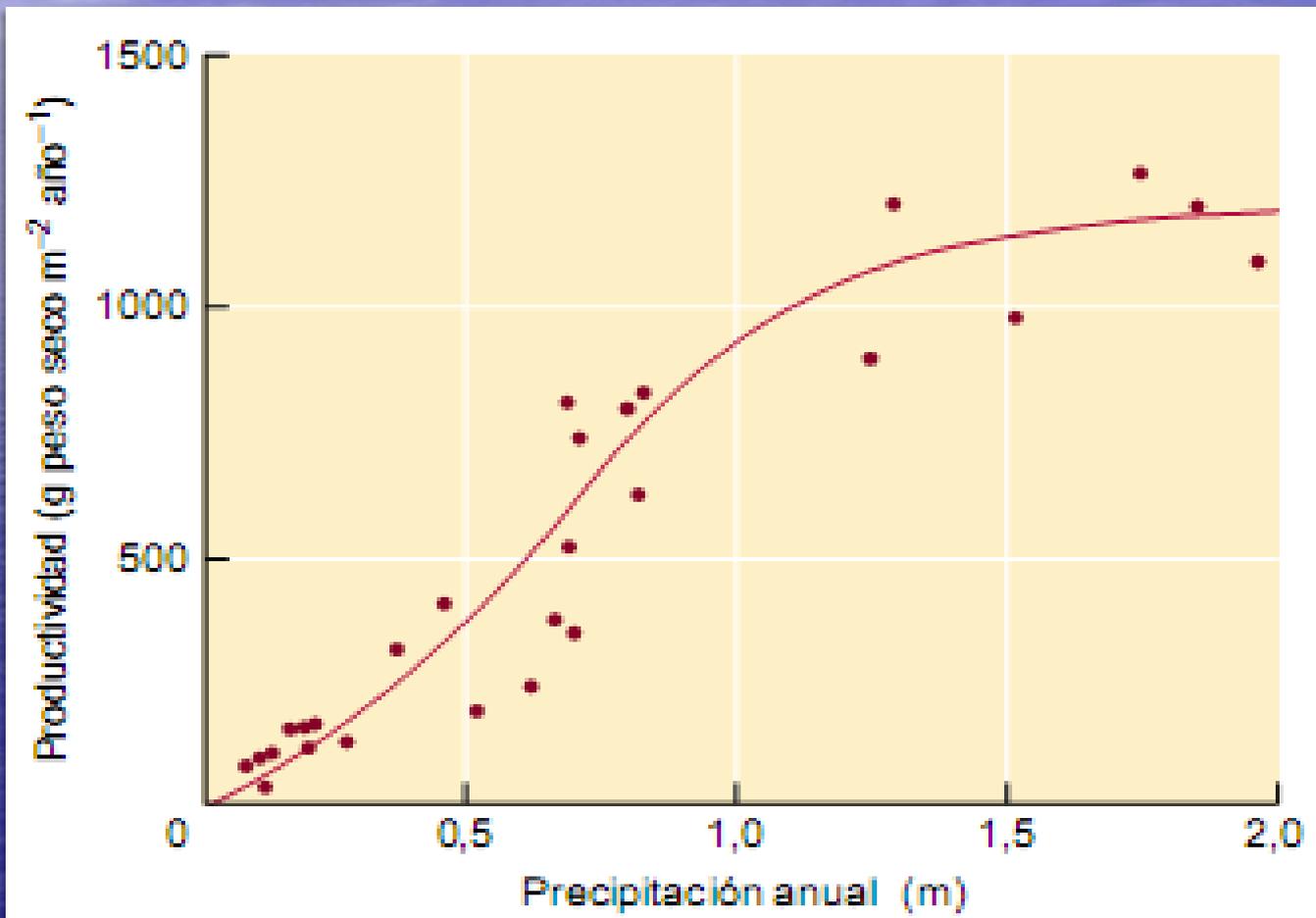
Water Use Efficiency

PS Mechanism	Water Use Efficiency g H ₂ O lost/g CO ₂ fixed
C3	500-1000
C4	200-350
CAM	50-100

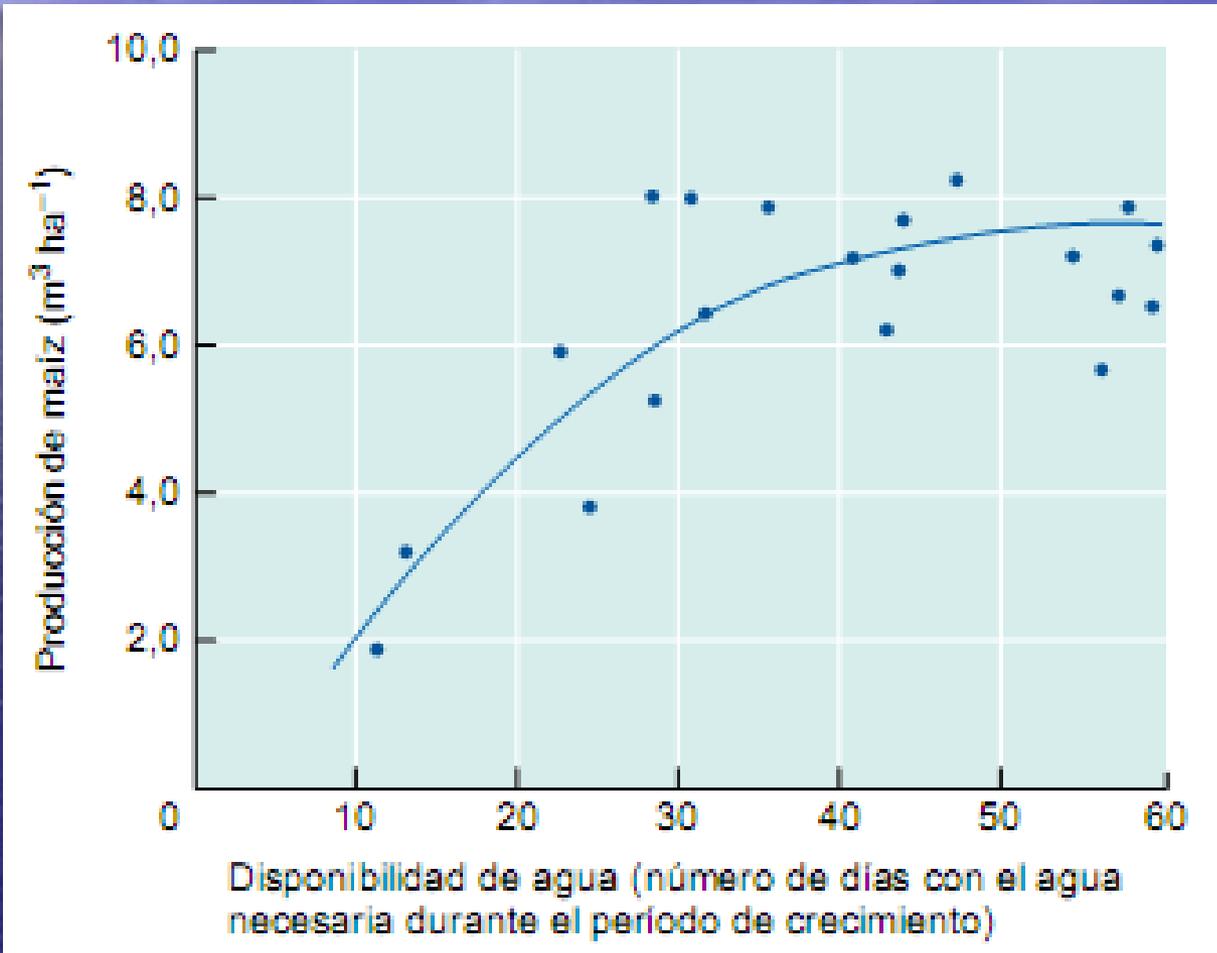
PRINCIPIOS ASOCIADOS AL USO DEL AGUA POR LAS PLANTAS.

- 1.- Existe una relación lineal entre Transpiración y Biomasa producida. La pendiente varía con el tipo de metabolismo ($C_3 \sim 2,5 \text{ g / l}$; $C_4 \sim 4-5 \text{ g / l}$; $CAM \sim 25 \text{ g / L}$)
2. - La EUA depende fundamentalmente del tipo de metabolismo (C_3 ; C_4 ; CAM).
- 3.- El Índice de cosecha esta función de la biomasa producida y de la removilización de los asimilados a la fracción cosechada. $(\text{cosechado}/\text{total}) \times 100$

Productividad en varios ecosistemas



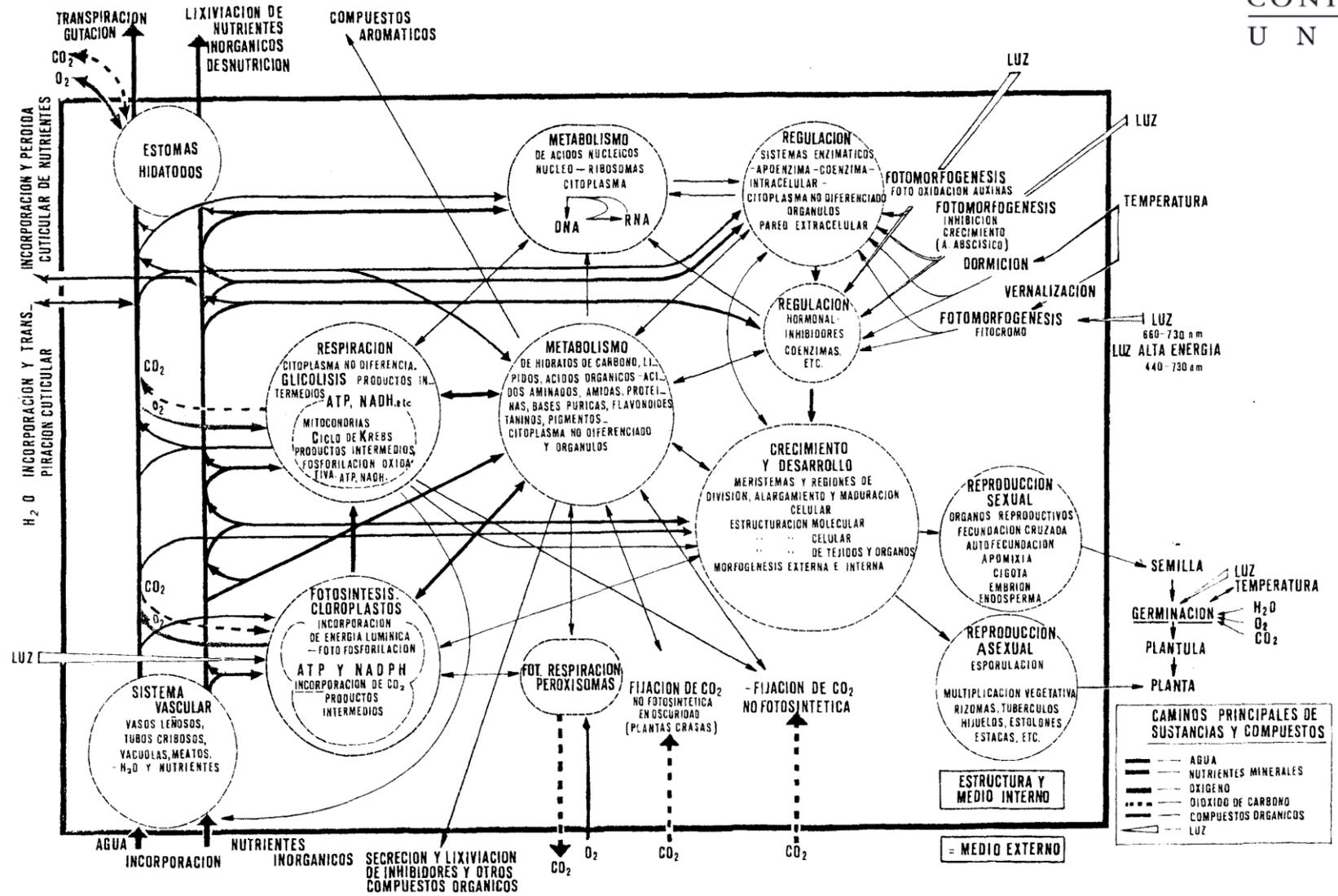
Rendimiento del maíz y disponibilidad de Agua



Relación entre rendimiento, agua y alimentación humana

Especie	Uso del Agua	Rendimiento kg x 10 ³ /ha	Valor alimenticio cal x 10 ³ /kg	Eficiencia del uso del agua		
	L x 10 ³ /ha			Kg/10 ⁴ l	Cal/l	l/2500 cal
Trigo	5078	6,7	32,6	13	4,3	575,4
Sorgo	7005	8,9	33,3	12	4,3	582,9
Papa	4059	53,7	6,1	133	8,2	306,6
Tomate	4826	67,2	2,1	139	2,9	859,3
Naranja	13487	49,3	2,9	36	1,0	2377,2

- PROCESOS FUNDAMENTALES EN LA VIDA DE UN VEGETAL -



CAMINOS PRINCIPALES DE SUSTANCIAS Y COMPUESTOS

- AGUA
- NUTRIENTES MINERALES
- - - OXIGENO
- ... DIOXIDO DE CARBONO
- · - · - COMPUESTOS ORGANICOS
- ☀️ LUZ

BIBLIOGRAFIA

- Azcón-Bieto, Joaquín y Manuel Talón. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. 522 pág. McGraw Hill. Interamericana.
- Azcón-Bieto, Joaquín y Manuel Talón. 2008. Fundamentos de Fisiología Vegetal. 651 pág. McGraw Hill. Interamericana.
- Hartmann H.T. y Kester D. E. 1997. Propagación de las Plantas. Principios y Prácticas. 786 pag. Compañía Editorial Continental S. A. Mexico.
- Kramer, Paul J. and Koslowski, Theodore T. 1979. Physiology of woody plants. 811 pág. Academic Press.
- Lange, O.L.; Nobel,P.S.; Osmond,C.B. & Ziegler,H. (Ed).1982. Encyclopedia of plant physiology. New Series. Vol.12 A,B,C,D. Physiological plant ecology. Springer-Verlag. Berlin.
- Montaldi, E. R. 1995. Principios de Fisiología Vegetal. Ediciones SUR.
- Nobel, P.S. 2020. Physicochemical and environmental plant physiology. 635 pag. Academic Press.
- Salisbury,F.B. & Ross,C.W. 2000. Fisiología Vegetal. Trad. Biol. Virgilio González Velázquez. Grupo Editorial Iberoamerica.
- Salisbury,F.B. & Ross,C.W. 2000. Fisiología de las plantas. Trad. José Manuel Alonso. Paraninfo. Thomson Learning.
- Stryer,L. 1990. Bioquímica. 2 Tomos. 3ra.Ed. 1084 pag. Ed. Reverté.
- Taiz,L. & Zeiger,E. 1998. Plant physiology. 772 pág. Sinauer Associates, Inc. Publisher.
- Taiz,L. & Zeiger,E. 2002. Plant physiology. 3ra.Ed 779 pág. Sinauer Associates, Inc. Publisher.
- Taiz,L. & Zeiger,E. 2006. Plant physiology. 4ta.Ed 705 pág. Sinauer Associates, Inc. Publisher.
- Taiz,L. & Zeiger,E. 2006. Fisiología Vegetal. Traducción de la3ra.Ed 1.338 pág. Editorial Universitat Jaume. I.
- Taiz,L. & Zeiger,E. Plant Physiology. 4ta.Ed. Sinauer Associates, Inc. Publisher. 2006. www.plantphysiology on line.
- Taiz.L. & Zeiger.E. 2015. Plant physiology. 5ta.Ed 785 pág. Sinauer Associates. Publisher.

Muchas gracias

