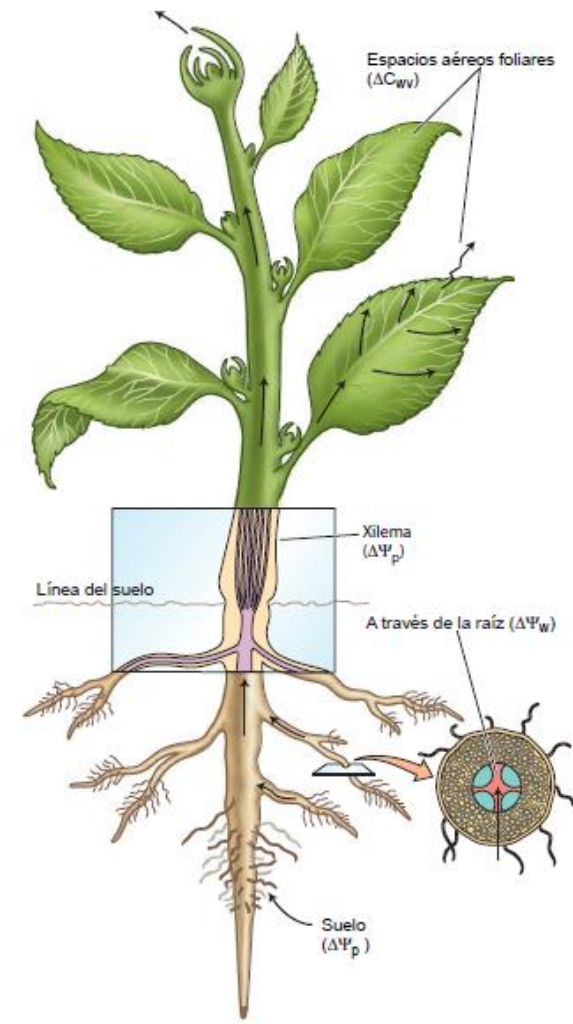


RELACIONES HÍDRICAS. ECONOMÍA DEL AGUA.



CLASE 2

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. $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$

Componentes del Ψ

Su magnitud varía en diferentes partes de la planta

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

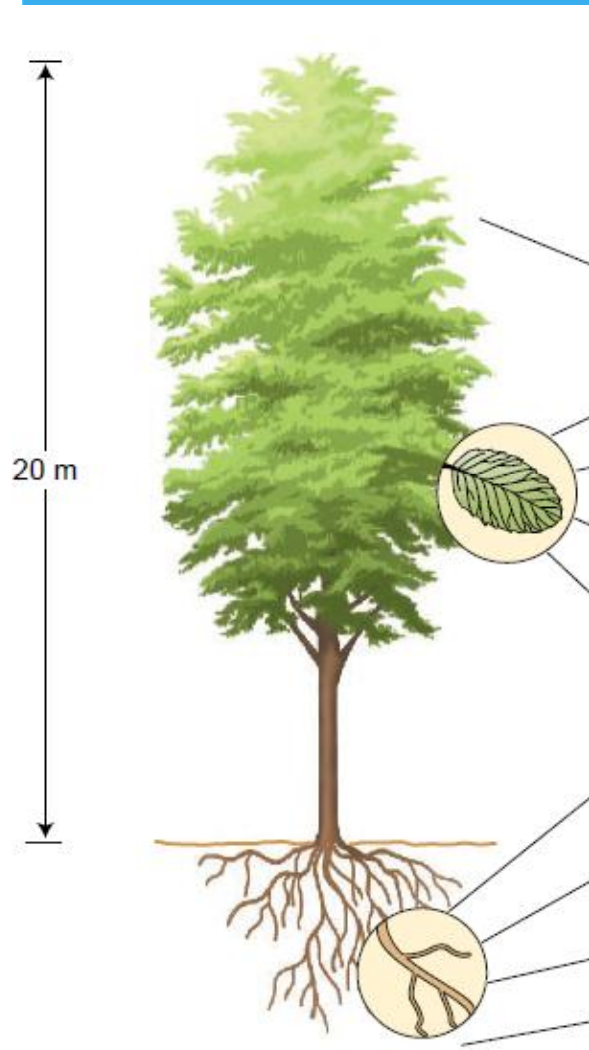
Solutos

Presión (- tensión)

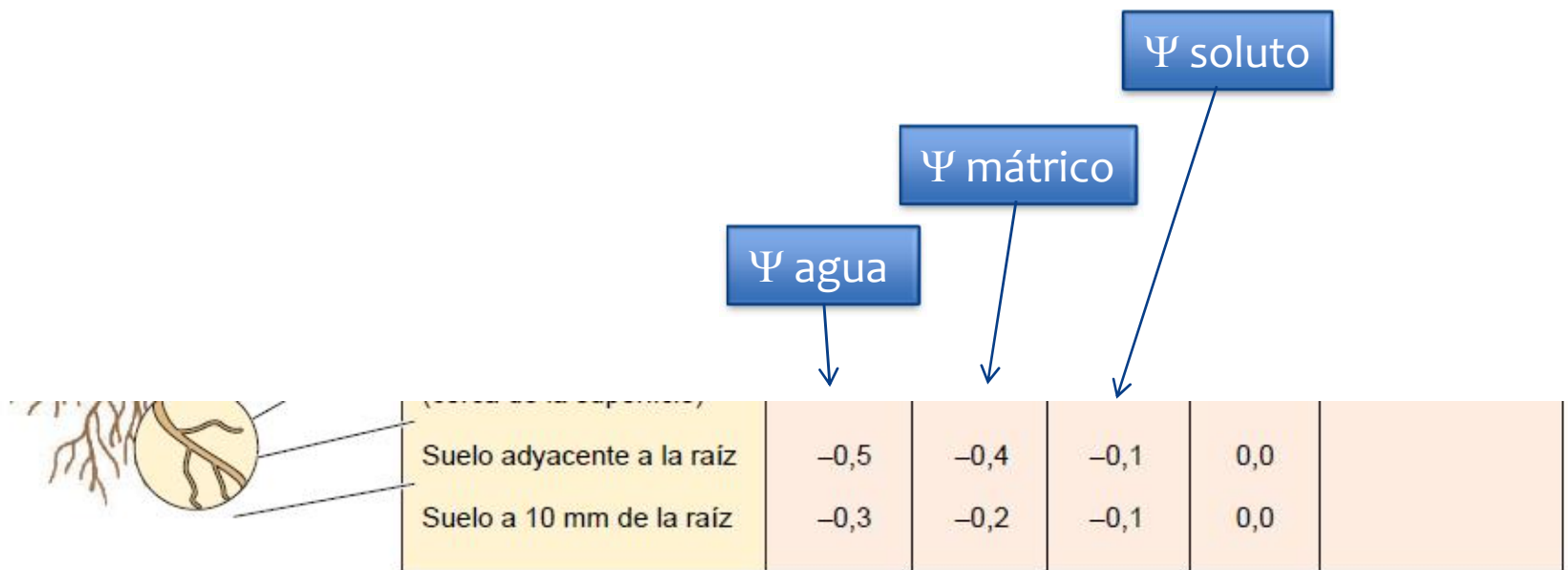
Mátrico

Gravitatorio

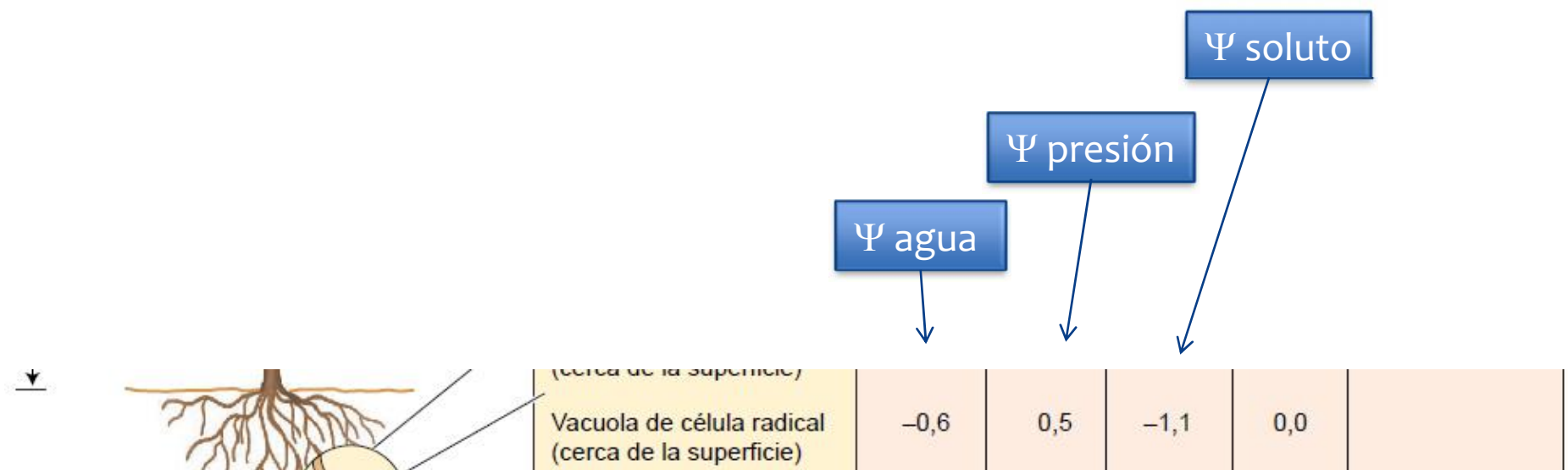
VALORES DE ϵ_w Y SUS COMPONENTES



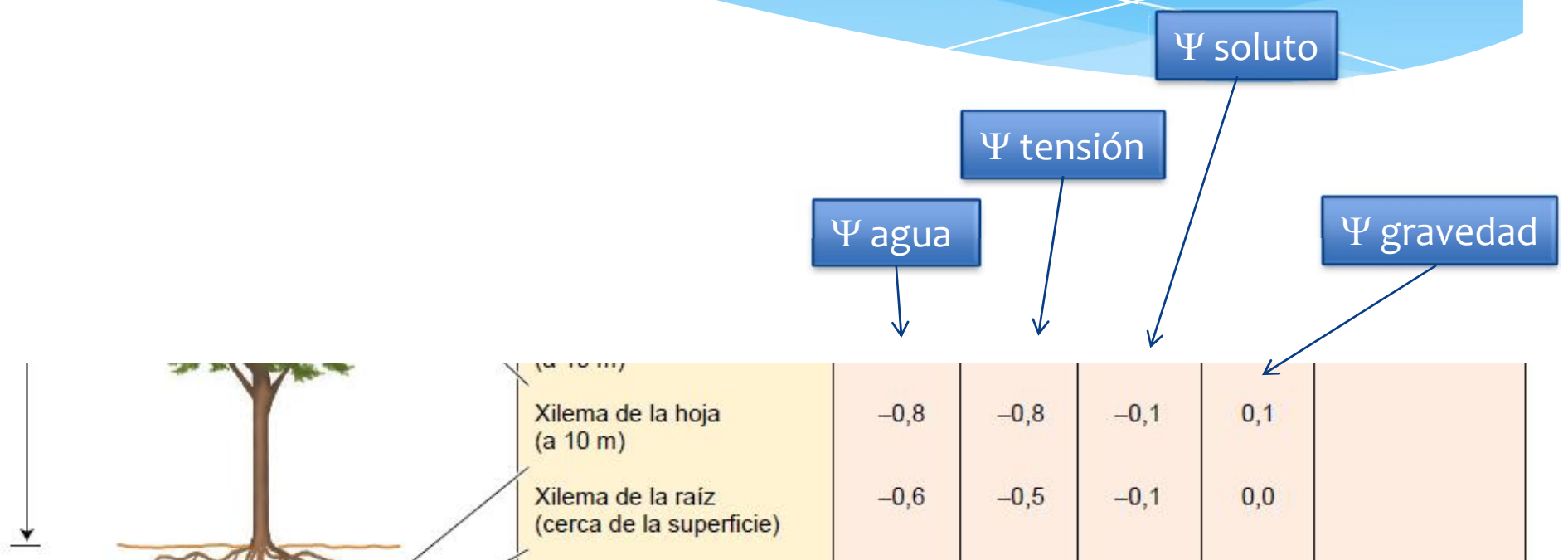
VALORES DE Ψ_w Y SUS COMPONENTES



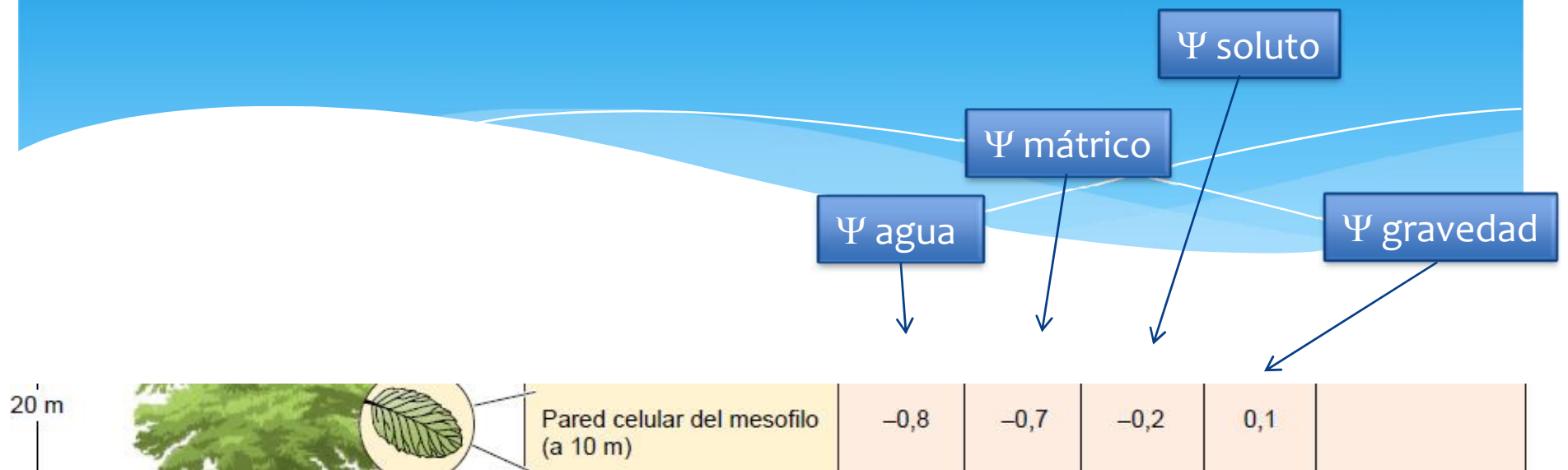
VALORES DE Ψ_w Y SUS COMPONENTES



VALORES DE Ψ_w Y SUS COMPONENTES



VALORES DE Ψ_w Y SUS COMPONENTES



**El agua se mueve en un continuo desde el suelo
hacia la planta y la atmósfera**



Atmósfera

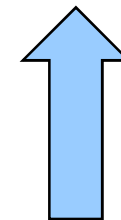


Planta




Suelo

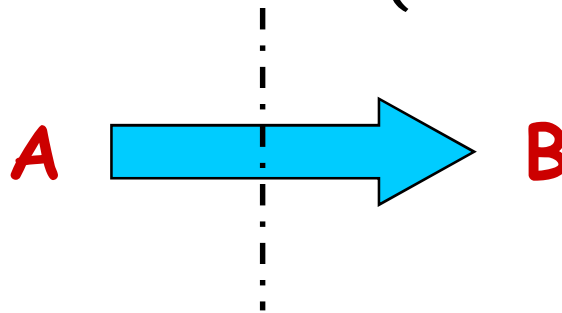
**Potenciales
menores**



**Potenciales
mayores**



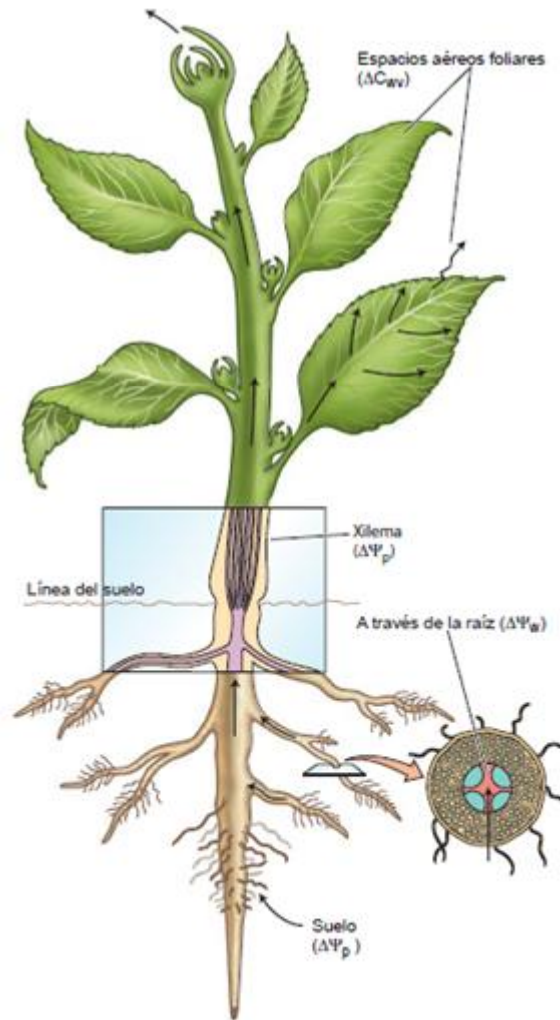
El flujo de agua entre dos puntos depende del gradiente de potencial agua y de los obstáculos que encuentre el agua en el camino (resistencias R)



$$\text{Flujo de H}_2\text{O} = \frac{\Psi_A - \Psi_B}{R}$$

Unidades = cantidad de agua por unidad de área y de tiempo

Resistencias al flujo de agua en el continuo suelo – planta - atmósfera



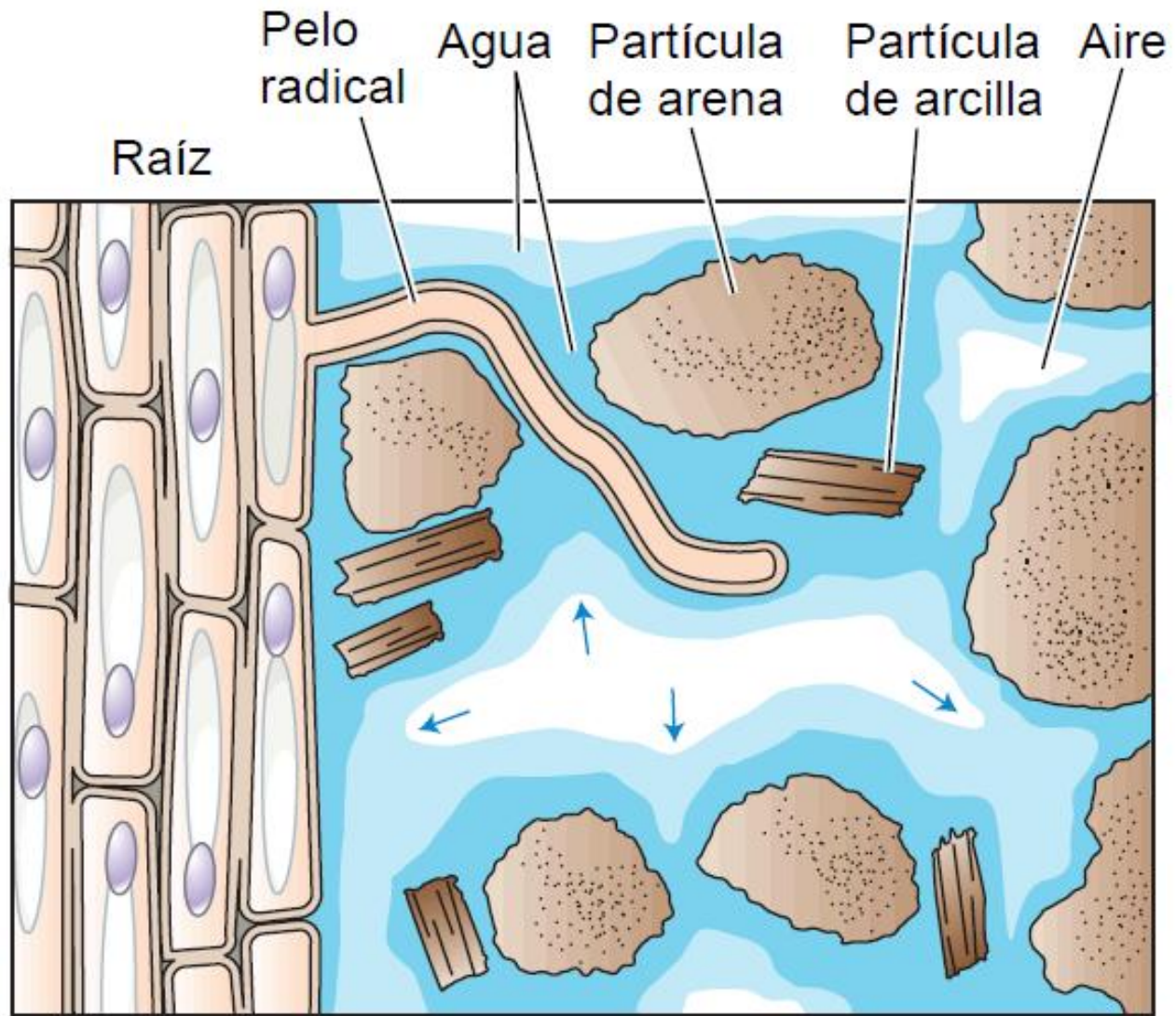
Suelo


Raíz

Tallo

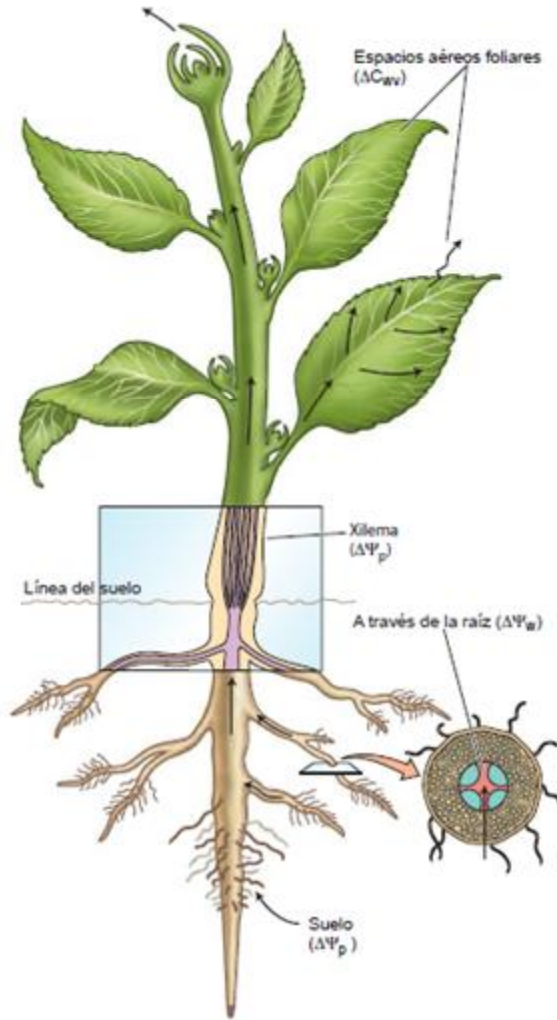
Hoja

El suelo tiene distintos componentes



- 
- * MOVIMIENTO DE AGUA EN EL SUELO.
Depende de la resistencia del suelo y del gradiente de potencial agua entre dos regiones.
 - * La resistencia depende del tipo de suelo y su contenido de agua

Resistencias al flujo de agua en el continuo suelo – planta - atmósfera



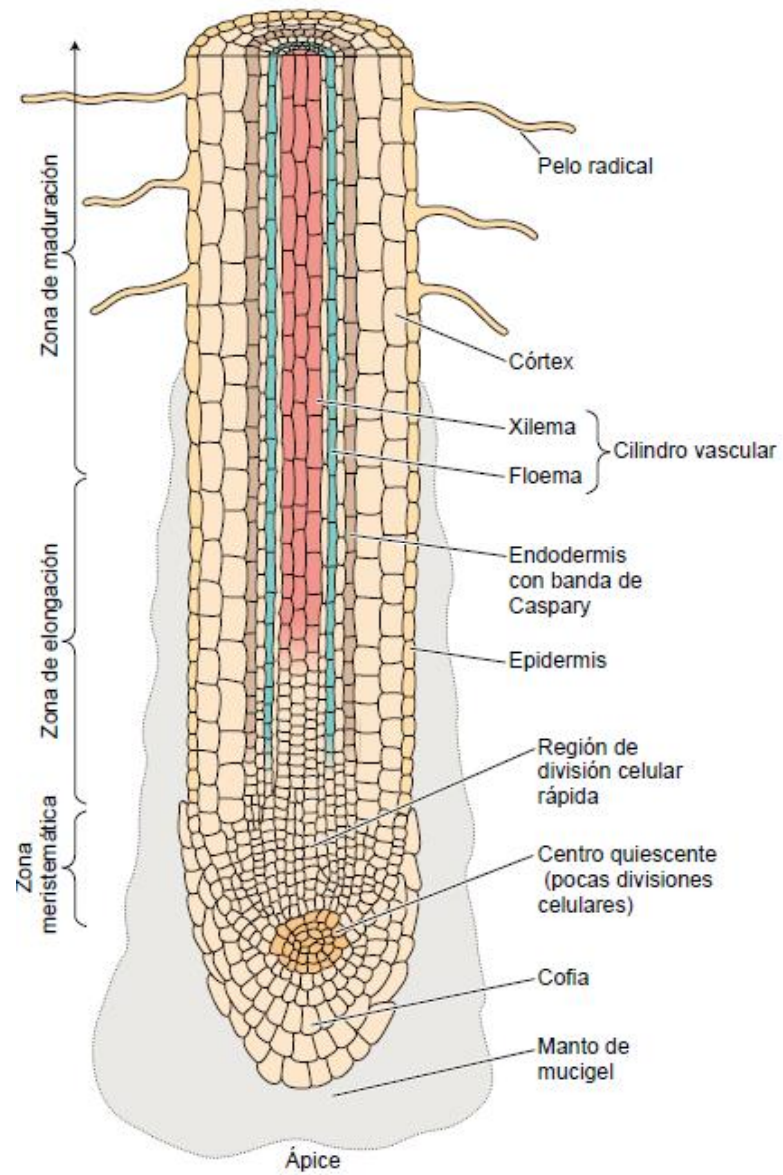
Suelo

Raíz

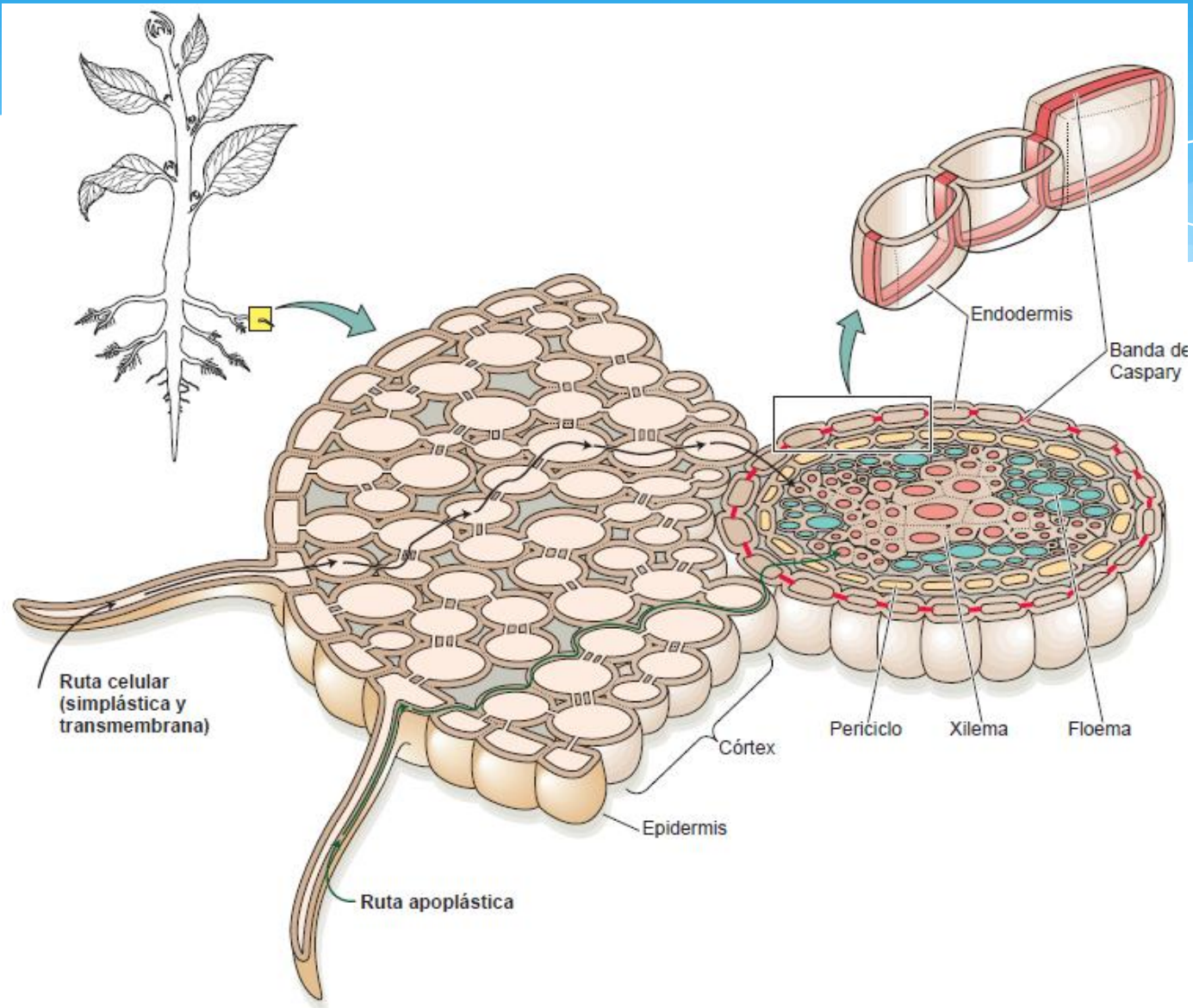
Tallo

Hoja

Estructura de la raíz



Recorridos del agua en la raíz. Apoplasto, simplasto, transmembrana

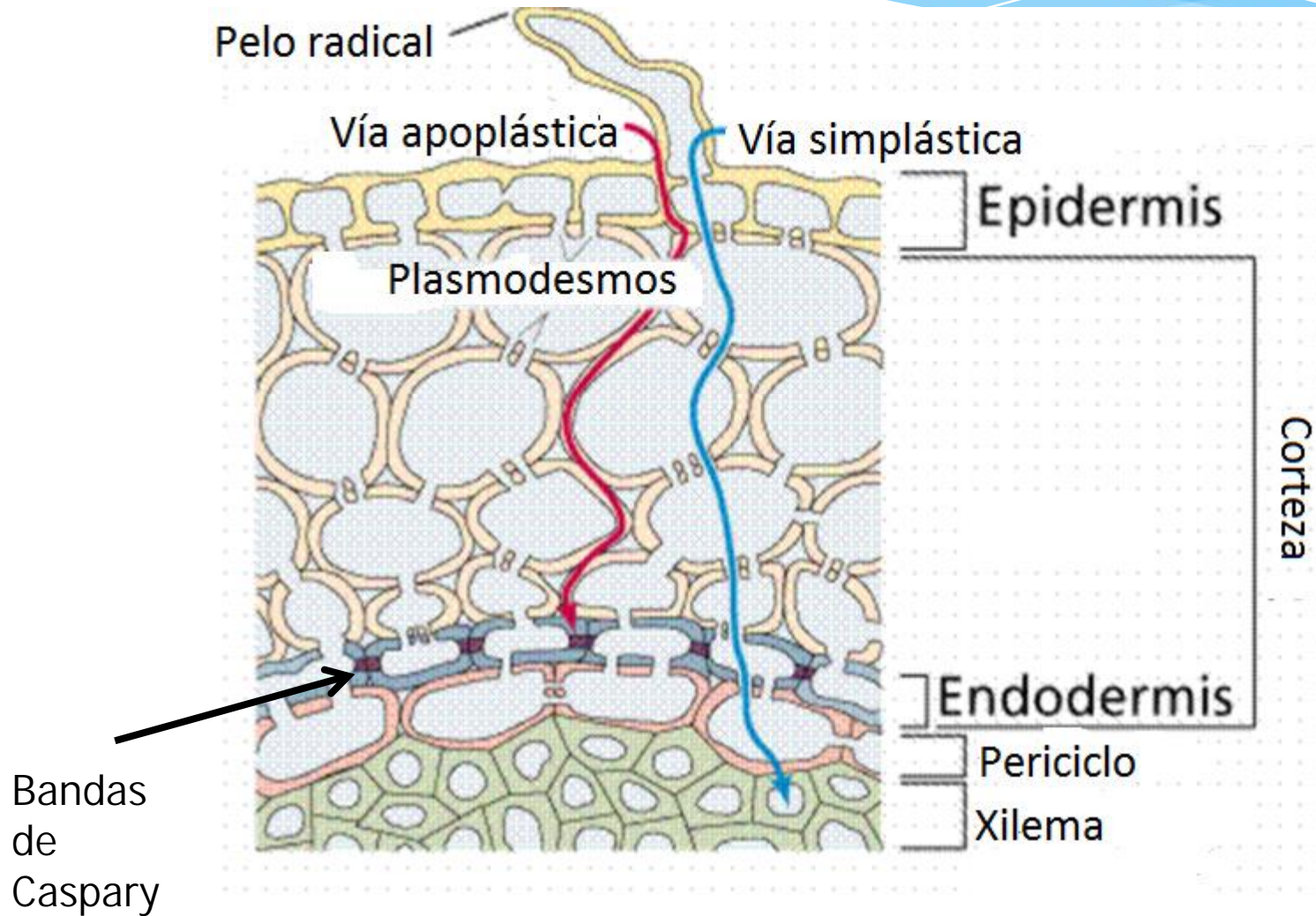


Resistencias al flujo de agua: simplasto y apoplasto

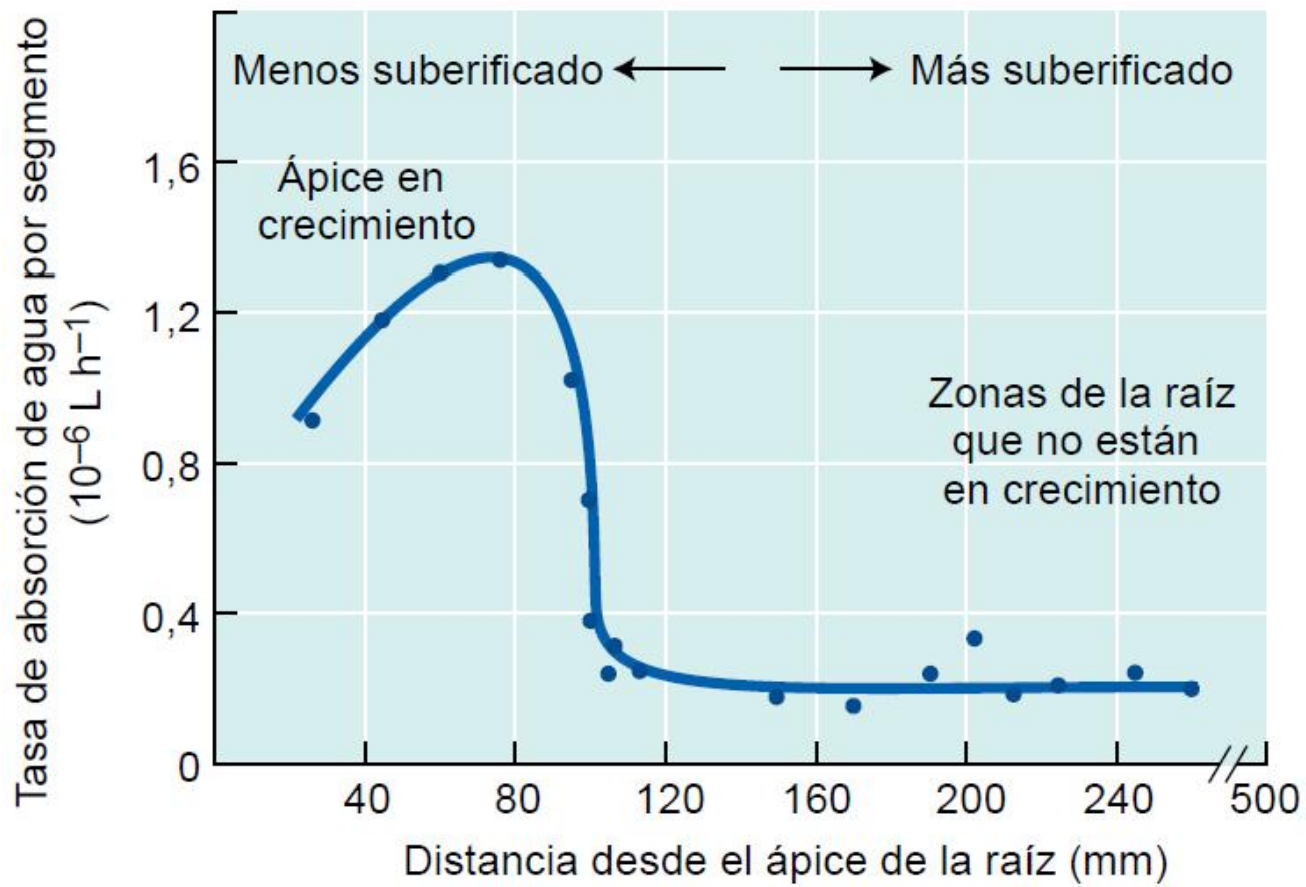
Apoplasto: espacios intercelulares y paredes celulares, baja resistencia al movimiento del agua. Se interrumpe en las bandas de Caspary

Simplasto: a través de las células, al tener que atravesar la membrana plasmática la resistencia al movimiento del agua es mayor

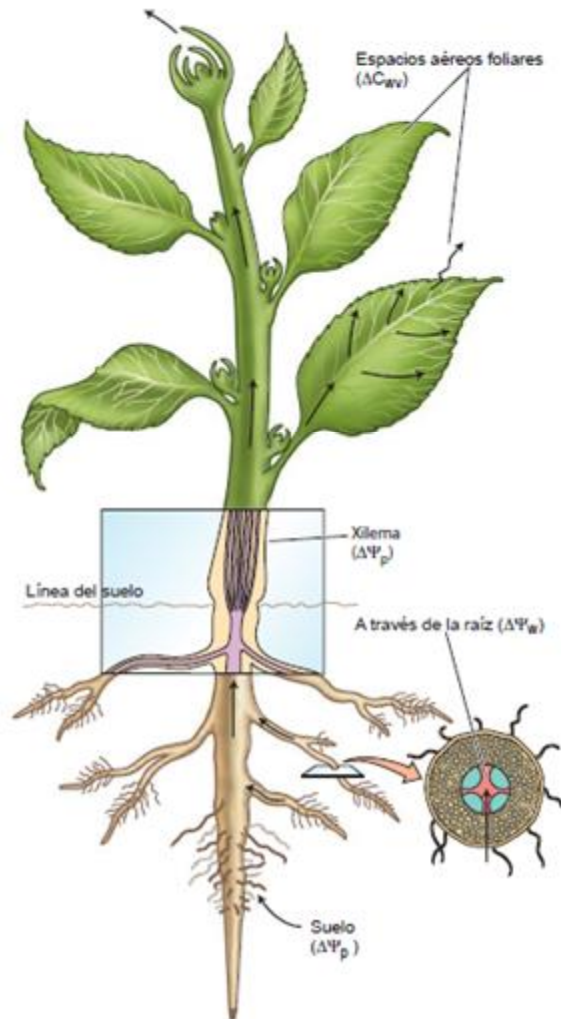
Vía apoplástica y simplástica



Tasa de absorción de agua según la zona de la raíz del zapallo



Resistencias al flujo de agua en el continuo suelo – planta - atmósfera



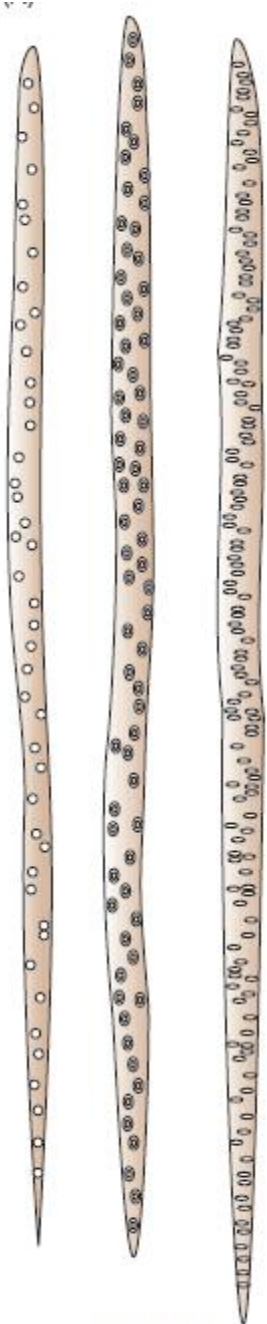
Suelo

Raíz

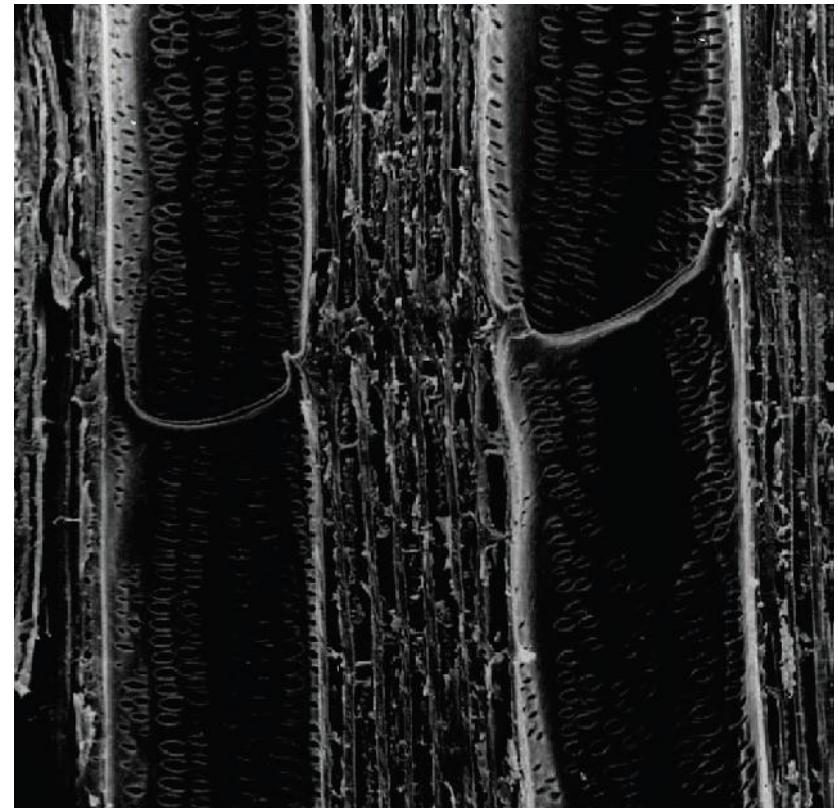
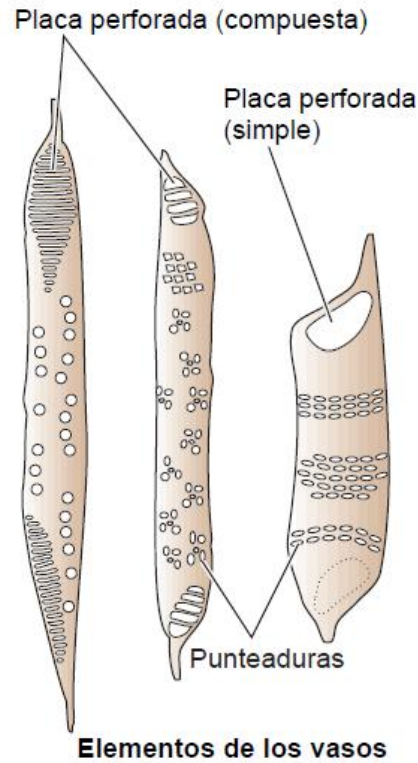
Tallo

Hoja

Movimiento del agua a través del xilema



Traqueidas



Resistencias al flujo de agua en el xilema

Ecuación de Poiseuille para el flujo de agua

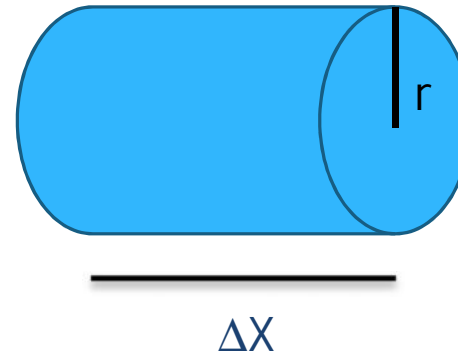
$$\text{Flujo de agua} = \left(\frac{\pi r^4}{8\eta} \right) \left(\frac{\Delta \Psi_P}{\Delta X} \right)$$

r = radio del tubo

η = viscosidad del agua

$\Delta \Psi$ = gradiente de presión

ΔX = distancia



MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL XILEMA. FLUJO MASAL.

El flujo de agua es mayor en los vasos que en las traqueidas

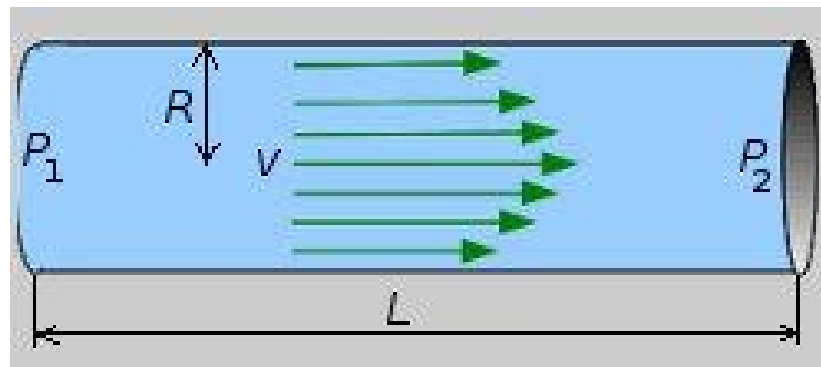
Traqueida: $40 \mu\text{m}$ ($r = 20 \mu\text{m}$)

Vaso : $200 \mu\text{m}$ ($r = 100 \mu\text{m}$)

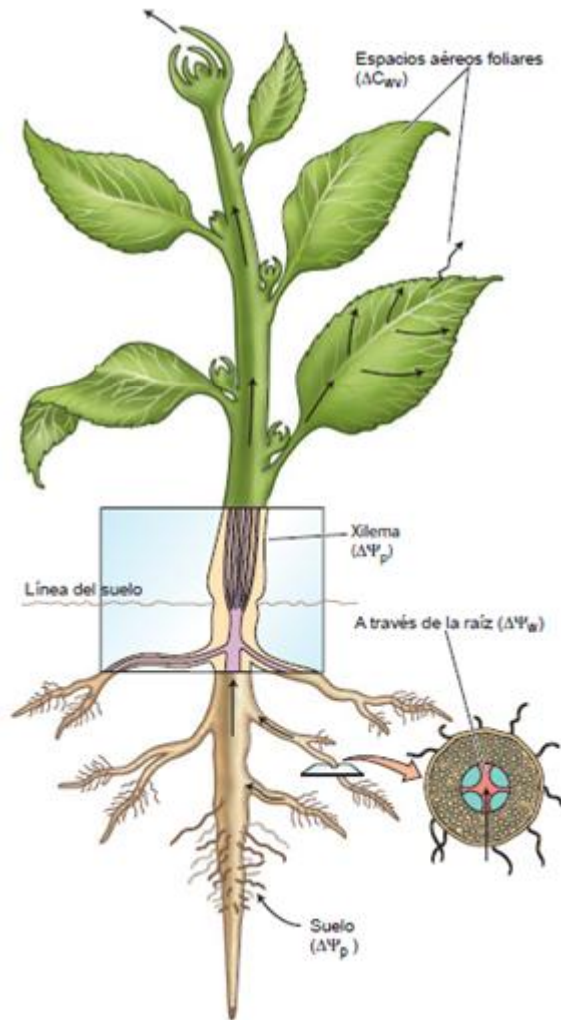
El diámetro del vaso es 5 veces mayor ($5^4 = 625$) el flujo es **625 veces superior en el vaso.**

MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL XILEMA. FLUJO MASAL.

En un fluido viscoso, la velocidad es menor cerca de las paredes (por el roce) y mayor en el centro del tubo



Resistencias al flujo de agua en el continuo suelo – planta - atmósfera



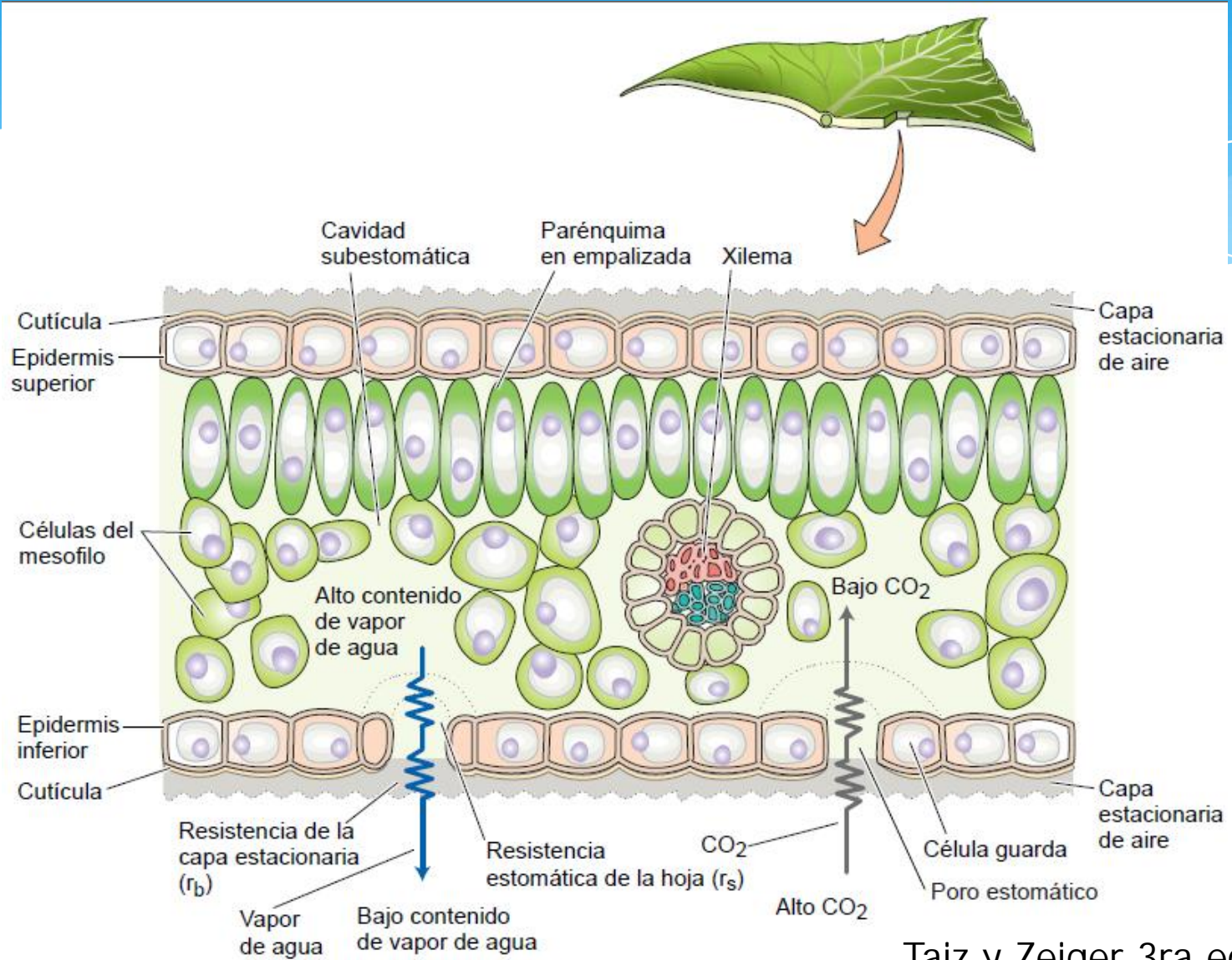
Suelo

Raíz

Tallo


Hoja

Estructura de la hoja



Resistencias al movimiento del agua de la hoja a la atmósfera

- Resistencia del mesófilo
- Resistencia de la cutícula
 - Resistencia de los estomas (máxima si están cerrados, mínima si están abiertos)
 - Resistencia de la capa estacionaria de aire (capa límite)



Hasta aquí, el agua se mueve en estado líquido, pero en la hoja pasa a estado gaseoso:

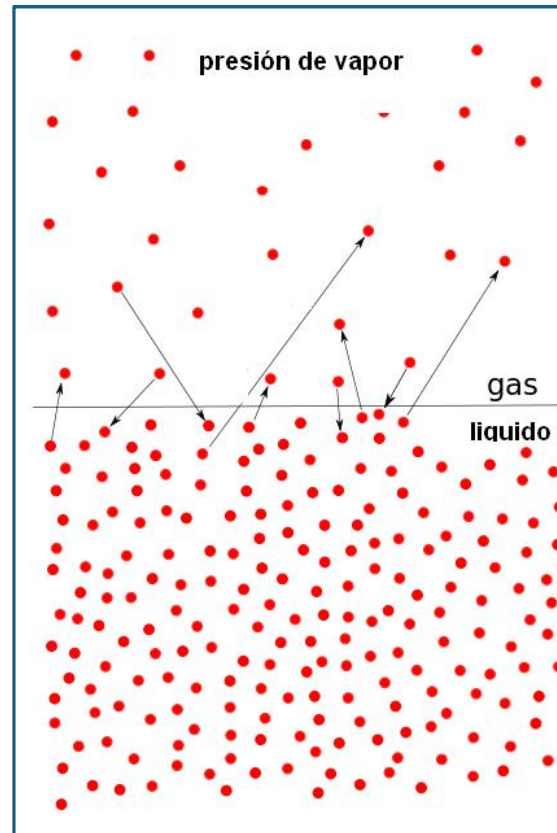
Transpiración: pérdida a agua en forma de vapor.

97% del agua que las plantas absorben se transpira

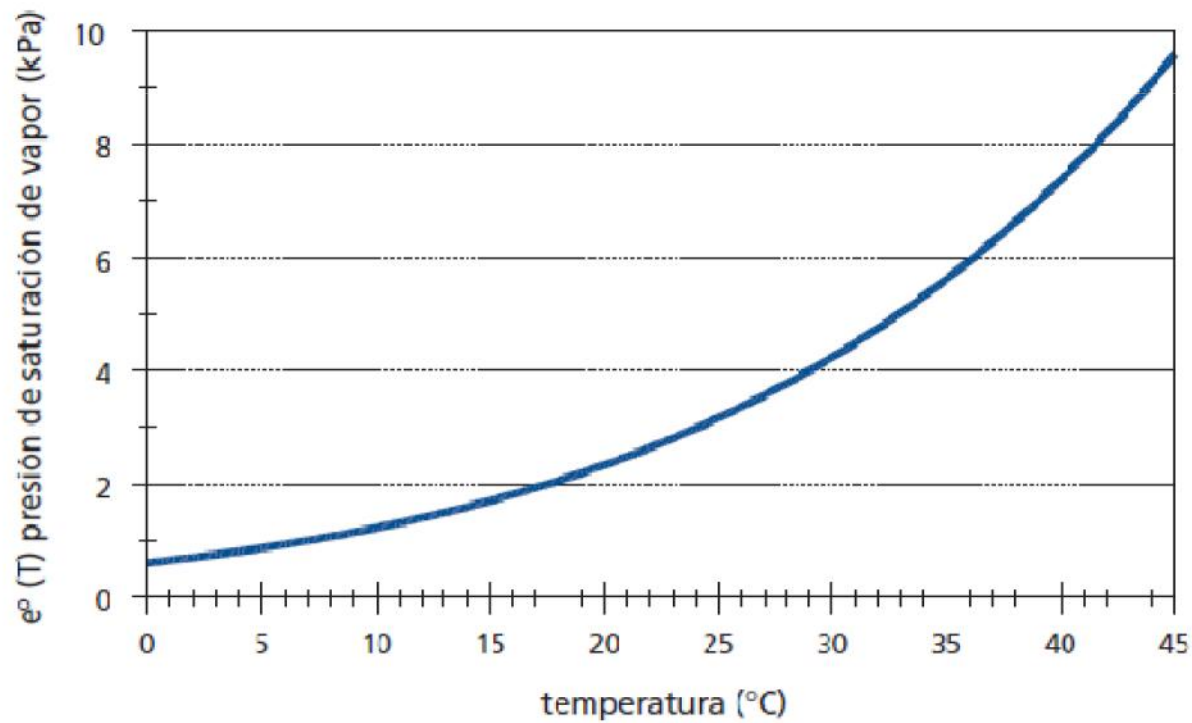
**Potencial agua del aire: está
relacionado con la Presión de vapor
y la humedad relativa**



Presión de vapor: presión ejercida por el vapor en equilibrio con la fase líquida



La presión de vapor a saturación depende de la temperatura (no es lineal)



Potencial agua del aire (o o -)

$$\Psi_{\text{aire}} = \frac{R T}{V} \ln (e / e_0)$$

R = cte de los gases ideales

T = temperatura absoluta (grados kelvin)

e/e_0 = relación entre la presión de vapor de la atmósfera (e) y la presión de vapor a saturación (e_0)

= **humedad relativa (HR)**

V = volumen molar parcial



Potencial agua del aire (o o -)

La ecuación anterior se puede reordenar y escribir en función de la humedad relativa:

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

Humedad relativa: relacionada con el potencial agua

| Humedad relativa (%) | Potencial agua (MPa) |
|----------------------|----------------------|
| 100 | 0 |
| 99 | -1,38 |
| 95 | -7,04 |
| 50 | -93,6 |

A 25 °C

Taiz y Zeiger 2004

El agua se mueve desde el suelo hacia la planta y hacia la atmósfera

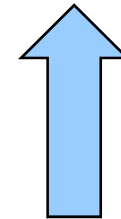


Atmósfera



hoja

Menor
concentración
de vapor de
agua



Mayor
concentración
de vapor de
agua (100 %
HR)



* **Movimiento del vapor de agua**

* **Difusión**, *movimiento espontáneo de sustancias desde regiones de alta concentración a regiones de baja concentración*



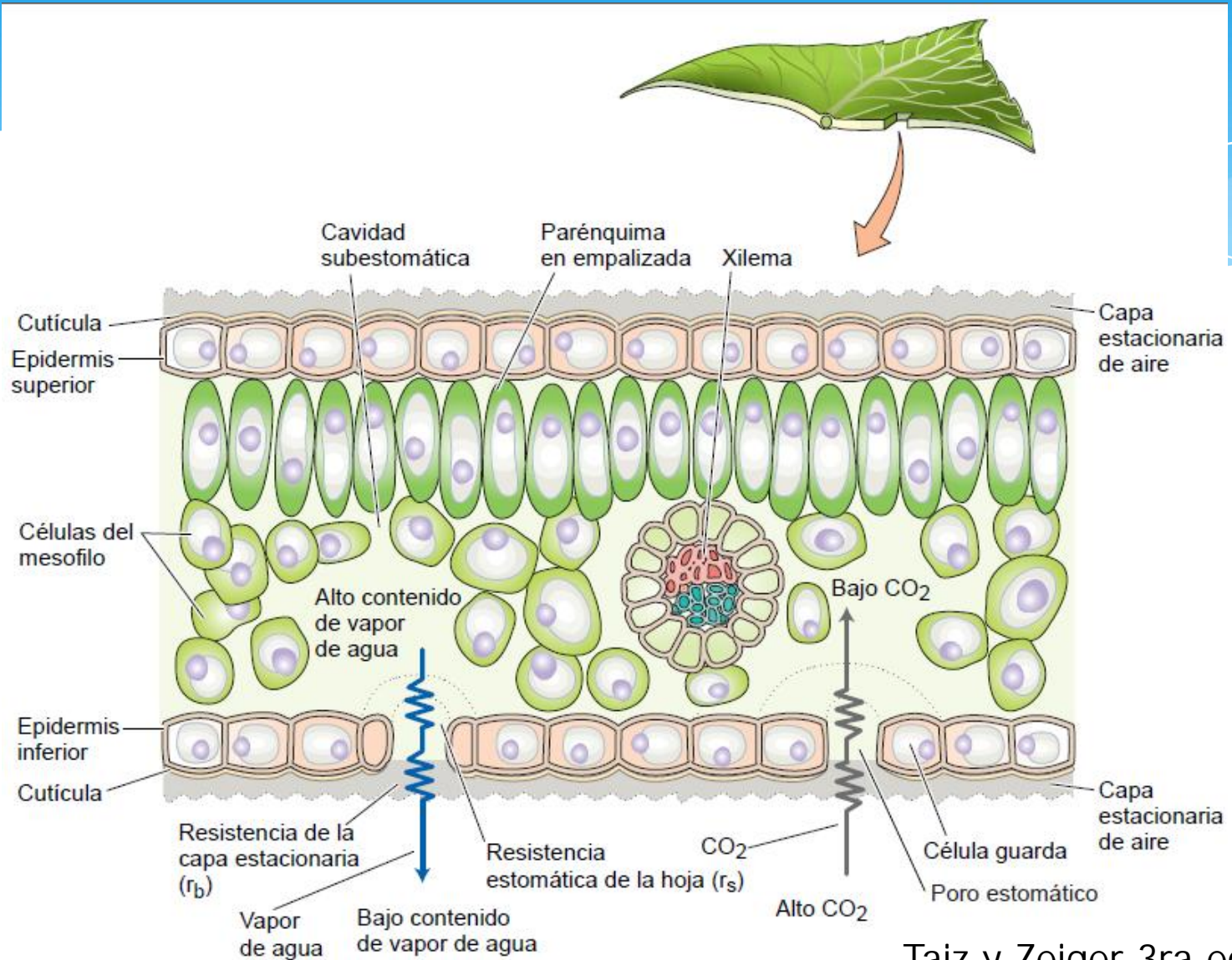
TRANSPIRACION



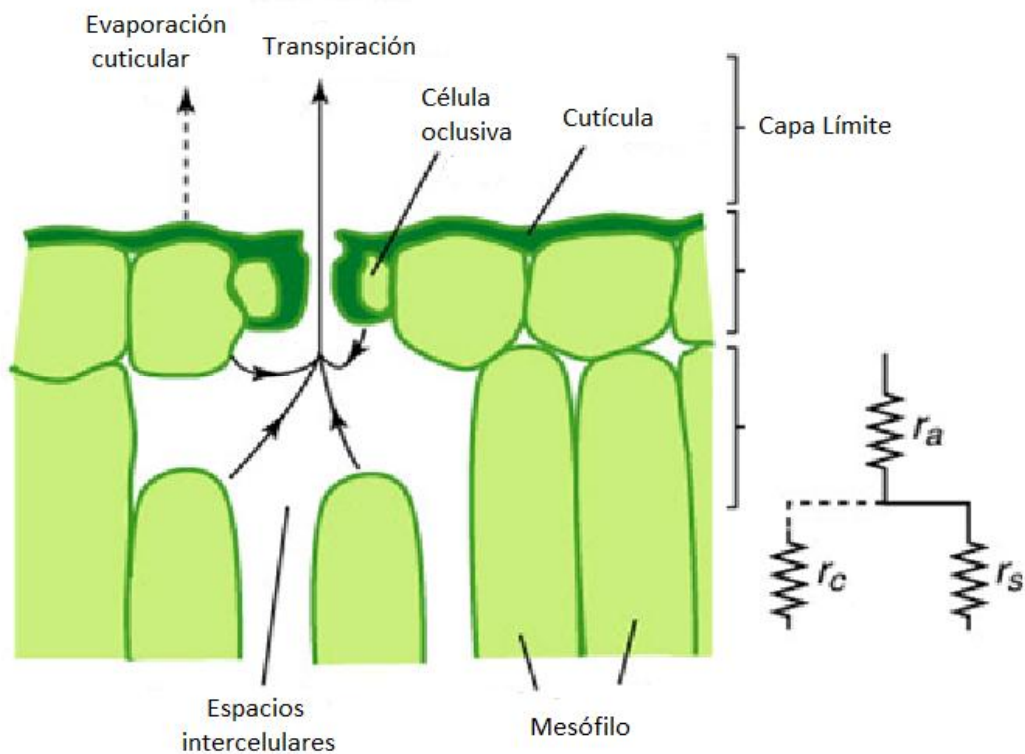
Transpiración:

Pérdida de agua en forma de vapor.
El vapor de agua difunde siguiendo
un gradiente de potencial agua.

Movimiento del vapor de agua en la hoja



Taiz y Zeiger 3ra ed



Vías para la pérdida de agua desde la superficie de una hoja.

Resistencia de la capa límite (r_a),
 resistencia cuticular (r_c) y
 resistencia estomática (r_s).

Transpiración (T)

$$T = \frac{(\Psi_{\text{aire}} - \Psi_{\text{hoja}})}{\Sigma R}$$

$$\Sigma R = R_{\text{estomas}} + R_{\text{capa límite}} + R_{\text{cutícula}}$$

Unidades = cantidad de agua / área x tiempo

Valores de potencial agua y humedad relativa en la vía de salida del vapor de agua de la hoja hacia el aire

| Lugar (25°C) | Humedad relativa (%) | Potencial agua (MPa) |
|----------------------------------|----------------------|----------------------|
| Espacio aéreo del mesófilo | 99 | -1,38 |
| Justo debajo del poro estomático | 85 | -7,04 |
| Justo afuera del poro estomático | 47 | -103,7 |
| Aire exterior | 50 | -93,6 |

* **Transpiración de la planta entera**

$$E = \frac{j_{\text{suelo}} - j_{\text{aire}}}{SR}$$

$$R = RS + RR + RX + RM + RC + RE + RA$$

RS: resistencia del suelo

RS: resistencia de la raíz

RX: resistencia del xilema

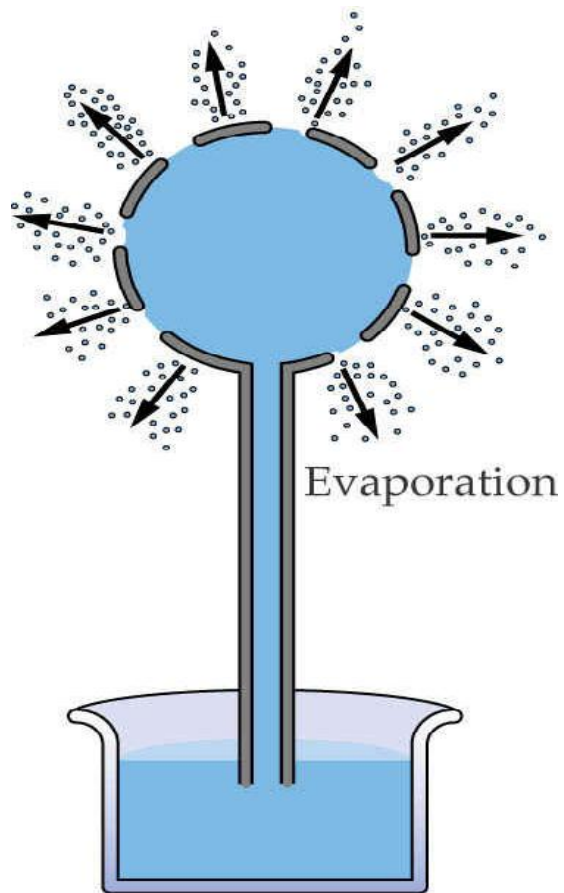
RM: resistencia del mesófilo

RC: resistencia de la cutícula

RE: resistencia de los estomas

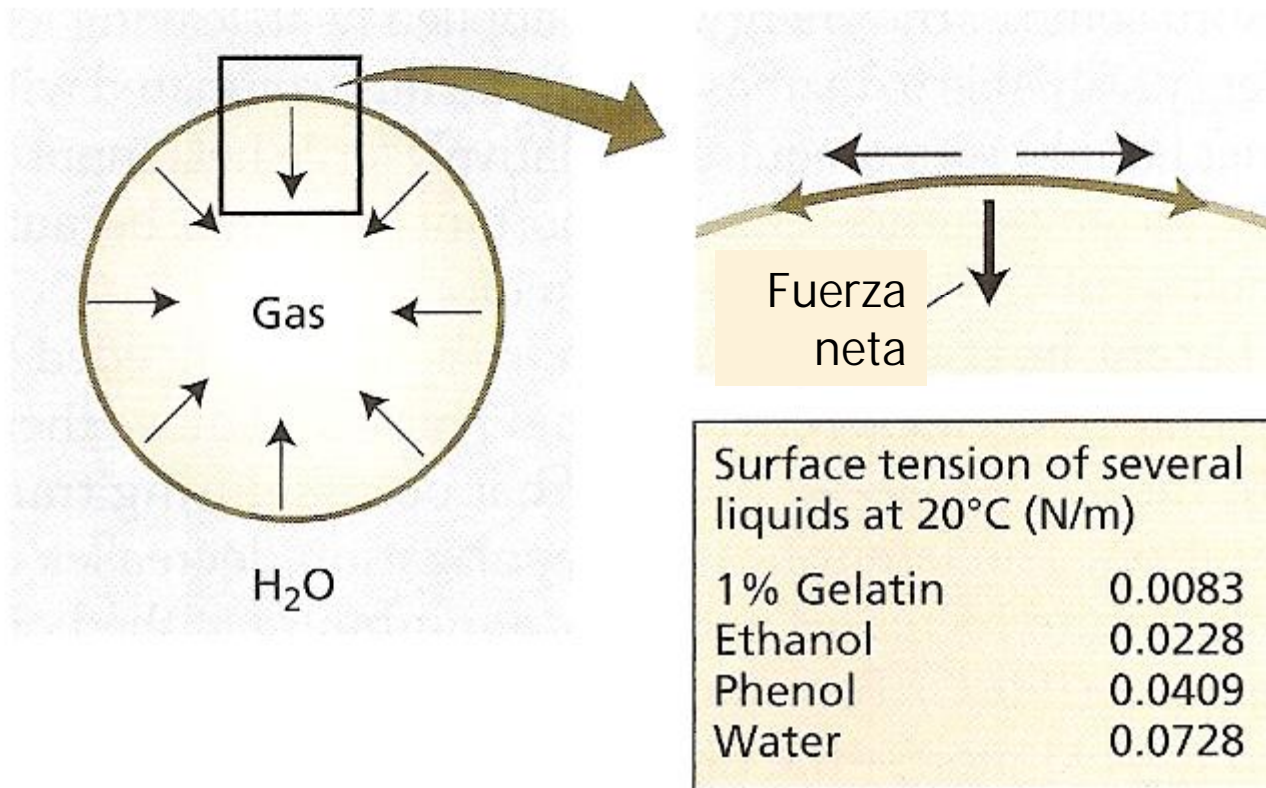
RA: resistencia de la capa límite

TEORÍA TENSO-COHESO-TRANSPIRATORIA

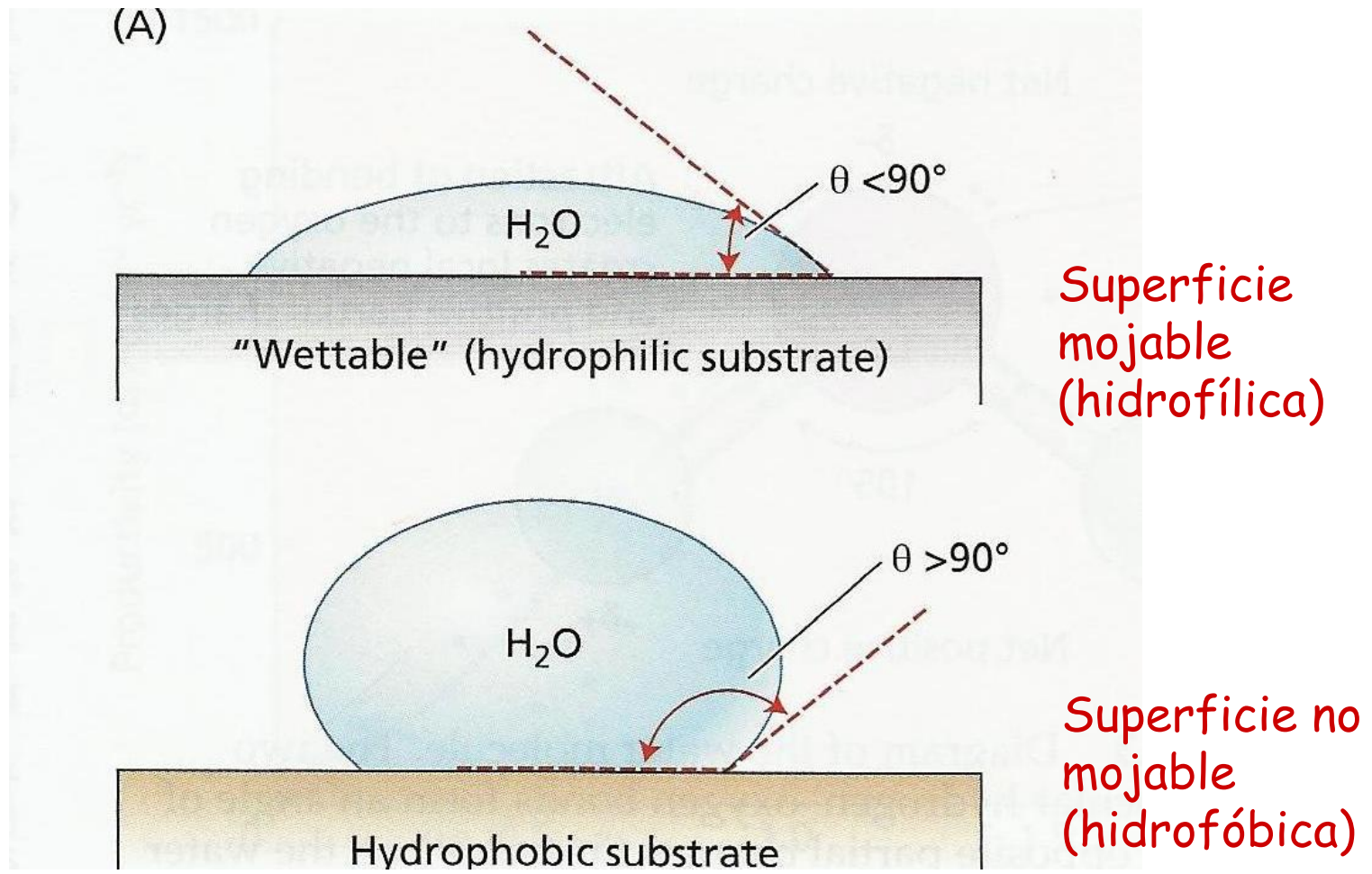


La evaporación del agua en el mesófilo genera una TENSIÓN que impulsa el movimiento de agua en el xilema desde la raíz hacia la hoja

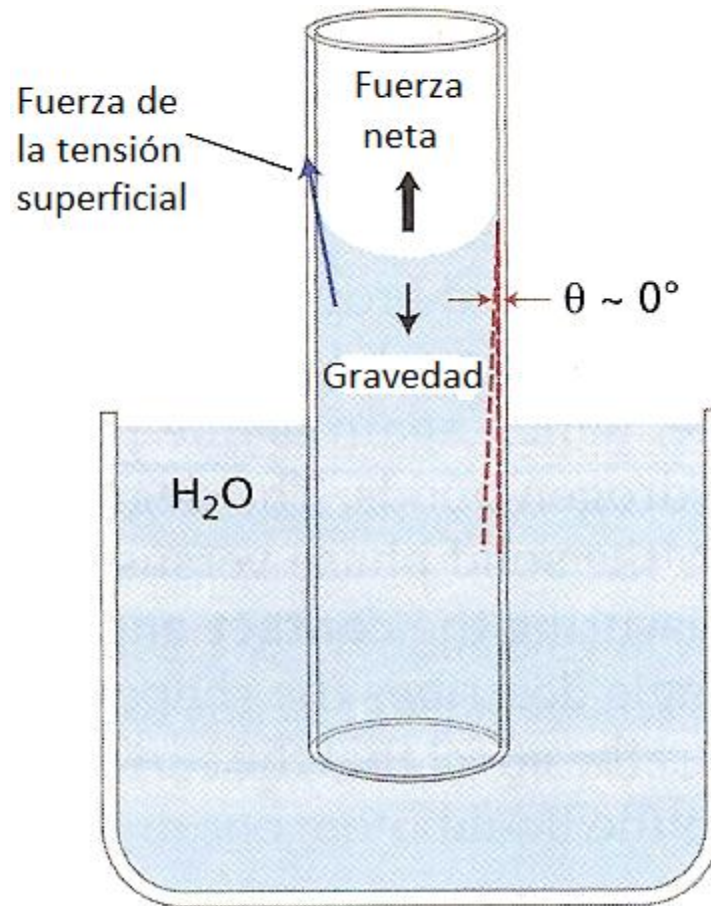
En una interfase líquido gas, hay una tendencia a reducir la superficie de contacto: cohesión de las moléculas



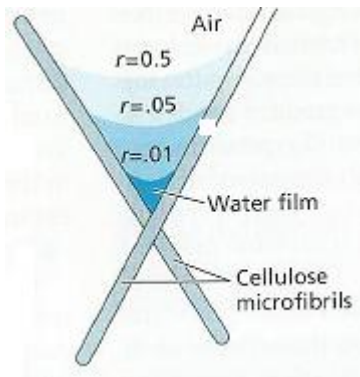
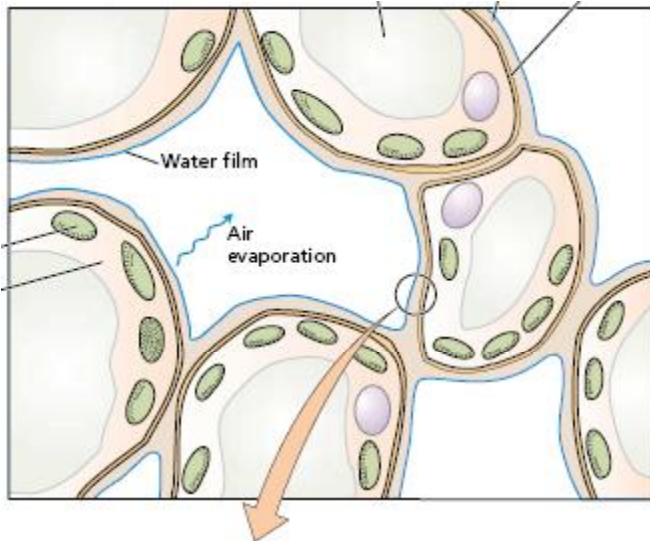
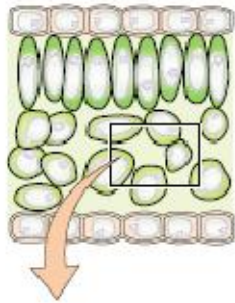
Tensión superficial: se genera cuando el agua interactúa con una superficie mojable



Capilaridad

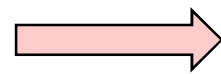


El agua
asciende
por tubos
muy finos
(capilares)



A medida que se evapora el agua, disminuye el radio de curvatura y la tensión se hace mayor

| | Radio de curvatura (μm) | Presión hidrostática (MPa) |
|-----|--------------------------------------|----------------------------|
| (a) | 0,5 | -0,3 |
| (b) | 0,05 | -3 |
| (c) | 0,01 | -15 |




$$\Psi_T = -2TS / r$$

TS: tensión superficial
r: radio de curvatura

Cómo asciende el agua en la planta?

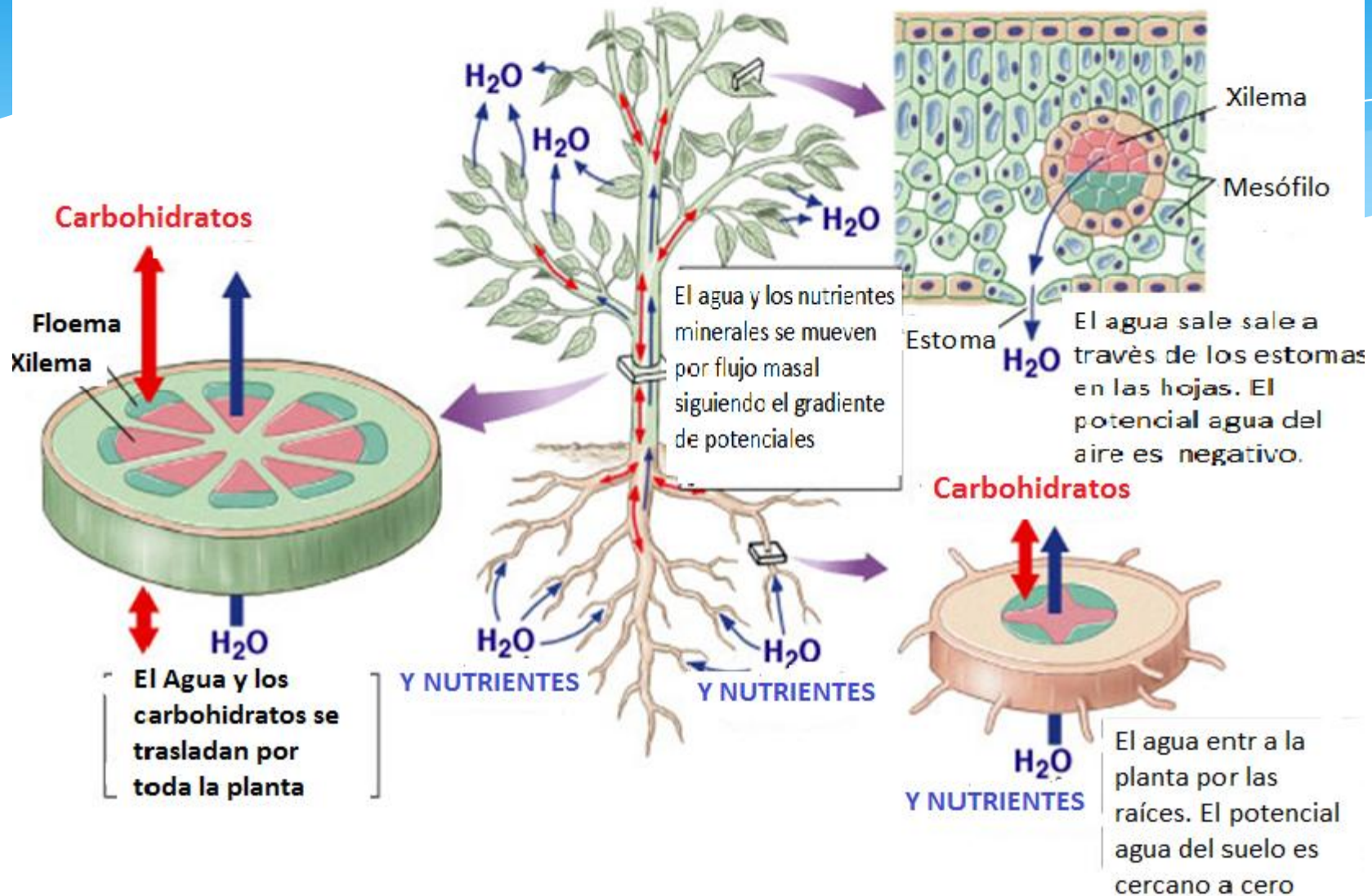
- Teoría tenso coheso transpiratoria
- La evaporación del agua en las células del mesófilo genera una tensión
- Esa tensión se transmite al xilema, debido a la cohesión de las moléculas de agua
- El gradiente de presión así generado impulsa el movimiento del agua por flujo masal

Teoría tenso-coheso-transpiratoria

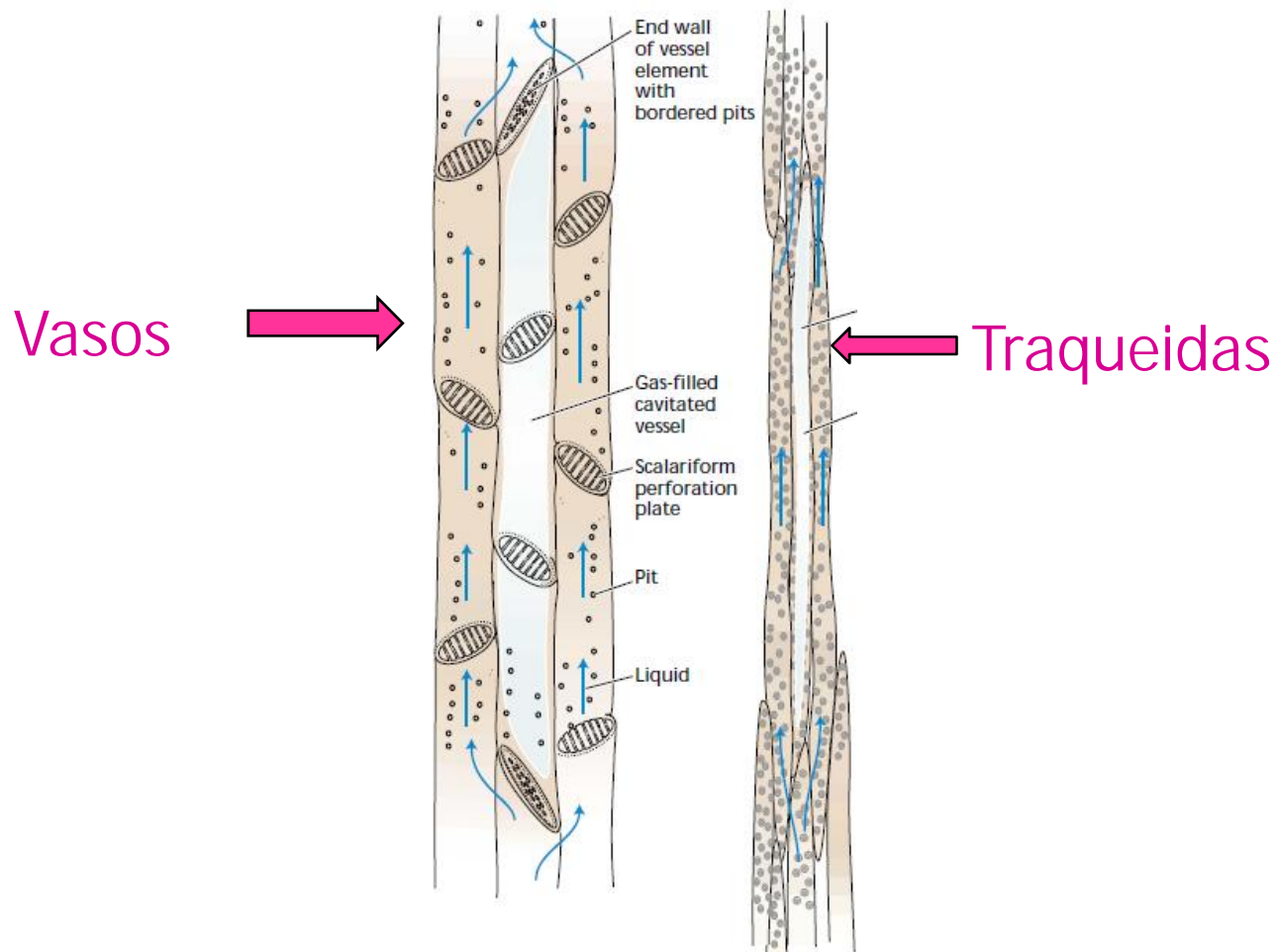
| SUELO | PELO RADICAL | CORTEZA | XILEMA |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| $\epsilon = \epsilon_s + \epsilon_m$ | $\epsilon = \epsilon_s + \epsilon_p$ | $\epsilon = \epsilon_s + \epsilon_p$ | $\epsilon = \epsilon_s + \epsilon_t$ |
| $\epsilon = -0,02 - 0,03$ | $\epsilon = -1,1 + 1,0$ | $\epsilon = -1,15 + 1,0$ | $\epsilon = -0,1 - 0,6$ |
| $\epsilon = -0,05 \text{ MPa}$ | $\epsilon = -0,1 \text{ MPa}$ | $\epsilon = -0,15 \text{ MPa}$ | $\epsilon = -0,7 \text{ MPa}$ |
|  Movimiento del agua | | | |

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

Movimiento de agua a través de una planta



Cavitación: formación de burbujas de aire en el xilema (embolismos) que bloquean el flujo de agua





PRESIÓN RADICAL

GUTACIÓN



GUTACIÓN

Se puede definir como:

Pérdida de H_2O en forma líquida por las plantas, haciéndolo a través de los hidatodos.

Una presión positiva (PRESIÓN RADICAL) se origina en el xilema de la raíz, debido a la acumulación de solutos en ausencia de transpiración, humedad relativa elevada y suelo con elevada humedad.



GUTACIÓN

Como no hay transpiración, los solutos se acumulan en el xilema de la raíz y generan una presión positiva

SUELO

PELO RADICAL

CORTEZA

XILEMA

$$\begin{aligned}\Psi &= \Psi_s + \Psi_m \\ \Psi &= -0,02 - 0,03 \\ \Psi &= -0,05 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Psi &= \Psi_s + \Psi_p \\ \Psi &= -1,1 + 1,0 \\ \Psi &= -0,1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Psi &= \Psi_s + \Psi_p \\ \Psi &= -1,15 + 1,0 \\ \Psi &= -0,15 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Psi &= \Psi_s + \Psi_p \\ \Psi &= -0,21 + 0,01 \\ \Psi &= -0,20 \text{ MPa}\end{aligned}$$

 **Movimiento del agua** 

