


***Tema 12:
El agua en las plantas.
Absorción y transporte de
elementos minerales.***

**Prof. Francisco J. García Breijo
Unidad Docente de Botánica
Dep. Ecosistemas Agroforestales
Escuela Técnica Superior del Medio Rural y Enología
Universidad Politécnica de Valencia**



ÍNDICE

- La molécula de agua
- El potencial hídrico
- El agua en las células
- El agua en la atmósfera
- El agua en el suelo
- El movimiento del agua en las plantas
 - El movimiento desde el suelo al xilema radical
 - El flujo hídrico en el xilema
- Movimientos hídricos en las hojas
- La transpiración
- Los nutrientes minerales
- Los nutrientes en el suelo
- La absorción de nutrientes
- Los nutrientes en las plantas
- Créditos de las Figuras.





La molécula de agua (1)

- Características químicas.
 - La [molécula](#).
 - [Enlaces de hidrógeno](#).
 - [Estructura](#).
- Propiedades inusuales de la molécula de agua (1).
 - La disposición espacial de los tres átomos que constituyen su molécula, con la consiguiente polaridad de sus cargas eléctricas, facilitan mucho la disolución en agua de otras sustancias.
 - *Es un medio excepcional de reacción en el que las moléculas de otras sustancias pueden moverse, chocar entre sí y reaccionar químicamente.*



La molécula de agua (2)

- Propiedades inusuales de la molécula de agua (2).
 - Su **alto calor específico** (energía calorífica requerida para elevar la temperatura de una sustancia en un valor determinado).
 - *Le confiere una considerable estabilidad térmica, propiedad que transmite a los sistemas complejos de los que forma parte, tales como células y órganos de los seres vivos, contribuyendo a su regulación térmica. Valor: 1 cal/g (4,18 J/g; 7,5 J mol⁻¹).*
 - Su **elevado calor latente de vaporización** (energía necesaria para separar moléculas desde una fase líquida y moverlas hacia una fase gaseosa, a temperatura constante).
 - *Buena parte de la energía recibida por un sistema que contenga agua se emplea en su evaporación, y no se traduce en un aumento de la temperatura.*
 - *Para el agua a 25°C, este valor es el más alto conocido para un líquido: 540 cal/g (2,26 kJ/g; 40.65 kJ mol⁻¹).*



La molécula de agua (3)

- Propiedades inusuales del agua (y 3).
 - **Elevada cohesión y tensión superficial.**
 - *La gran **cohesión** existente entre las moléculas de agua es debida a la presencia de los puentes de hidrógeno.*
 - *La interacción entre las moléculas de agua y una superficie (pared celular, por ejemplo) se denomina **adhesión**.*
 - *Se ponen de manifiesto en los fenómenos de capilaridad e interacción con superficies sólidas.*



El potencial hídrico (1)

- El **potencial químico** (μ) del agua es una expresión cuantitativa de la energía libre asociada con el agua. En termodinámica, la energía libre representa un potencial para realizar un trabajo.
- El potencial químico de una sustancia está influido por cuatro factores: concentración, presión, gravedad, y potencial eléctrico.
- En Biología, cuando se considera al agua como componente de distintos sistemas tales como el suelo, la planta, la célula, la atmósfera, etc., la magnitud de uso más difundido para expresar y medir el estado de energía libre del agua es el llamado **potencial hídrico** (ψ).





El potencial hídrico (2)

- El **potencial hídrico (ψ)**, viene definido por la ecuación:

$$\psi = (\mu - \mu_o) / V_a,$$

donde μ es el potencial químico del agua en el sistema del que forma parte, μ_o es el potencial químico del agua pura, libre y a la presión atmosférica (= 0.0), y V_a , es el volumen molar del agua.

- El **potencial hídrico (ψ)**, se mide en unidades de presión (atmósferas, **atm**; bares, **bar**; pascales, **Pa**, o megapascales, **MPa**).

$$1\text{MPa} = 9.87 \text{ atm}$$





El potencial hídrico (3)

- El **potencial hídrico** puede expresarse como:

$$\Psi = \Psi_{\pi} + \Psi_p + \Psi_m + (\Psi_s + \Psi_v)$$

donde:

- Ψ_{π} : **potencial osmótico.**
 - Ψ_p : **potencial de presión.**
 - Ψ_m : **potencial matricial.**
 - Ψ_s : **potencial gravitacional.**
 - Ψ_v : **potencial referido a la humedad**
- Ψ : para los seres vivos es siempre **0.0 o negativo.**



El potencial hídrico (4)

- El **potencial osmótico** (ψ_{π}).
 - Es el efecto de los solutos sobre el potencial hídrico. Las moléculas o iones disueltos disminuyen la concentración de agua en el sistema y reducen la energía libre del disolvente.
 - Es 0.0 para el agua pura; negativo para todas las soluciones.
 - Depende del número de moléculas de soluto y no de su tamaño.



El potencial hídrico (5)

- El **potencial de presión (ψ_p)**.
 - Es el efecto que tiene la presión sobre el agua.
 - Puede ser 0.0 (a presión atmosférica), positivo (si hay sobrepresiones) o negativo (si hay condiciones de tensión o vacío).

- El **potencial matricial (ψ_m)**.
 - Es consecuencia de la adhesión de moléculas de agua a superficies sólidas tales como paredes celulares, partículas de suelo, etc.
 - Es 0.0 o negativo. Es insignificante excepto para materiales muy secos.



El potencial hídrico. El movimiento del agua (6)

- El agua se mueve siempre que exista una diferencia de potencial dentro de una masa de agua.
 - El potencial hídrico está influido por: la concentración, la presión y la gravedad.
 - En las plantas, todos los protoplastos están interconectados y la mayoría de las paredes celulares están muy hidratadas, por lo que puede considerarse el cuerpo de las plantas como una masa de agua; el agua se desplazará entre las regiones de la planta con diferentes ψ .
- Si los ψ de dos regiones del sistema son **iguales**, las regiones están en equilibrio y *no existe desplazamiento neto* de agua. Las moléculas de agua se desplazarán por igual en ambos sentidos.



El potencial hídrico. El movimiento del agua (7)

- Los ψ deben considerarse siempre en parejas o grupos, puesto que el agua siempre se desplaza entre regiones con ψ distintos.
 - Conociendo el ψ de una región podremos predecir el de otra observando el movimiento del agua entre ellos.
- Los movimientos de agua se producirán, de manera espontánea, a favor de un gradiente de ψ .
- Si en el trayecto hay resistencias que se opongan al desplazamiento del agua, este movimiento será más o menos lento, o incluso nulo.
 - El agua siempre buscará las vías con *menor resistencia*.



El agua en las células (1)

- En la célula vegetal el agua está presente en la pared celular y en el protoplasto (principalmente en la vacuola).
- Los flujos de entrada y salida de agua del protoplasto dependerán de la relación que exista entre su ψ y el ψ del medio externo.
 - Si $\psi_{\text{interno}} = \psi_{\text{externo}}$: equilibrio dinámico; no hay flujo neto.
 - Si $\psi_{\text{interno}} > \psi_{\text{externo}}$: habrá una salida neta de agua del protoplasto, pudiéndose alcanzar el estado de plasmólisis.
 - Si $\psi_{\text{interno}} < \psi_{\text{externo}}$: hay una entrada neta de agua y, en consecuencia, un aumento de volumen del protoplasto, alcanzándose el estado de turgencia.
 - Diagramas de Höffler



El agua en las células (2)

- La presión de turgencia modificará el ψ del protoplasto, ya que se origina un componente de presión (ψ_p) que antes no existía, de signo positivo.
- Cuando el ψ_p alcance un valor tal que, sumado algebraicamente a los otros componentes del ψ del protoplasto (especialmente ψ_π) de como resultado un ψ_{interno} igual al del medio externo, el flujo neto de entrada de agua a la célula cesará, restableciéndose la situación de equilibrio:
$$\psi_{\text{interno}} = \psi_p + \psi_\pi = \psi_{\text{externo}}$$
- Ejemplos de ψ en diferentes tipos de tejidos.





El agua en atmósfera

- La **Humedad Relativa** (HR) nos mide la relación entre la cantidad de vapor de agua (V) presente en una masa de aire y la cantidad máxima de vapor que esa masa podría admitir a una temperatura determinada (V_o).

$$HR = (V / V_o) \times 100$$

- Representa la proporción en que la capacidad de una masa de aire de contener vapor de agua se encuentra ocupada efectivamente por vapor de agua.
- El $\psi_{\text{atmósfera}}$ está relacionado con la HR del aire.
 - El $\psi_{\text{atm}} = [(R.T)/V].\ln (HR/100)$
 - El ψ_p es 0.0 ya que la P es la atmosférica.
- Tabla





El agua en el suelo

- **Agua gravitacional:** fracción del agua que ocupa los *macroporos* del suelo, saturándolos o no. Se infiltra por *gravedad* a las capas profundas.
- **Agua capilar:** fracción del agua que ocupa los *microporos* en el suelo. Se mantiene retenida por las partículas del suelo gracias a las fuerzas derivadas de la tensión superficial del agua. Es la que permanece **disponible para ser absorbida por las raíces**, aunque también puede evaporarse.
 - Cuando un suelo saturado de agua ha perdido su fracción de agua gravitacional pero conserva **toda el agua capilar** se dice que se encuentra en **Capacidad de Campo**.
- **Punto de Marchitamiento Permanente (PMP):** cantidad de agua capilar (expresada como ψ_{suelo}) que ya no puede ser absorbida por las raíces.
 - Aparecen signos de marchitamiento que no remiten al añadir agua al suelo.
 - Para la mayoría de las plantas este PMP tiene un ψ_{suelo} de -1.6 MPa.





El movimiento del agua en las plantas (1)

- En una planta en crecimiento activo, existe una fase de agua líquida que se extiende desde la epidermis de la raíz a las paredes celulares del parénquima foliar. Sistema **continuo suelo-planta-atmósfera (CSPA)**.
- El movimiento del agua desde el suelo al aire, a través de toda la planta, se explica por la existencia de **gradientes de potencial hídrico** a lo largo de la vía.
- La **transpiración** es la **fuerza motriz más importante** para el movimiento del agua a través de la planta.
 - *La atmósfera de los espacios intercelulares del parénquima lagunar del mesófilo foliar está saturada de vapor de agua, mientras que el aire exterior rara vez lo está, por lo que el vapor de agua se mueve desde el interior de la hoja al exterior siguiendo un gradiente de potencial hídrico.*





El movimiento del agua en las plantas (y 2)

- Movimientos hídricos que se producen:
 - Movimiento del agua desde el suelo al xilema radical.
 - Flujo hídrico a través del xilema.
 - Movimiento del agua en la hoja.
 - La transpiración.



Movimiento del agua desde el suelo al xilema radical (1)

- Absorción de agua: desplazamiento desde el suelo hasta la raíz.
 - Primera etapa del **CSPA**.
 - Ocurre de forma espontánea sólo si existe la apropiada diferencia de potencial hídrico, es decir: $\psi_{\text{raíz}} < \psi_{\text{suelo}}$
 - En suelos normales, con suficiente agua capilar, se cumple este requisito.
 - Si les falta agua, entonces ψ_m se hace muy negativo, con lo que el ψ_{suelo} puede alcanzar valores tan bajos o más que los de la raíz. En este caso la absorción no se lleva a cabo.
 - El agua marina no es apta para el regadío ya que su ψ es de unos -2 MPa, menor que el PMP y el ψ de muchas raíces.





Movimiento del agua desde el suelo al xilema radical (2)

□ Trayectoria del agua en la raíz (1).

- La absorción del agua: zona pilífera de la raíz, donde abundan los **pelos absorbentes** (aunque éstos no son esenciales).
 - Poseen una elevada relación superficie/volumen.
 - Pueden introducirse en los poros del suelo.
- Una vez en la superficie de la raíz el agua sigue en dirección **centrípeta**, desde la periferia hasta los vasos xilemáticos del cilindro vascular.
 - Suelo → Pelos radicales → Corteza → Endodermis → Periciclo → Cilindro Vascular (Xilema)
- El camino seguido por el agua será el de menor resistencia. Hay **dos rutas alternativas**.



Movimiento del agua desde el suelo al xilema radical (3)

□ Trayectoria del agua en la raíz (2).

■ Rutas alternativas:

□ **Simplasto:**

- Ofrece *más resistencia* al paso del agua.

□ **Apoplasto:**

- Ofrece *poca resistencia* al paso del agua y es el camino que, en la raíz, sigue habitualmente el agua.



Movimiento del agua desde el suelo al xilema radical (4)

□ Trayectoria del agua en la raíz (3).

■ El papel de la endodermis:

- Sus células no dejan espacios intercelulares y presentan la *banda de Caspary* (impermeable al paso del agua). El agua apoplástica se ve forzada a entrar en el simplasto de las células endodérmicas.
- Una vez superada la endodermis, el agua vuelve a la *vía apoplástica* hasta el xilema.



Movimiento del agua desde el suelo al xilema radical (5)

- Trayectoria del agua en la raíz (y 4).
 - La presión radical o *radicular*.
 - Es una presión que se desarrolla como consecuencia de una **disminución en el valor del ψ_{π}** de la savia del xilema radical (agua + sales).
 - Causas.
 - El agua se moverá en respuesta al gradiente de ψ creado y producirá un incremento en el ψ_p del xilema que generará una presión hidrostática: **la presión radical**.
 - Algunos autores la hicieron responsable del ascenso de la savia xilemática. Una presión de 0.1 MPa podría subir el agua casi 10 m.
 - **Inconvenientes**: no está demostrada su existencia en todas las especies. Además es periódica.
 - Produce agua de gutación a través de los hidatodos.





El flujo hídrico en el xilema (1)

- El ascenso del agua por el xilema (1).
 - Movimiento del agua por la planta. La supervivencia de las plantas terrestres depende de la transpiración.
 - La difusión pasiva del agua célula-célula en función de los gradientes de ψ es demasiado lenta para ser la explicación de este movimiento.
 - El agua asciende a través del xilema.
 - **Estructura del xilema: vasos y traqueidas.**
 - Los vasos (20 a 300 μm de diámetro) tienen perforaciones que facilitan el flujo del agua.
 - Las traqueidas (< 30 μm) presentan punteaduras con membrana que hacen que el flujo sea más lento.



El flujo hídrico en el xilema (2)

- El ascenso del agua por el xilema (2).
 - La **teoría de la cohesión-adhesión-tensión (CAT)**: cuando el agua se halla confinada en tubos de diámetro estrecho y paredes humedecibles (*vasos y traqueidas*), al aplicar un tirón desde la parte superior, la tensión (*presión negativa*) se transmitirá a través de la columna de agua sin que se pierda el contacto con la pared del tubo (*fuerzas de adhesión*).
 - La transpiración crea un gradiente de potencial hídrico a través del mesófilo foliar, que provoca que el agua desaparezca en los extremos de los nervios foliares.
 - Esta pérdida de agua crea una tensión en las columnas de xilema (debida a la cohesión de las moléculas de agua), cuya magnitud depende de la intensidad transpiratoria.
 - Es imprescindible que la columna de agua se mantenga continua.
 - Velocidades.



El flujo hídrico en el xilema (y 3)

- El ascenso del agua por el xilema (3).
 - Cavitación y embolismo:
 - El agua del xilema se puede romper de forma natural y aparecer burbujas (**cavitar**) .
 - Una vez iniciada la burbuja, ésta se extiende rápidamente formando una **embolia** en el interior del vaso o traqueida que se detiene en las membranas de las punteaduras.
 - El agua se mueve entonces lateralmente evitando, así, el conducto bloqueado.
 - Durante la noche, la presión radical puede recuperar la embolia.
 - Causas:
 - Déficit hídrico asociado a altas tasas de transpiración y altas tensiones xilemáticas.
 - La congelación del xilema en invierno y su descongelación posterior puede producir burbujas.
 - La acción de patógenos (*Ceratocystis ulmi*)





Movimientos hídricos en la hoja

- En el limbo, los elementos xilemáticos se ramifican y algunos terminan como elementos abiertos en contacto con dos o tres células del mesófilo.
 - La composición química de las paredes celulares les confiere un potencial matricial (ψ_m) muy negativo.
 - Las moléculas de agua transpiradas se liberan primero en la atmósfera foliar (espacios intercelulares) por evaporación desde las paredes celulares, lo que reduce el ψ de las mismas.
 - Se establece un gradiente de ψ y el agua fluye hacia las paredes a partir de células adyacentes.





La Transpiración (1)

- La evaporación del agua en las hojas proporciona la mayor parte de la energía para el movimiento del agua, dado que establece un gradiente de ψ .
 - Una superficie mojada, expuesta al aire, cede tanto más vapor de agua por unidad de tiempo y área, cuanto mayor sea el gradiente de presión de vapor entre la superficie y el aire.
- Tipos de transpiración:
 - **Transpiración cuticular:** es relativamente escasa.
 - **Transpiración estomática:** es la más común.
 - Factores que influyen:
 - La HR del aire (y por tanto la Temperatura ambiente).
 - La velocidad del viento.





La Transpiración (3)

□ La apertura estomática (1):

- El estoma consta de un poro rodeado de dos células oclusivas en forma de riñón o, en gramíneas y ciperáceas, en forma de pesas de gimnasia.
- Los movimientos estomáticos dependen de *cambios en la presión de turgencia* en el interior de las células oclusivas. Estos cambios de turgencia pueden resultar de:
 - una modificación en el potencial hídrico de las células oclusivas (**mecanismo hidropasivo**), o bien de
 - cambios activos en el potencial osmótico, ψ_{π} (**mecanismo hidroactivo**).



La Transpiración (4)

- La apertura estomática (2):
 - Propiedades de las células oclusivas:
 - Pueden alterar rápida y reversiblemente su turgencia.
 - La forma de la célula oclusiva depende de las propiedades de la pared, fundamentalmente de la orientación de las microfibrillas (radial), pero también a que con frecuencia la pared interna se halla engrosada.
 - No están comunicadas con las adyacentes por plasmodesmos y, poseen cloroplastos.



La Transpiración (5)

□ La apertura estomática (3):

■ Mecanismo de apertura (1).

- A partir del H_2O se liberan H^+ y también OH^- . Los H^+ son bombeados al exterior mediante una H^+ -ATPasa ligada a membrana.
- Esta salida de H^+ y la acumulación de OH^- hace que el pH externo disminuya y que aumente el interno y que el potencial de membrana se haga más negativo dentro de la célula. Este gradiente electroquímico permite la difusión pasiva de K^+ hacia el interior (transporte activo secundario) a través de canales selectivos para el K^+ que se abren a medida que el potencial de membrana se hace más negativo.





La Transpiración (6)

□ La apertura estomática (4):

■ Mecanismo de apertura (2).

- A continuación comienza a entrar Cl^- debido al gradiente de pH (por antiporte con OH^- o por simporte con protones).
- Finalmente, se produce gran cantidad de malato a partir del ácido málico producido por la PEP-carboxilasa. Este ácido se ioniza al pH intracelular y da malato, que equilibra el K^+ que entra, y H^+ que se expulsan al exterior por la ATPasa.



La Transpiración (y 7)

□ La apertura estomática (y 5):

■ Mecanismo de cierre.

- El estoma se cierra cuando la bomba de protones se desconecta.
- Mientras que los canales específicos sigan abiertos, el Cl^- y el K^+ se moverán pasivamente fuera de la célula, a lo largo de gradientes electroquímicos.



Los nutrientes minerales (1)

- **El peso seco**: sustancias, inorgánicas y orgánicas, contenidas en la planta.
 - **Elementos minerales:**
 - 90-95% del peso seco es **C, H y O**.
 - Entran en la planta con el CO_2 de la atmósfera y el agua del suelo.
 - 5-10% restante: nutrientes minerales.
 - Entran en forma de iones inorgánicos disueltos en el agua que se absorbe por las raíces.
 - Pueden ser **macronutrientes** (N, P, K, Mg, Ca y S) o **micronutrientes** (Fe, Cu, Zn, Mo, B y Cl).





Los nutrientes minerales (y 2)

□ Importancia de los nutrientes.

- Nutriente esencial: aquel que tiene una influencia directa sobre el metabolismo de la planta.
 - Su presencia resulta determinante para la consecución de un ciclo biológico.
 - No debe poder ser reemplazado por otro en su acción.
 - Acción de los macro- y micronutrientes.



Los nutrientes en el suelo (1)

□ El suelo.

- Principal medio donde crecen las plantas.
- Sistema complejo de varias fases que sufre continuas transformaciones físicas, químicas y biológicas.
- Composición del suelo:
 - **Materia sólida:** productos descomposición de los minerales que integran las rocas (silicatos, minerales de arcilla, cal) y productos de alteración de la materia orgánica (**humus**).
 - **Espacio poroso:** solución acuosa y aire del suelo.
- [Tipos de suelo según su textura.](#)
- Fuente de nutrientes para la planta.
 - La cantidad total presente de cada nutriente no determina por sí sola la *disponibilidad* para la planta. Influyen otros *factores*.



Los nutrientes en el suelo (2)

□ Factores (1):

■ El pH:

- **Neutro o poco ácido (5-7): favorece la disponibilidad** de los nutrientes.
- Un pH **muy bajo** puede insolubilizar algunos nutrientes y movilizar el aluminio (Al^{3+}), con frecuencia tóxico.
- Valores **muy altos: reducen la disponibilidad**.
 - Fósforo: el PO_4^{3-} se absorbe con más dificultad que los fosfatos ácidos (PO_4H_2^- , PO_4H^{2-}).
 - La baja solubilidad de algunos iones metálicos se contrarresta si se forman quelatos con moléculas orgánicas solubles.



Los nutrientes en el suelo (3)

□ Factores (y 2):

■ Escasez o ausencia de O_2 :

- Predominan las formas químicas **reducidas**: menos solubles y, por tanto, menos absorbibles.
- Los **ambientes oxidantes favorecen** la absorción de muchos nutrientes.
 - Nitrógeno: estará como NO_3^- en lugar de cómo NH_4^+ .

■ Partículas del suelo: **arcilla** y **humus**.

- Pueden llevar sobre su superficie una cierta cantidad de cargas fijas (negativas, normalmente), capaces de adsorber ciertos cationes, como K^+ o Ca^{2+} .
 - Los cationes adsorbidos no son arrastrados por lixiviación y pueden pasar a la solución del suelo o a la raíz mediante su intercambio por otro catión o por protones procedentes del ácido carbónico: **adsorción de intercambio**.



La absorción de nutrientes (1)

□ Absorción foliar:

- Fundamental en las plantas epifitas.
- Permite que las plantas absorban diversas sustancias que, aplicadas en las partes aéreas de las mismas, actuarán como fertilizantes, herbicidas, etc.

□ Absorción radical. Depende de varios factores:

■ *Factores endógenos.*

- **Crecimiento de la raíz:** permite explorar nuevos volúmenes de suelo.
- **Presencia de micorrizas:** asociación de tipo mutualista con diversas especies de hongos.
- Aporte de **fotoasimilados** para la producción de ATP (necesario para el transporte activo).



La absorción de nutrientes (y 2)

□ Absorción radical (y 2):

■ *Factores exógenos.*

- Temperatura.
- pH
- Aireación.



Los nutrientes en las plantas (1)

- Vías de Transporte a través de la planta y a través de las membranas biológicas.
 - *Transporte por Xilema y por Floema.*
 - *Transporte a través de membranas.*
- Movilidad en la planta.
 - Una vez en la planta, el nutriente será metabolizado e incorporado a alguna molécula biológica o bien, permanecerá disuelto en el citosol.
 - El comportamiento de los nutrientes variará en cuanto a su movilidad (capacidad de ser extraído de ese destino metabólico y ser transportado a otros órganos):
 - **Móviles:** N, P, K y Mg.
 - **Inmóviles:** Ca, S y Fe.



Los nutrientes en las plantas (y 2)

- **Suministro de nutrientes y crecimiento.**
 - Relación entre suministro de cada nutriente y el crecimiento experimentado por la planta.
 - Técnicas de **cultivo hidropónico** con soluciones nutritivas.
 - [Curvas de Respuesta al Crecimiento](#). Cuatro zonas:
 - **Zona de deficiencia o carencia.**
 - [Síntomas de carencias](#): clorosis (amarillamiento), necrosis (muerte tisular), coloraciones rojizas u oscuras, etc. [Fotos](#).
 - La localización de los síntomas depende de la movilidad del nutriente.
 - **Zona de concentración óptima.**
 - **Zona en la que otros factores limitan el crecimiento.**
 - **Zona de toxicidad.**



El humus (1)

- Sustancia compuesta por productos orgánicos, de naturaleza coloidal, que proviene de la *descomposición de los restos orgánicos, principalmente vegetales*, como resultado de la acción de microorganismos (hongos y bacterias).
- Se caracteriza por su color negrozco debido a la gran cantidad de carbono que contiene.
- Se encuentra principalmente en las partes altas de los suelos con actividad orgánica.
- Composición.



El humus (y 2)

□ Tipos de humus:

- **Humus viejo.** Debido a un periodo largo de tiempo transcurrido está muy descompuesto y tiene un tono morado.
 - El humus viejo solo influye **físicamente** en los suelos. Retiene el agua e impide la erosión.
- **Humus joven.** Es el que tiene las características del recién formado.
 - El humus joven se interrelaciona con el suelo en tres aspectos generales: física, química y biológicamente.



Influencia física del humus

- Da consistencia a los suelos ligeros y a los compactos
- Hace más sencillo labrar la tierra
- Evita la formación de costras
- Ayuda a la retención de agua y al drenado de la misma
- Incrementa la aireación de las raíces
- Tarda en crearse más de 500 años .





Influencia química del humus

- Regula la nutrición vegetal
- Mejora el intercambio de iones
- Mejora la asimilación de abonos minerales
- Ayuda con el proceso del potasio y el fósforo en el suelo
- Produce gas carbónico que mejora la solubilidad de los minerales





Influencia biológica del humus

- Aporta microorganismos útiles al suelo
- Sirve a su vez de soporte y alimento de los microorganismos
- No tiene semillas perjudiciales (p.ej. malas hierbas) por la temperatura que alcanza durante la fermentación
- Mejora la resistencia de las plantas





Composición

- Formado por *humina, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y ácidos úlmicos*.
- Fraccionamiento.
- La húmina y los ácidos fúlvicos constan de macromoléculas complicadas, formadas por anillos benzólicos con grupos hidroxilo fenólicos y grupos carboxílicos, así como por ácidos carboxílicos alifáticos, todas ellas químicamente muy estables (hasta 1400 años).

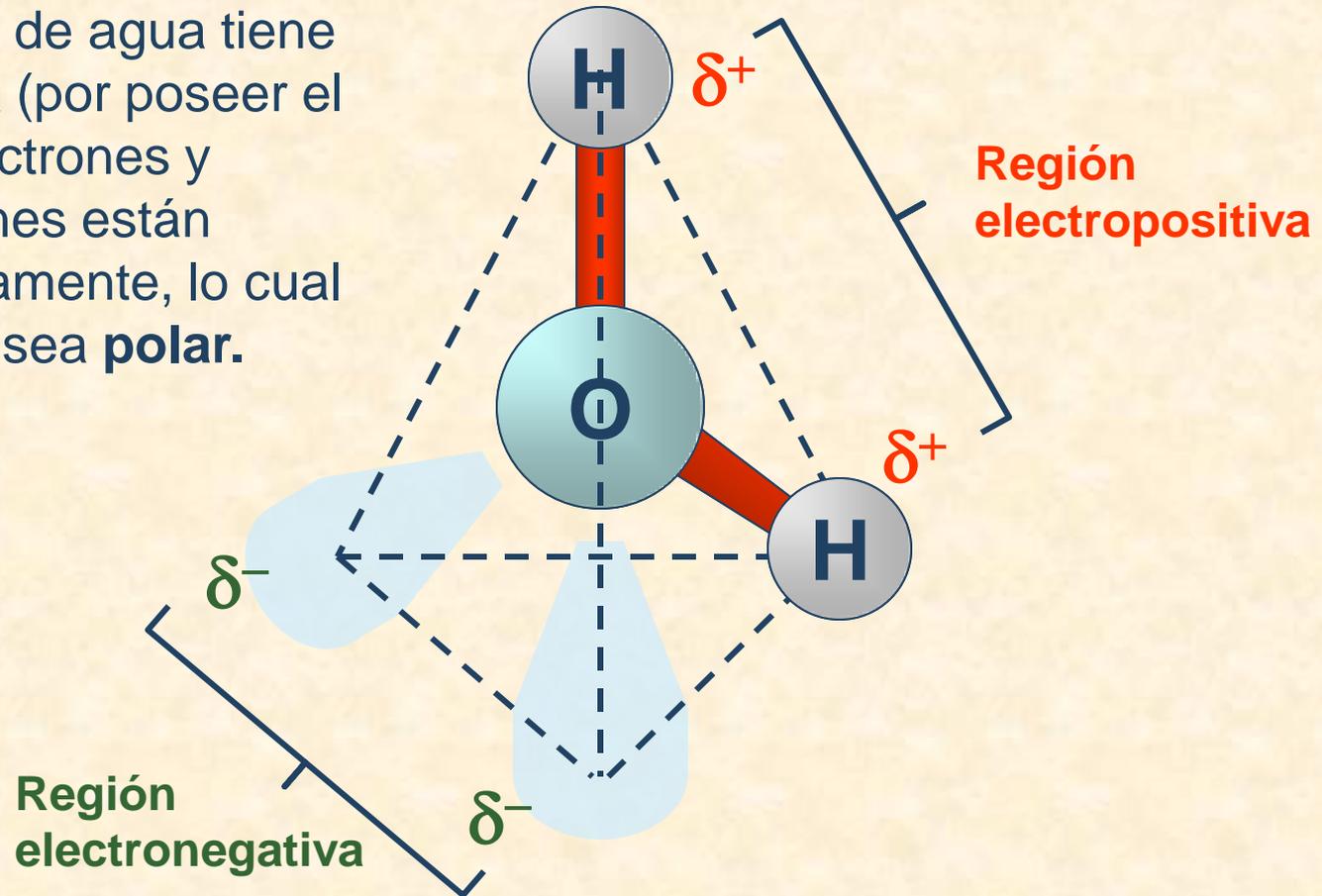




Esquemas y Figuras

La molécula de Agua

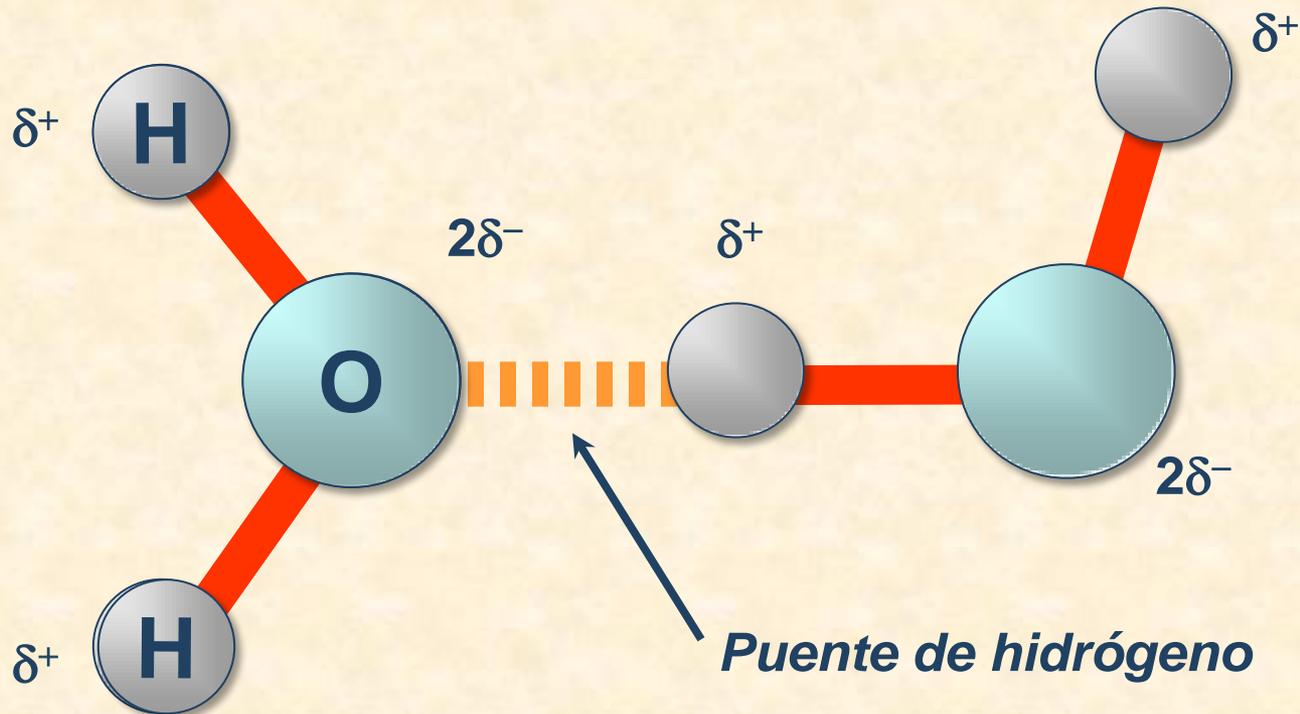
Aunque una molécula de agua tiene una carga total neutra (por poseer el mismo número de electrones y protones), los electrones están distribuidos asimétricamente, lo cual hace que la molécula sea **polar**.



El núcleo del oxígeno desplaza parcialmente a los electrones de los núcleos de hidrógeno, dejando a estos núcleos con una pequeña **carga neta positiva**. Existen regiones **débilmente negativas** cerca del átomo de oxígeno en los dos vértices de un tetraedro imaginario.

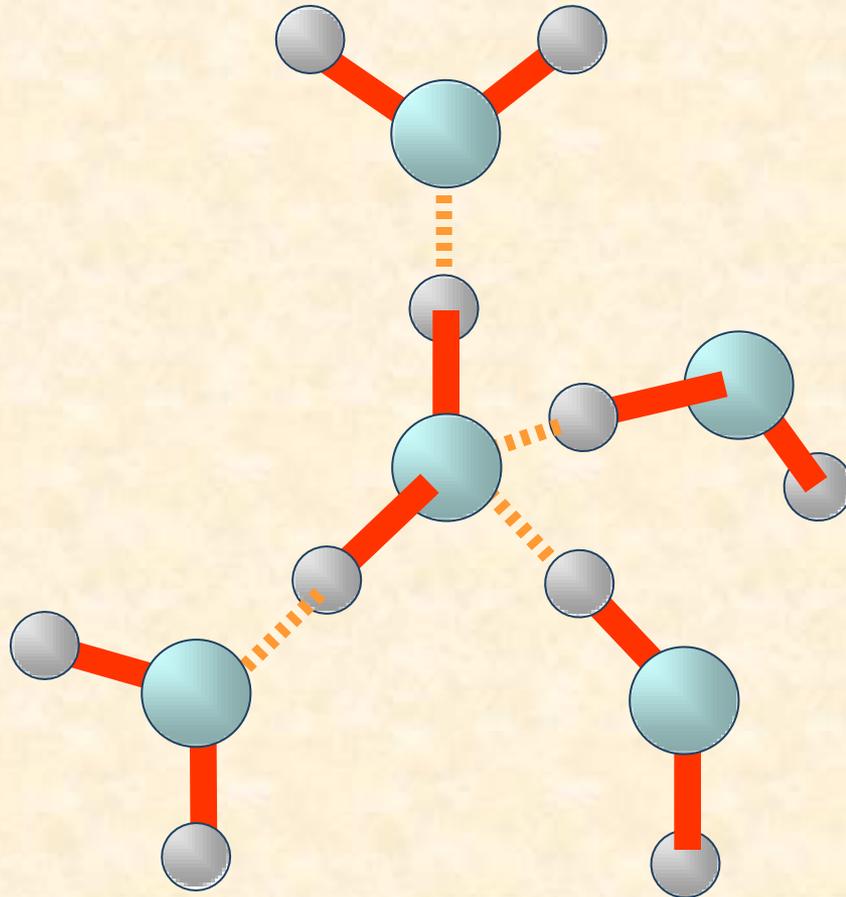


Puesto que están polarizadas, 2 moléculas adyacentes de agua pueden formar un enlace conocido como **enlace de hidrógeno**. Los enlaces (o puentes) de hidrógeno tienen una fuerza de, aproximadamente, 1/20 la de un enlace covalente.



Los enlaces de hidrógeno son más fuertes cuando los 3 átomos se encuentran en línea recta.

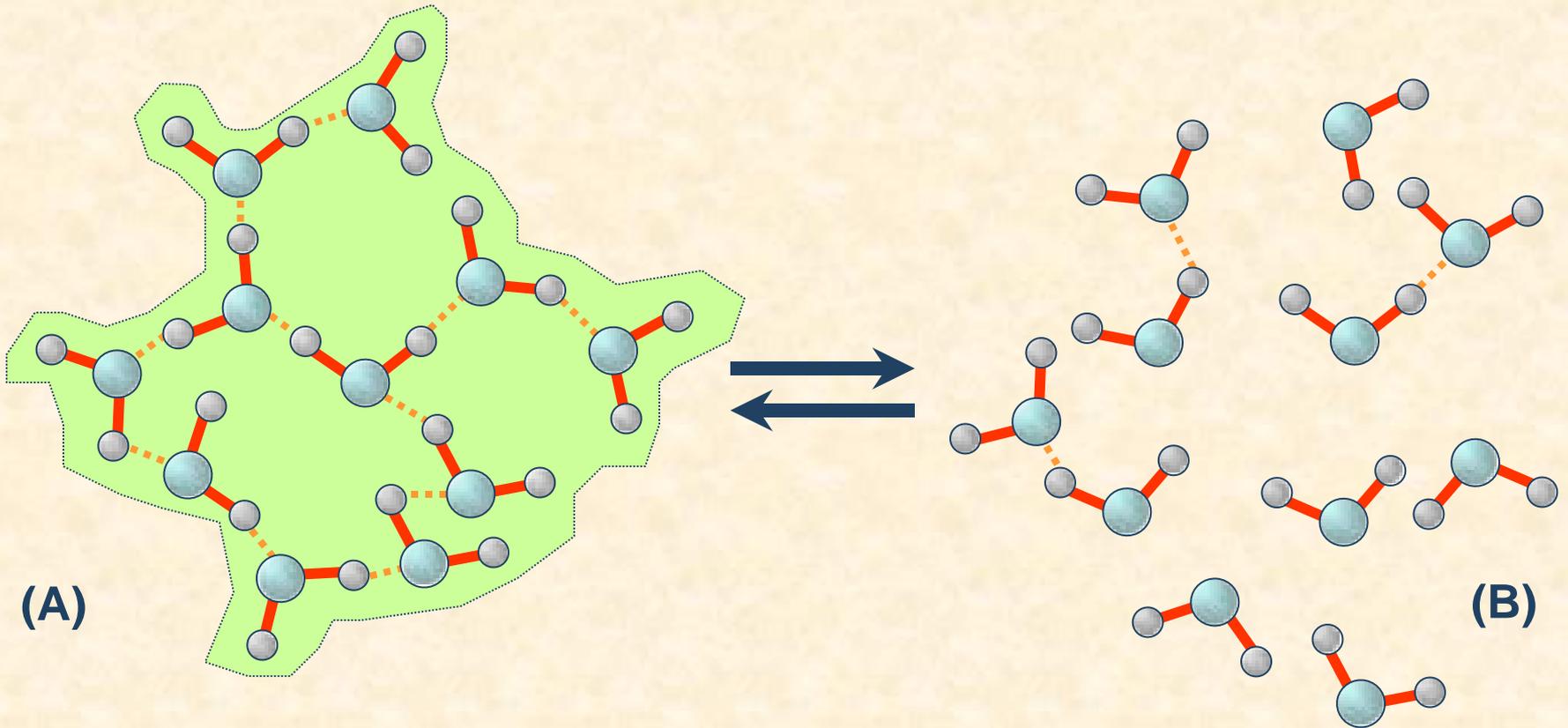
Estructura del Agua-1



Las moléculas de agua se unen transitoriamente formando una red a través de enlaces de hidrógeno. Incluso a 37°C, un 15% de las moléculas de agua están unidas a otras 4 en un ensamblaje de vida corta conocido como “agrupación oscilante”.

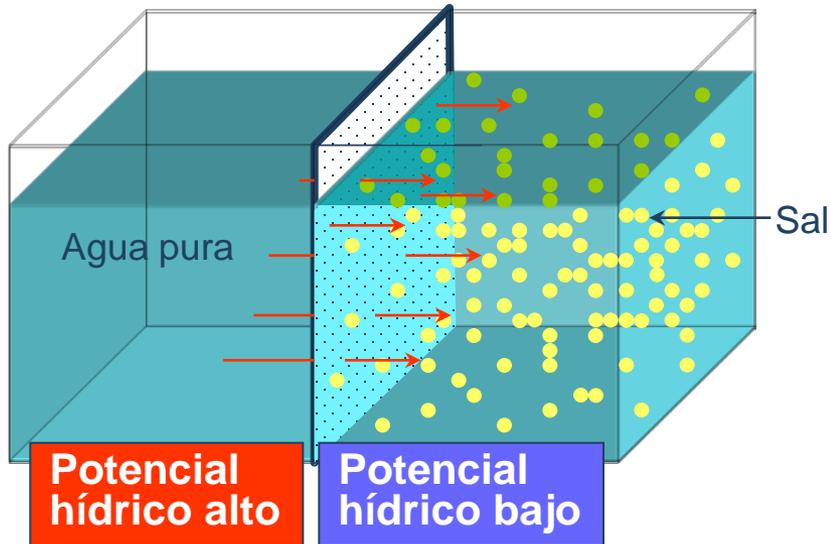
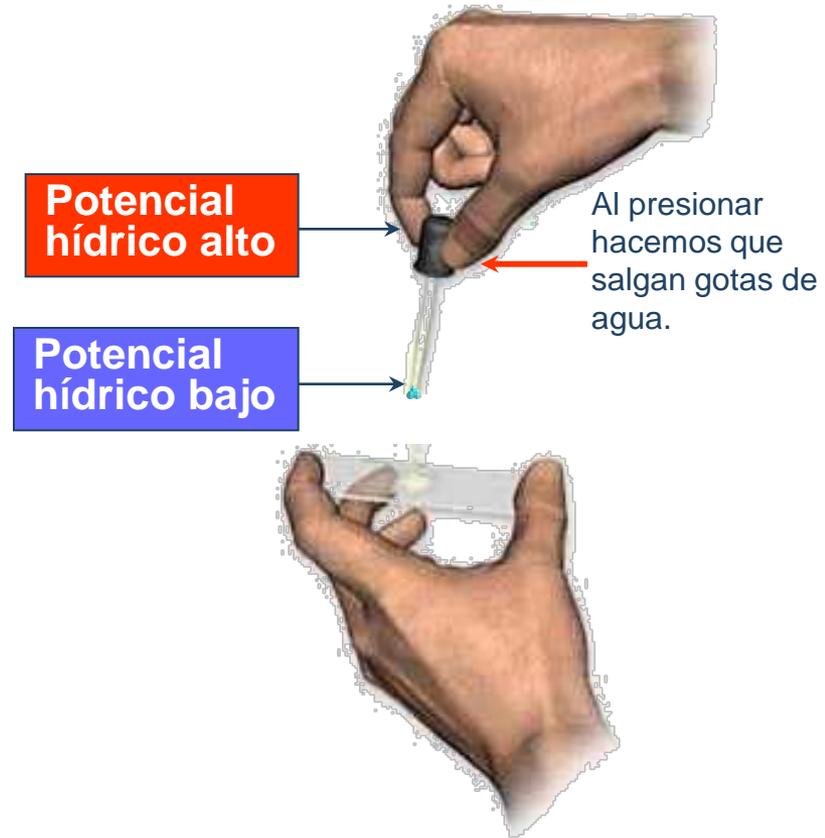
La presencia de los puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua es responsable de la naturaleza cohesiva de la misma y de muchas de sus propiedades inusuales, como su alta tensión superficial, su elevado calor específico, y su alto calor de vaporización.

Estructura del Agua-2



(A) Los puentes de hidrógeno que se forman entre las moléculas de agua producen agregaciones locales (agrupaciones oscilantes).

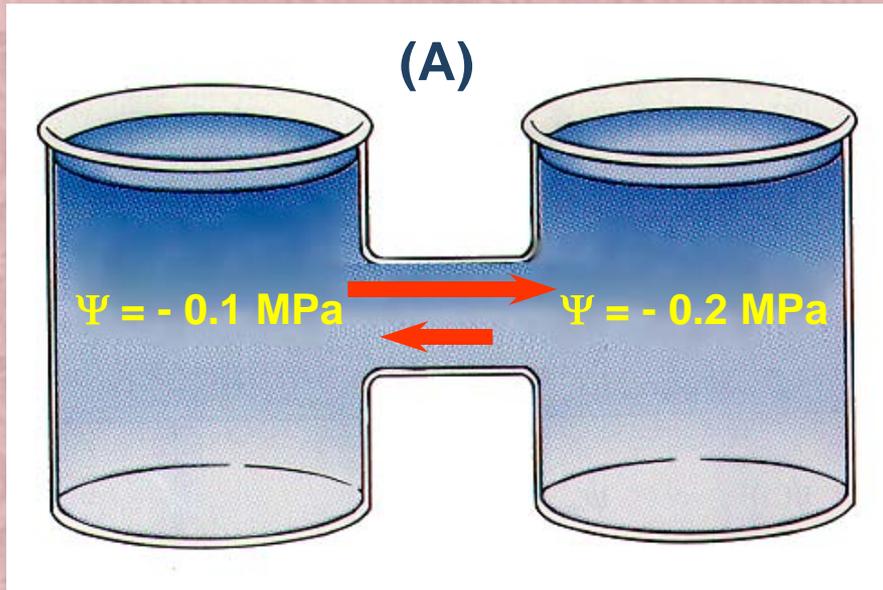
(B) Debido a la continua agitación térmica de las moléculas de agua, estas agregaciones son de vida muy corta; las uniones se rompen para formar configuraciones mucho más aleatorias.



Los tres factores que normalmente determinan el potencial hídrico son (A) la **gravedad**, (B) la **presión**, y (C) la **concentración de solutos** en una disolución. El agua se mueve desde la región con mayor potencial hídrico a la región con menor potencial hídrico, sea cual sea la causa de esta diferencia de potencial.

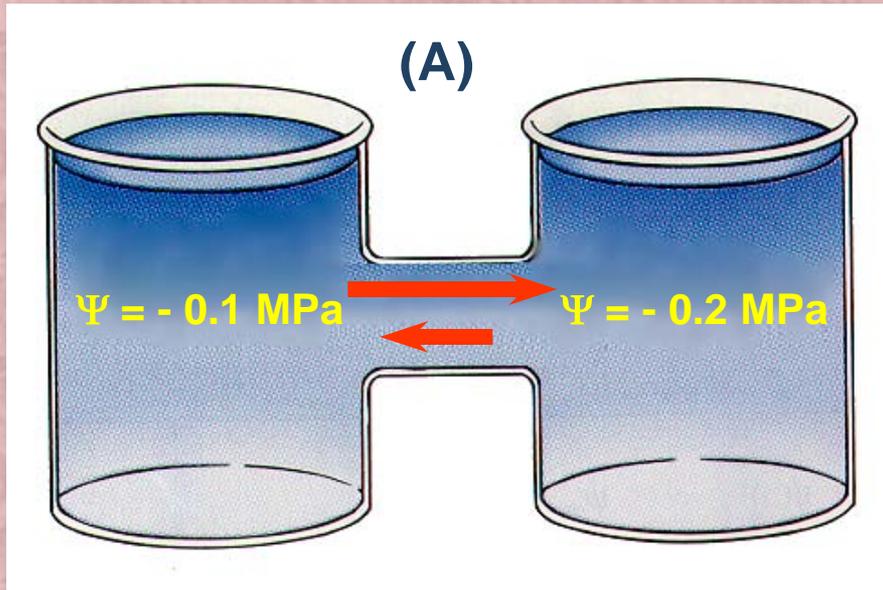


Movimientos del agua

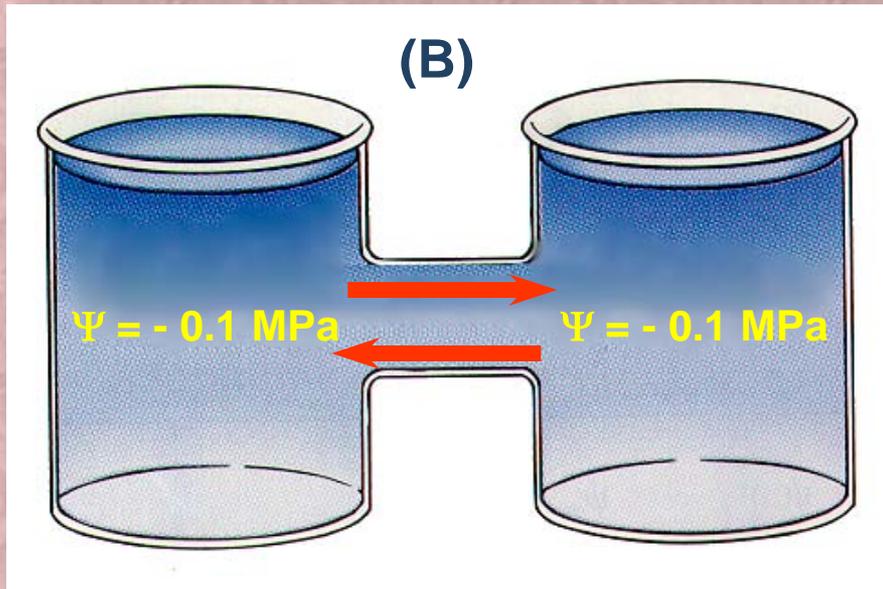


(A) Si un vaso conteniendo una solución cuyo Ψ es -0.1 MPa se conecta a un vaso con una solución cuyo Ψ es -0.2 MPa , el agua tenderá a moverse de la solución que tiene el Ψ más positivo a la que lo tiene más negativo. Ambos vasos tienen solutos disueltos en ellos (de otro modo $\Psi = 0,0 \text{ MPa}$), y la solución de $\Psi = -0.2 \text{ MPa}$ tiene el doble de concentración lo que restringe más el movimiento de las moléculas de agua.

Movimientos del agua

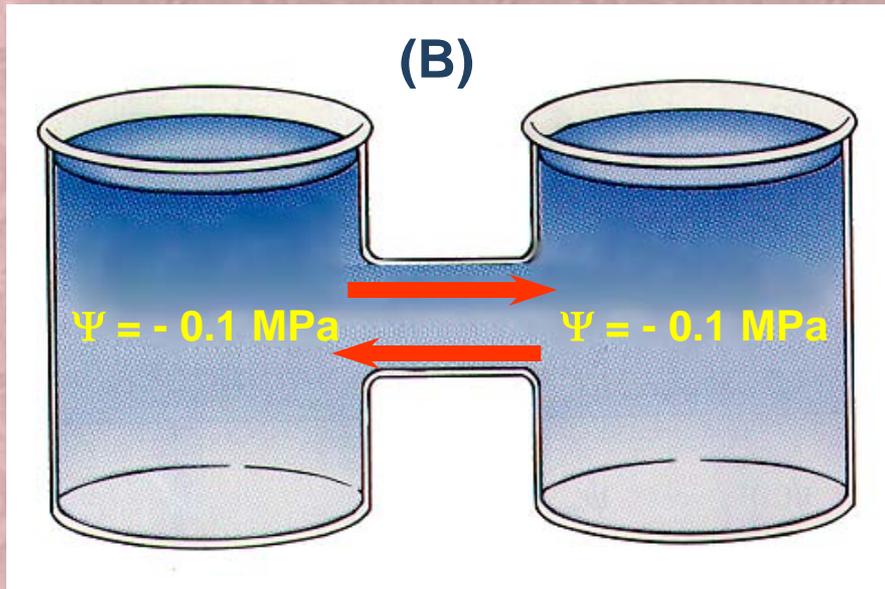
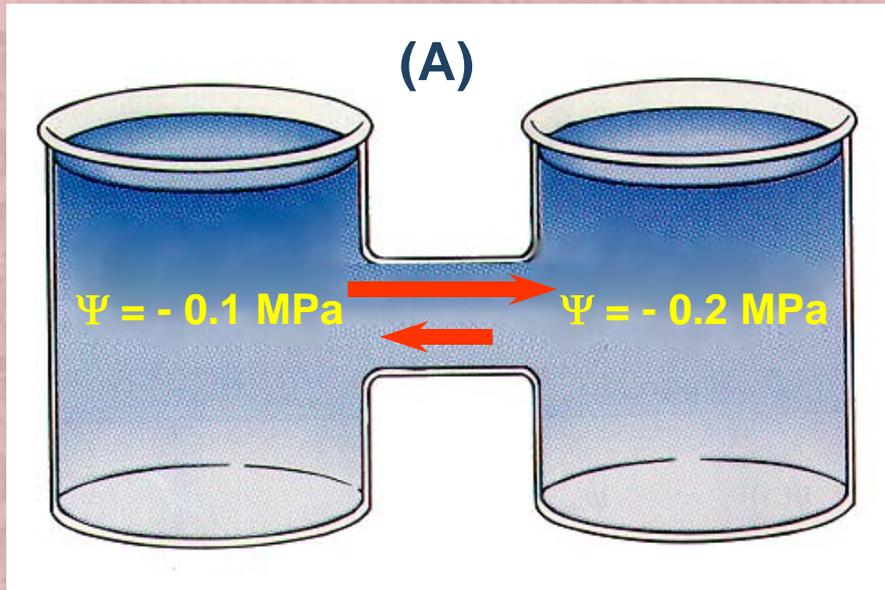


(A) Si un vaso conteniendo una solución cuyo Ψ es -0.1 MPa se conecta a un vaso con una solución cuyo Ψ es -0.2 MPa , el agua tenderá a moverse de la solución que tiene el Ψ más positivo a la que lo tiene más negativo. Ambos vasos tienen solutos disueltos en ellos (de otro modo $\Psi = 0,0 \text{ MPa}$), y la solución de $\Psi = -0.2 \text{ MPa}$ tiene el doble de concentración lo que restringe más el movimiento de las moléculas de agua.

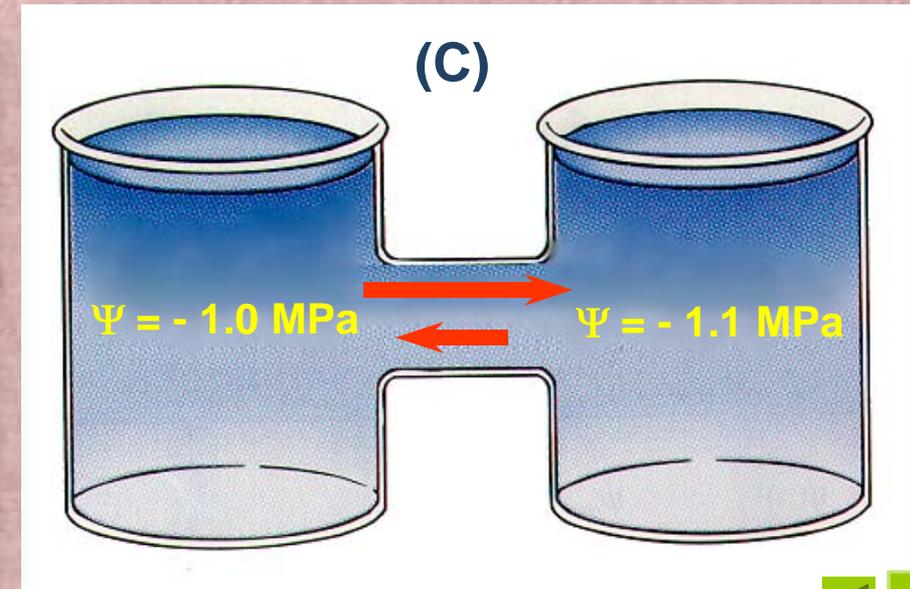


(B) Si el potencial de las dos soluciones es el mismo, están en equilibrio y no existe un movimiento neto del agua. En cada momento, se mueven en ambos sentidos el mismo número de moléculas de agua.

Movimientos del agua



(C) Una solución con un Ψ de -1.0 MPa (muy negativo) tenderá a absorber agua. Para que el agua se desplazase hacia el vaso de la derecha este debería tener una solución con un potencial hídrico más negativo, por ejemplo, de -1.1 MPa .



(A)



$$\Psi_{\text{cel}} = -0.1 \text{ MPa}$$

$$\Psi_{\pi} = ?$$

$$\Psi_p = ?$$

$$\Psi_{\text{cel}} = \Psi_{\pi} + \Psi_p$$

$$-0.1 \text{ MPa} = ? + ?$$

(D) Esta pérdida de agua, si es elevada, puede matar a la célula. El hecho de que el Ψ de la célula se haga más negativo significa que el potencial osmótico (Ψ_{π}) o el potencial de presión (Ψ_p), o ambos, se hacen más negativos.

$$\Psi_{\text{cel}} = -0.1 \text{ MPa}$$

$$\Psi_{\text{sol}} = -0.1 \text{ MPa}$$

$$\Psi_{\text{cel}} = \Psi_{\text{sol}}$$

$$\Psi_{\text{cel}} \downarrow = \Psi_{\pi} \downarrow + \Psi_p \downarrow$$

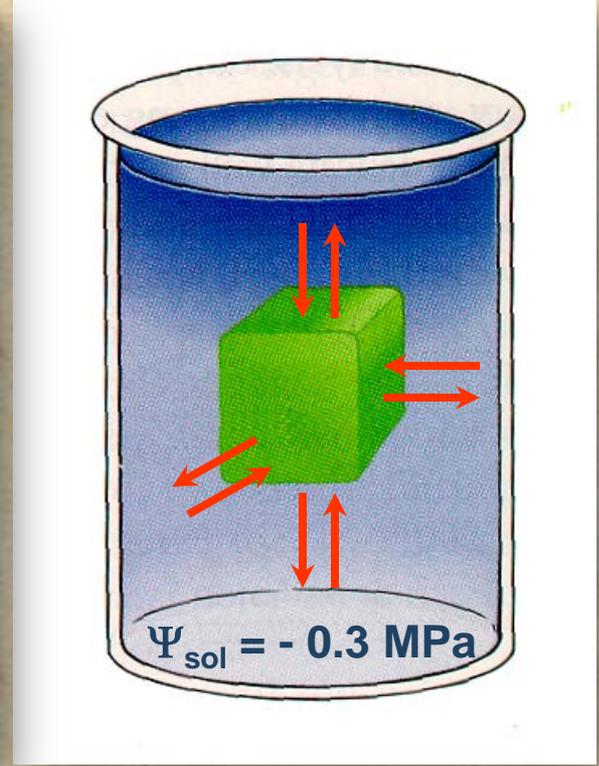
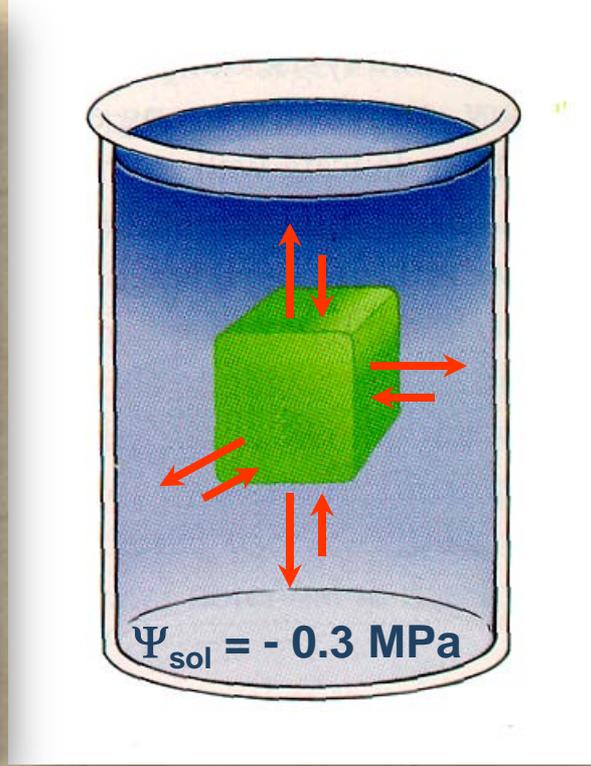
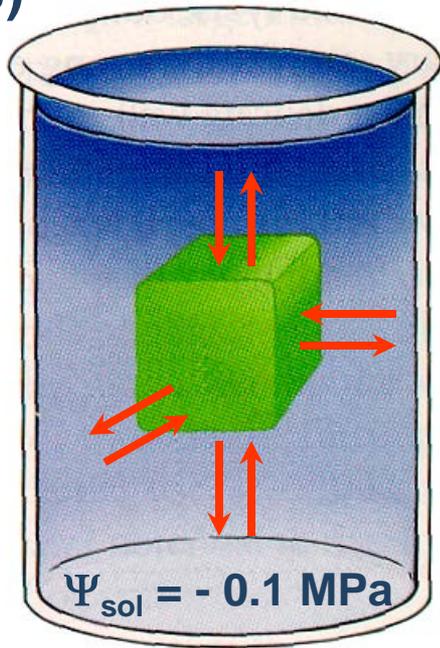
$$\Psi_{\text{cel}} = -0.3 \text{ MPa}$$

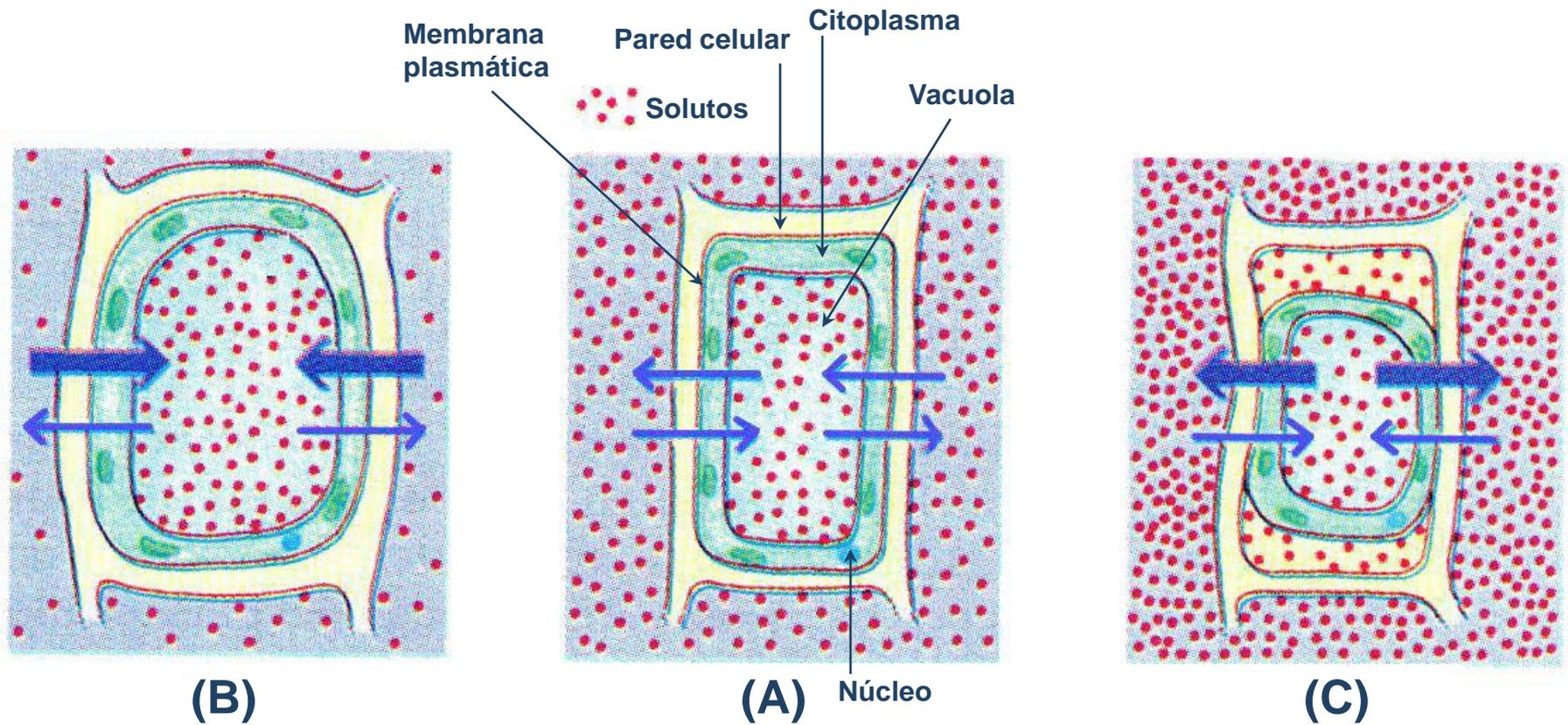
$$\Psi_{\text{sol}} = -0.3 \text{ MPa}$$

$$\Psi_{\text{cel}} = \Psi_{\text{sol}}$$

$$\Psi_{\pi} = ?; \Psi_p = ?$$

(B)





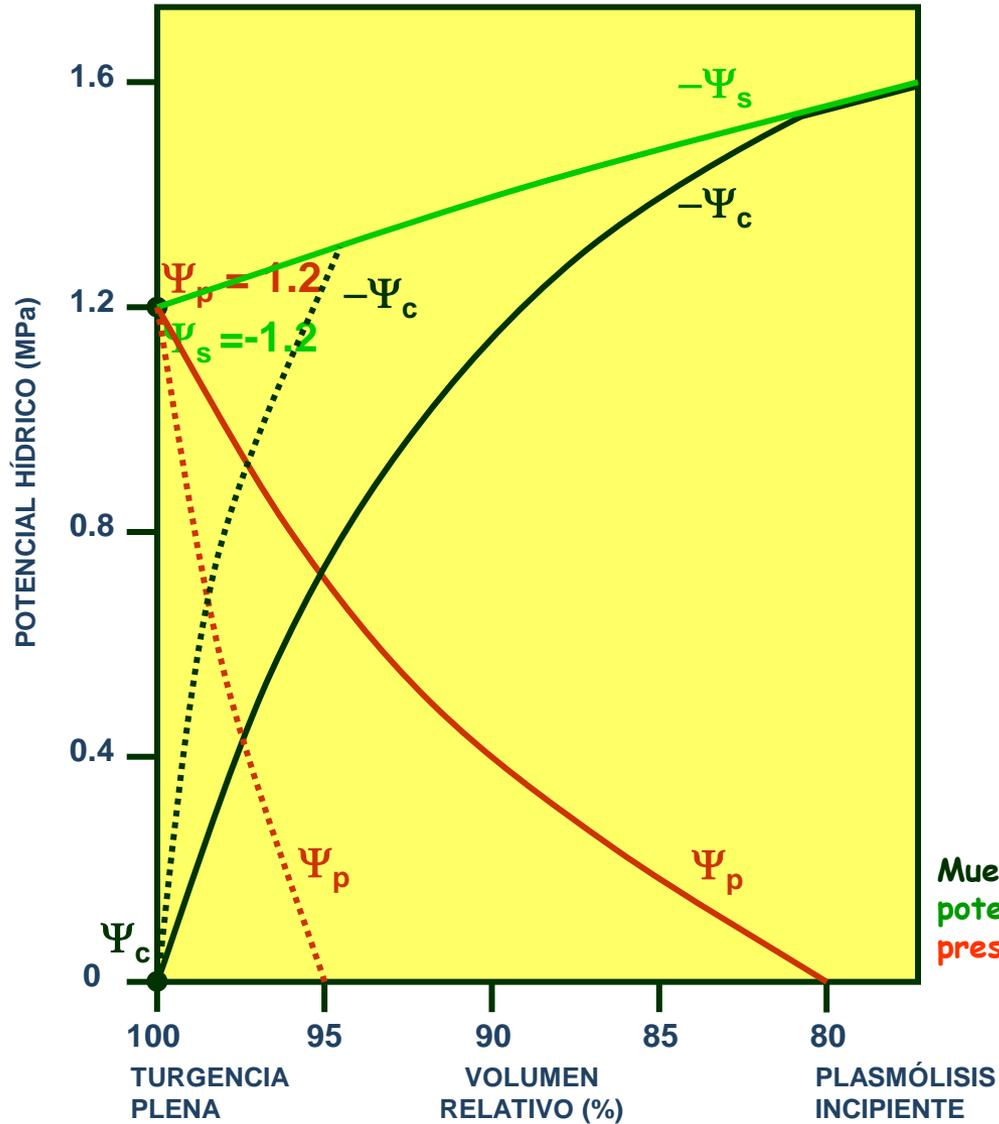
(A) Una célula vegetal empieza a marchitarse cuando se coloca en una disolución isotónica y el agua ya no presiona para entrar en la vacuola ($\Psi_{\text{interno}} = \Psi_{\text{externo}}$).

(B) **Célula vegetal turgente.** La vacuola central es hipertónica en relación al fluido que le rodea y, por lo tanto, entra agua ($\Psi_{\text{interno}} < \Psi_{\text{externo}}$). La expansión de la célula depende del trabajo que hace la pared contrarrestando la tendencia al ensanchamiento.

(C) La célula en una disolución hipertónica pierde agua hacia el medio externo y, por lo tanto, se colapsa, separándose la membrana plasmática de la pared celular ($\Psi_{\text{interno}} > \Psi_{\text{externo}}$). En ese momento se dice que ocurre la **plasmólisis**.

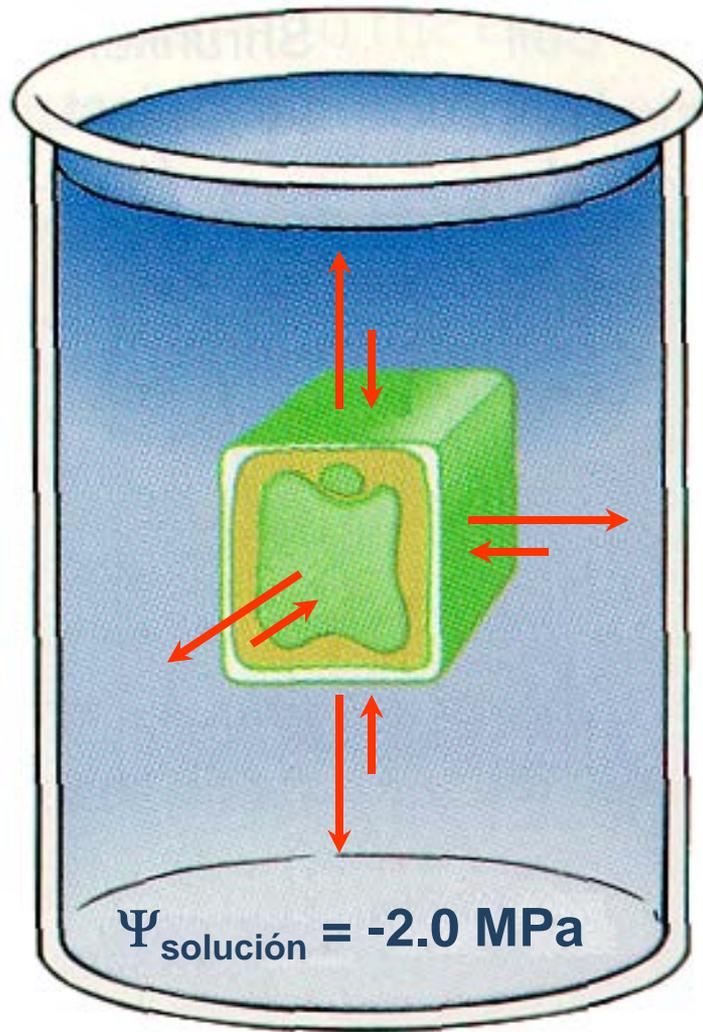


Diagrama de Höfler



Muestra las interacciones entre volumen celular, potencial osmótico, potencial hídrico y potencial de presión.





(A)

(A) Cuando colocamos una célula en una solución con un ψ muy negativo, la célula pierde agua rápidamente y comienza a reducir su tamaño. ψ_p se hace menos positivo y el $\psi_{\text{célula}}$ se hace más negativo; el ψ_{π} cambia sólo ligeramente.

Condiciones iniciales:

$$\Psi_{\text{célula}} = 0.0 \text{ MPa.}$$

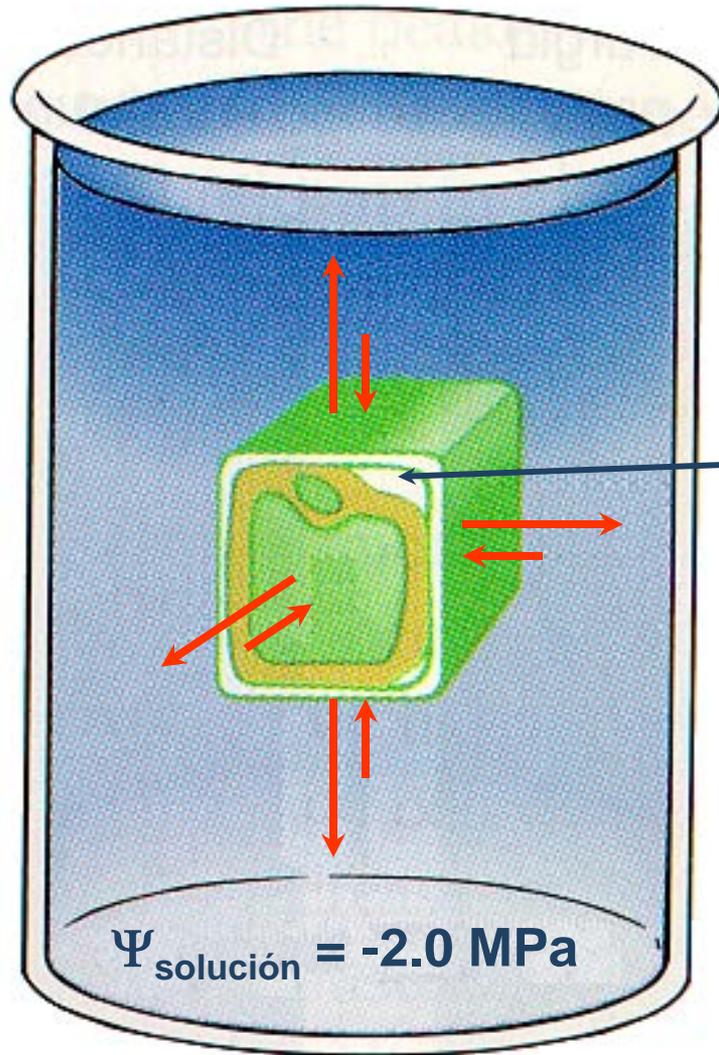
$$\Psi_{\pi} = ?$$

$$\Psi_p = ?$$

$$0.0 = \Psi_{\pi} + \Psi_p$$

$$\Psi \downarrow = \Psi_{\pi} \downarrow + \Psi_p \downarrow$$





(B) Plasmólisis incipiente es el punto en el cual el protoplasto ha comenzado a disminuir de tamaño lo justo para comenzar a separarse de la pared celular. En este momento ψ_p es 0.0 y el

$$\Psi_{\text{célula}} = \Psi_{\pi}$$

El protoplasto comienza a separarse de la pared.

Plasmólisis incipiente:

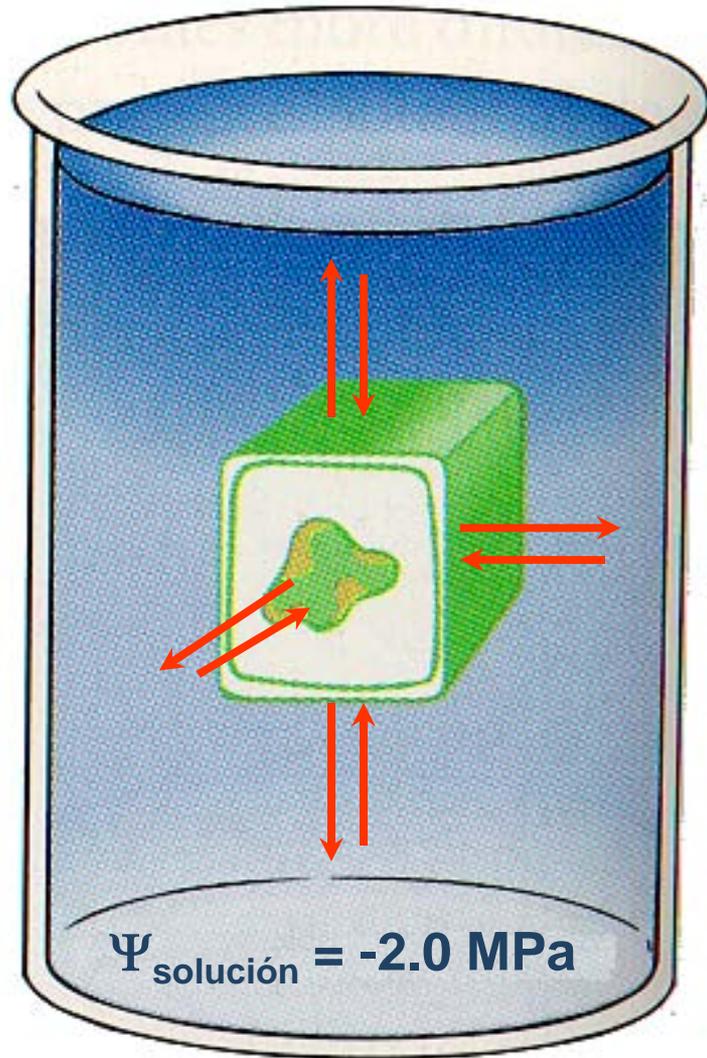
$$\Psi_{\text{célula}} = ?$$

$$\Psi_{\pi} = ?$$

$$\Psi_p = 0.0$$

$$\Psi_{\text{célula}} = \Psi_{\pi} + 0.0$$

$$\Psi_{\text{célula}} \downarrow = \Psi_{\pi} \downarrow + 0.0$$



(C) Si la célula no alcanza el equilibrio en el punto de plasmólisis incipiente, continua perdiendo agua, con lo que el $\Psi_{\text{célula}}$ continua haciéndose más negativo hasta alcanzar el valor del Ψ del medio exterior. Como el Ψ_p no se hace negativo, el cambio que sufre el $\Psi_{\text{célula}}$ es debido sólo a una disminución del Ψ_{π} . Durante la plasmólisis las células pierden bastante agua, suficiente para modificar sustancialmente su Ψ_{π} .

Equilibrio. Célula plasmolizada:

$$\Psi_{\text{célula}} = \Psi_{\text{solución}} = -2.0 \text{ MPa}$$

$$\Psi_p = 0.0 \text{ MPa}$$

$$\Psi_{\text{célula}} = \Psi_{\pi} + 0.0$$

$$-2.0 \text{ MPa} = \Psi_{\pi} + 0.0$$

Potenciales hídricos de varios tejidos bajo ciertas condiciones (en MPa)

Hojas totalmente turgentes:	0.0
Solución nutritiva:	-0.05
La mayoría de las raíces en suelos secos:	-0.2
Hojas de plantas enraizadas en suelos húmedos:	-0.5
Hojas de plantas enraizadas en suelos secos:	-1.0
Agua de mar:	-2.5
Solución de sacarosa 1 M:	-2.7
Hojas de plantas enraizadas en suelos muy secos; crecimiento parado o plantas muertas:	-3.0
Hojas de plantas desérticas:	-6.0
Semillas viables:	-20.0



Humedades atmosféricas relativas

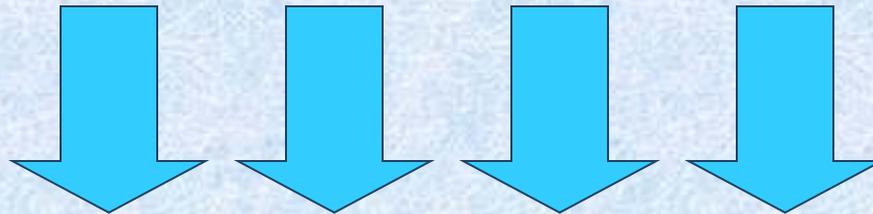
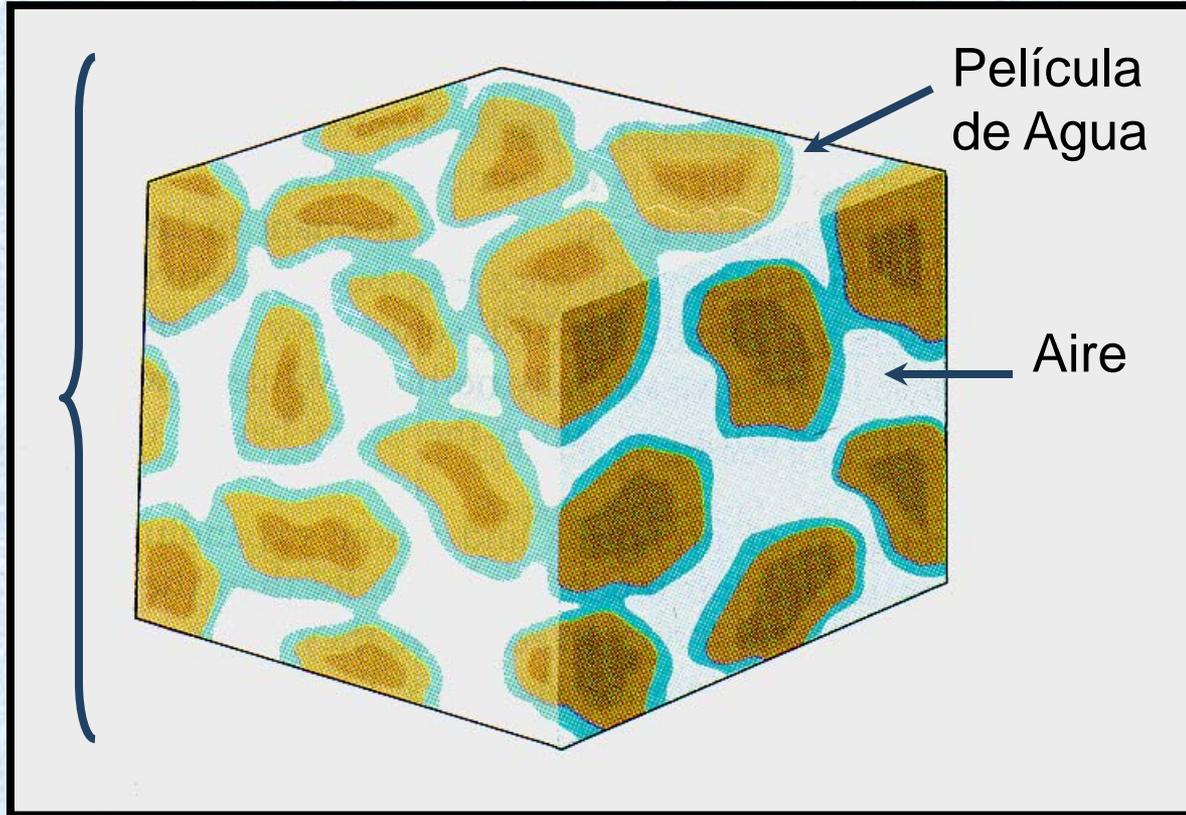
Humedad atm. relativa (%)	- Π (MPa)	Humedad atm. relativa (%)	- Π (MPa)
100	0	94.0	-8.32
99.5	-0.67	93.0	-9.79
99.0	-1,35	92.0	-11.2
98.5	-2.03	91.0	-12.6
98.0	-2.72	90.0	-14.1
97.5	-3.41	80.0	-30.1
97.0	-4.10	70.0	-48.1
96.0	-5.50	60.0	-68.7
95.0	-6.91	50.0	-93.3

Concentración relativa del vapor de agua en el aire (% de humedad relativa), que se encuentra en equilibrio con una solución de potencial osmótico determinado ($-\Pi$, en MPa) a 20 °C en un sistema cerrado.



Esquema del suelo y el agua que contiene

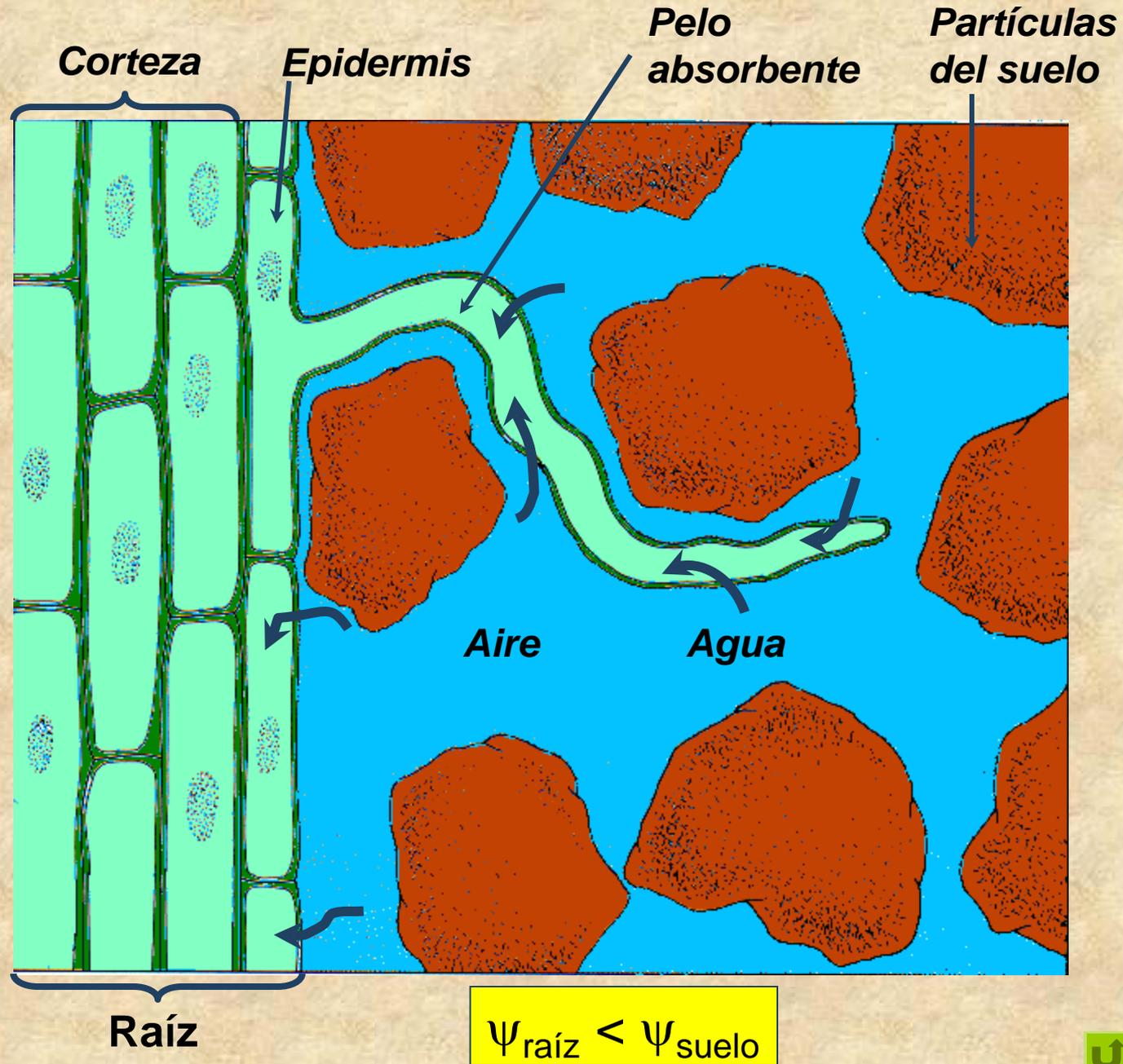
Agua capilar



Agua gravitacional

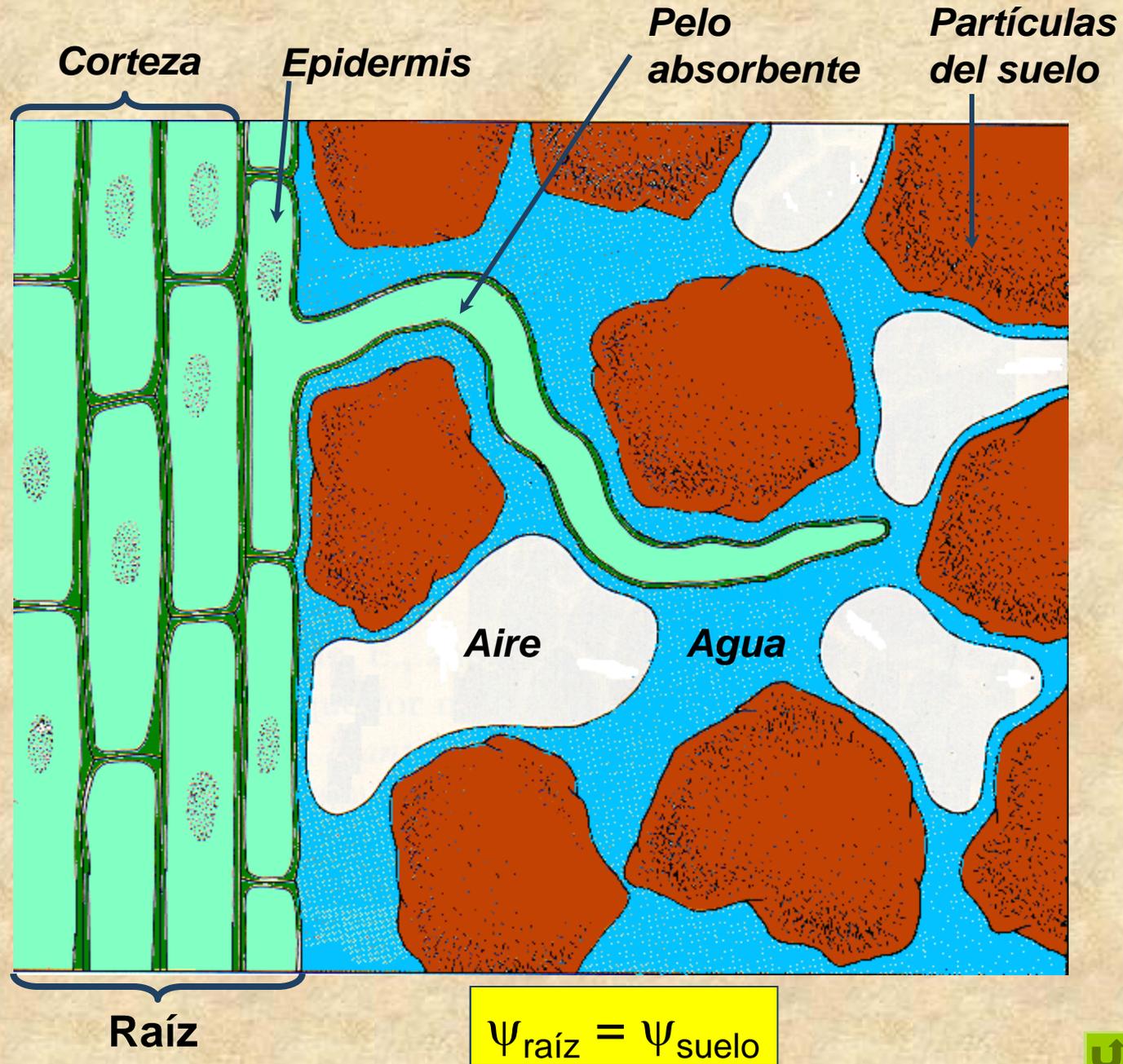
Absorción del agua

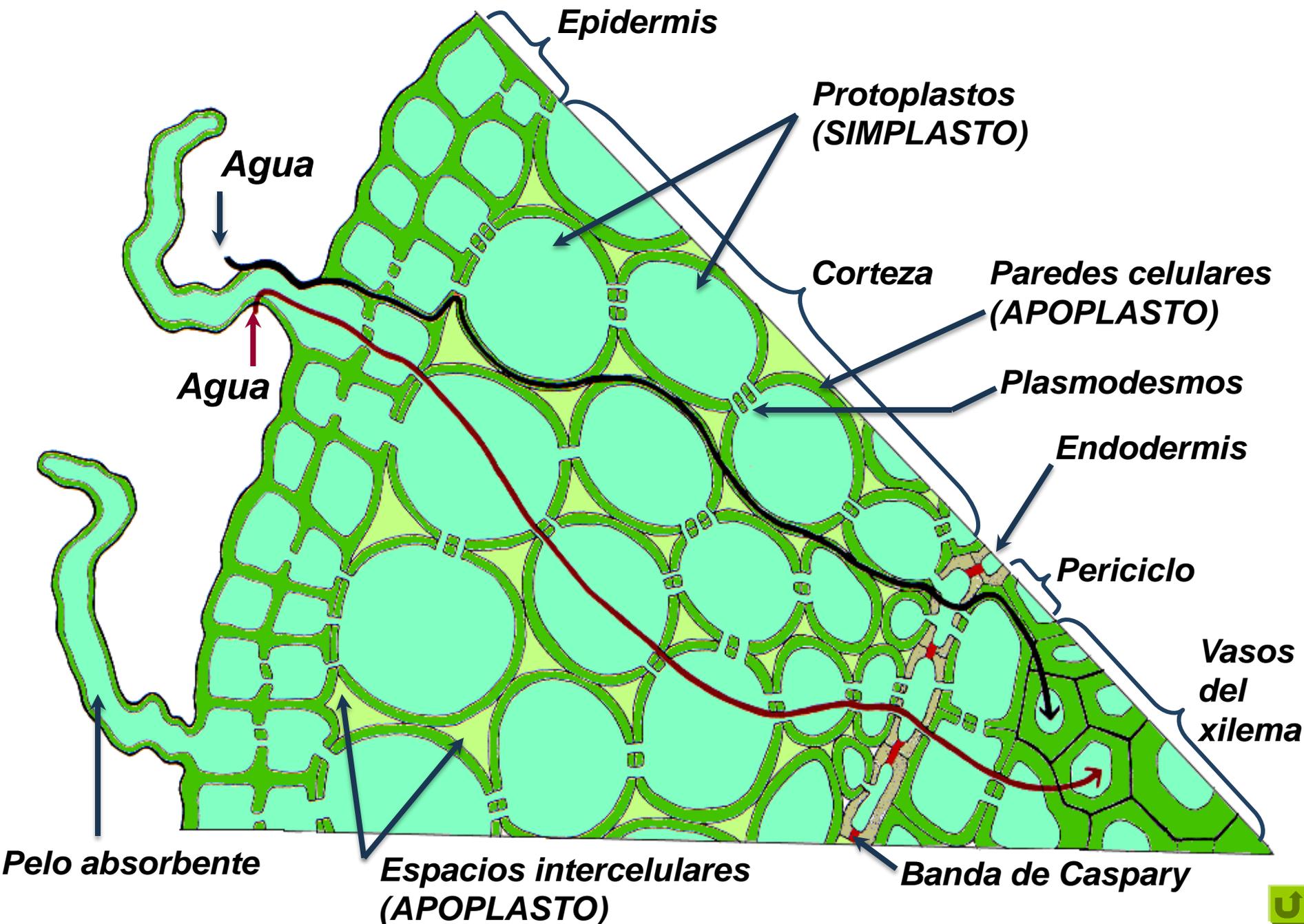
Los pelos radicales están en íntimo contacto con las partículas del suelo y amplifican la superficie disponible por la raíz para la absorción de agua. El agua penetrará en la raíz mientras que el ψ_{suelo} sea más positivo que el de la raíz. A medida que se absorbe agua el ψ del suelo se hace más negativo debido a que disminuye el ψ_m . Cuando ambos ψ se hacen iguales el agua deja de entrar pasivamente.



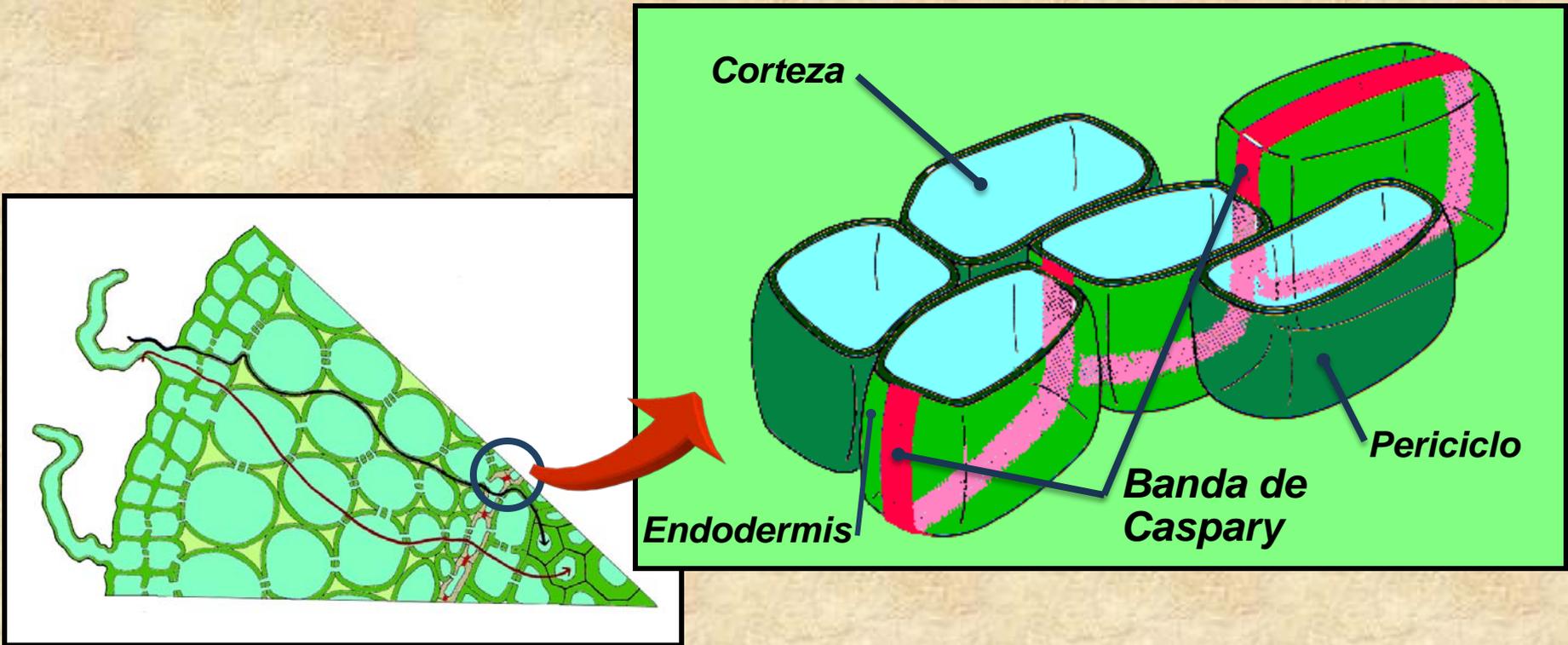
Absorción del agua

Los pelos radicales están en íntimo contacto con las partículas del suelo y amplifican la superficie disponible por la raíz para la absorción de agua. El agua penetrará en la raíz mientras que el ψ_{suelo} sea más positivo que el de la raíz. A medida que se absorbe agua el ψ del suelo se hace más negativo debido a que disminuye el ψ_m . Cuando ambos ψ se hacen iguales el agua deja de entrar pasivamente.



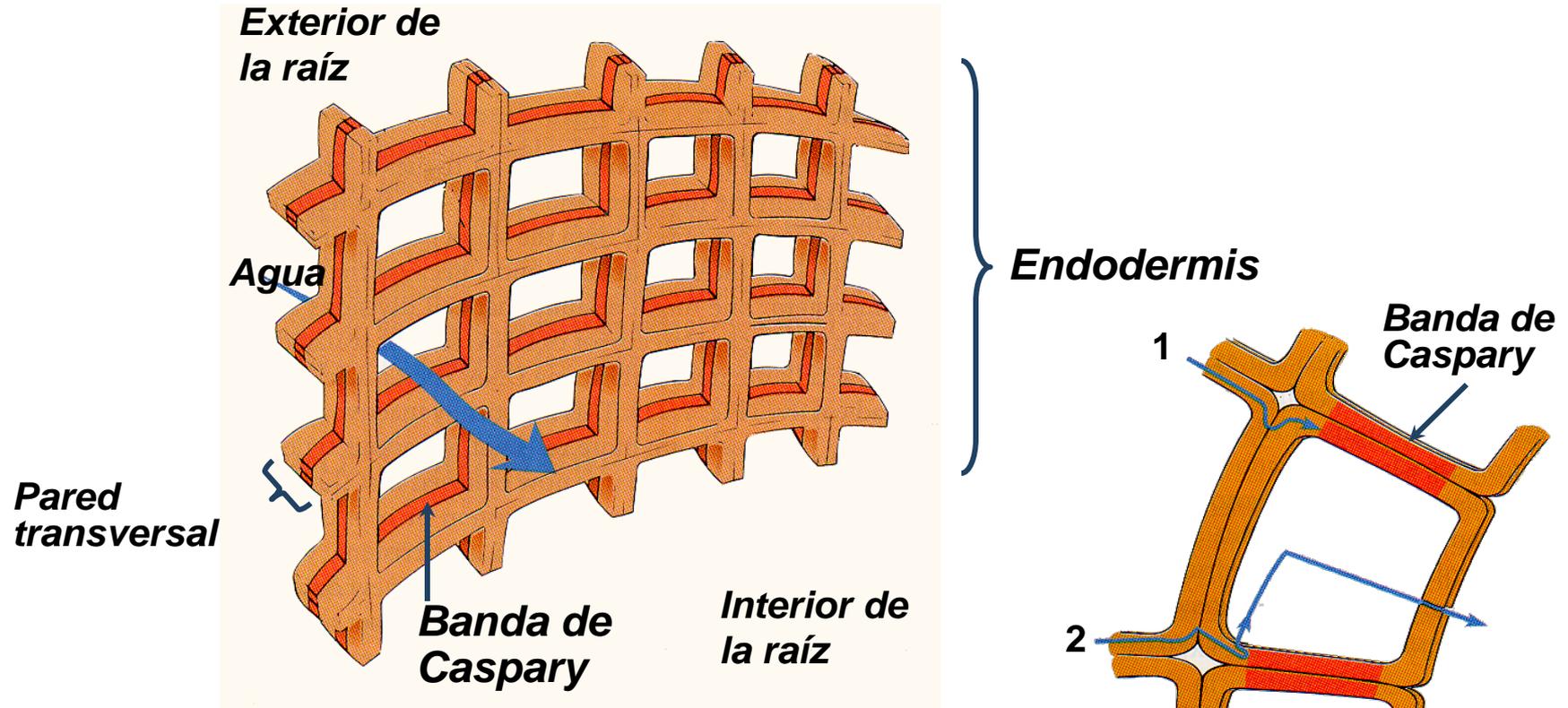


La banda de Caspary-1



En la endodermis, el apoplasto está bloqueado por la banda de Caspary (formada fundamentalmente de suberina y lignina). Toda el agua que penetra por la raíz se ve forzada a entrar en la vía simplástica a nivel de la endodermis.

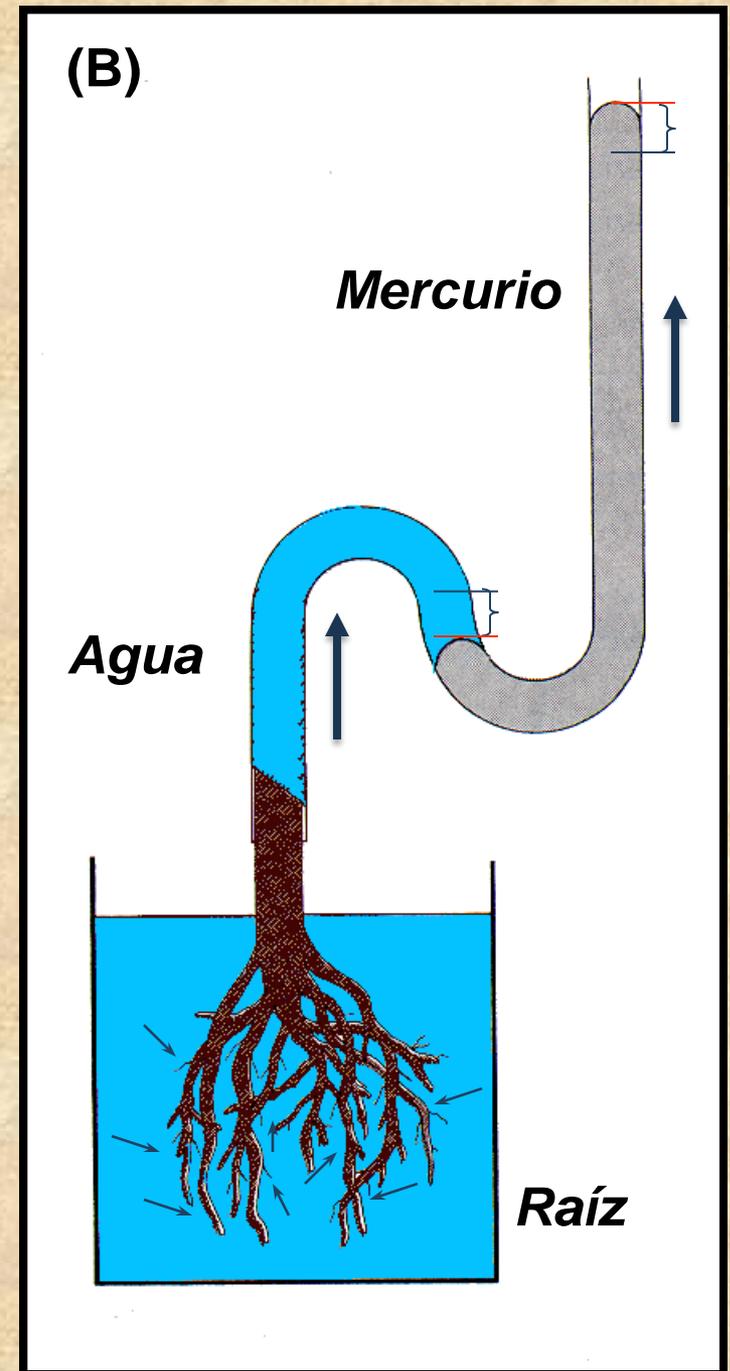
La banda de Caspary-2



Al llegar a la endodermis, el agua y los materiales que vienen por vía apoplástica (1) no pueden seguir debido a la presencia de la banda de Caspary. Son obligados a penetrar en el protoplasto de las células endodérmicas y seguir la vía simplástica hasta atravesar esta capa (2). El agua y los materiales que vienen por vía simplasto no ven alterado su camino (3).

La presión radical

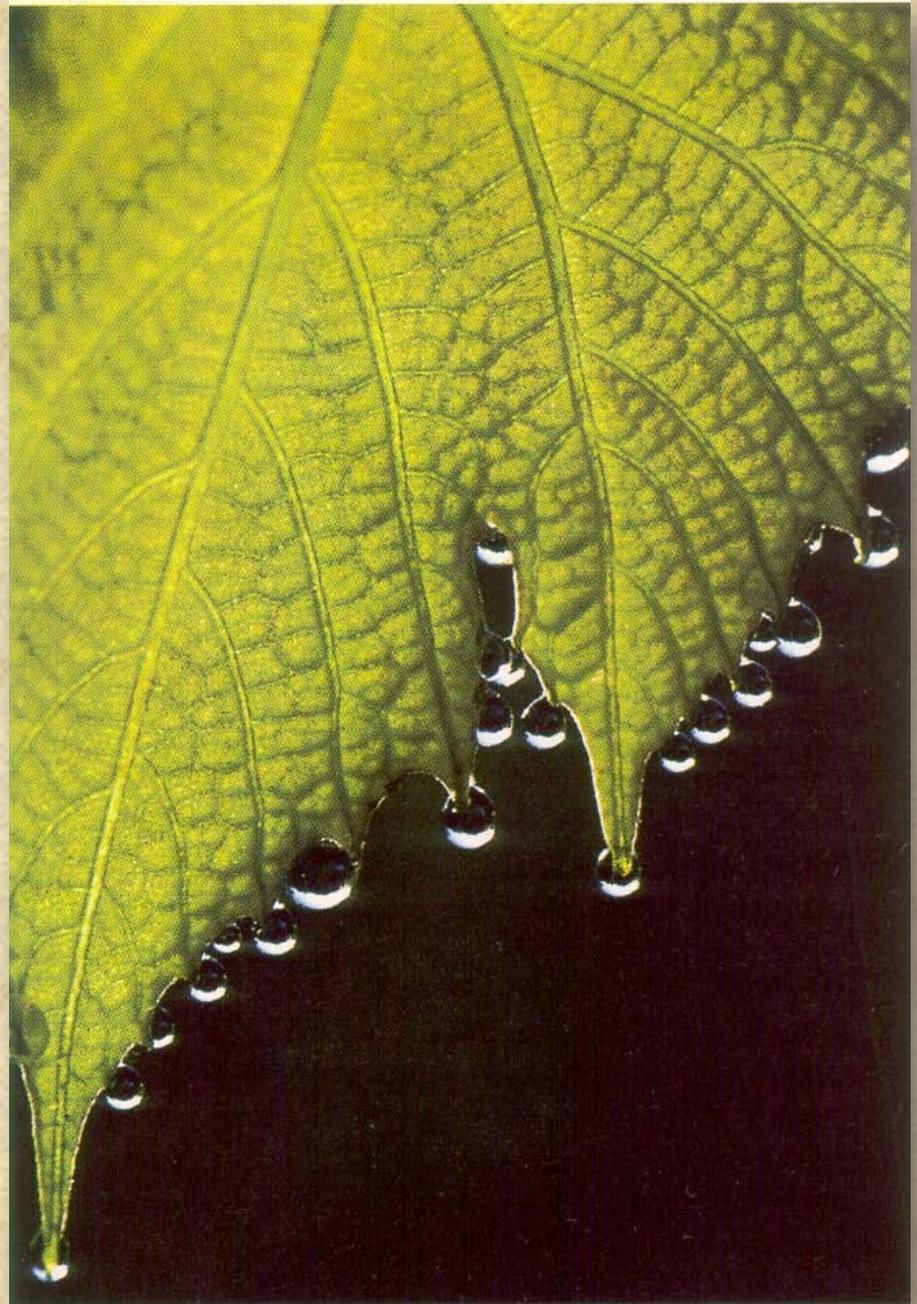
Demostración de la presión radical en una raíz cortada conectada a un tubo conteniendo agua y mercurio. **(A)** Aspecto al iniciar la experiencia. **(B)** Tras un período de tiempo, el agua absorbida por la raíz empuja la columna de mercurio hacia arriba.



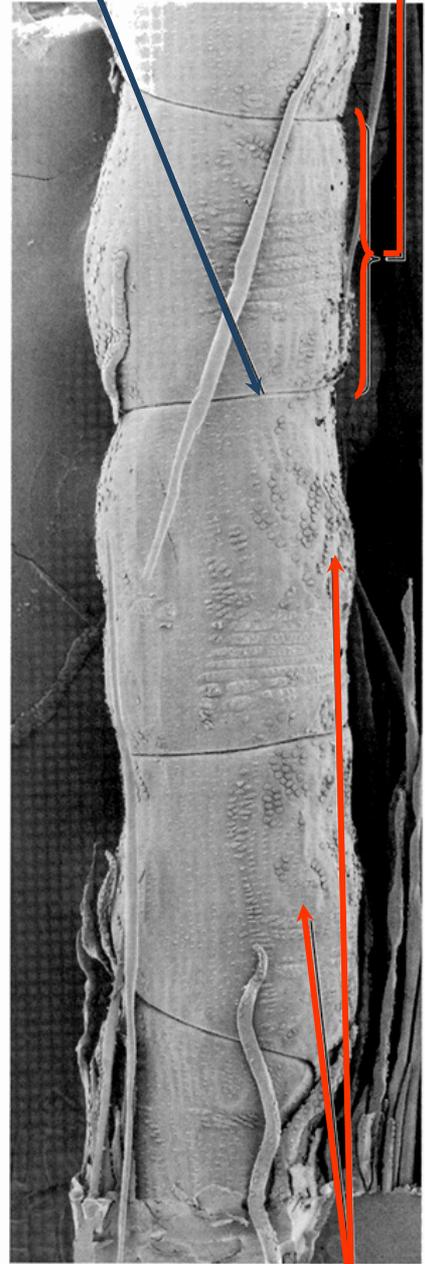
La gutación



Imágenes donde podemos ver el agua líquida que se libera en forma de gotas a través de los hidátodos como consecuencia de la presión radicular.



Perforación



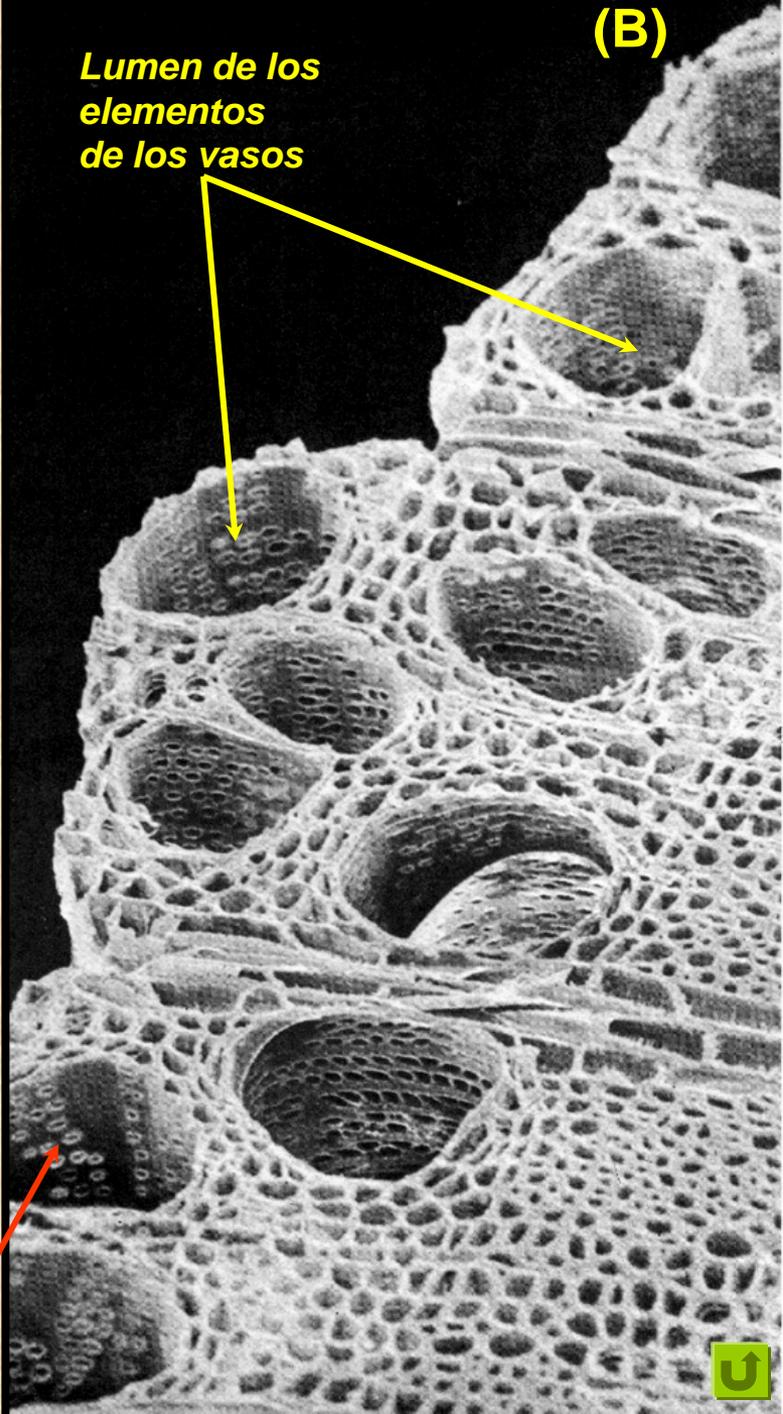
Elemento del vaso

(A) Vaso xilemático de *Castanea* sp. Se observan las líneas de separación entre cada elemento en el lugar donde se encuentran las perforaciones. También se pueden ver las punteaduras laterales que permiten la comunicación con vasos adyacentes.

(B) Sección transversal de una porción de xilema de *Ulmus* sp. Se observan las traqueas seccionadas en cuyas paredes se aprecian las punteaduras.

Punteaduras

Lumen de los elementos de los vasos



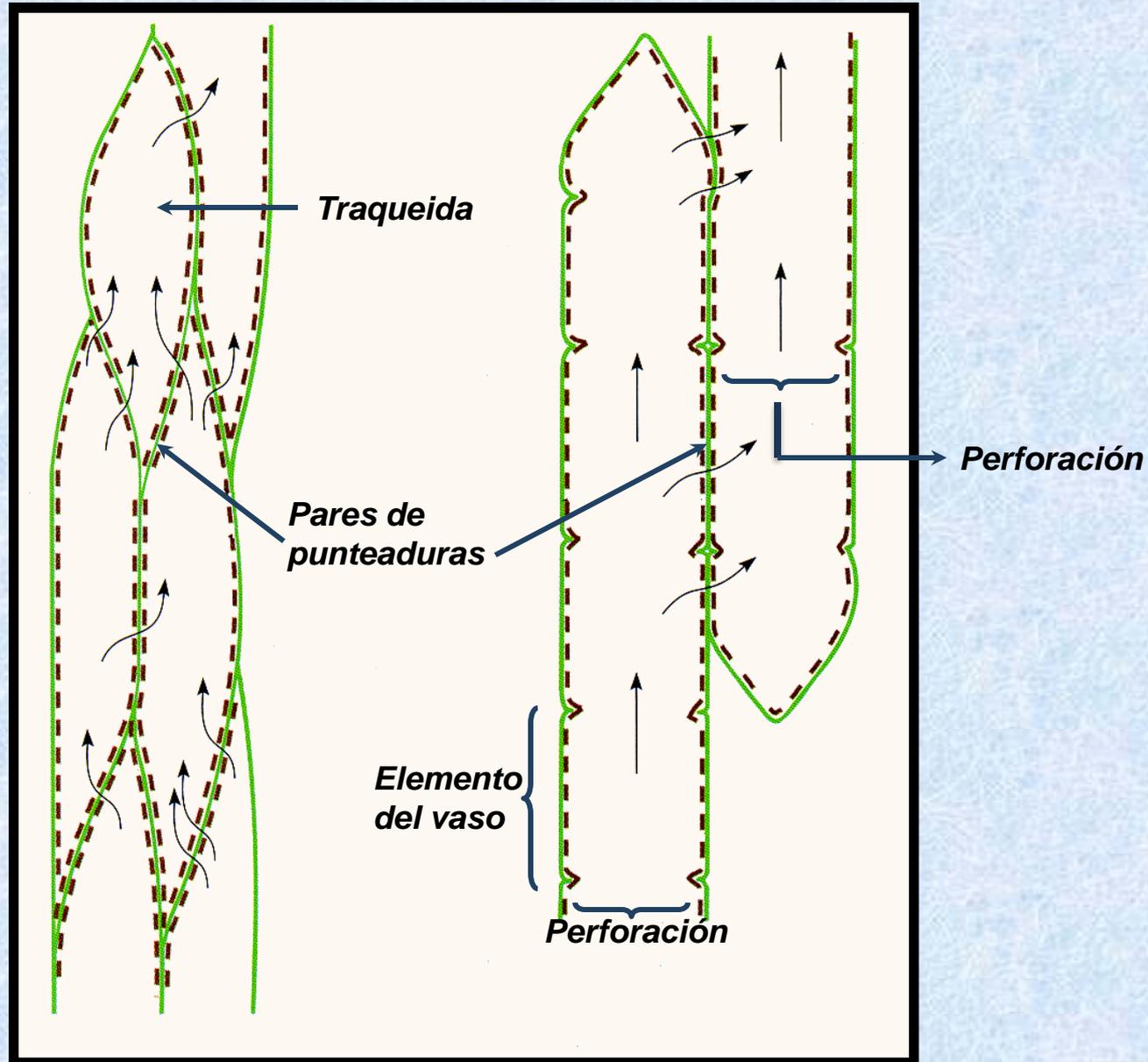
(B)

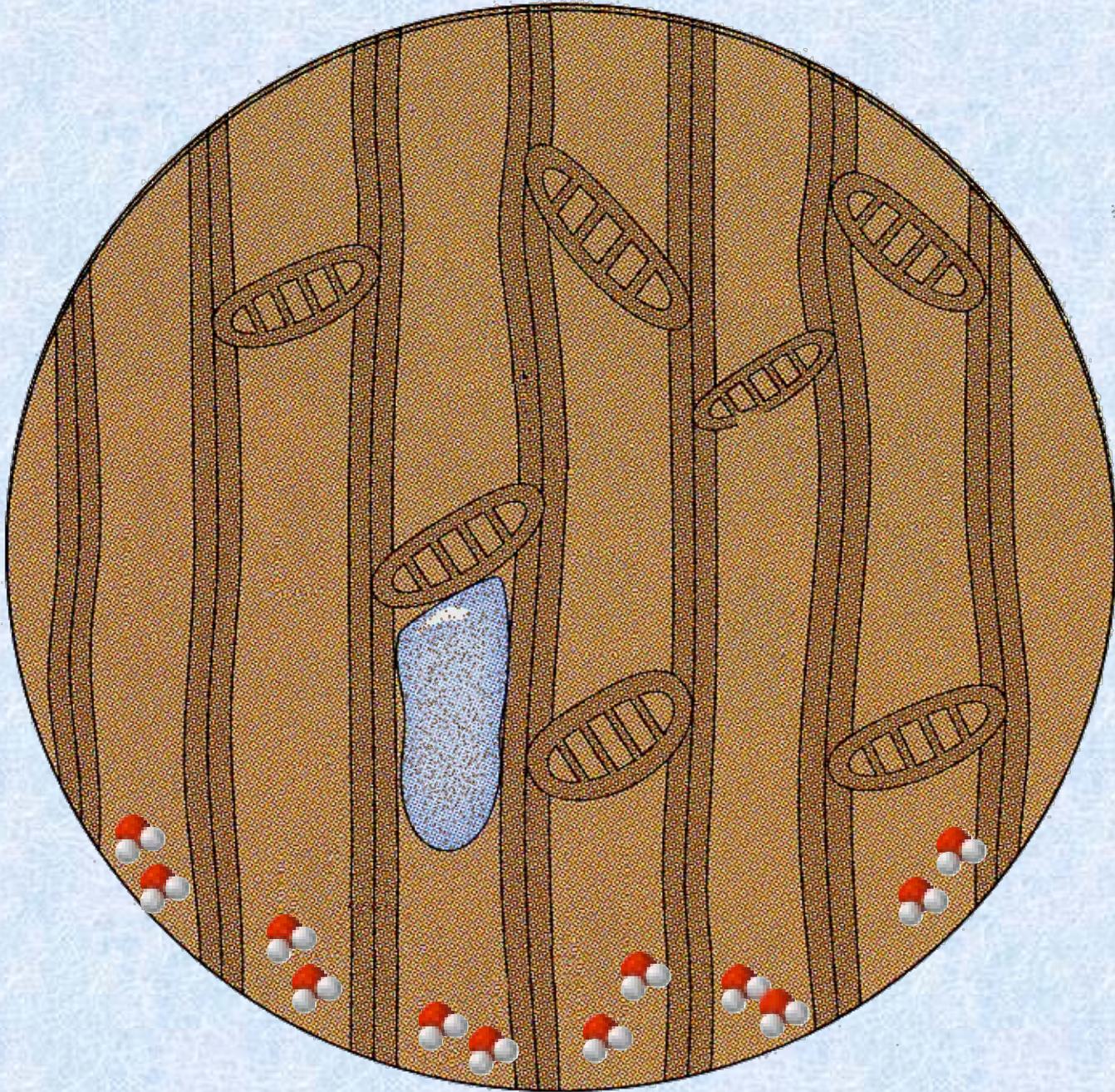
(A)

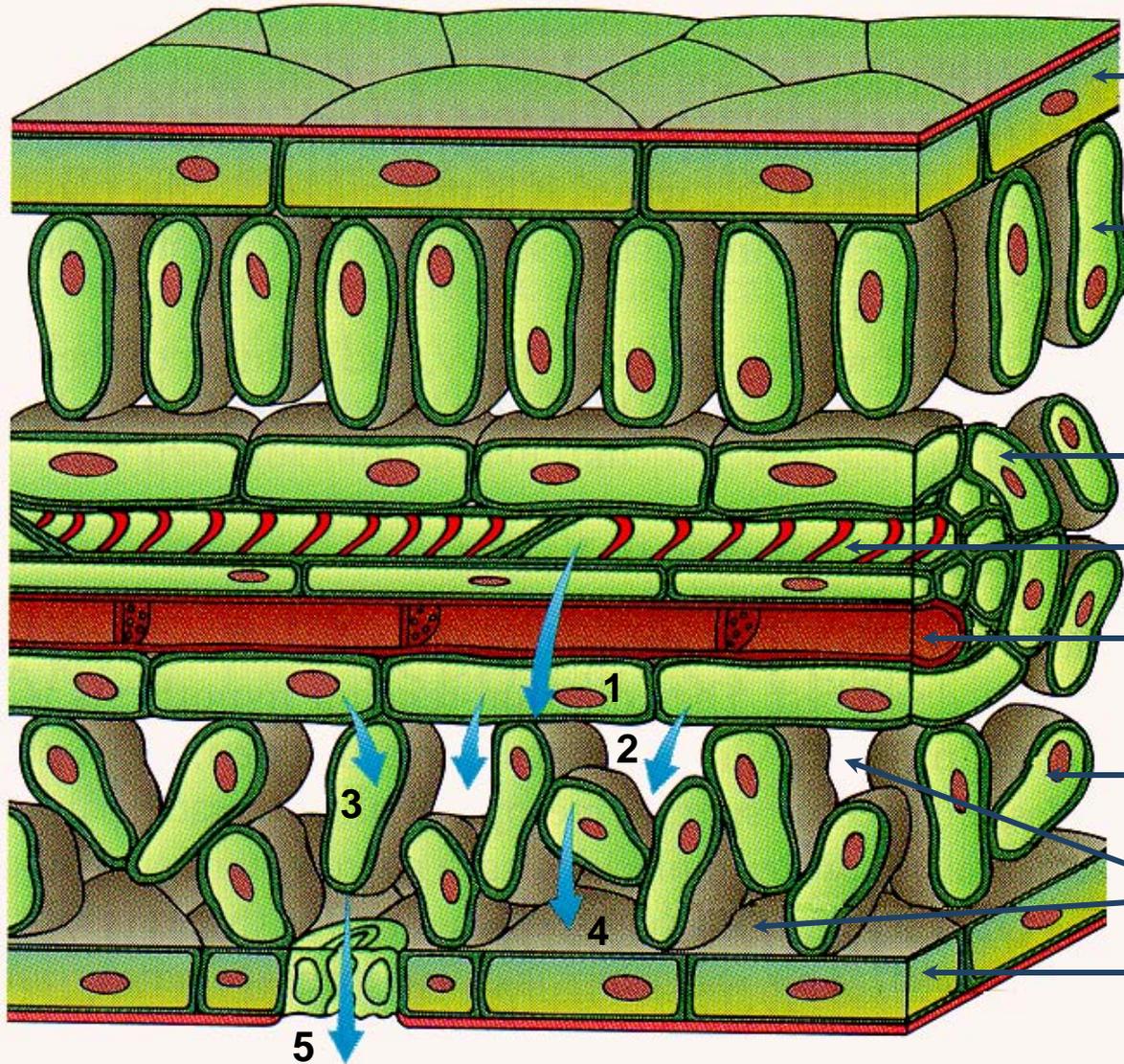
Punteaduras



Esquema del flujo del agua en las traqueidas y en las traqueas o elementos de los vasos. **(A)** En las traqueidas el agua circula sólo a través de los pares de punteaduras. **(B)** En los vasos el agua circula fundamentalmente a través de las perforaciones que conectan a unos elementos de los vasos con otros, aunque para pasar a otros vasos adyacentes debe hacerlo a través de pares de punteaduras. En verde se indica la pared primaria, en marrón la pared secundaria.







Epidermis superior

Parénquima empalizada

Vaina del haz

Traqueida

Tubo criboso

Parénquima lagunar

Apoplasto Epidermis inferior

1. $\Psi_{\text{traqueida}} > \Psi_{\text{vaina}}$

2. $\Psi_{\text{vaina}} > \Psi_{\text{apoplasto}}$

3. $\Psi_{\text{apoplasto}} > \Psi_{\text{par.}}$

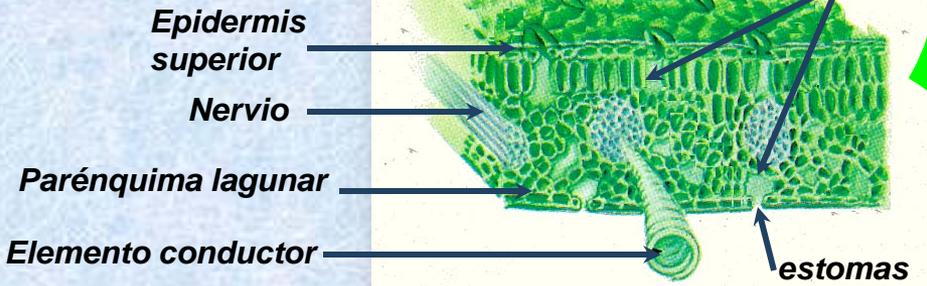
4. $\Psi_{\text{par}} > \Psi_{\text{apoplasto}}$

5. $\Psi_{\text{apoplasto}} > \Psi_{\text{aire.}}$

$\Psi_{\text{aire.}} = -50 \text{ MPa}$

Aire

Hoja

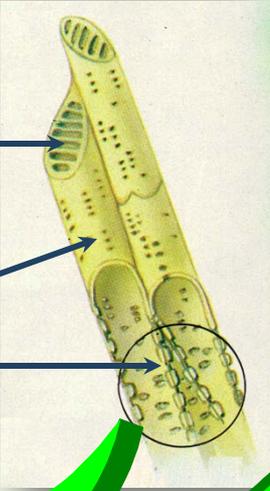


Elementos conductores

Perforación que separa dos elementos del mismo vaso

Vaso

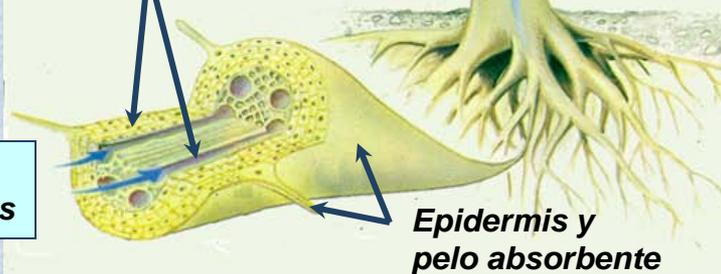
Punteadura



Vasos conductores

Agua + sales minerales

Transpiración



Localización ψ (MPa)

Aire -95.1

Hojas -0.8

Para cada 10 m de ascenso es necesario que:

$$\Psi_{\text{hojas}} - \Psi_{\text{raíz}} > 0.2 \text{ MPa}$$

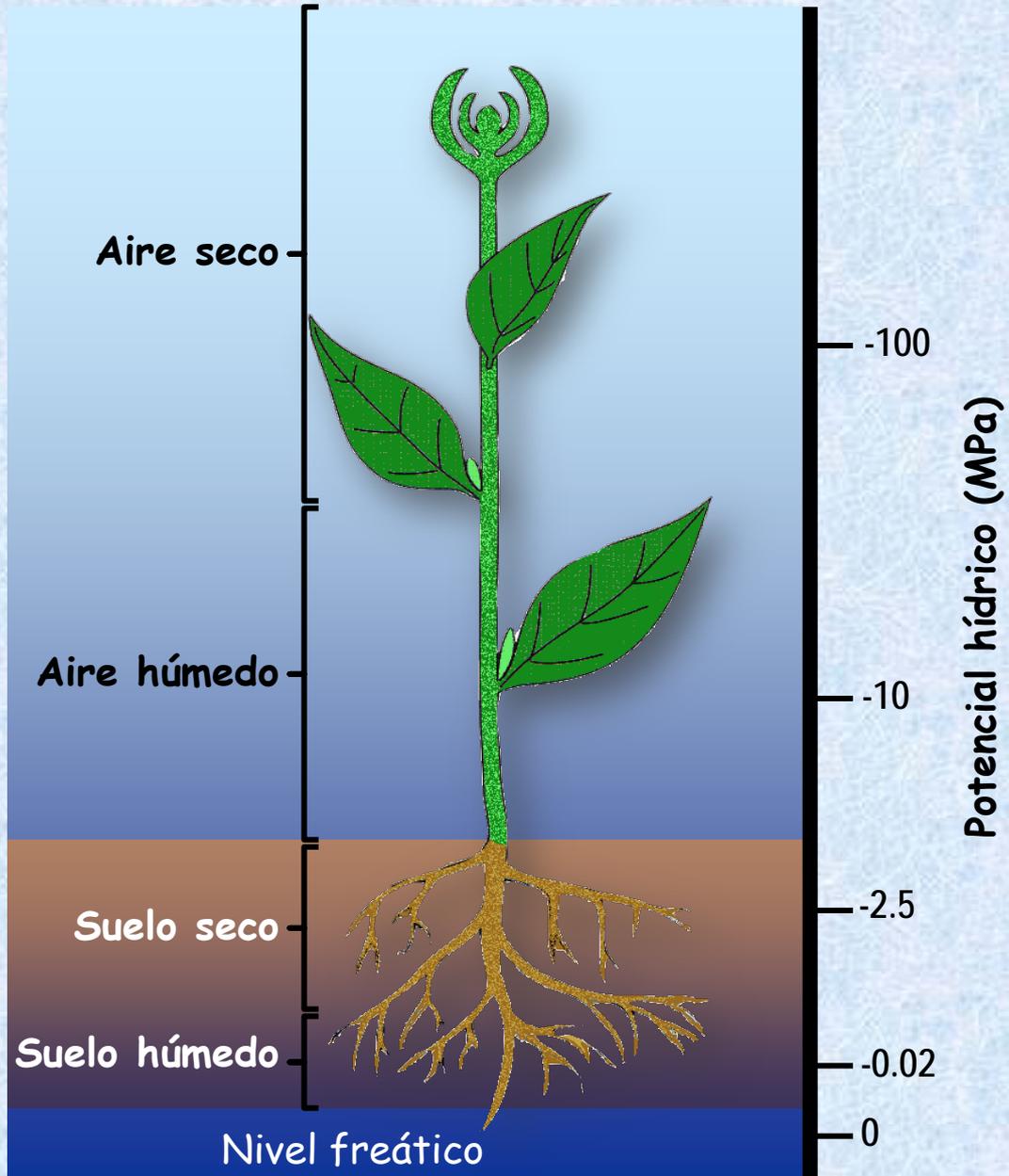
Xilema tallo -0.8

Xilema raíz -0.6

Suelo (raíz) -0.5

Suelo -0.3





Transpiración estomática y transcuticular

(Velocidades en mg H₂O/dm²/h)

	Estomática	Transcuticular
Plantas herbáceas		
<i>Coronilla varia</i> (arveja coronada)	1810	190
<i>Stachys recta</i> (hierba apoplética)	1620	180
<i>Oxytropis pilosa</i>	1600	100
Plantas leñosas		
<i>Betula pendula</i> (abedul)	685	95
<i>Rhododendron ferrugineum</i>	540	60
<i>Pinus sylvestris</i> (pino)	527	13
<i>Picea abies</i> (abeto)	465	15
<i>Fagus sylvatica</i> (haya)	330	90



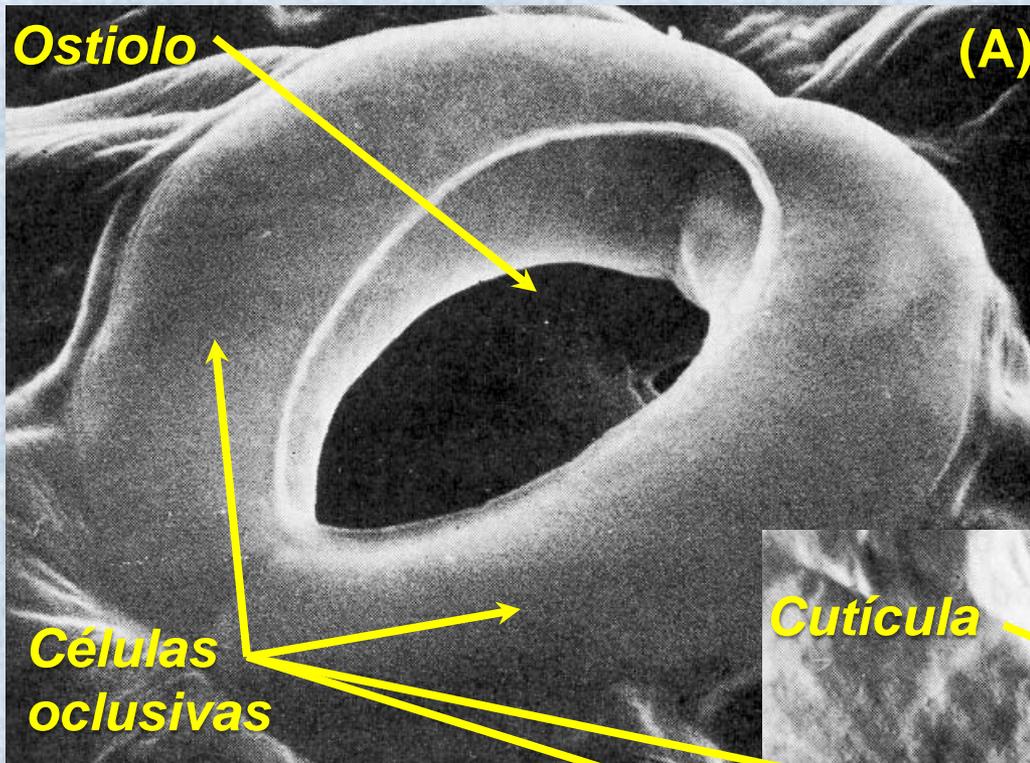
Velocidades del flujo xilemático

(Velocidades máximas en cm/h)

Coníferas siempreverdes	120
Plantas esclerófilas	150
Árboles de anillo difuso	600
Árboles de anillo poroso	4400
Plantas herbáceas	6000
Vides	15000

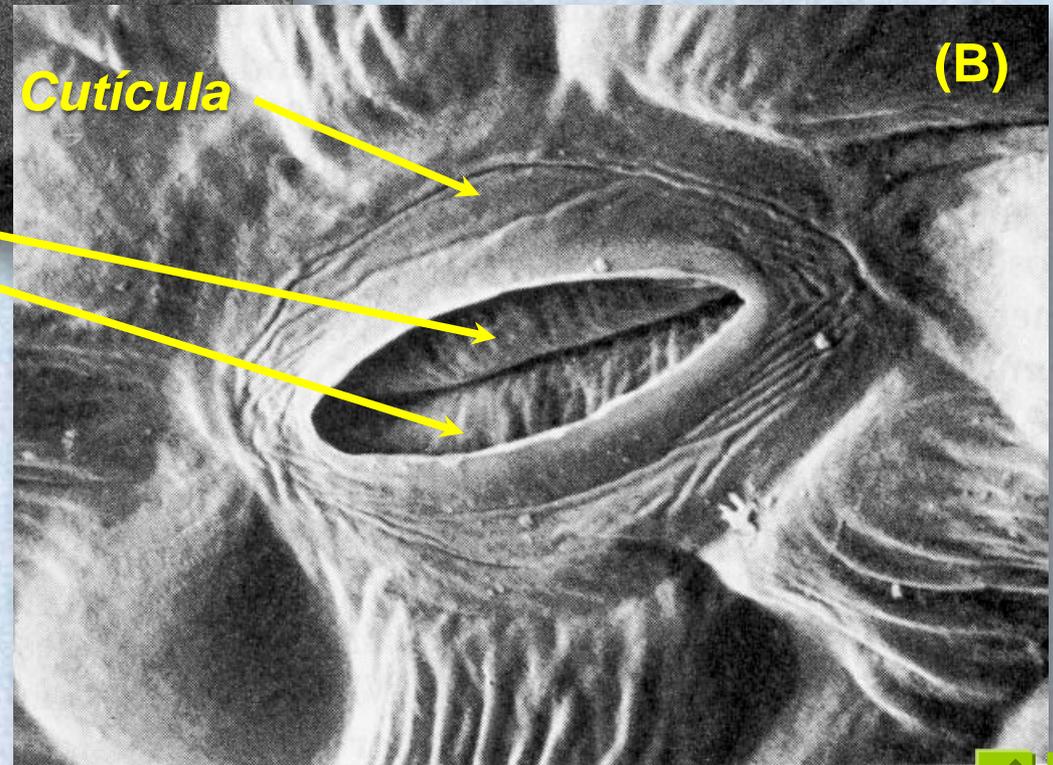


Estomas



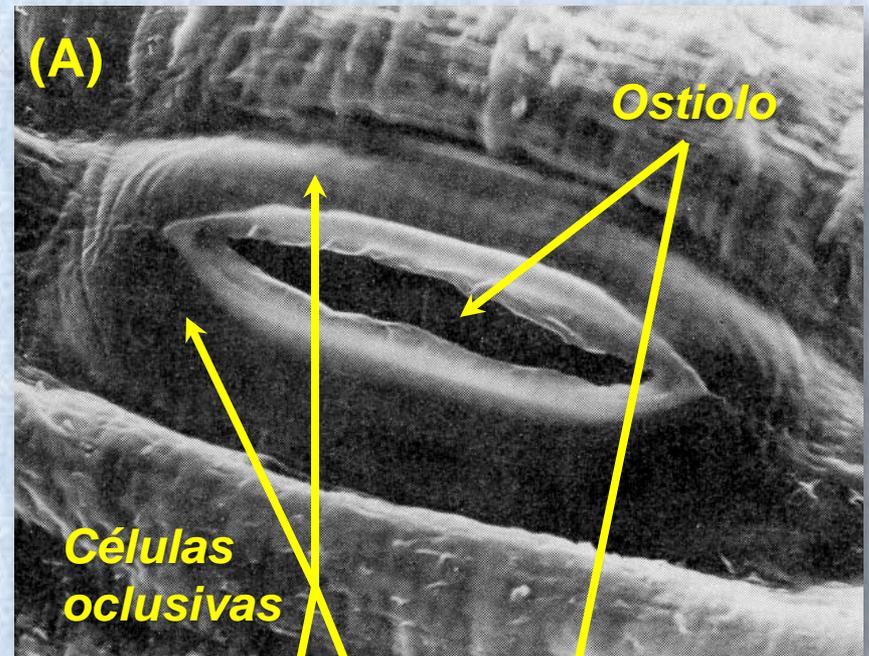
(A) Micrografía electrónica de un estoma. Estoma abierto encontrado en epidermis de hoja de *Cucumis sativus*. Se aprecia muy bien el orificio estomático u ostiolo y las células oclusivas.

(B) Micrografía electrónica de un estoma. Estoma cerrado encontrado en epidermis de hoja de *Apium petroselinum*. Se aprecia como el ostiolo se encuentra cerrado.

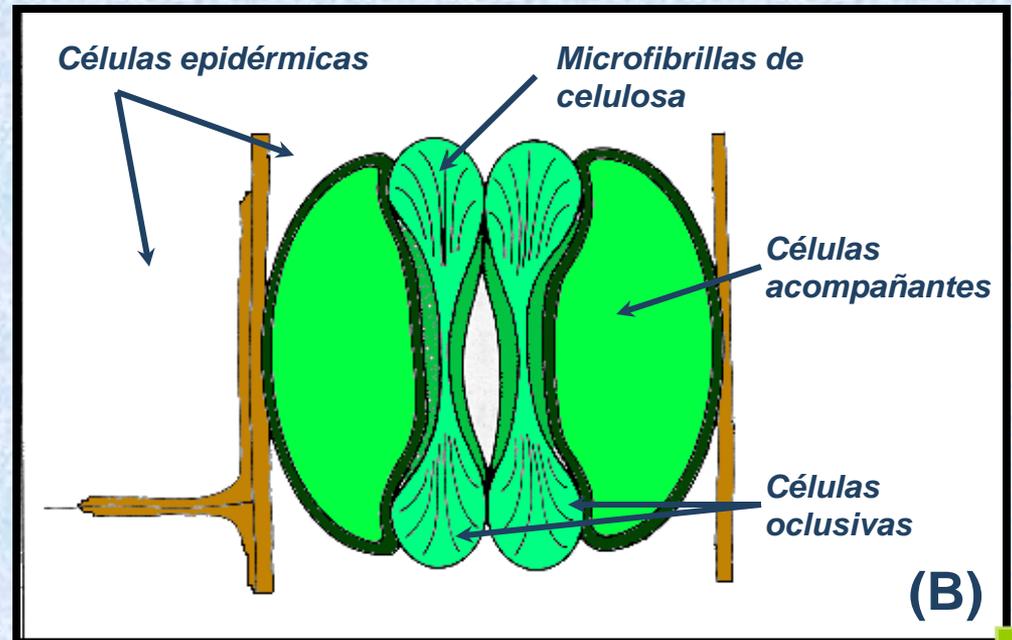
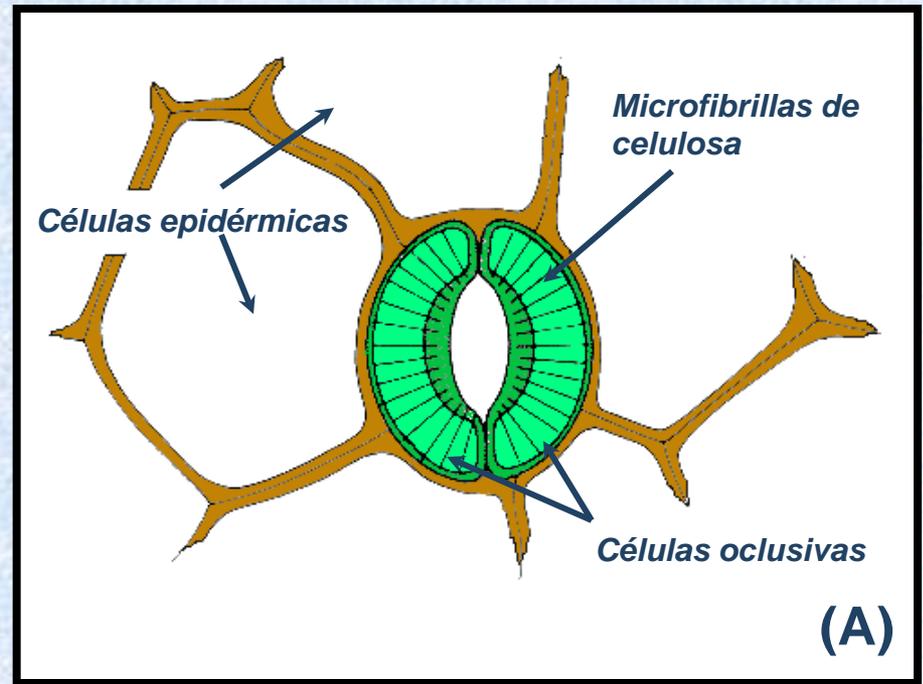


Estomas

Micrografías electrónicas de barrido de estomas de epidermis de cebolla. (A) Aspecto exterior del estoma donde se aprecian las células oclusivas y el ostiolo así como la cutícula que protege al tejido epidérmico. En **(B)** vemos un aspecto interno del estoma, desde la cámara subestomática, donde se aprecia el ostiolo y las células oclusivas.



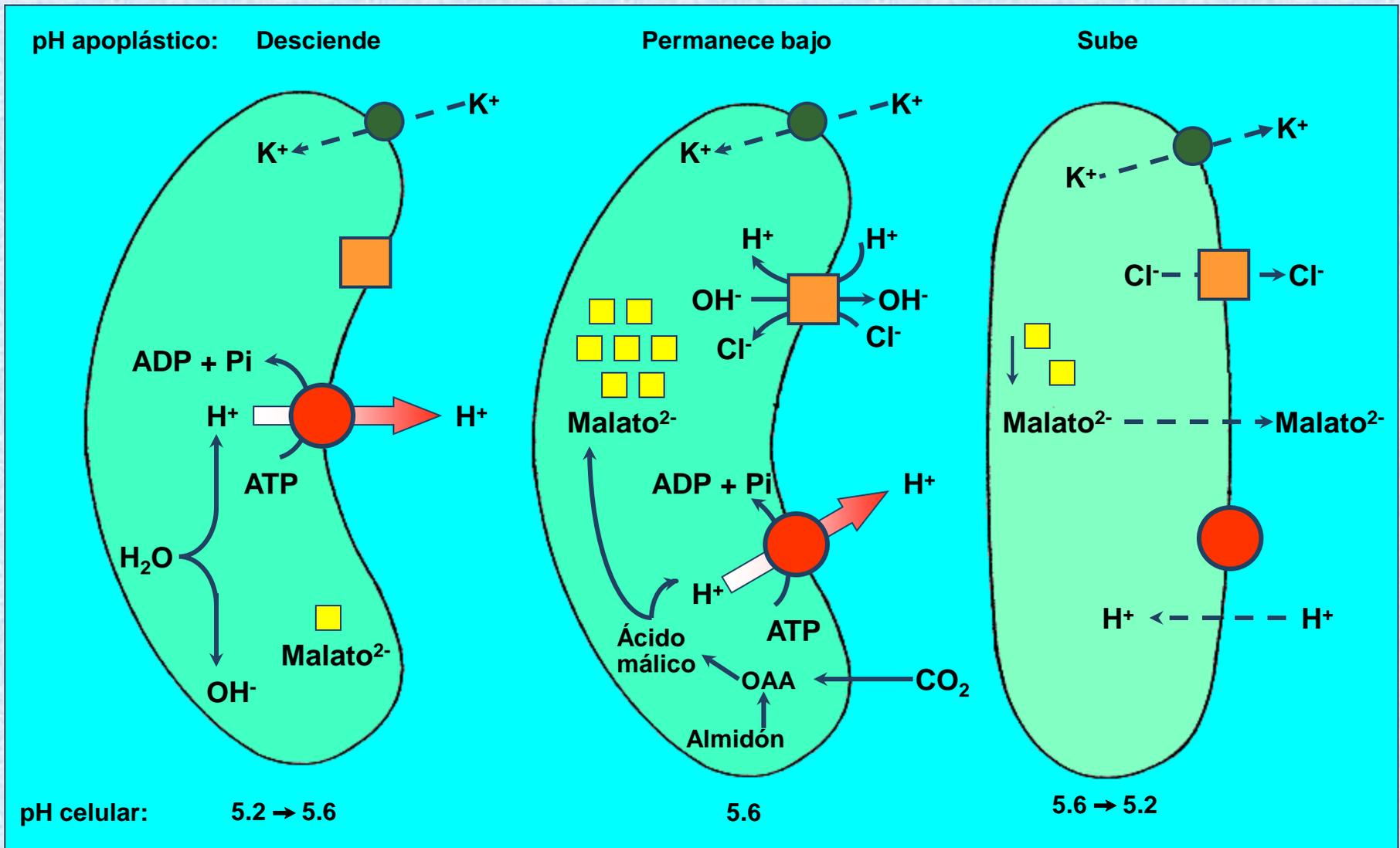
Estomas



Disposición radial de las microfibrillas de celulosa en células oclusivas de estomas en forma de riñón (A) y de tipo gramínea (B).



Apertura y cierre estomático



Primera etapa
de la apertura
estomática

Segunda etapa
de la apertura
estomática

Cierre
estomático

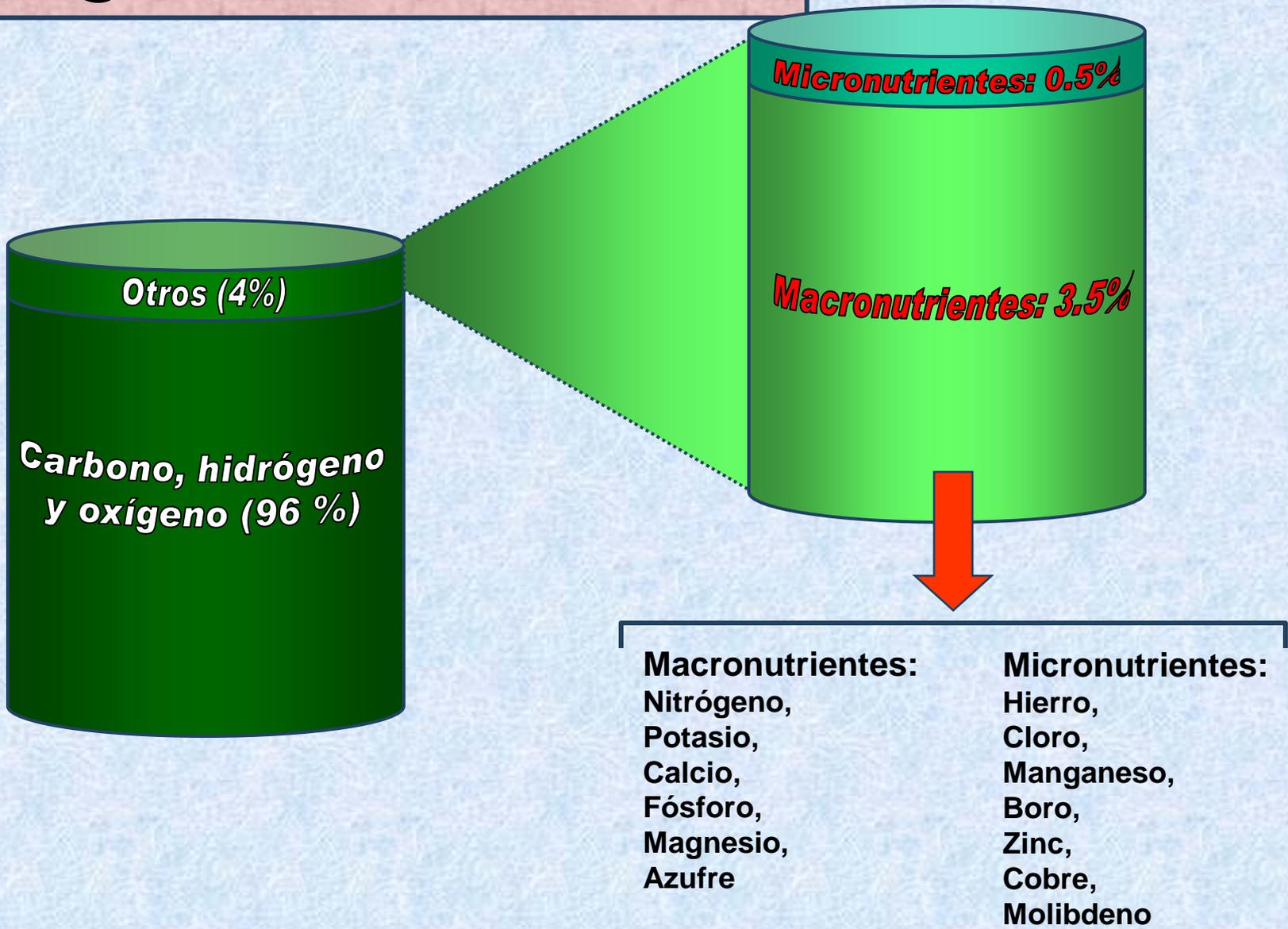


Composición elemental aproximada de un tejido vegetal

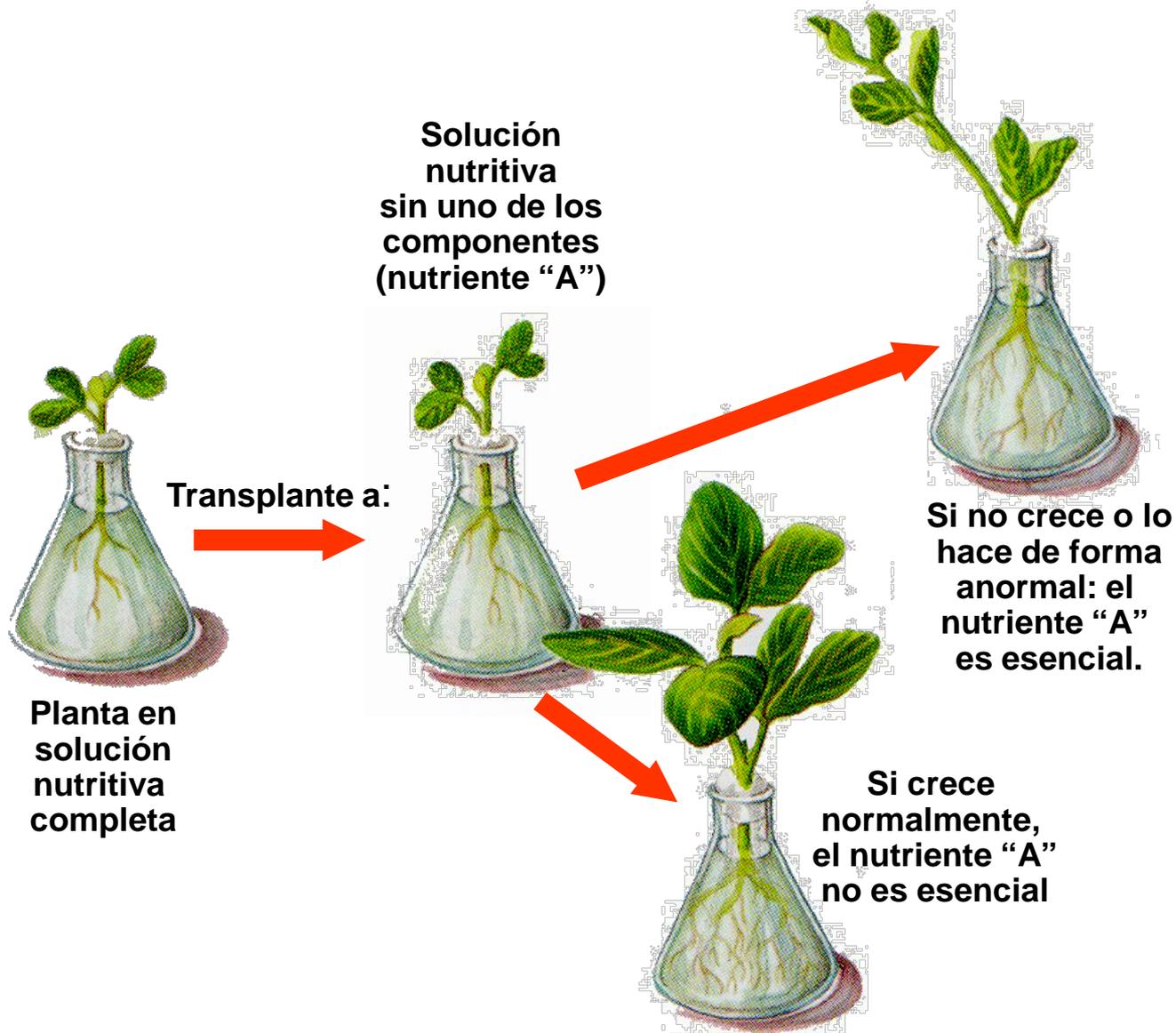
<i>Elemento</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Porcentaje del peso seco</i>
Carbono	(C)	45,0
Oxígeno	(O)	45,0
Hidrógeno	(H)	6,0
Nitrógeno	(N)	1,5
Potasio	(K)	1,0
Calcio	(Ca)	0,5
Magnesio	(Mg)	0,2
Fósforo	(P)	0,2
Azufre	(S)	0,1
Cloro	(Cl)	0,01
Hierro	(Fe)	0,01
Manganeso	(Mn)	0,005
Zinc	(Zn)	0,002
Boro	(B)	0,002
Cobre	(Cu)	0,0006
Molibdeno	(Mo)	0,00001



Macro y micronutrientes



Nutrientes esenciales



Funciones fisiológicas generales de los principales elementos

Elemento Funciones fisiológicas

Hidrógeno	Constituyente del agua celular, materiales celulares orgánicos
Oxígeno	Constituyente del agua celular, materiales celulares orgánicos; como O ₂ , aceptor de electrones en la respiración de los aerobios.
Carbono	Constituyente de materiales celulares orgánicos.
Nitrógeno	Constituyente de proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas, clorofilas.
Azufre	Constituyentes de proteínas (como aminoácidos cisteína y metionina); de algunos coenzimas (por ejemplo, CoA, cocarboxilasa).
Fósforo	Constituyente de ácidos nucleicos, fosfolípidos, coenzimas.
Potasio	Uno de los principales cationes inorgánicos de las células, cofactor de algunos enzimas; apertura y cierre de los estomas.



Funciones fisiológicas generales de los principales elementos

Elemento

Funciones fisiológicas

Magnesio

Importante catión celular; cofactor inorgánico en muchas reacciones enzimáticas, incluyendo aquellas que requieren ATP; funciona uniendo los enzimas a los substratos; constituyente de las clorofilas.

Manganeso

Cofactor inorgánico de varios enzimas, a veces reemplazando al Mg.

Calcio

Importante catión celular, cofactor de algunas enzimas (por ejemplo, proteinasas).

Hierro

Constituyente de citocromos y otras hemo o no hemoproteínas; cofactor de cierto número de enzimas.

Cobalto

Constituyente de la vitamina B₁₂ y de sus coenzimas derivados.

Cu, Zn, Ni, Mo

Constituyentes inorgánicos de enzimas especiales.



Macro- y micronutrientes (formas naturales)

<i>Elemento</i>	<i>Forma usual del nutriente encontrada en el ambiente</i>
Carbono (C)	CO_2 , compuestos orgánicos
Hidrógeno (H)	H_2O , compuestos orgánicos
Oxígeno (O)	H_2O , O_2 , compuestos orgánicos
Nitrógeno (N)	NH_3 , NO_3^- , N_2 , compuestos orgánicos de N.
Fósforo (P)	PO_4^{3-}
Azufre (S)	H_2S , SO_4^{2-} , compuestos orgánicos de S, sulfuros de metales (FeS , CuS , ZnS , NiS , ...)
Potasio (K)	K^+ en solución o en forma de sales de K.
Magnesio (Mg)	Mg^{2+} en solución o en forma de sales de Mg.
Sodio (Na)	Na^+ en solución o en forma de sales de Na.
Calcio (Ca)	Ca^{2+} en solución o en forma de CaSO_4 u otras sales de Ca.
Hierro (Fe)	Fe^{2+} o Fe^{3+} en solución o como FeS , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, o en forma de otras sales de Fe.



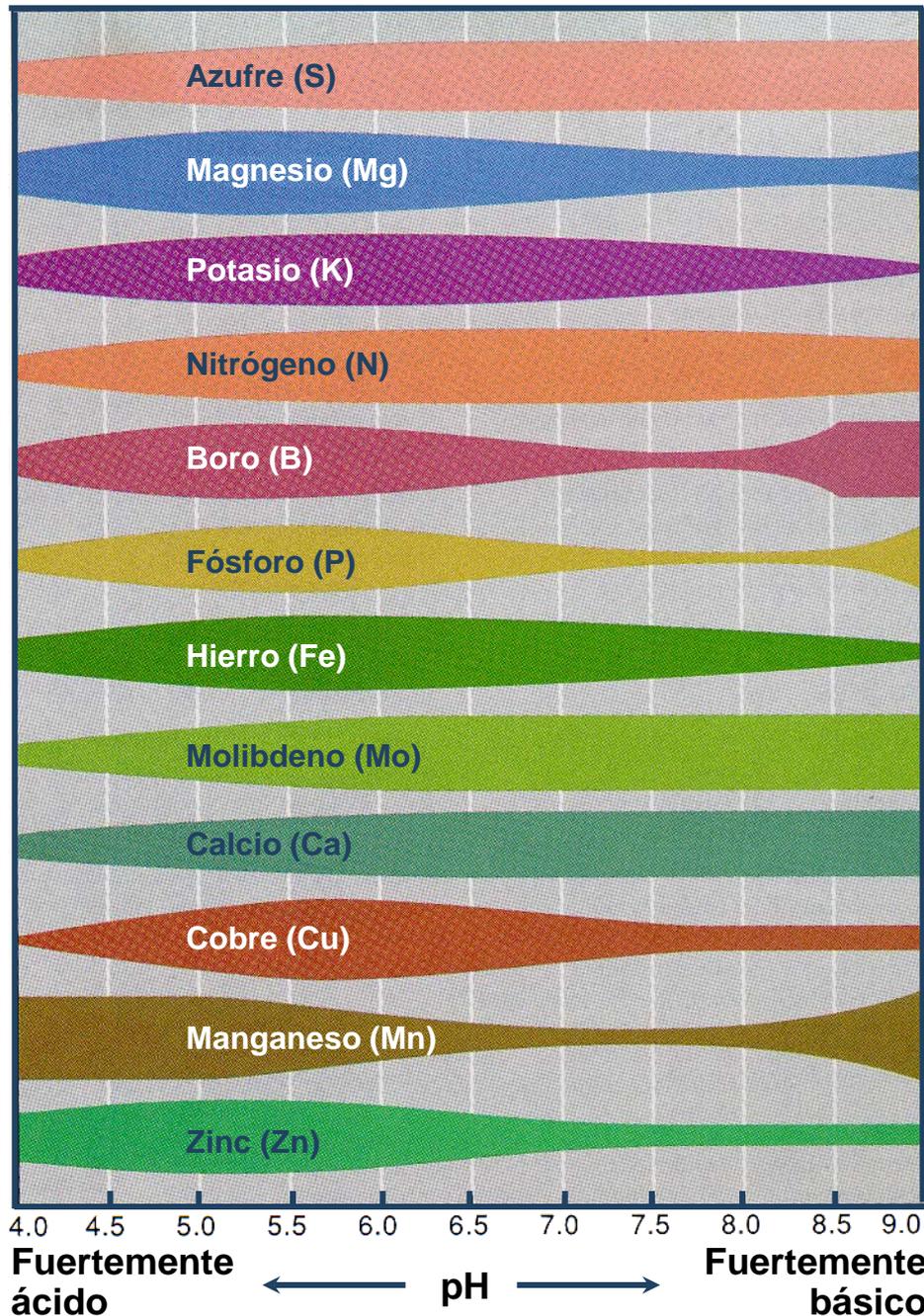
Tipos de suelos por su textura

Propiedades Físicas y Químicas del Suelo afectadas por su Textura

Textura del suelo	Diámetro de la partícula (μm)	Infiltración del agua	Capacidad de retención del agua	Intercambio iónico	Aireación	Laboreo	Penetración radical
Arena	20-2.000	Buena	Pobre	Pobre	Buena	Bueno	Buena
Limo	2-20	Media	Media	Medio	Media	Medio	Media
Arcilla	< 2	Pobre	Buena	Bueno	Pobre	Pobre	Pobre
Marga (*)	variable	Media	Media	Medio	Media	Medio	Media

(*) Los suelos margosos o francos contienen arena, limo y arcilla en unas proporciones ideales para la agricultura.

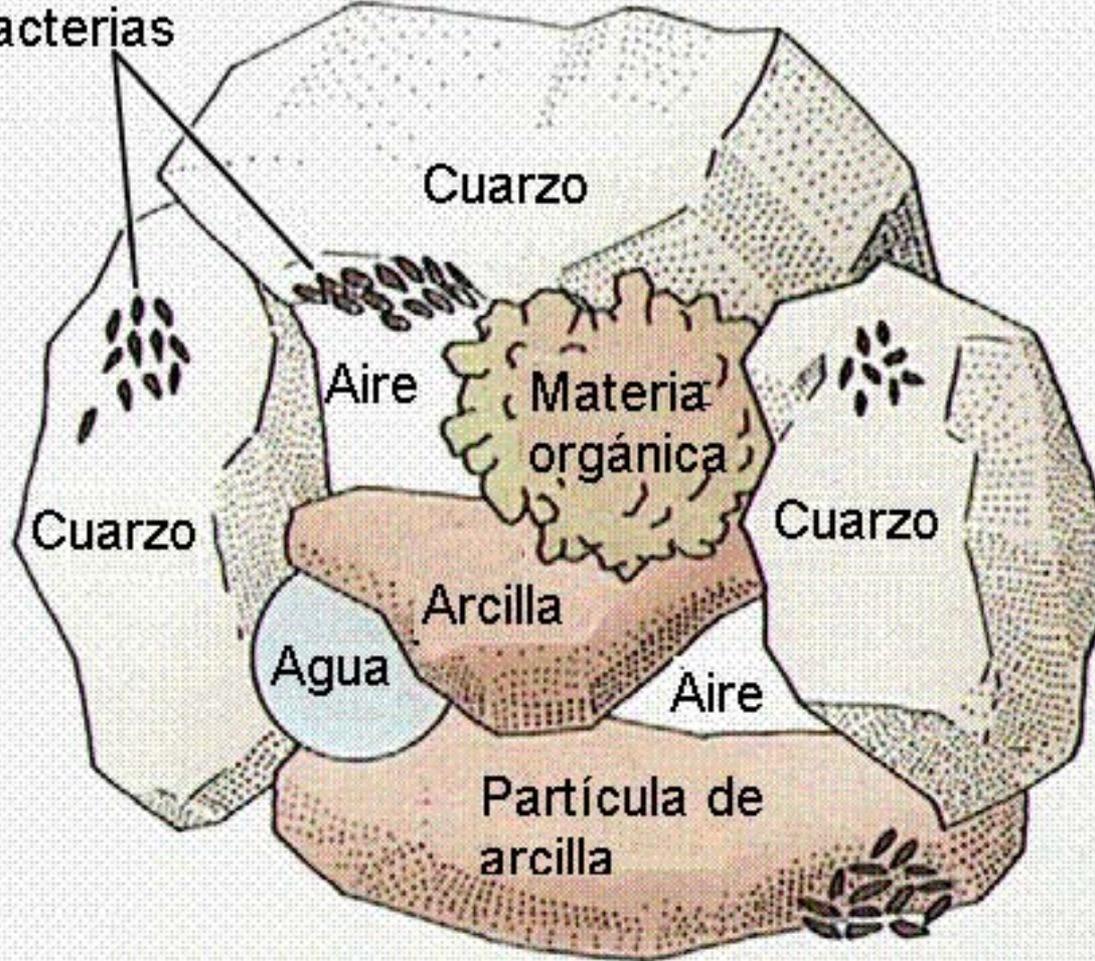




Forma en que el pH afecta a la disponibilidad de los nutrientes minerales. La anchura de cada banda nos indica la disponibilidad de dicho elemento por parte de las raíces.

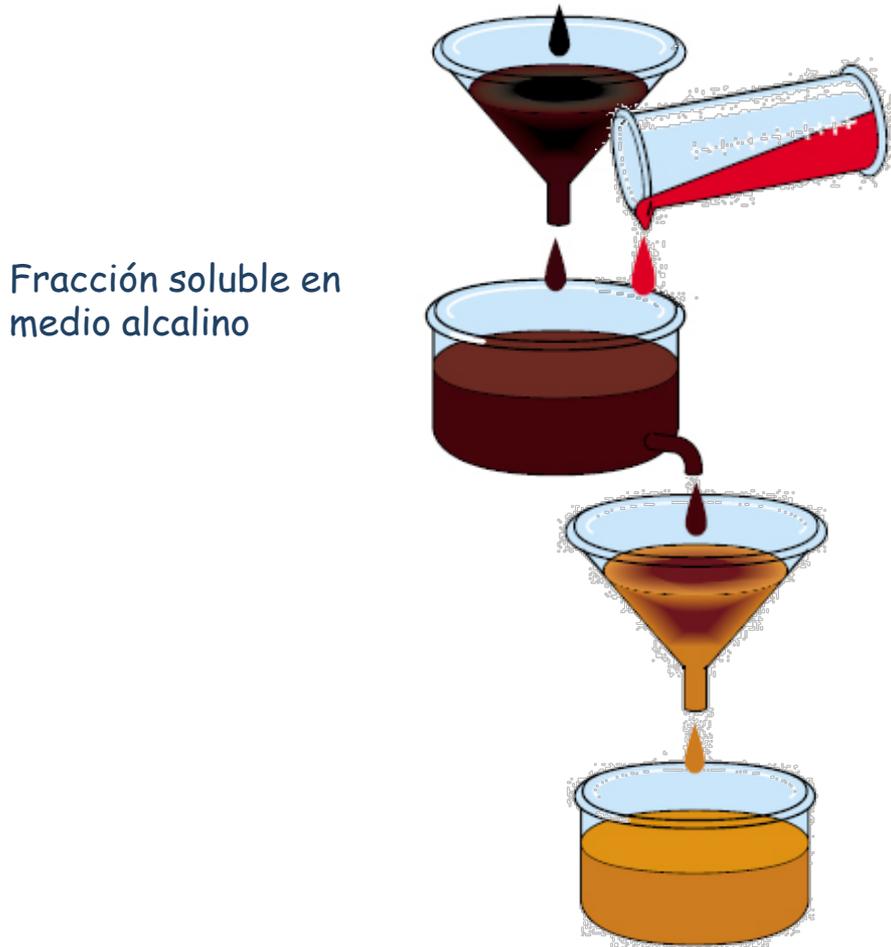
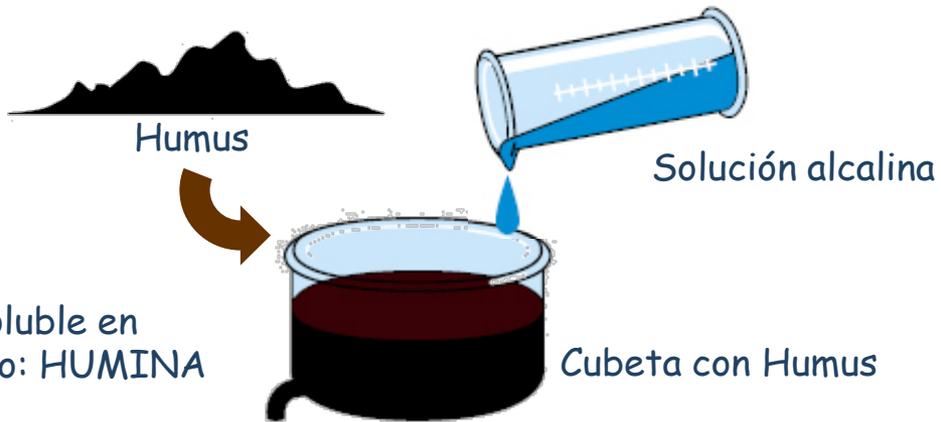


Microcolonias de bacterias



En la estructura del suelo aparecen, además de las partículas de materiales inorgánicos procedentes de la degradación de rocas y minerales, materiales de origen orgánico, agua y aire.

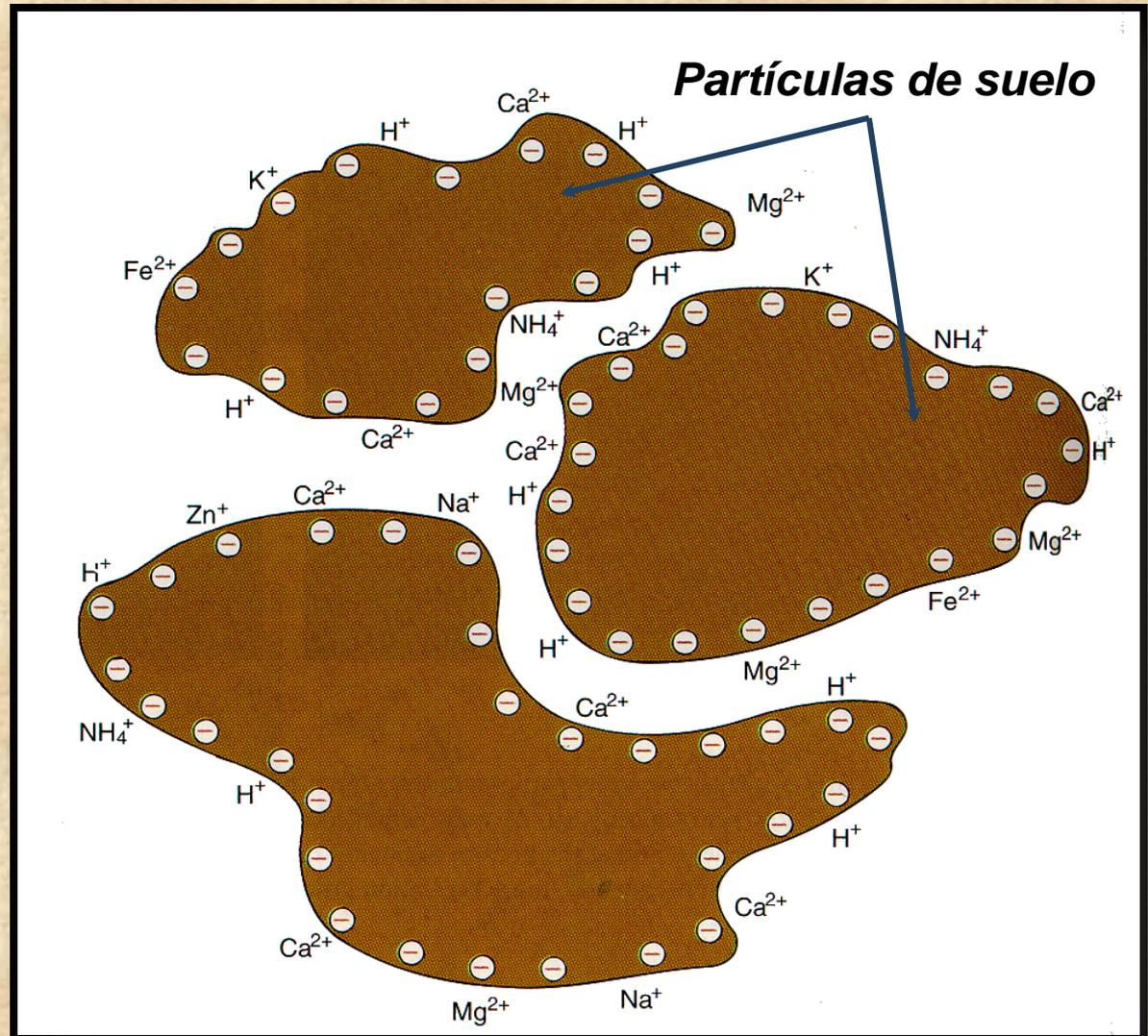




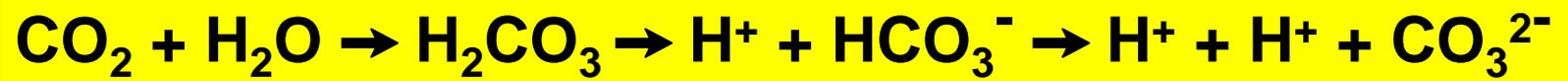
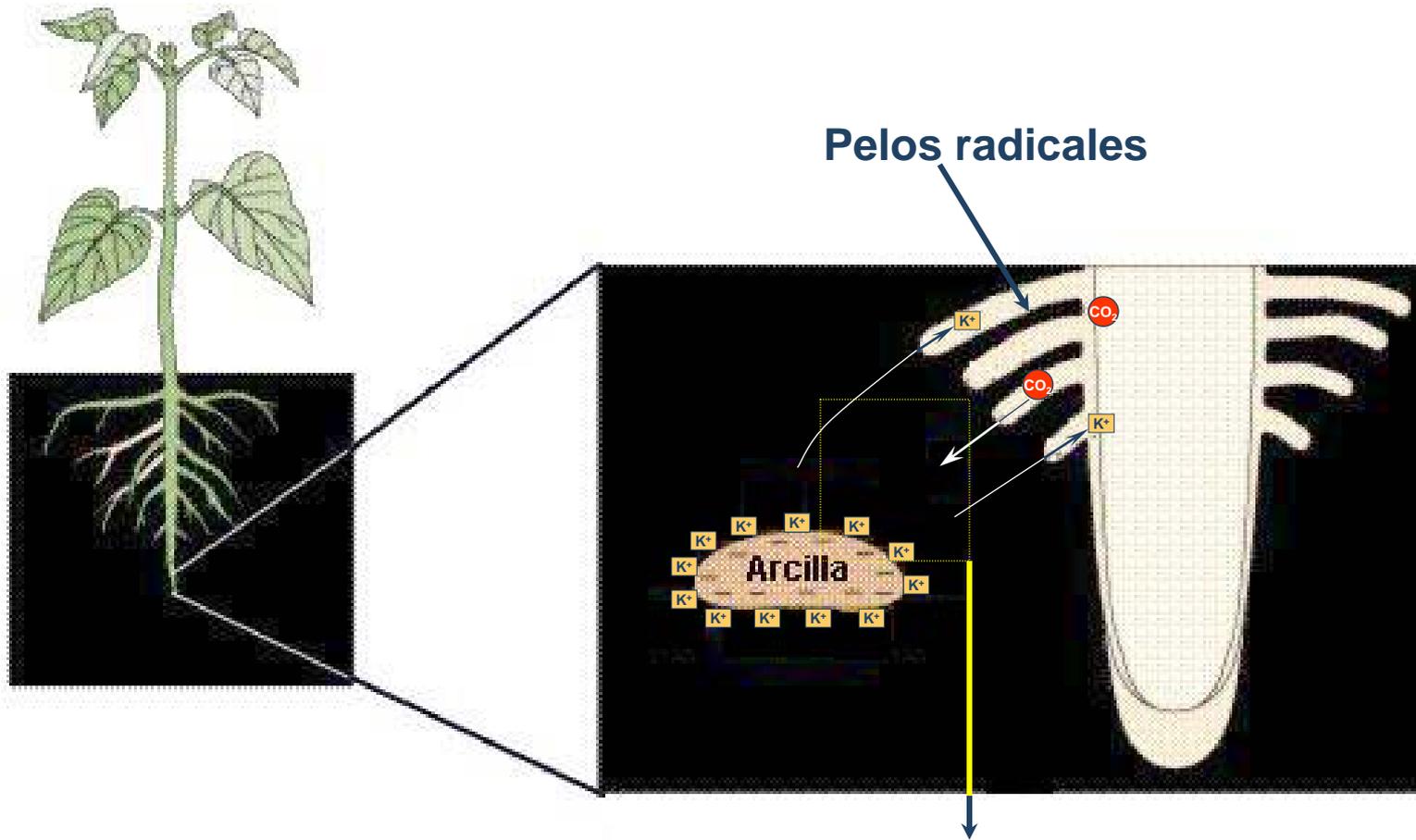
Las partículas del suelo

A medida que las rocas se deshacen, los componentes cargados negativamente son más resistentes, por lo que las rocas fragmentadas (micelas) tienen cargas negativas en su superficie.

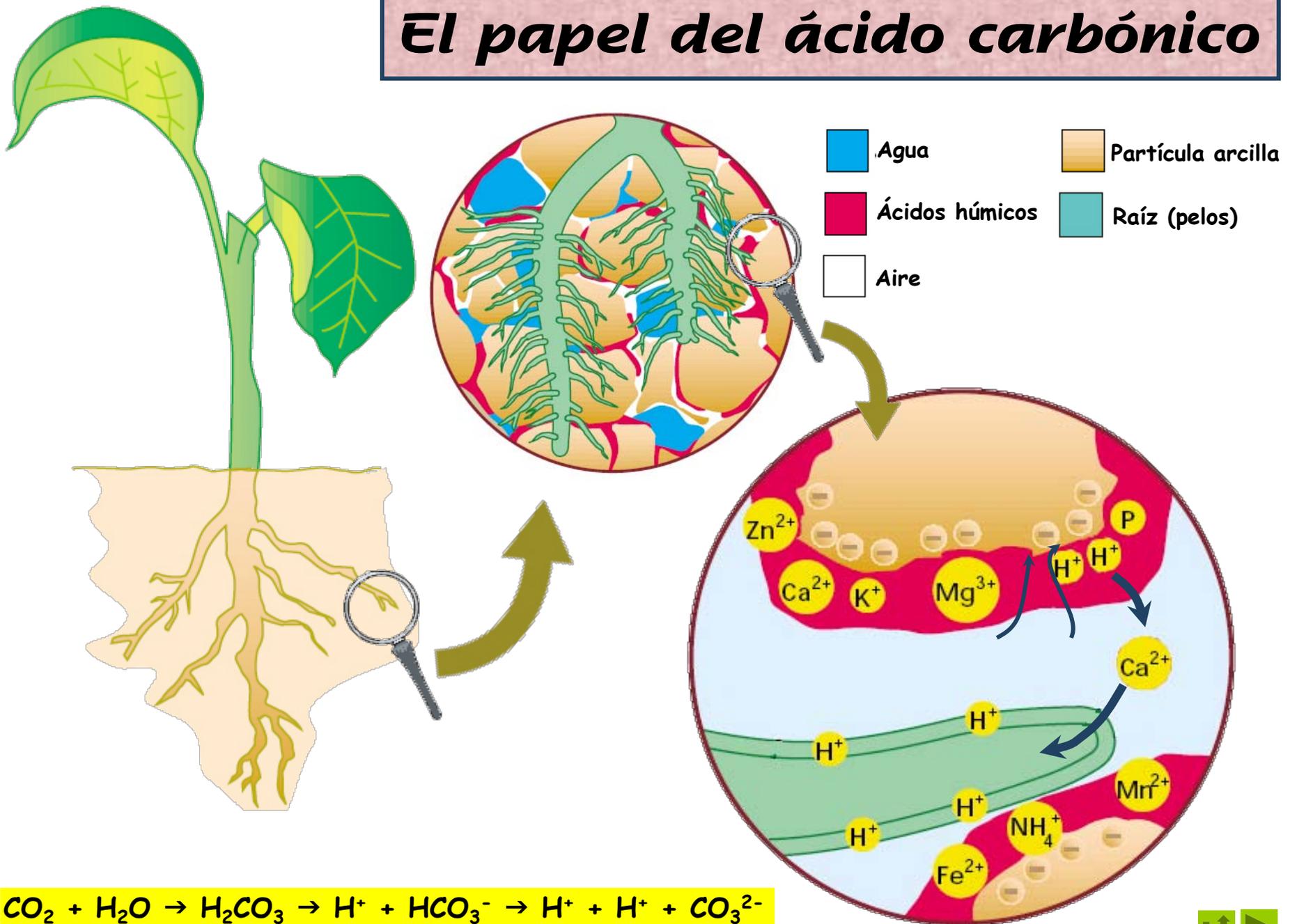
Debido a esto, los cationes que van siendo liberados no se pierden sino que se quedan cerca de las micelas atraídos por las débiles cargas eléctricas.



El papel del ácido carbónico



El papel del ácido carbónico

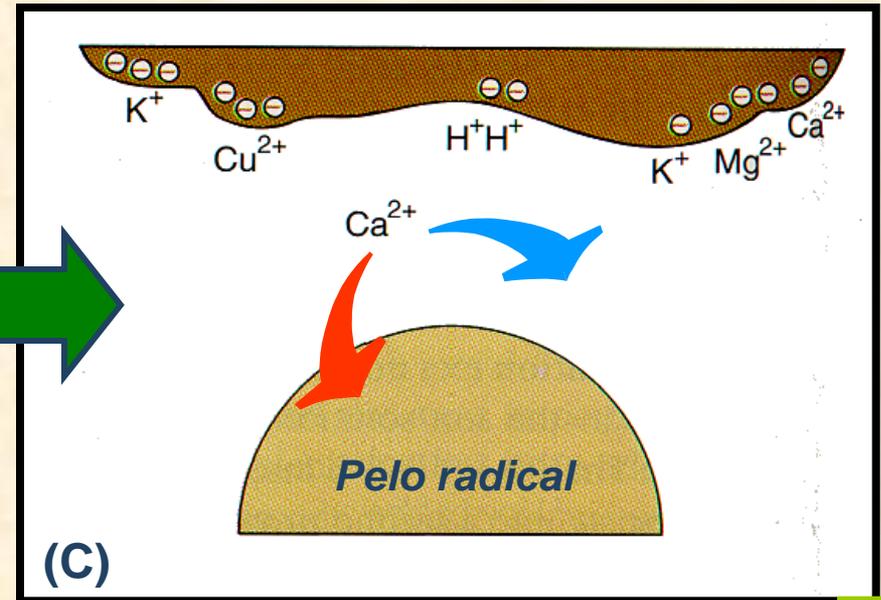
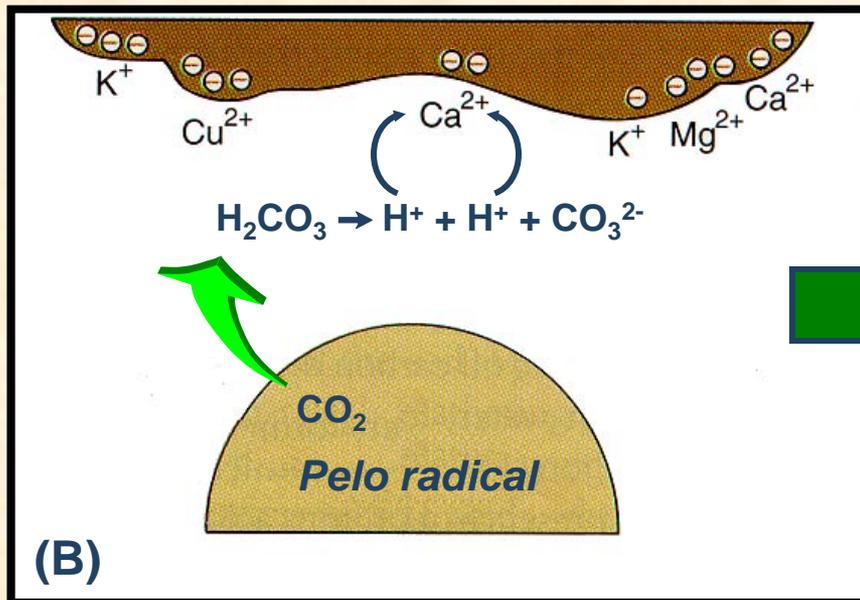


El papel del ácido carbónico

(A) La reacción del agua con el dióxido de carbono produce **ácido carbónico** (H_2CO_3), la mayor parte del cual se disocia en el *anión bicarbonato* y un protón. Alguno de estos aniones se disocia posteriormente liberando otro protón y el **anión carbonato**.

(B) Los **protones** liberados a partir del ácido carbónico pueden difundir cerca de los cationes atraídos por las micelas y desestabilizar esta atracción lo que produce la *liberación del catión*.

(C) A medida que los cationes quedan libres pueden ser absorbidos por la raíz (**flecha roja**) o pueden quedar libres en el medio (**flecha azul**)



Las micorrizas



En la maceta de la izquierda el suelo ha sido tratado adecuadamente para destruir los hongos presentes. La planta sufre la carencia de fósforo y eso repercute en su desarrollo. En las macetas centrales y de la derecha los hongos están presentes en forma de micorrizas asociados a las raíces de las mismas.

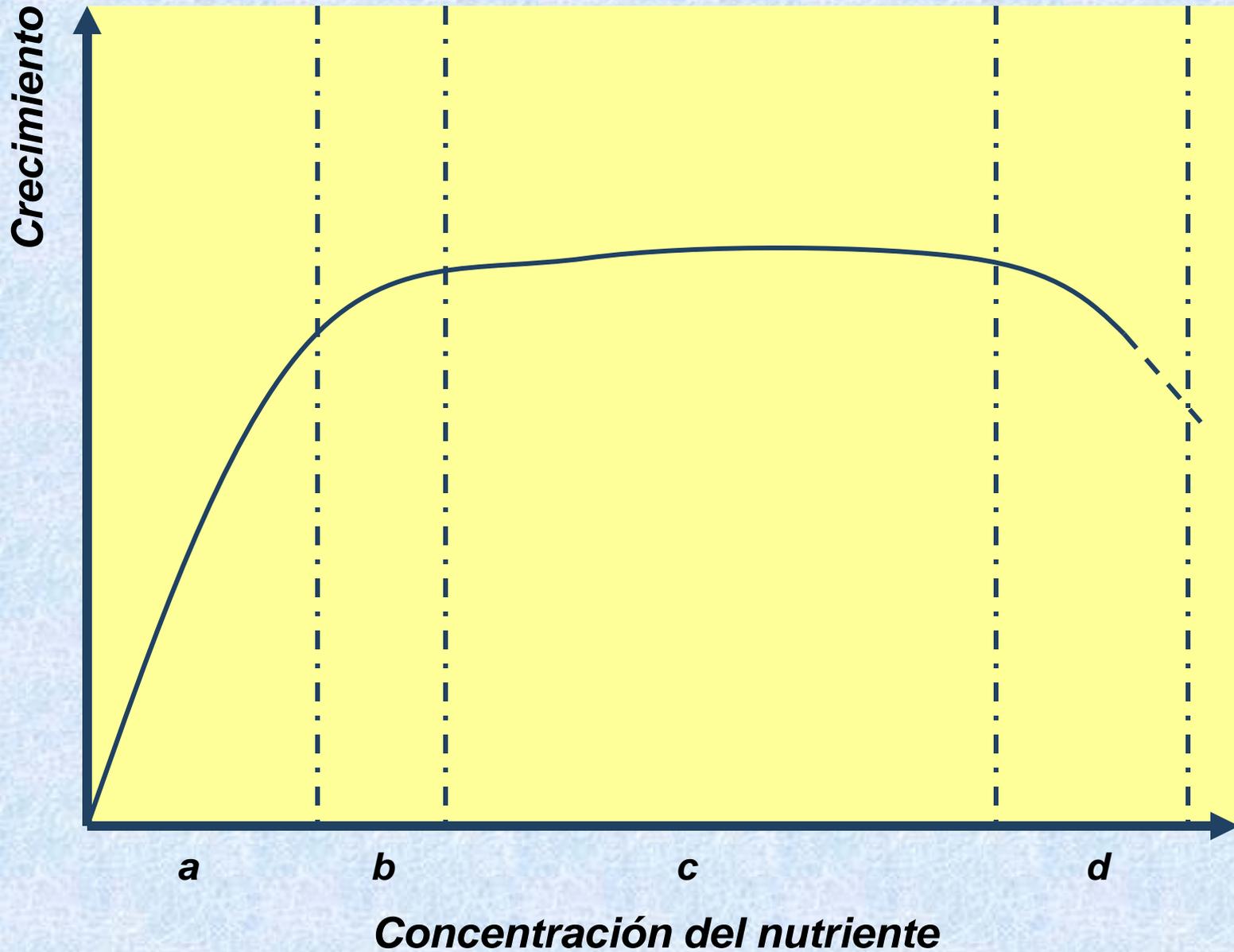


a: zona de deficiencia.

b: zona de concentración óptima.

c: zona de influencia de otros factores.

d: zona de toxicidad



Síntomas producidos por la carencia de algunos elementos esenciales (macroelementos)

Azufre (S)

Clorosis intervenal; sin necrosis; afecta a las hojas jóvenes. Raramente deficiente.

Fósforo (P)

Enanismo, pigmentación verde oscura; acumulación de pigmentos antociánicos; madurez retrasada; afecta a la planta completa. Después del N, es el elemento que más suele escasear.

Magnesio (Mg)

Clorosis y enrojecimiento de las hojas; los ápices de las hojas se retuercen; las hojas adultas son más afectadas.

Calcio (Ca)

Muerte de los ápices caulinares y radicales; las hojas jóvenes y los tallos son más afectados.

Potasio (K)

Clorosis y necrosis; debilitamiento de tallos y raíces; las raíces se hacen más susceptibles a coger enfermedades; las hojas adultas son más afectadas.

Nitrógeno (N)

Clorosis general; enanismo; coloración púrpura debido a la acumulación de antocianos. Es el elemento que más suele escasear.

Síntomas producidos por la carencia de algunos elementos esenciales (microelementos)

Molibdeno (Mo)

Clorosis o enrollamiento de hojas jóvenes.

Cobre (Cu)

Las hojas jóvenes se vuelven oscuras, enrolladas y marchitas; los ápices de los tallos y de las raíces permaneces vivos; raramente deficiente.

Zinc (Zn)

Clorosis, hojas pequeñas; entrenudos reducidos; márgenes de las hojas muy distorsionados; las hojas adultas son las más afectadas.

Manganeso (Mn)

Clorosis intervenal; aparece primero en las hojas más viejas; necrosis comunes; desorganización de las membranas tilacoidales.

Boro (B)

Muerte de los meristemas apicales; hojas enrolladas y pálidas en su base; ápices radicales decolorados e hinchados; las hojas jóvenes las más afectadas.

Hierro (Fe)

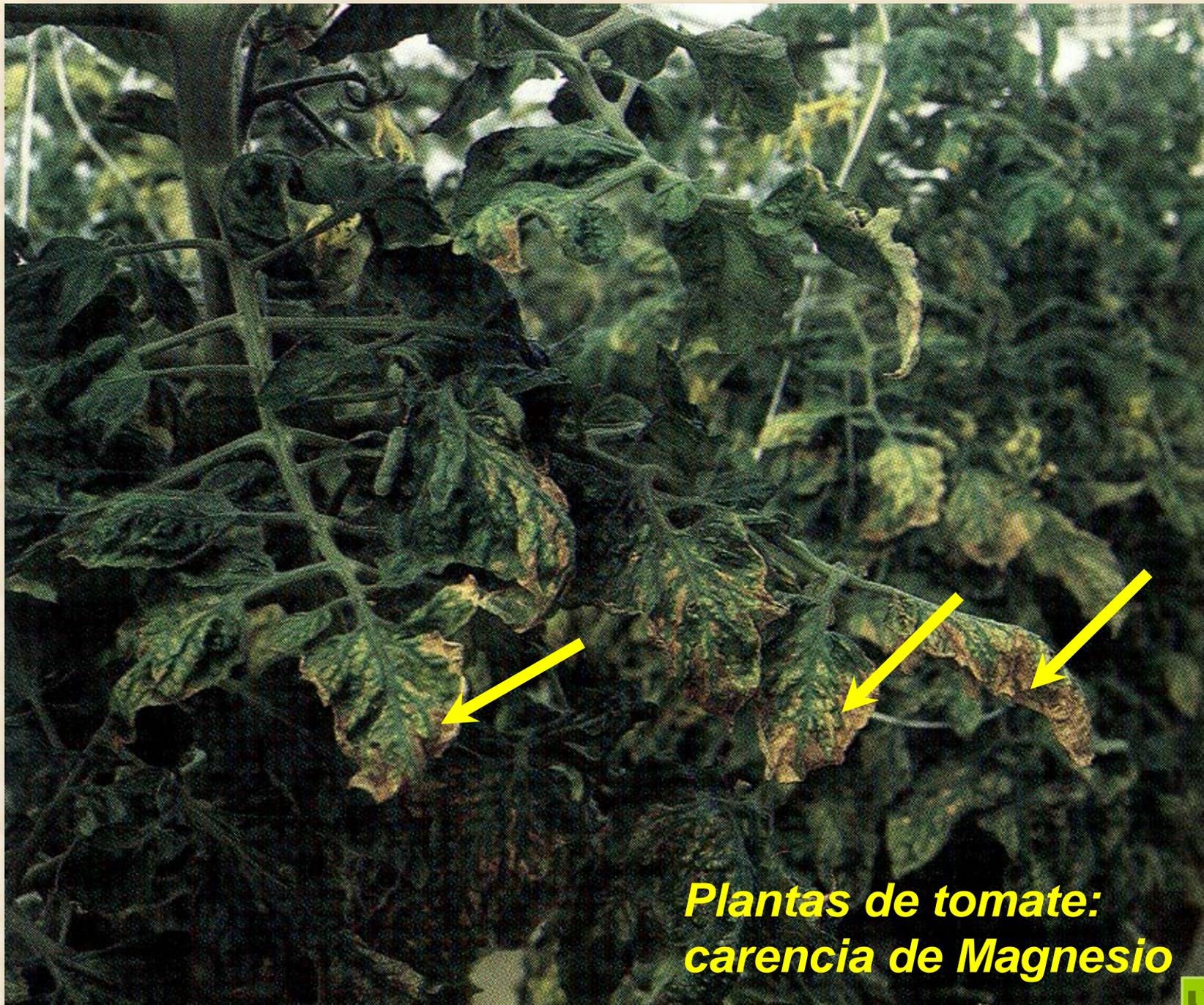
Clorosis intervenal; tallos cortos y delgados; las yemas permanecen vivas; afecta primero a las hojas jóvenes.

Cloro (Cl)

Hojas marchitadas; clorosis; necrosis; enanismo; raíces engrosadas.



Síntomas de carencias

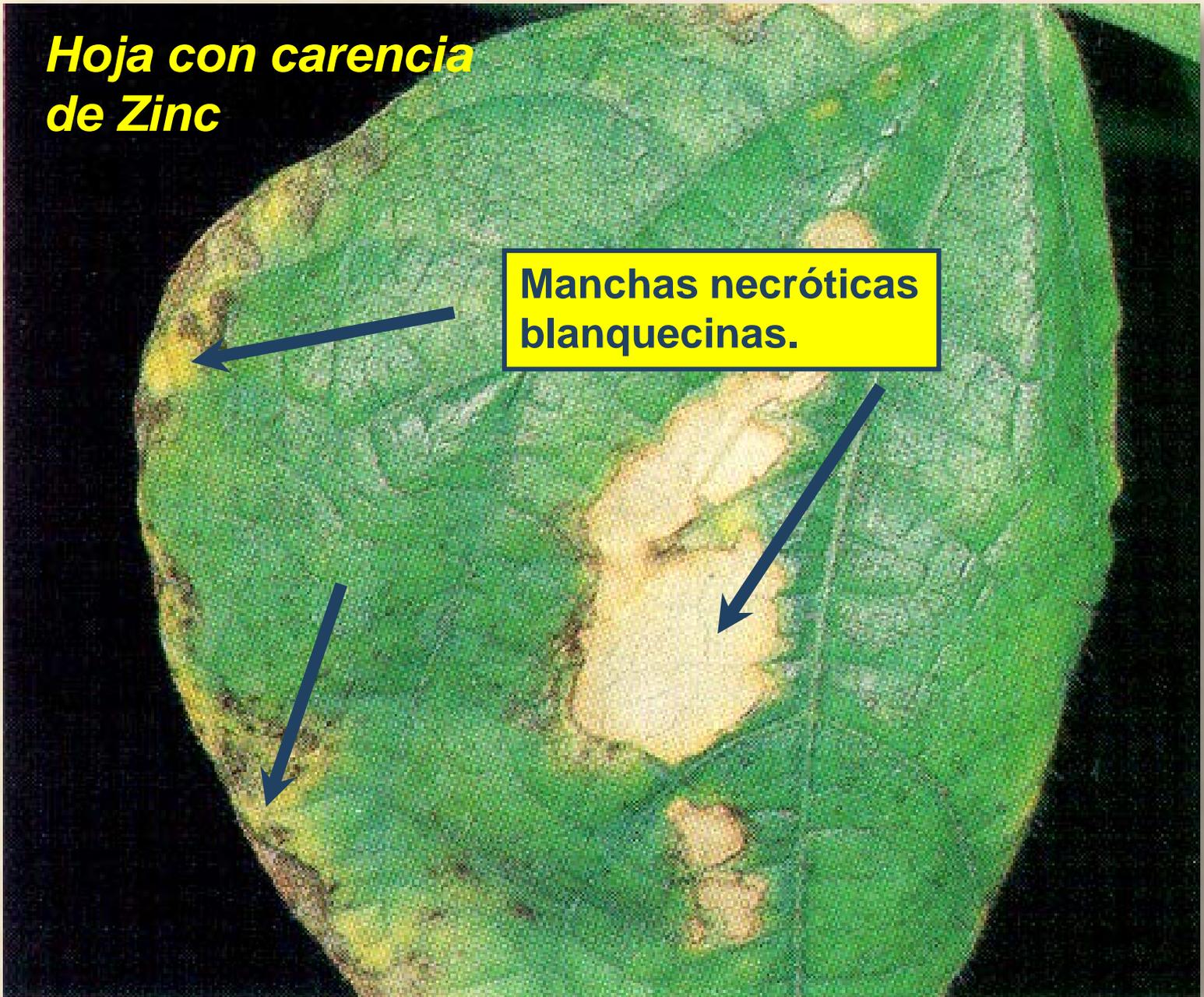


**Plantas de tomate:
carencia de Magnesio**

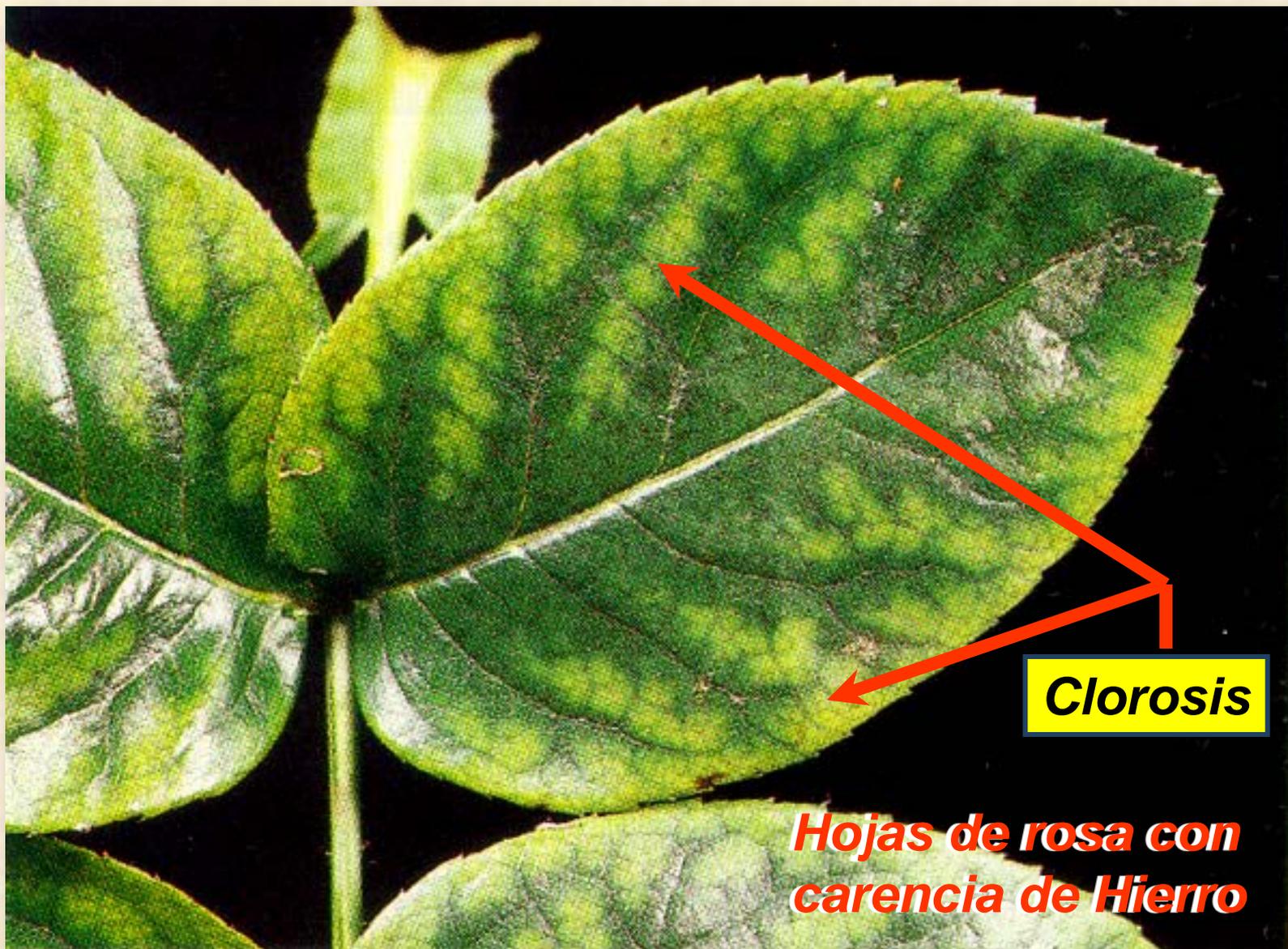
Síntomas de carencias

**Hoja con carencia
de Zinc**

**Manchas necróticas
blanquecinas.**



Síntomas de carencias



Síntomas de carencias

*Hojas de vid con
carencia de Fósforo*



Síntomas de carencias



**Hojas de patata con
carencia de Manganeso**



Iconos

-  Diapositiva siguiente.
-  Diapositiva anterior.
-  Volver a la última dispositiva mostrada.
-  Ir a la última dispositiva del tema actual.
-  Ir a la primera diapositiva del tema actual.
-  Ir al índice general de temas de la Parte I y II
-  Ir al índice general del tema actual.
-  Información.
-  Activar video.
-  Hacer click con el ratón para continuar.
-  Hacer click sobre el icono para ver aumentado.
-  Ver fotografía.

