

Tema 4

RELACIONES HÍDRICAS EN LAS PLANTAS

1. INTRODUCCIÓN

- La disponibilidad de agua es el factor que más limita la producción a escala global.
- La productividad de la mayoría de los ecosistemas naturales se ve limitada por la escasez de agua, especialmente en climas secos.

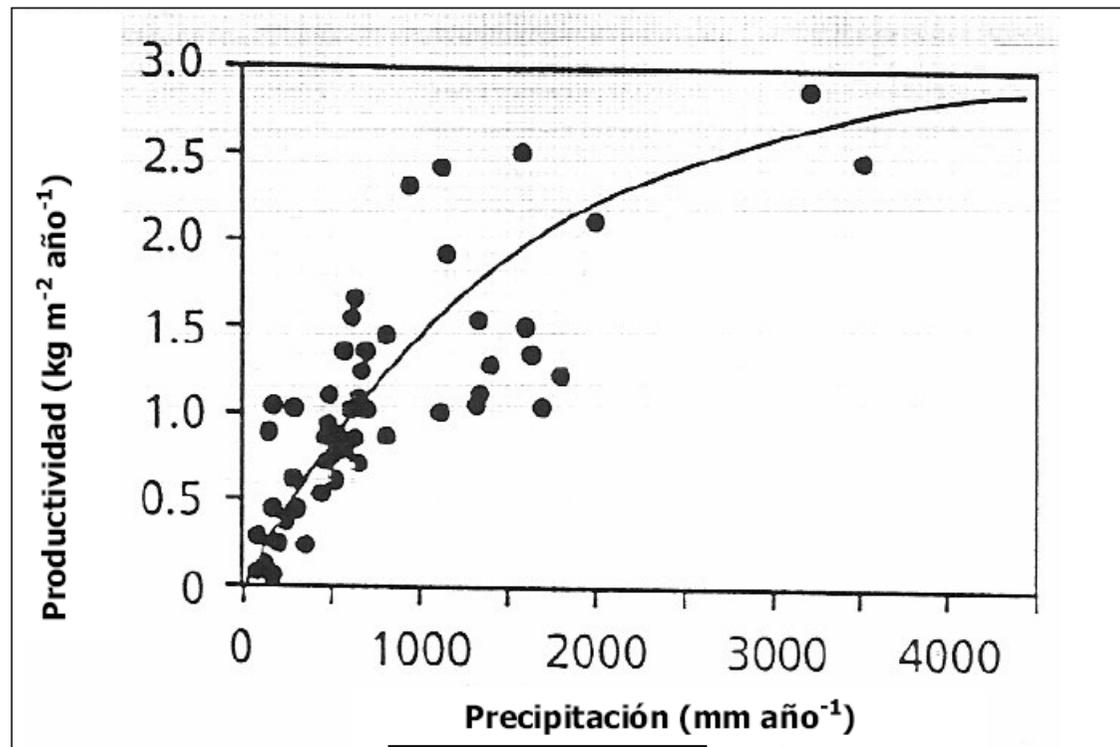


Figura 1. Correlación entre la producción primaria neta y la precipitación para la generalidad de los ecosistemas del mundo (Lieth 1975)

1. INTRODUCCIÓN

- **Las pérdidas de productividad debidas al estrés hídrico exceden a las originadas por la acción conjunta del resto de factores bióticos y ambientales.**
- **La optimización de la productividad agrícola requiere de un conocimiento profundo de los efectos que el régimen hídrico genera sobre las relaciones hídricas de las plantas y sus consecuencias para el crecimiento de las mismas.**
- **En el sistema hidrodinámico suelo-planta-atmósfera, la planta representa a su vez un sistema intermedio situado entre una diferencia de potencial hídrico entre el suelo y la atmósfera.**

1. INTRODUCCIÓN

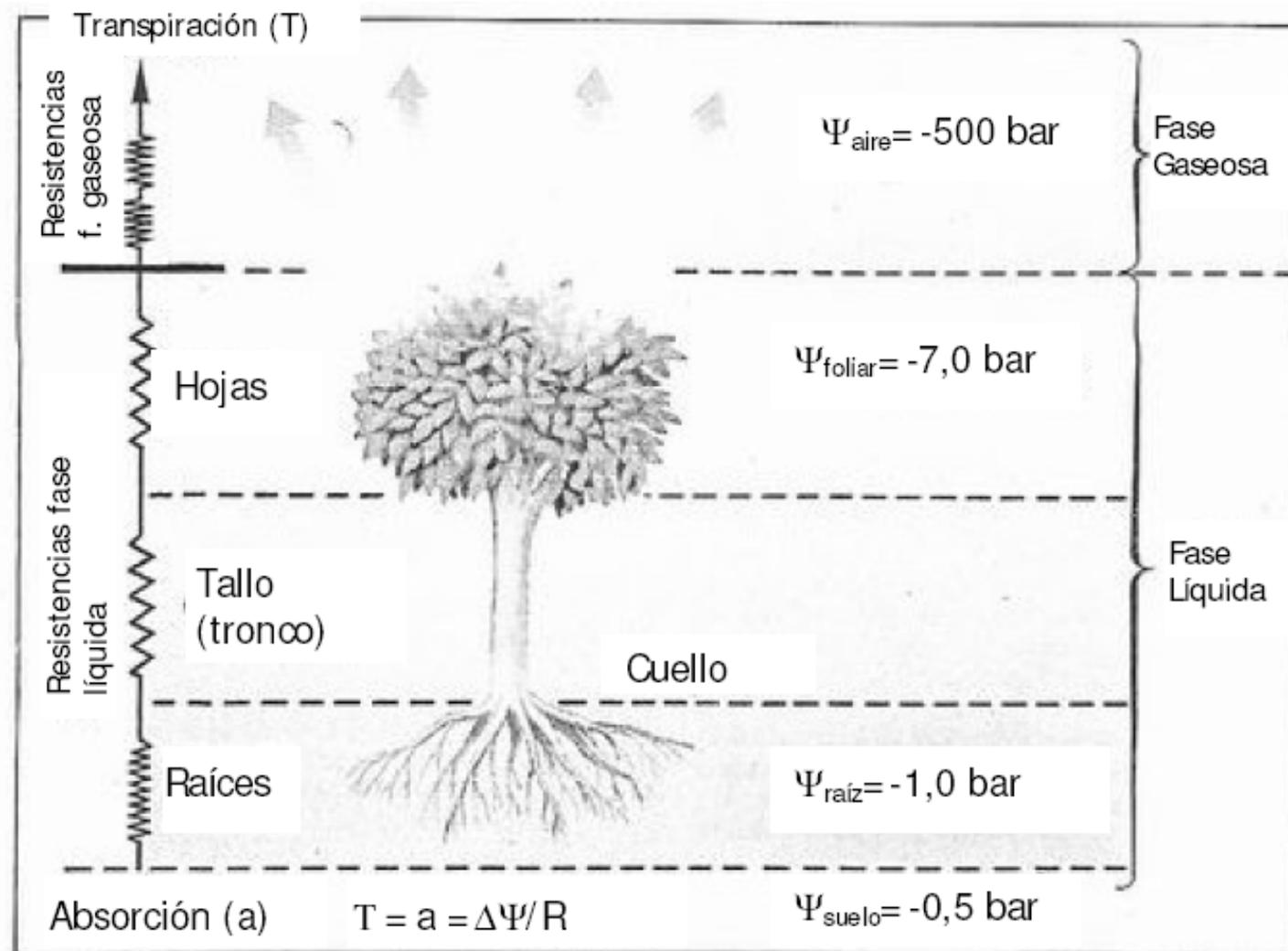
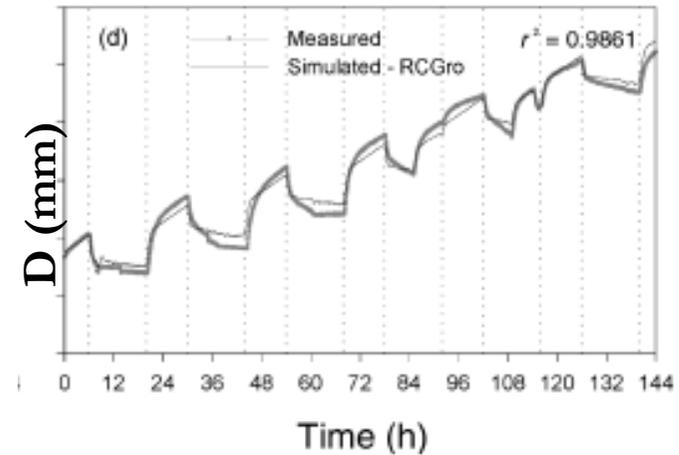
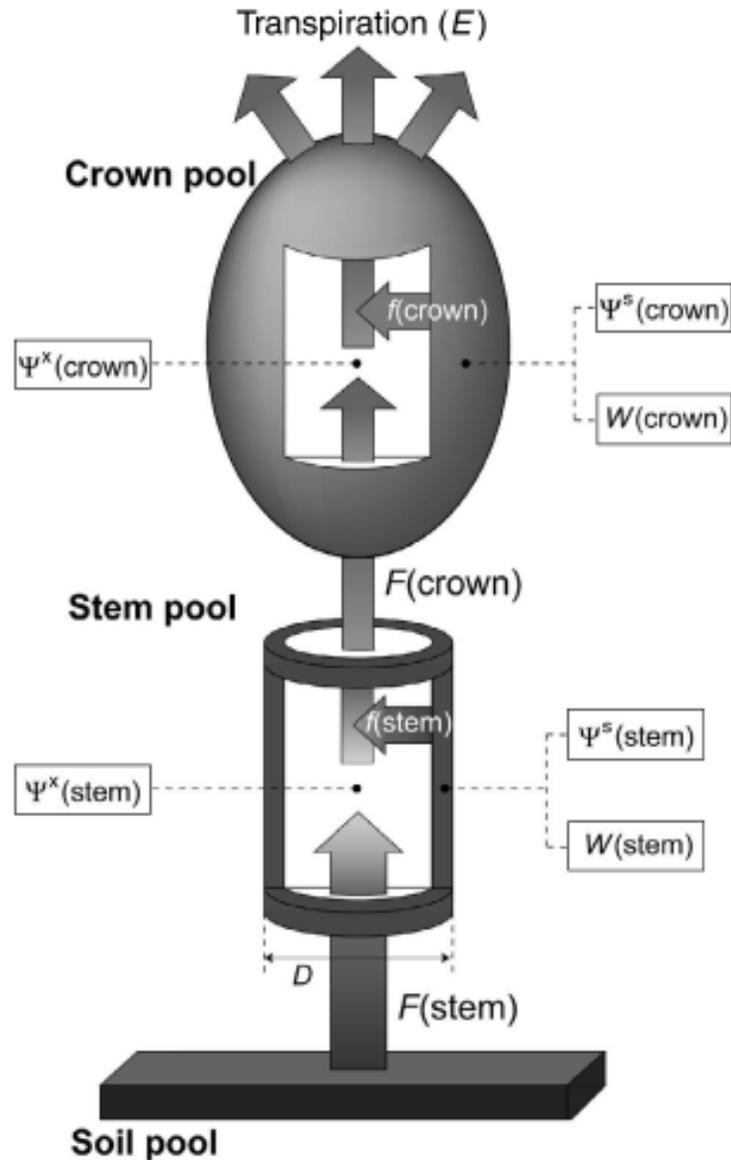


Figura 2. La transpiración es la fuerza que causa el ascenso de la savia desde las raíces hasta las hojas

1. INTRODUCCIÓN



W_{CROWN} } CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LA PLANTA EN SUS ÓRGANOS DE RESERVA (corteza, cambium vascular, floema)
 W_{STEM} }

Steppe et al. (2005)

2. FUNCIONES DEL AGUA EN LAS PLANTAS

- La importancia del agua para las plantas es vital si se tiene en cuenta su abundancia y las funciones fisiológicas que desempeña.

FUNCIONES

- Constituyente: El agua constituye 80-95% del peso fresco de la mayor parte de plantas herbáceas y más del 50% en las leñosas.

2. FUNCIONES DEL AGUA EN LAS PLANTAS

Tabla 1. Contenido de agua de varios tejidos (% sobre peso fresco)

Tejido	Planta	% Agua
Raíces	Zanahoria (parte comestible)	88
	Girasol	71
Tallos	Girasol (de 2 meses)	88
	Pino	50-60
Hojas	Lechuga	95
	Girasol (de 2 meses)	81
	Col	86
	Maíz	77
Frutos	Tomate	94
	Manzana	84
Semillas	Maíz (seco)	11
	Cacahuete	5

2. FUNCIONES DEL AGUA EN LAS PLANTAS

- La importancia del agua para las plantas es vital si se tiene en cuenta su abundancia y las funciones fisiológicas que desempeña.

FUNCIONES

- Constituyente: El agua constituye 80-95% del peso fresco de la mayor parte de plantas herbáceas y más del 50% en las leñosas.
- Disolvente: El agua actúa como disolvente para la mayor parte de los solutos almacenados en las células, de modo que éstos pueden moverse por difusión o flujo de masa de una parte a otra de la planta.

El agua es el principal medio para el transporte de metabolitos orgánicos a través de las células (azúcares, Aa, proteínas), que son críticos para el metabolismo y la vida de las plantas.

2. FUNCIONES DEL AGUA EN LAS PLANTAS

FUNCIONES

- **Mantenimiento de la turgencia celular:** A diferencia de los animales vertebrados, las plantas carecen de un esqueleto bien desarrollado, lo que las hace dependientes del agua.

El agua les permite mantener la turgencia celular y la expansión celular, procesos necesarios para el erguimiento de las plantas herbáceas.

Cuando la planta pierde la turgencia celular, pierde la capacidad para realizar funciones fisiológicas tales como la expansión celular y la fotosíntesis.

2. FUNCIONES DEL AGUA EN LAS PLANTAS

FUNCIONES

- **Refrigeración:** En el proceso de transpiración, la planta disipa una gran parte de la radiación absorbida en forma de calor latente de vaporización, evitando que se calienten excesivamente.

- **Reactivo:** Interviene en las reacciones químicas de la fotosíntesis y otros procesos metabólicos, tales como la hidrólisis del almidón en azúcares sencillos.

2. FUNCIONES DEL AGUA EN LAS PLANTAS

PROPIEDADES DEL AGUA (relacionadas con su carácter polar)

- **Fuerzas de cohesión y adhesión que están estrechamente relacionadas con los procesos de ascenso en la planta por el xylema (transporte del agua).**
- **Su incompresibilidad también facilita el ascenso capilar.**
- **Alto calor específico, superior a cualquier otro sólido o líquido, cuyo valor a penas varía con la temperatura.**
- **Alto calor latente de vaporización (~ 540 cal/g a 100 °C)**
- **Alto calor latente de fusión (~ 80 cal/g)**
- **Alta constante dieléctrica → buen disolvente para las sales.**

3. ESTADO HÍDRICO DE LA PLANTA

- El estado hídrico de la planta viene determinado por una serie de factores ambientales y fisiológicos.

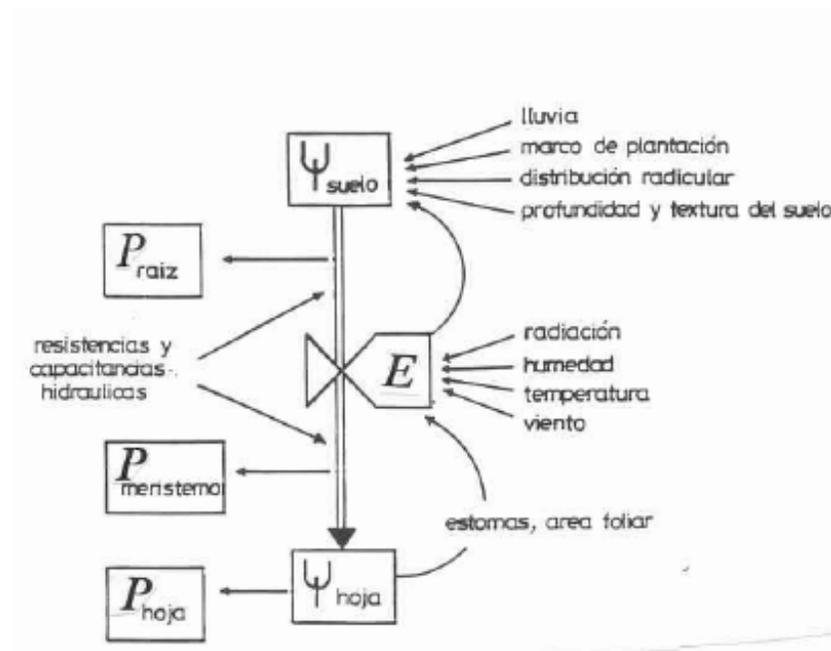


Figura 3. Diagrama de los factores que controlan el estado hídrico de la planta (Ψ = potencial hídrico, P = turgencia y E = evaporación). Adaptado de Jones (1990).

3. ESTADO HÍDRICO DE LA PLANTA

- El estado hídrico de la planta viene determinado por una serie de factores ambientales y fisiológicos.

1. Potencial del agua en el suelo (Ψ_t)

Su valor depende de factores como: lluvia, riego, extracción de agua por el cultivo, propiedades hidrofísicas del suelo, etc.

2. Tasa de evapotranspiración

Muchos factores ambientales y fisiológicos implicados (área foliar, exposición a la luz, arquitectura de la planta, conductancia estomática, etc.)

3. Conductancias hidráulicas en raíz, tallo y hojas

Depende de las características físico-químicas de los tejidos vegetales e influye en la velocidad de transporte.

3. ESTADO HÍDRICO DE LA PLANTA

- El estado hídrico de la planta viene determinado por una serie de factores ambientales y fisiológicos.

4. Estado de turgencia

Todos estos factores actúan sobre el estado de turgencia de la planta.

A su vez puede ser modificado por el ajuste osmótico o elástico.

3. ESTADO HÍDRICO DE LA PLANTA

- El concepto de estado hídrico es ambiguo pero útil, y se emplea de manera relativa.
- Permite describir el grado de turgencia o marchitamiento de la planta.
- Uno de los primeros conceptos cuantitativos que se empleó (aún se utiliza) para describir el estado hídrico de la planta es el *Contenido Relativo en Agua*:

$$\text{CRA} = \frac{\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}}{\text{Peso máx turgencia} - \text{Peso seco}} \times 100$$

4. POTENCIAL DEL AGUA Y SUS COMPONENTES

- ~ 1960: Introducción del concepto de potencial de agua para dar una base más física al estudio del agua en el suelo y en la planta.
- El término de potencial hídrico, como medida termodinámica de la energía del agua en la planta, es similar al empleado para el suelo.
- Su uso para la determinación del momento de riego parece, a priori, más ventajoso → es la propia planta la que dicta sus necesidades hídricas.
- Algunas especies pueden mantener un contenido hídrico de sus hojas y ramas relativamente estable en condiciones climáticas y de agua en el suelo variables (*especies isohídricas vs anisohídricas*)

4. POTENCIAL DEL AGUA Y SUS COMPONENTES

COMPONENTES DEL POTENCIAL HÍDRICO EN LA PLANTA

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

Ψ_o : potencial osmótico

Negativo, es debido a los solutos disueltos en el jugo celular, principalmente en las vacuolas.

Ψ_p : potencial de presión

Positivo, es debido a la presión producida como consecuencia de la difusión del agua al protoplasto encerrado en paredes celulares resistentes a la expansión.

4. POTENCIAL DEL AGUA Y SUS COMPONENTES

COMPONENTES DEL POTENCIAL HÍDRICO EN LA PLANTA

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

Ψ_m : potencial matricial

Se refiere al agua retenida en las microcapilaridades o enlazada a las superficies de las paredes celulares u otros componentes celulares.

Es poco importante, y su estudio se suele omitir en estudios de relaciones hídricas.

Ψ_g : potencial gravitatorio

Debido a la altura del agua en la planta (sólo relevante en árboles de gran altura).

4. POTENCIAL DEL AGUA Y SUS COMPONENTES

COMPONENTES DEL POTENCIAL HÍDRICO EN LA PLANTA

En el interior de la planta, el movimiento del agua y el balance hídrico vienen determinados por las relaciones hídricas a nivel celular.

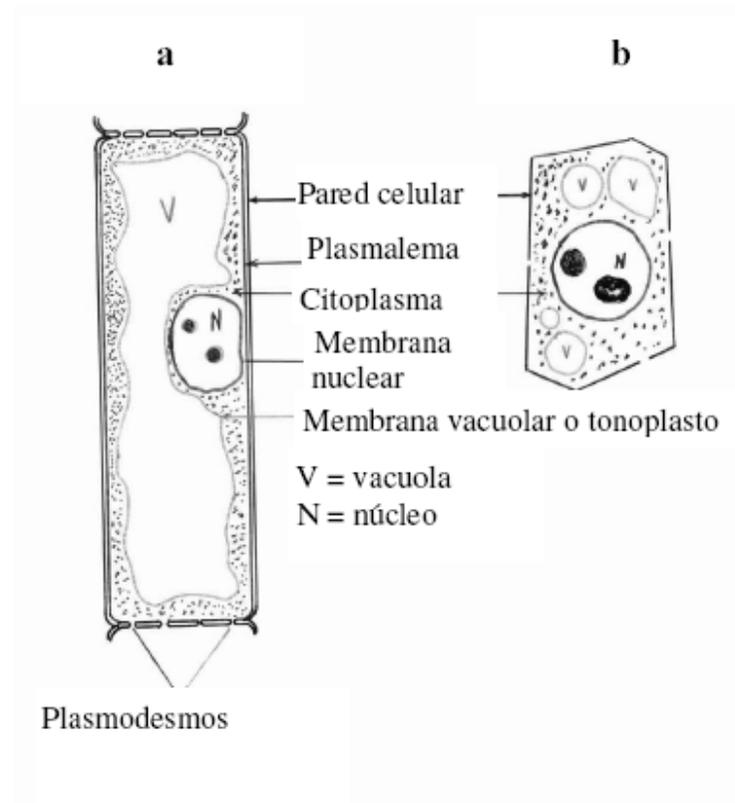


Figura 4. Estructura celular: a) célula vegetal adulta (parenquimática) y b) célula vegetal joven (meristemática).

4. POTENCIAL DEL AGUA Y SUS COMPONENTES

- Células vegetales constan de un protoplasto rodeado de una *pared celular*
- Ésta limita los cambios de volumen → permite que se genere una *presión de turgencia* en su interior, necesaria para mantener la estructura de la planta.

Células adultas:

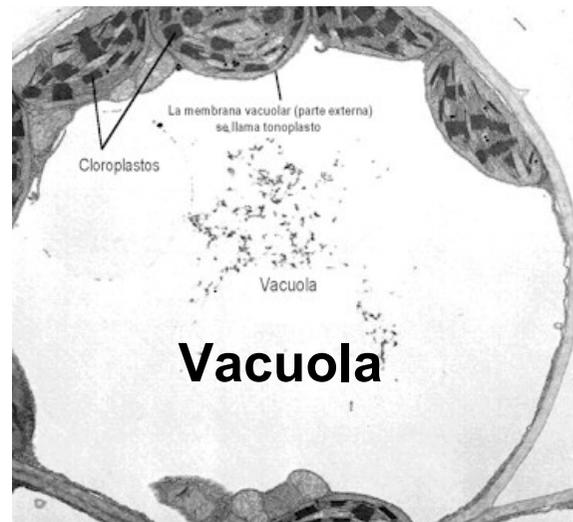
El protoplasto está formado por grandes vacuolas centrales, llenas de agua y donde se disuelven moléculas orgánicas e inorgánicas.

La acumulación de solutos es variable (f = especie, condiciones ambientales, etc.) → $\Psi_o \approx -1$ a -3 MPa (a veces, inferior).

→ El agua en las vacuolas está retenida principalmente por fuerzas osmóticas, que contribuyen a la existencia de una presión de turgencia → Alargamiento celular.

4. POTENCIAL DEL AGUA Y SUS COMPONENTES

- En las células parenquimáticas adultas (hojas, tallos o raíces), 50 – 80 % del agua celular está en las vacuolas.



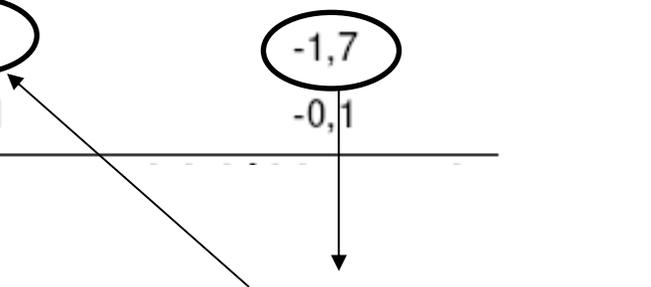
- Célula en equilibrio hídrico: el potencial de agua en todas sus partes es el mismo, si bien los componentes del potencial pueden variar.

4. POTENCIAL DEL AGUA Y SUS COMPONENTES

Tabla 2. Posibles valores de los componentes del potencial del agua en 2 partes diferentes de una célula en equilibrio hídrico

Parte	Potencial (MPa)		
	Total	de Presión	Osmótico
Vacuola	-1,2	0,5	-1,7
Pared Celular	-1,2	-1,1	-0,1

Concentración elevada de solutos



4. POTENCIAL DEL AGUA Y SUS COMPONENTES

Tabla 2. Posibles valores de los componentes del potencial del agua en 2 partes diferentes de una célula en equilibrio hídrico

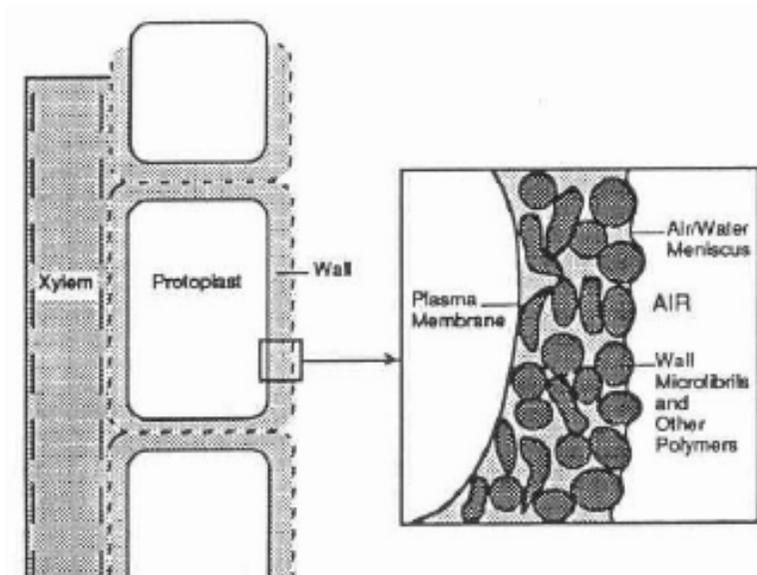
Parte	Potencial (MPa)		
	Total	de Presión	Osmótico
Vacuola	-1,2	0,5	-1,7
Pared Celular	-1,2	-1,1	-0,1

Fuerzas de capilaridad (microfibrillas) ~ retención similar a suelo no saturado

4. POTENCIAL DEL AGUA Y SUS COMPONENTES

Tabla 2. Posibles valores de los componentes del potencial del agua en 2 partes diferentes de una célula en equilibrio hídrico

Parte	Potencial (MPa)		
	Total	de Presión	Osmótico
Vacuola	-1,2	0,5	-1,7
Pared Celular	-1,2	-1,1	-0,1



4. POTENCIAL DEL AGUA Y SUS COMPONENTES

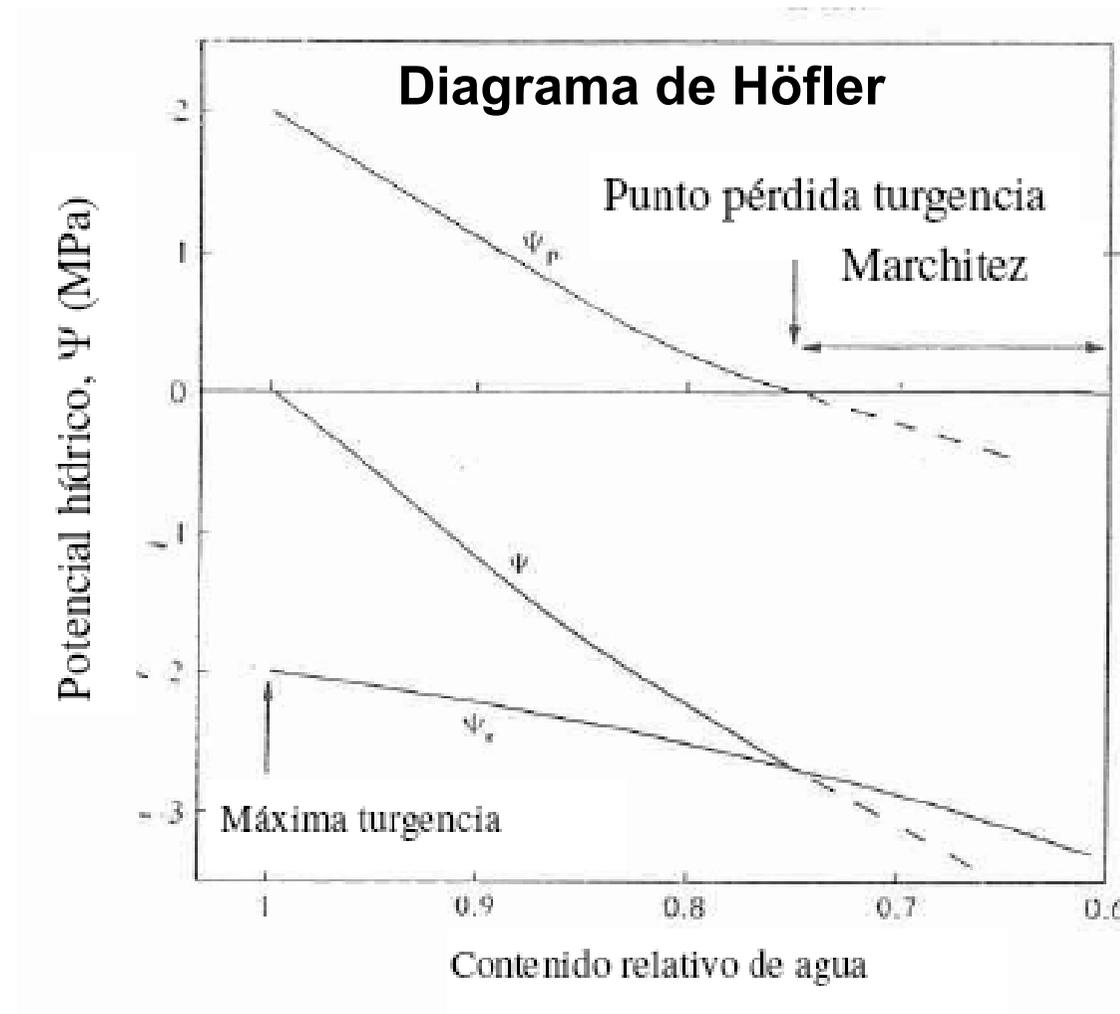
CAMBIOS DE POTENCIAL HÍDRICO EN LA CÉLULA

- ✓ Dan lugar a entradas o salidas de agua → afectan a su turgencia, volumen y concentración de solutos.**

- ✓ Los cambios de potencial hídrico y de sus componentes con la variación de CRA se representan con el diagrama de Höfler.**

4. POTENCIAL DEL AGUA Y SUS COMPONENTES

CAMBIOS DE POTENCIAL HÍDRICO EN LA CÉLULA

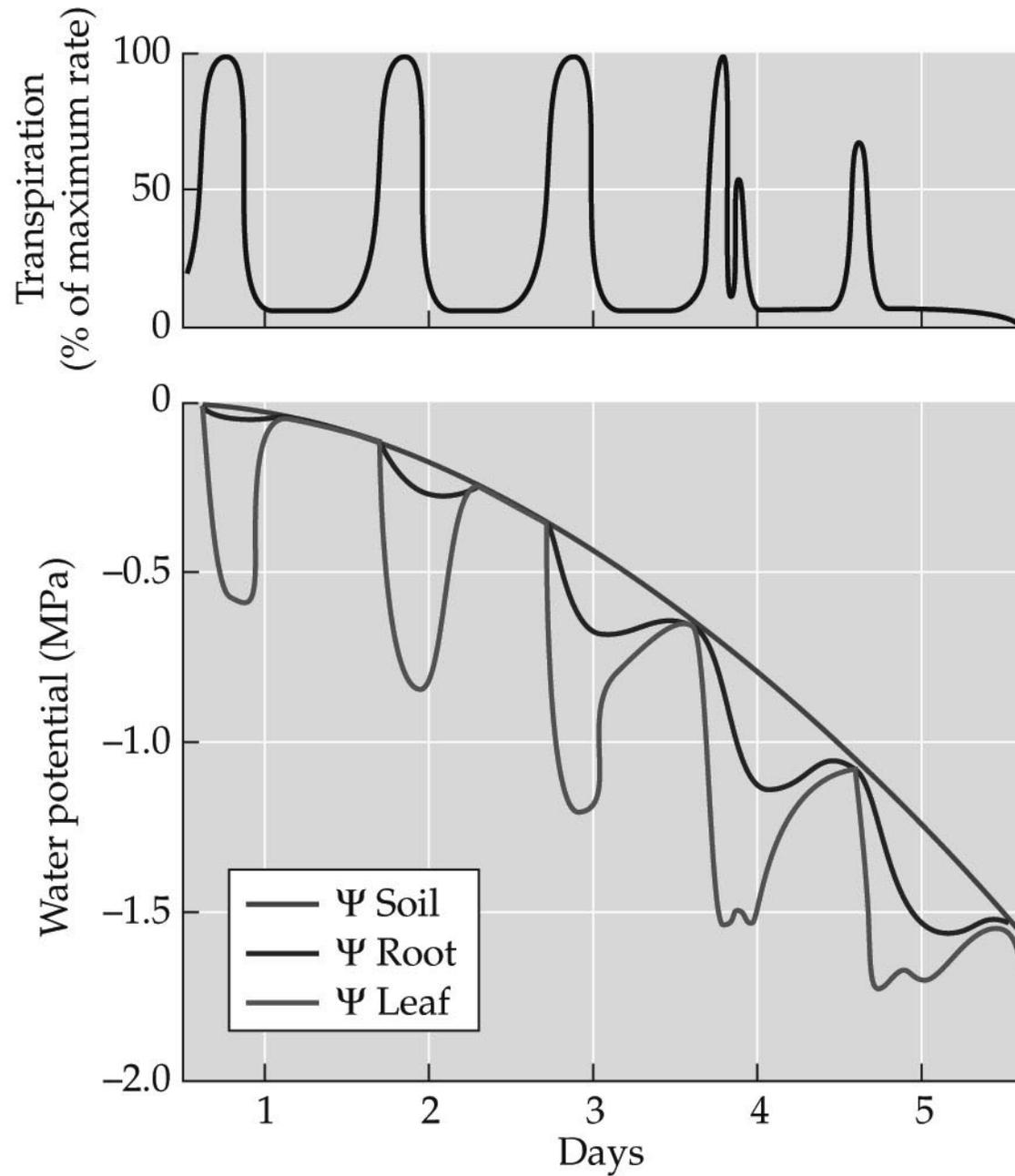


4. POTENCIAL DEL AGUA Y SUS COMPONENTES

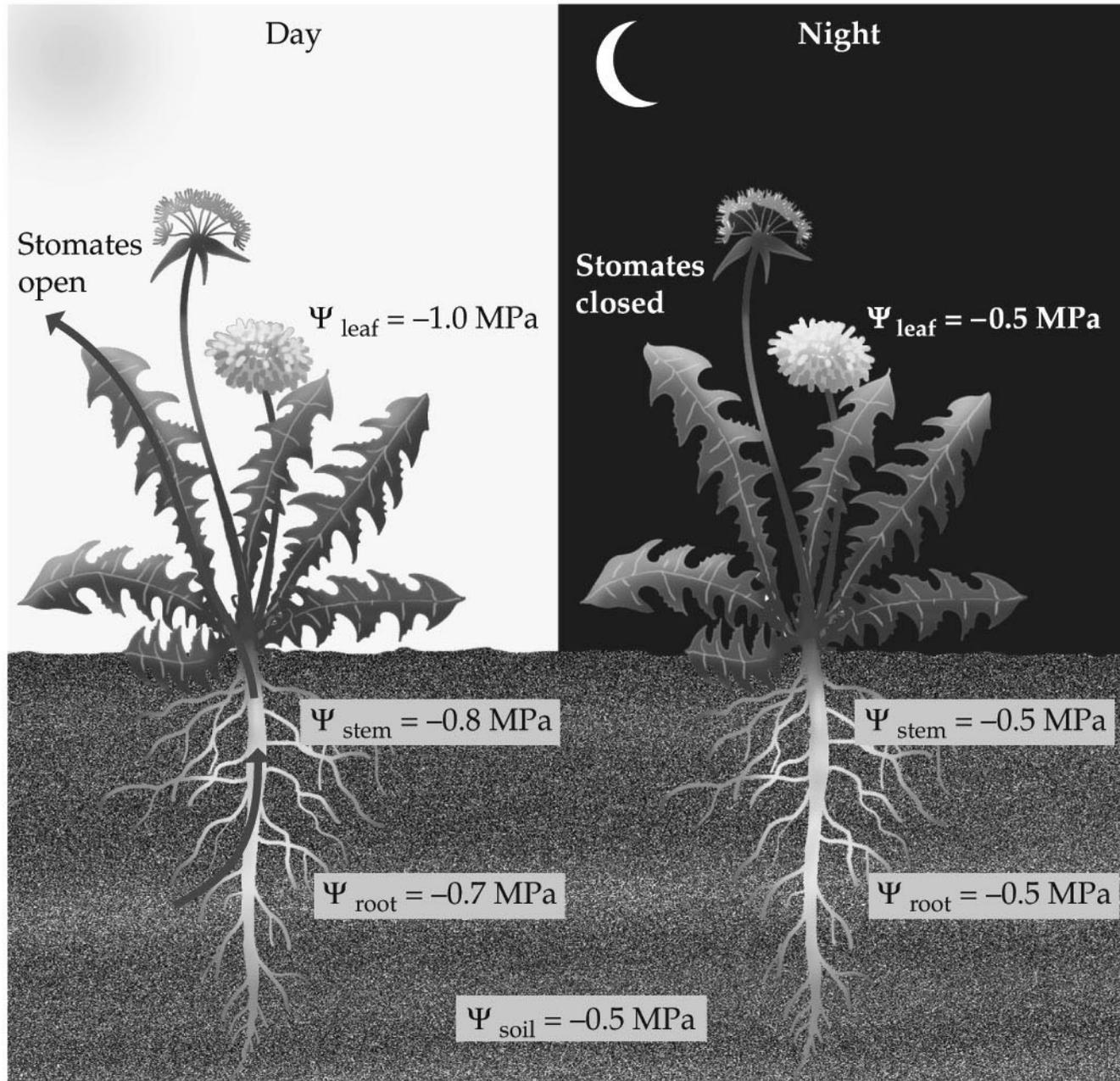
CAMBIOS DE POTENCIAL HÍDRICO EN LA CÉLULA

Tabla 3. Valores hipotéticos del potencial de agua y sus componentes en las vacuolas de las células de una hoja antes y después de ser arrancada y expuesta al sol durante unos minutos.

	Potencial de agua (MPa)			CRA (%)
	de turgencia	osmótico	total	
Antes	0,8	-1,0	-0,2	98
Después	0,1	-1,1	-1,0	85



ECOLOGY, Figure 4.21



ECOLOGY, Figure 4.20

5. MEDIDA DEL POTENCIAL HÍDRICO Y SUS COMPONENTES

- La medida del estado hídrico de la planta normalmente se hace en las hojas.
- Medida del CRA en una hoja:
 - i) PF – Al arrancarla de la planta.
 - ii) Rehidratar hasta máxima turgencia y pesar (PF_{mt})
 - iii) PS – Secar en estufa (60-70 °C) hasta peso constante.

$$CRA = \frac{PF - PS}{PF_{mt} - PS} \times 100$$

5. MEDIDA DEL POTENCIAL HÍDRICO Y SUS COMPONENTES

- **Medida del potencial hídrico de la hoja.**
 - i) **Equipos de laboratorio (investigación): sicrómetros y osmómetro.**
 - ii) **Equipos de campo (investigación y aplicado): cámara de presión.**

SICRÓMETROS

- ✓ **Permiten medir HR aire cercanas a 100% con gran precisión.**
- ✓ **Termopares muy finos.**
- ✓ **Requiere un control extremadamente bueno de T.**
- ✓ **Requieren una curva de calibración.**

5. MEDIDA DEL POTENCIAL HÍDRICO Y SUS COMPONENTES

▪ PROCESO

- i) El tejido se coloca en un pequeño volumen cerrado de aire.
- ii) El potencial hídrico del aire se equilibra con el potencial hídrico del tejido (apenas varía durante el proceso).
- iii) Midiendo HR a una T conocida se estima el potencial hídrico.

$$\psi_v = \frac{RT}{V_{H_2O}} \ln \frac{HR}{100}$$

Potencial hídrico en estado de vapor

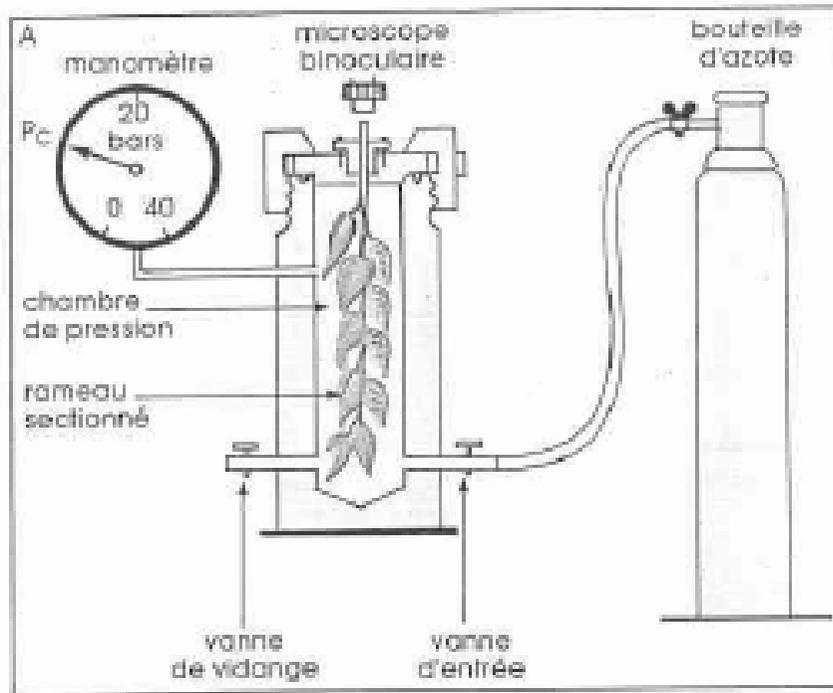
Vol. Molar del agua

5. MEDIDA DEL POTENCIAL HÍDRICO Y SUS COMPONENTES

CÁMARA DE PRESIÓN

- ✓ Determinación del potencial hídrico total.
- ✓ Uno de los métodos más usados para determinar el potencial hídrico foliar → fácil de usar, fiabilidad y rapidez.
- ✓ Inconveniente: No permite ser automatizado.

5. MEDIDA DEL POTENCIAL HÍDRICO Y SUS COMPONENTES



Esquema de una cámara de presión (tipo Scholander)

1. Agua en el xilema bajo tensión (transpiración y resistencia al flujo raíz-hoja).
2. Al cortar la hoja, el agua retrocede (x la tensión)
3. Presurizando con gas inerte (N), se puede igualar el Ψ_f que tenía la hoja antes del corte
→ Savia del xilema aparece en la superficie del peciolo.

5. MEDIDA DEL POTENCIAL HÍDRICO Y SUS COMPONENTES

PRECAUCIONES A TENER EN LAS MEDICIONES

- 1. Realizar un corte único y limpio en el peciolo.**
- 2. Minimizar las pérdidas de agua entre corte y medida.**
- 3. Sólo debe sobresalir de la cámara la longitud mínima del peciolo requerida para una buena lectura.**
- 4. La inyección de gas a la cámara debe ser lenta y regular.**
- 5. Evitar escapes de gas en la cámara para obtener una presión de equilibrio estable y, por tanto, una lectura fiable.**

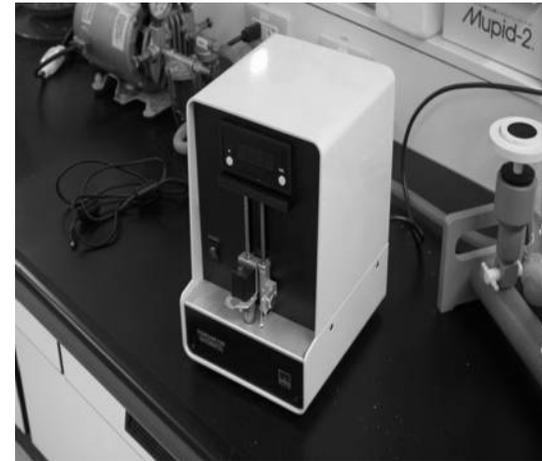
5. MEDIDA DEL POTENCIAL HÍDRICO Y SUS COMPONENTES

MEDIDA DE LAS COMPONENTES DEL POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR

- **Potencial osmótico.**

i) Osmómetro

$$\psi_o = -C_i RT$$



C_i = Concentración de la solución expresada como molalidad (moles de soluto por kg de H₂O).

R = cte de los gases (0.00831 kg MPa mol⁻¹ K⁻¹)

5. MEDIDA DEL POTENCIAL HÍDRICO Y SUS COMPONENTES

MEDIDA DE LAS COMPONENTES DEL POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR

- **Potencial osmótico.**

ii) Sicroómetro de termopares

- **Destrucción de la membrana celular → inmersión en N líquido ($\Psi_p=0$)**
- **Si $\Psi_p=0 \rightarrow \Psi_v = \Psi_o$**

5. MEDIDA DEL POTENCIAL HÍDRICO Y SUS COMPONENTES

MEDIDA DE LAS COMPONENTES DEL POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR

- **Potencial osmótico.**

- iii) **Cámara de presión (Curvas P-V)**

- ✓ **Laboratorio.**

- ✓ **Se parte de una hoja completamente turgente (noche anterior hoja y peciolo completamente sumergidos en agua).**

- ✓ **Se va midiendo la tensión a medida que va perdiendo agua.**

Proceso

- Pesar la hoja con balanza de precisión**

- Medir la presión de equilibrio con cámara de presión.**

- Dejar en bancada y promover una pequeña y gradual pérdida de agua.**

5. MEDIDA DEL POTENCIAL HÍDRICO Y SUS COMPONENTES

La relación P-V para un tejido vegetal se puede describir satisfactoriamente por la siguiente ecuación (Tyree y Hammerl, 1972)

$$\frac{1}{P} = \frac{V}{R \cdot T \cdot N_s - F(V)} = \frac{V_o - V_e}{R \cdot T \cdot N_s - F(V)}$$

P: presión de equilibrio

V_o: volumen de agua original del simplasto o agua osmótica a plena turgencia

V_e: volumen de agua osmótica extraída.

V: volumen de agua osmótica en el momento del proceso de deshidratación.

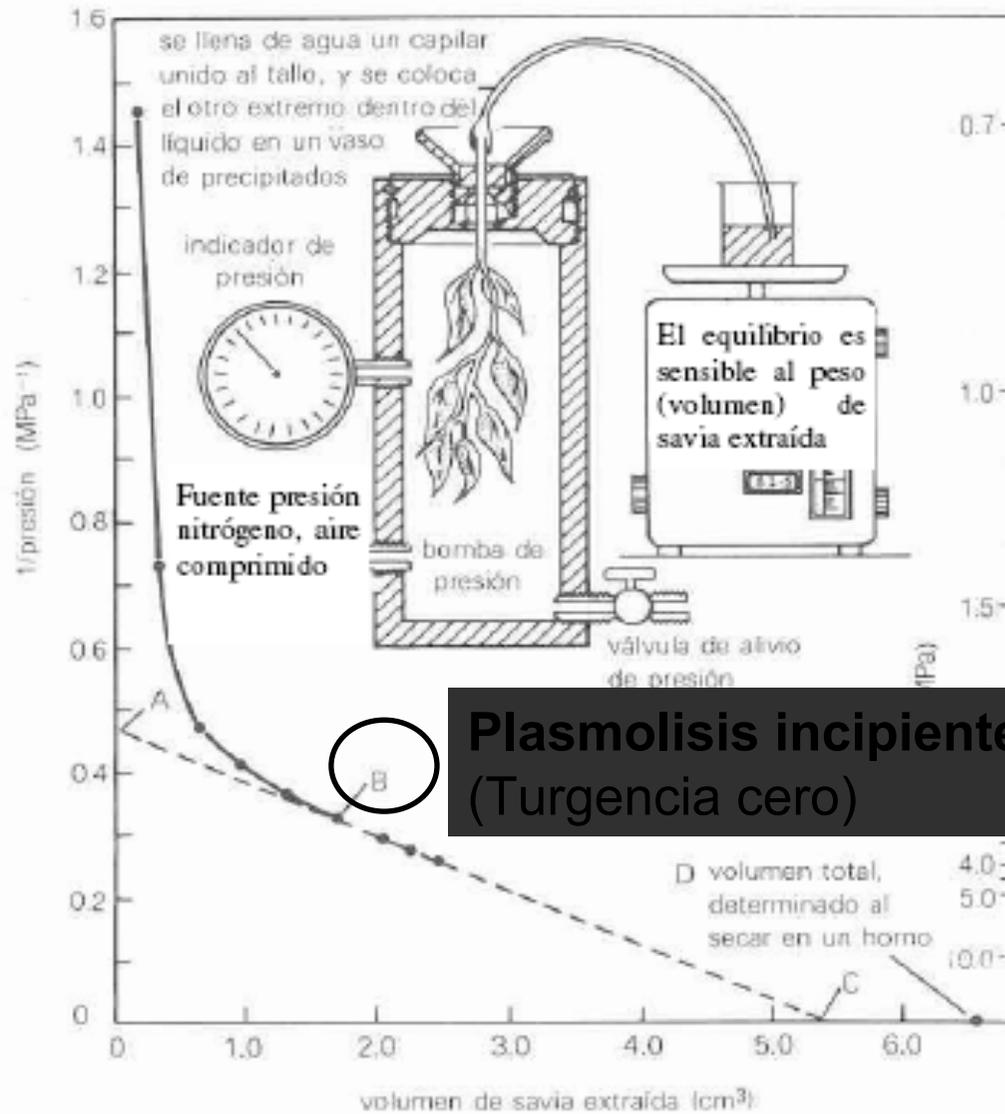
F(V): Función de la presión de turgencia con el volumen celular, elasticidad de las paredes e interacciones con células vecinas que se dilatan y contraen.

T (Temperatura); R (cte de los gases); N_s (número de ósmoles de soluto)

5. MEDIDA DEL POTENCIAL HÍDRICO Y SUS COMPONENTES

Tramo 1

Tramo 2
(lineal)



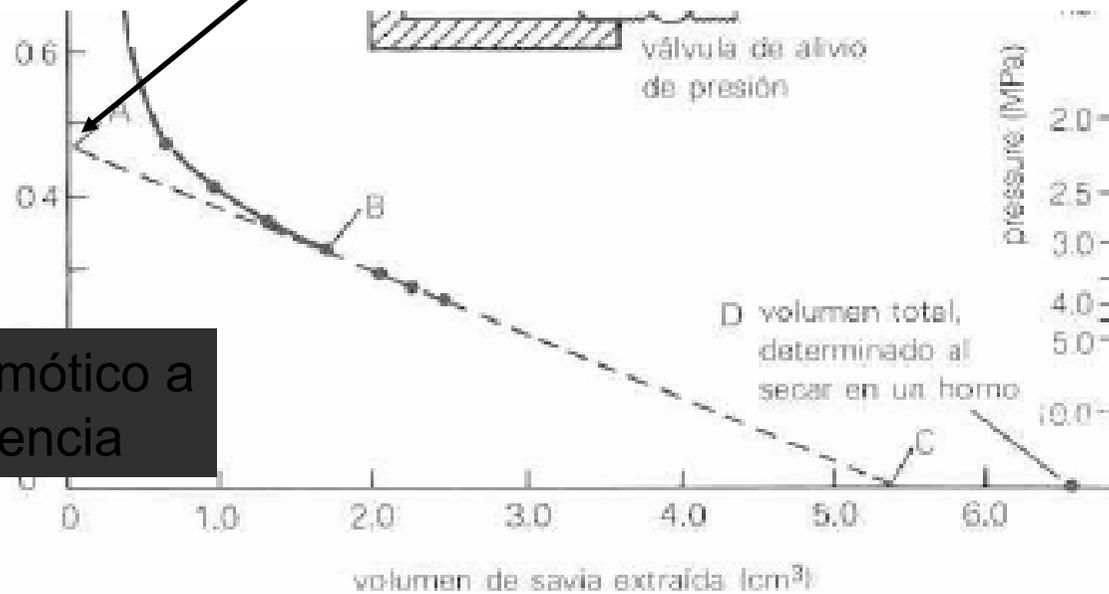
5. MEDIDA DEL POTENCIAL HÍDRICO Y SUS COMPONENTES

Plasmolisis incipiente $\rightarrow F(V) = 0$

$$\frac{1}{P} = \frac{V_o - V_e}{R \cdot T \cdot N_s - F(V)} = \frac{V_o}{R \cdot T \cdot N_s} - \frac{V_e}{R \cdot T \cdot N_s} = K - \frac{1}{R \cdot T \cdot N_s} V_e$$

$$\frac{1}{\psi_o} = \frac{V_o}{R \cdot T \cdot N_s}$$

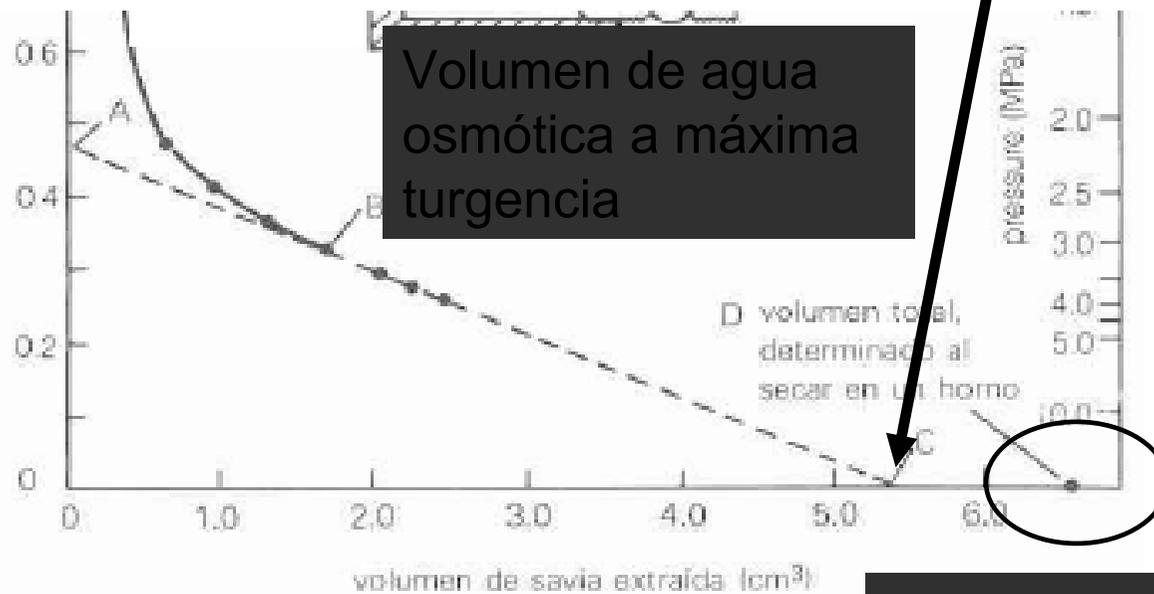
Potencial osmótico a máxima turgencia



5. MEDIDA DEL POTENCIAL HÍDRICO Y SUS COMPONENTES

Plasmolisis incipiente $\rightarrow F(V) = 0$

$$0 = \frac{V_o}{R \cdot T \cdot N_s} - \frac{1}{R \cdot T \cdot N_s} V_e \Rightarrow V_e = V_o$$



Volumen total de agua

5. MEDIDA DEL POTENCIAL HÍDRICO Y SUS COMPONENTES

- ❑ La recogida del volumen exprimido es tediosa.
- ❑ La medida del CRA es más sencilla.
- ❑ Por ello, otra forma más cómoda de expresar la ecuación anterior es en función de CRA en vez de V_e .

$$\frac{1}{\psi} = \frac{\text{CRA}}{K - F(P)} \quad (\text{hipérbola})$$

1ª fase: células turgentes

2ª fase: células que han perdido la turgencia

INTERÉS PRÁCTICO DEL USO DE LA BOMBA DE SCHOLANDER

- ❑ Taylor y Ashcroft propusieron unos valores umbrales de Ψ_m para distintos cultivos.
- ❑ Shackel y col. proponen los siguientes valores consigna de Ψ_{stem} (cámara tipo Scholander) para almendro y ciruelo con objeto de obtener los máximos rendimientos.

Temperatura (°F)	Humedad relativa del aire (RH %)						
	10	20	30	40	50	60	70
70	-6.8	-6.5	-6.2	-5.9	-5.6	-5.3	-5.0
75	-7.3	-7.0	-6.6	-6.2	-5.9	-5.5	-5.2
80	-7.9	-7.5	-7.0	-6.6	-6.2	-5.8	-5.4
85	-8.5	-8.1	-7.6	-7.1	-6.6	-6.1	-5.6
90	-9.3	-8.7	-8.2	-7.6	-7.0	-6.4	-5.8
95	-10.2	-9.5	-8.8	-8.2	-7.5	-6.8	-6.1
100	-11.2	-10.4	-9.6	-8.8	-8.0	-7.2	-6.5
105	-12.3	-11.4	-10.5	-9.6	-8.7	-7.8	-6.8
110	-13.6	-12.6	-11.5	-10.4	-9.4	-8.3	-7.3
115	-15.1	-13.9	-12.6	-11.4	-10.2	-9.0	-7.8

INTERÉS PRÁCTICO DEL USO DE LA BOMBA DE SCHOLANDER

