

# Tema 5

LOS DEFICITS HÍDRICOS Y LA  
PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS

# 1. INTRODUCCIÓN

## Déficit hídrico

Situación en la que la DEMANDA hídrica por parte de las plantas supera la DISPONIBILIDAD de la misma.

- Es un fenómeno frecuente en zonas áridas y semiáridas (zonas muy productoras), y pueden estar originados por
  - Períodos de sequía
  - Lluvias torrenciales → encharcamiento (menos frecuente).
- Afecta a la mayoría de los aspectos del crecimiento de las plantas.

# 1. INTRODUCCIÓN

## **Estrés**

**Desde un punto de vista biológico → cualquier factor del medio ambiente que altera el normal funcionamiento de las plantas.**

## **Estrés hídrico**

**Los efectos del estrés hídrico sobre el desarrollo y la productividad de las plantas han sido ampliamente estudiados.**

**Desde un punto de vista agronómico, el estrés hídrico es el que presenta los efectos más importantes sobre la producción.**

# 1. INTRODUCCIÓN

**¿cuándo decimos que una planta está hídricamente estresada?**

**→ Cuando su potencial hídrico (especialmente  $\Psi_p$ ) disminuye lo suficiente como alterar su normal funcionamiento.**

**Posibles causas de  $\Psi_{\text{foliar}}$  bajo**

- Valores bajos de potencial hídrico del agua en el suelo.**
- Altos flujos de transpiración o por resistencias elevadas al flujo de agua en todo su recorrido.**
- La altura del árbol también puede contribuir a una caída de  $\Psi_{\text{foliar}}$**

$$\Psi_{\text{hoja}} = \Psi_{\text{suelo}} + \Delta\Psi_g - TR \cdot R_{\text{suelo} - \text{hoja}}$$

**$\Delta\Psi_g$  = diferencia de  $\Psi_g$  entre el agua del suelo y la hoja**

# 1. INTRODUCCIÓN

## Tipos de déficit hídrico (atendiendo a su duración)

### → Corta duración (horas)

Suele ocurrir cuando la demanda evaporante es alta (mediodía o poco después).

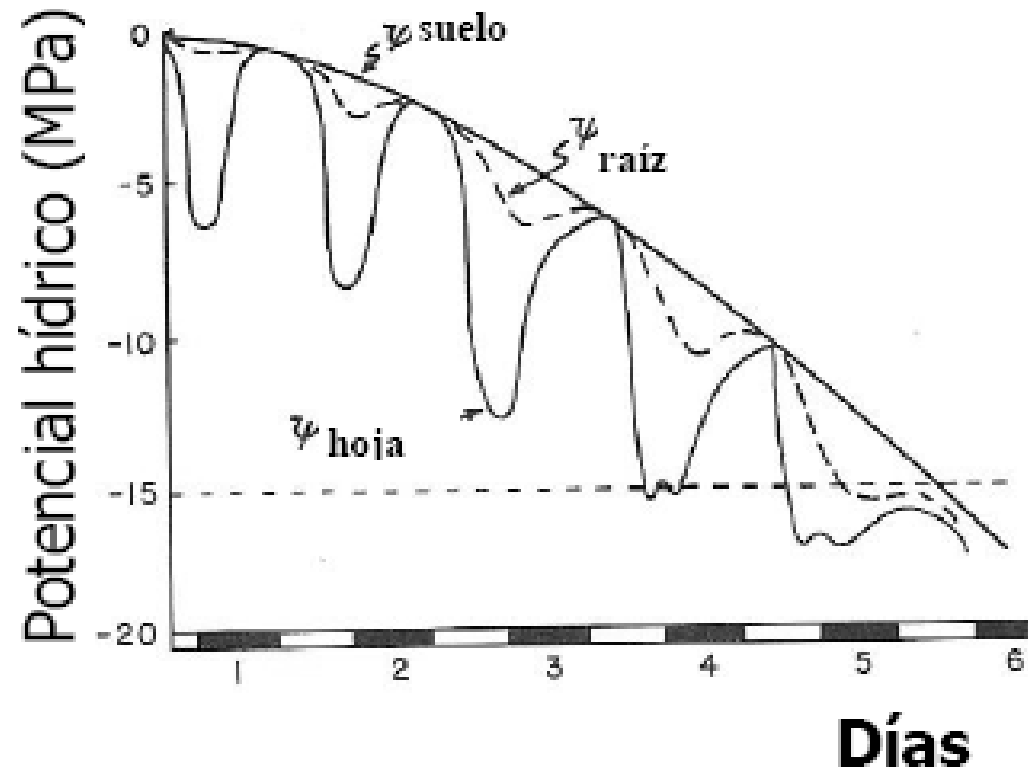
Puede ocurrir con humedades del suelo altas

### → Larga duración (días)

Ligado a un agotamiento progresivo del agua en el suelo

# 1. INTRODUCCIÓN

Representación esquemática de la variación diaria y con los días del potencial del agua en la hoja, la raíz y el suelo a medida que el agua disponible se va agotando.



## 2. RESPUESTA DE LA PLANTA AL ESTRÉS HÍDRICO

- El déficit hídrico afecta a la mayoría de los aspectos del crecimiento de las plantas.
- Efecto más general → disminución en el tamaño, área foliar y cosecha (cantidad y calidad).
- Efecto del EH = f (momento, intensidad y duración).
- Por tanto, los efectos pueden ser específicos de la especie vegetal y del estado fenológico en el que se encuentre.
- No existe una respuesta precisa del nivel de estrés que una planta puede tolerar antes de que sus procesos funcionales se vean afectados.
- Los diferentes procesos presentan un rango amplio de sensibilidad al estrés hídrico.

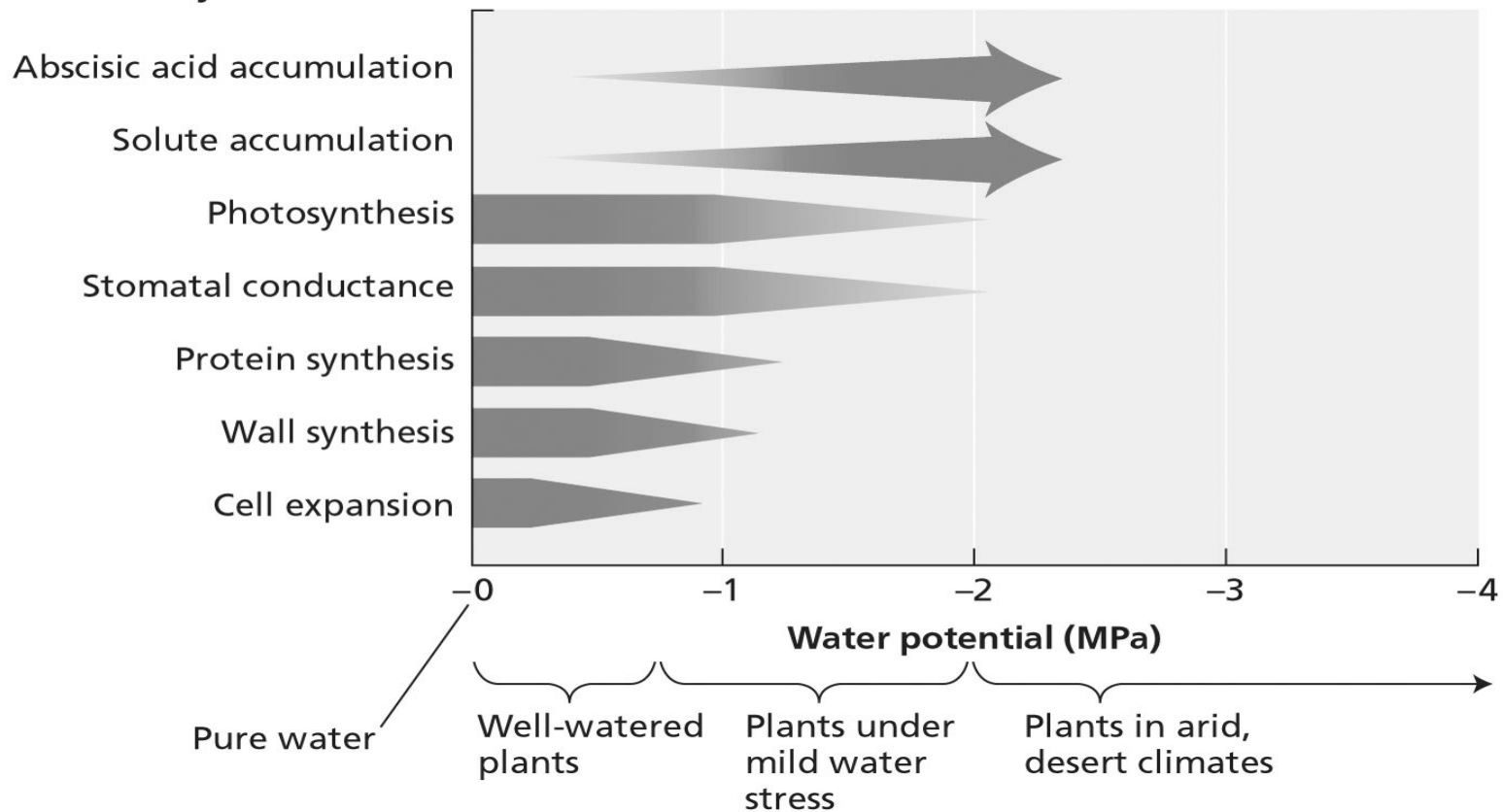
## 2. RESPUESTA DE LA PLANTA AL ESTRÉS HÍDRICO

Proceso o parámetro afectado	Sensibilidad al estrés		
	Muy sensible		Poco sensible
	Reducción de $\Psi$ necesaria para afectar al proceso		
	0	1	2 MPa
Crecimiento celular (-)	_____		
Síntesis pared celular (-) [1]	_____		
Síntesis de proteínas (-) [1]	_____		
Formación protoclorofila (-) [2]	_____		
Nivel de nitrato reductasa (-)	_____		
Síntesis de ABA (+)		_____	
Apertura estomática (-)		_____	
a) mesofitos		_____	
b) xerofitos		_____	_____
Asimilación de CO <sub>2</sub> (-)		_____	
a) mesofitos		_____	
b) xerofitos		_____	_____
Respiración (-)		_____	
Conductancia del xilema (-)		_____	
Acumulación de prolina (+)		_____	
Nivel de azúcares (+).		_____	



## 2. RESPUESTA DE LA PLANTA AL ESTRÉS HÍDRICO

Physiological changes due to dehydration:



## 2. RESPUESTA DE LA PLANTA AL ESTRÉS HÍDRICO

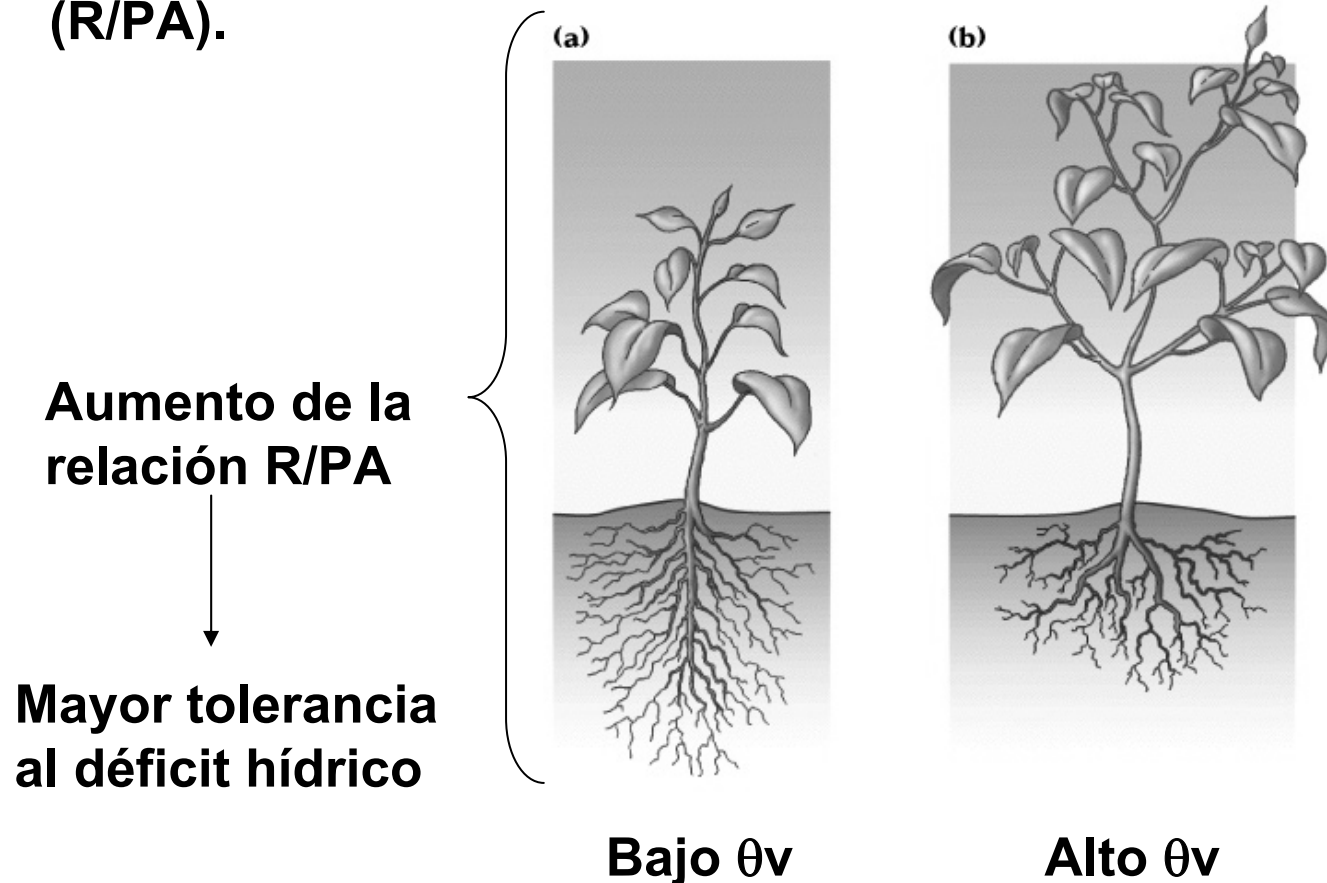
**Procesos o parámetros de las plantas que presentan sensibilidad al estrés hídrico**

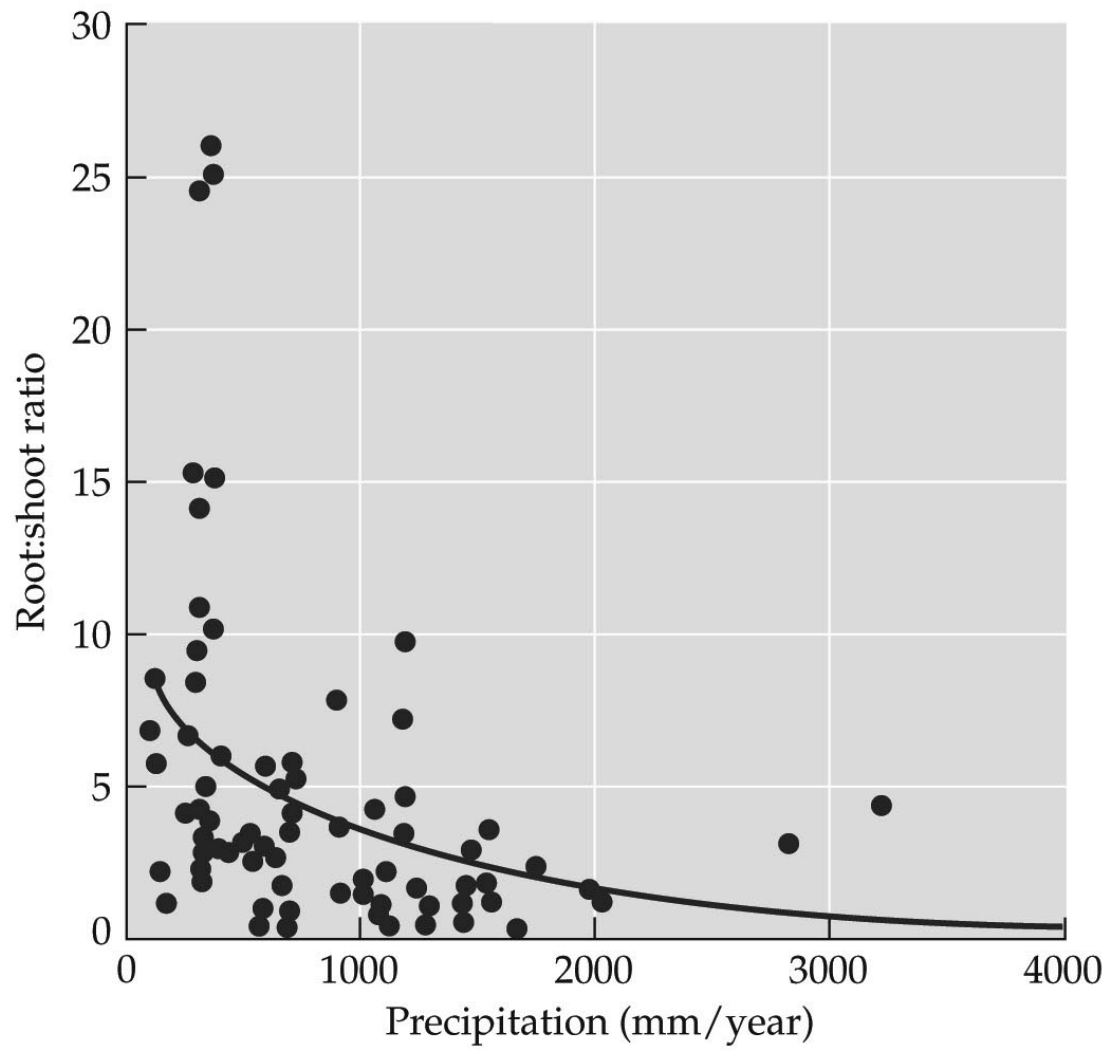
- En general, los procesos respiratorios en las células se ven menos afectados que la fotosíntesis.**
- Acumulación de aminoácidos (prolina y betaína) → la acumulación de prolina empieza cuando el déficit es suficiente para impedir el crecimiento y provocar el cierre de estomas.**
- Nutrición mineral afectada:**
  - ✓ **Dificultad en el suministro de elementos nutritivos desde el suelo a la raíz.**
  - ✓ **Afecta a los mecanismos de absorción y de transporte.**
- Reducción moderada en los reguladores del crecimiento AIA, CK y GA3, y una acumulación del ABA y etileno.**

## 2. RESPUESTA DE LA PLANTA AL ESTRÉS HÍDRICO

Procesos o parámetros de las plantas que presentan sensibilidad al estrés hídrico

□ Baja disponibilidad hídrica → altera la relación raíz/parte aérea (R/PA).





**ECOLOGY, Figure 4.22**

## 2. RESPUESTA DE LA PLANTA AL ESTRÉS HÍDRICO

Procesos o parámetros de las plantas que presentan sensibilidad al estrés hídrico

□ Crecimiento celular → proceso extremadamente sensible al déficit hídrico.

➤ Condiciones necesarias para que tenga lugar:

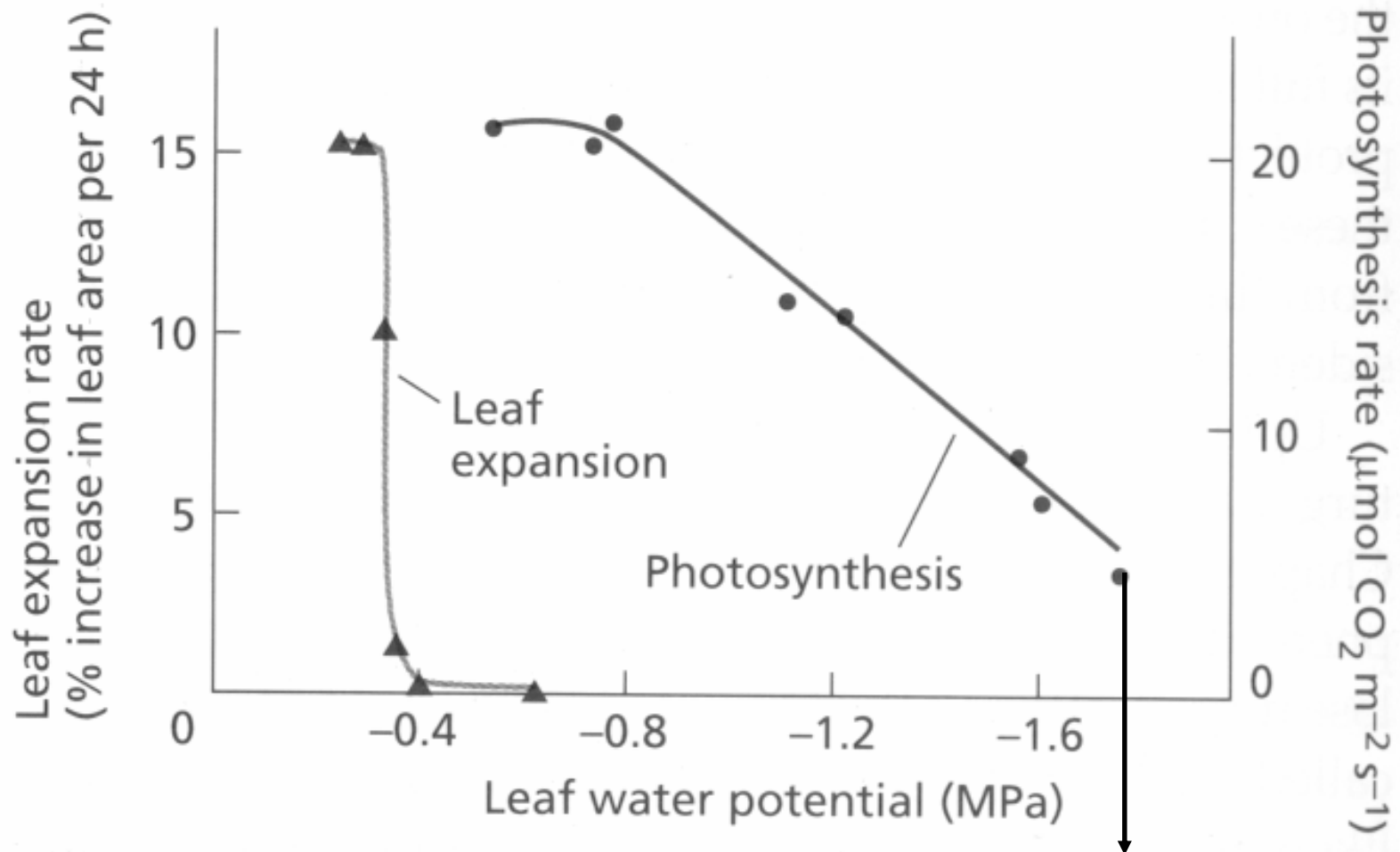
1. Suministro adecuado de sustancias bioquímicas necesarias (Aa, HC, BN, etc.) para la formación de los componentes celulares.
2. Adecuada presión de turgencia  $\Psi_p$  en el interior celular:
  - Estiramiento irreversible de la pared celular.
  - Depende de las tasas de transpiración y absorción de agua.

## 2. RESPUESTA DE LA PLANTA AL ESTRÉS HÍDRICO

Procesos o parámetros de las plantas que presentan sensibilidad al estrés hídrico

- ❑ **Apertura estomática y, por tanto, la fotosíntesis → < sensible al estrés hídrico que el crecimiento celular.**
  - **En algunas plantas anuales el  $\Psi_p$  que causa el cierre estomático coincide con el inicio de los síntomas visibles de marchitez.**
  - **Frutales y viñedos → éste ocurre frecuentemente en ausencia de síntomas de marchitez.**
- ❑ **Programación del riego basada en la experiencia visual no es adecuada → el daño en la planta comienza con niveles de estrés muy inferiores a la aparición de síntomas de marchitez.**

## 2. RESPUESTA DE LA PLANTA AL ESTRÉS HÍDRICO



**Síntomas visuales de marchitez**

## 2. RESPUESTA DE LA PLANTA AL ESTRÉS HÍDRICO

Procesos o parámetros de las plantas que presentan sensibilidad al estrés hídrico

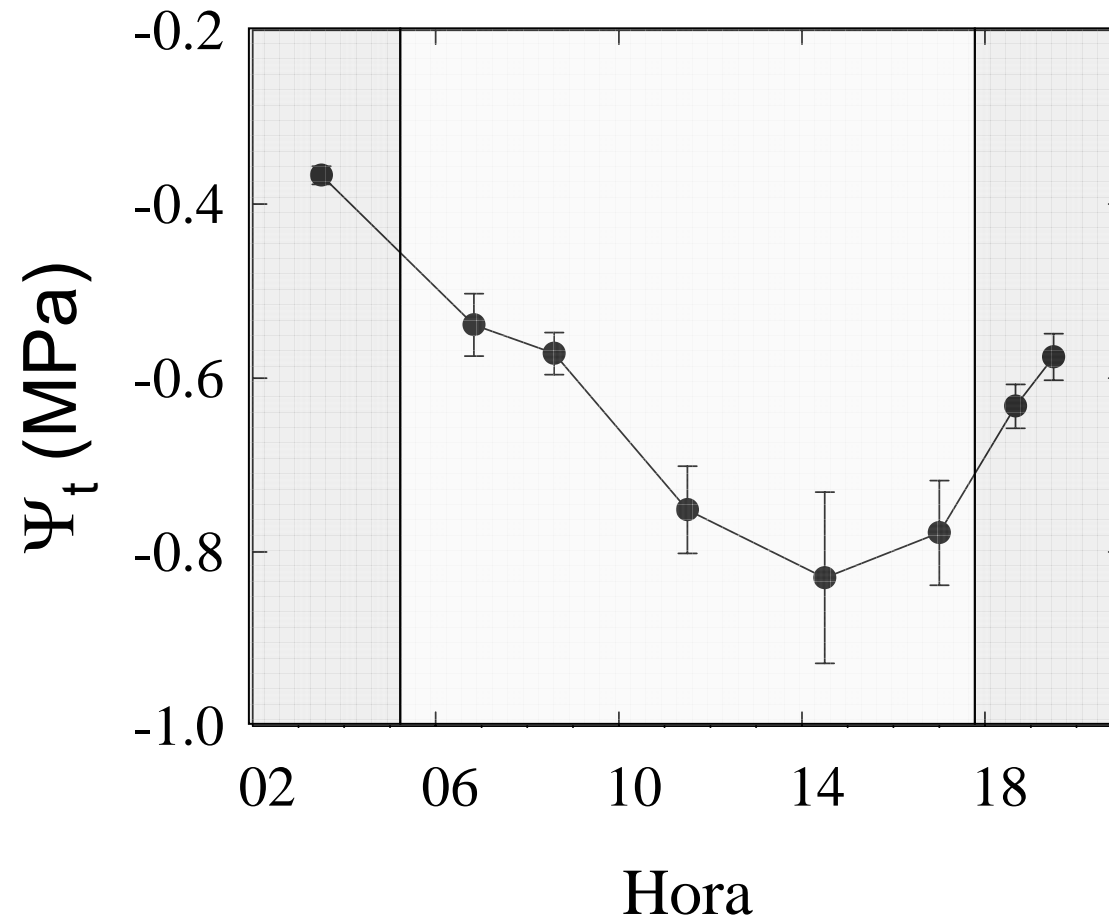
### □ Evolución diaria del potencial de presión

- $\Psi_p$  es máximo a la salida del sol.
- Al aumentar la transpiración con el avance del día,  $\Psi_p \downarrow$  hasta alcanzar su valor mínimo a mediodía solar o poco después.
- Al atardecer  $\rightarrow \downarrow TR \rightarrow$  recuperación gradual de  $\Psi_p$
- Durante la noche y al cesar la transpiración las células absorben agua del xilema hasta que  $\Psi_p$  contrarresta  $\Psi_o \rightarrow$  interrupción de la absorción.
- $\downarrow \Psi_p$  diurna  $\rightarrow \downarrow \Psi$  favoreciendo la absorción radicular del agua del suelo.



## 2. RESPUESTA DE LA PLANTA AL ESTRÉS HÍDRICO

Evolución diaria de  $\Psi_t$  en almendros adecuadamente regados



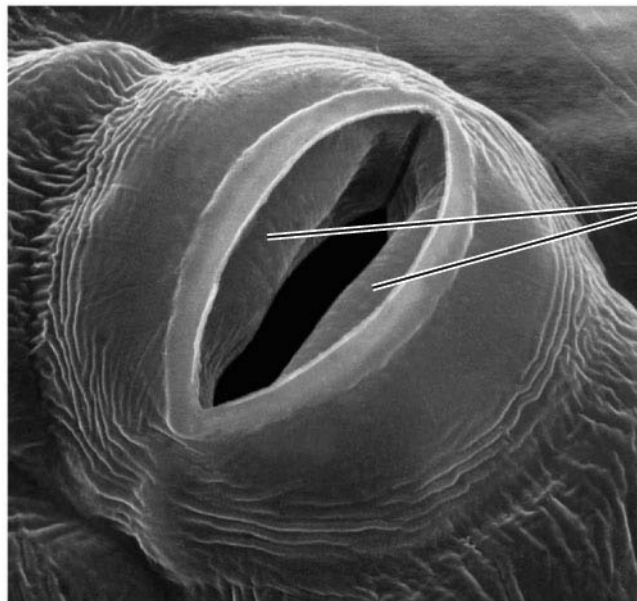
### **3. BALANCE HÍDRICO DE LA PLANTA**

#### **Efecto del déficit hídrico sobre el comportamiento estomático**

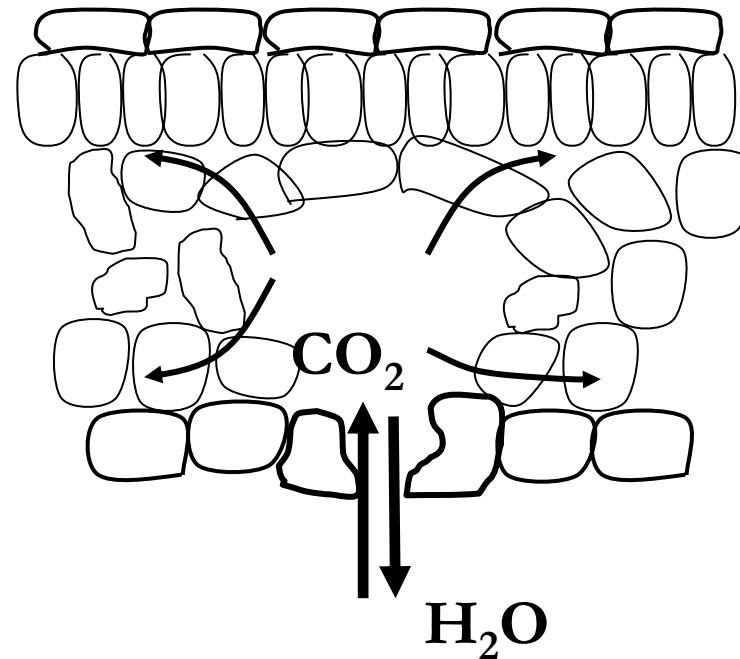
- ❑ Déficit hídricos de corta o larga duración pueden afectar al comportamiento del estoma.**
  
- ❑ Cuando  $\Psi_p$  de las células guarda se aproxima a cero el estoma empieza a cerrarse:**
  - ↑ resistencia al flujo de agua**
  - Limita la transpiración**
  - Limita la asimilación de CO<sub>2</sub> y la fotosíntesis**
  - De ahí que la transpiración se considere un mal necesario.**

### 3. BALANCE HÍDRICO DE LA PLANTA

#### Efecto del déficit hídrico sobre el comportamiento estomático



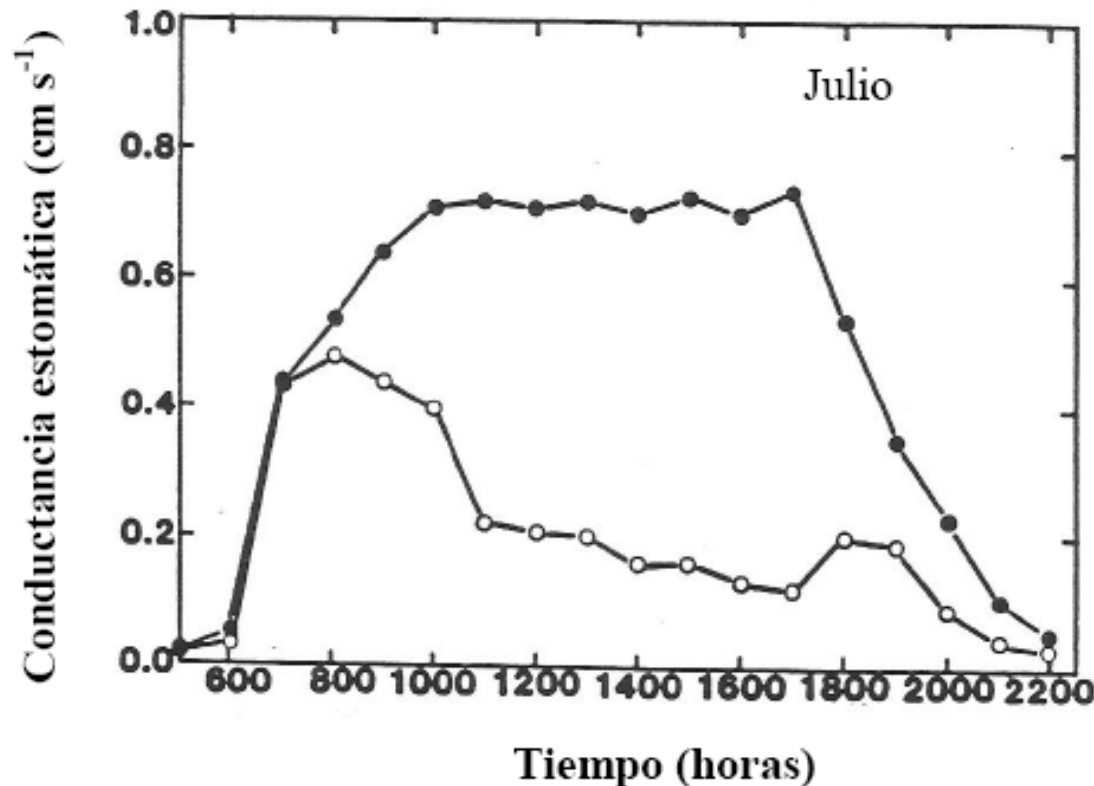
Guard cells



Estoma → **válvula de seguridad** (evita el desarrollo de estreses hídricos severos cuando el nivel de agua en la planta disminuye)

### 3. BALANCE HÍDRICO DE LA PLANTA

#### Efecto del déficit hídrico sobre el comportamiento estomático



**Figura 2.** Evolución diurna de la conductancia estomática de pistacheros adecuadamente regados (círculos sombreados) y estresados (círculos abiertos). Cada punto es la media de 2 medidas por árbol en 4 árboles seleccionados (Adaptado de Goldhamer, 1984).

### 3. BALANCE HÍDRICO DE LA PLANTA

#### Efecto del déficit hídrico sobre el comportamiento estomático

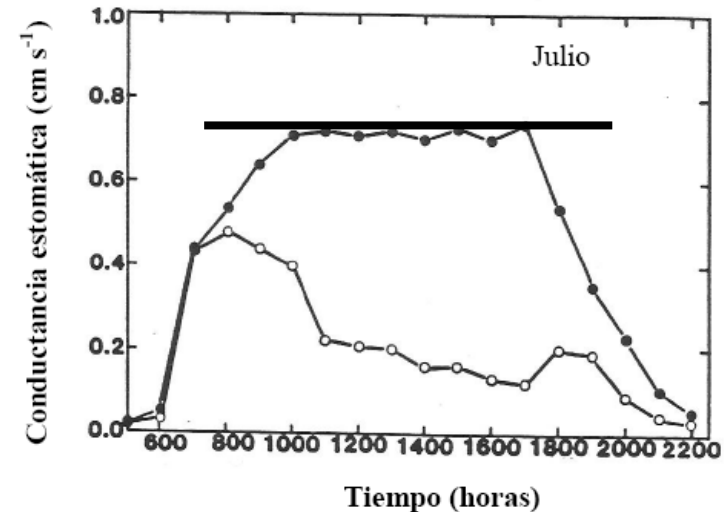
##### Árboles adecuadamente regados

- $\uparrow$  Gs hasta aprox. 10.00h
- Gs  $\approx$  cte hasta las 17.00h

→ Bajo condiciones no limitantes de agua, los árboles maximizan la asimilación de CO<sub>2</sub> (diferencias interespecíficas).

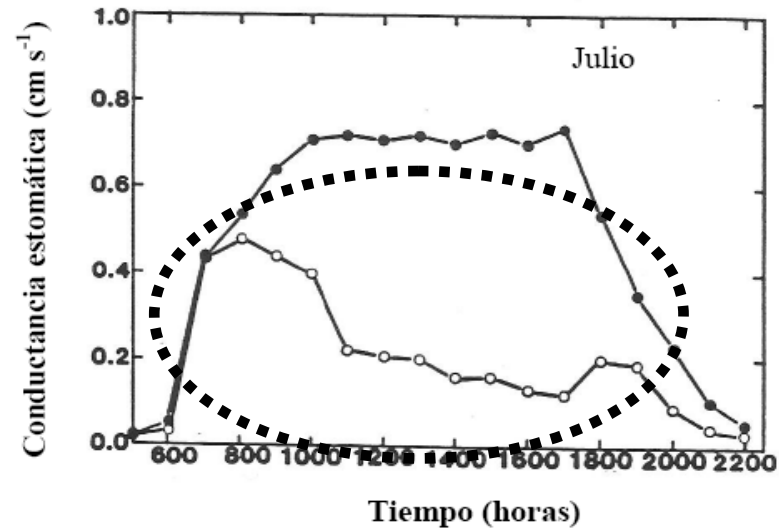
##### Árboles estresados

- Máxima apertura  $\sim$  8.00h para disminuir a continuación
- Estoma parcialmente abierto durante cortos períodos de tiempo, coincidiendo con las horas de menor demanda evaporante



### 3. BALANCE HÍDRICO DE LA PLANTA

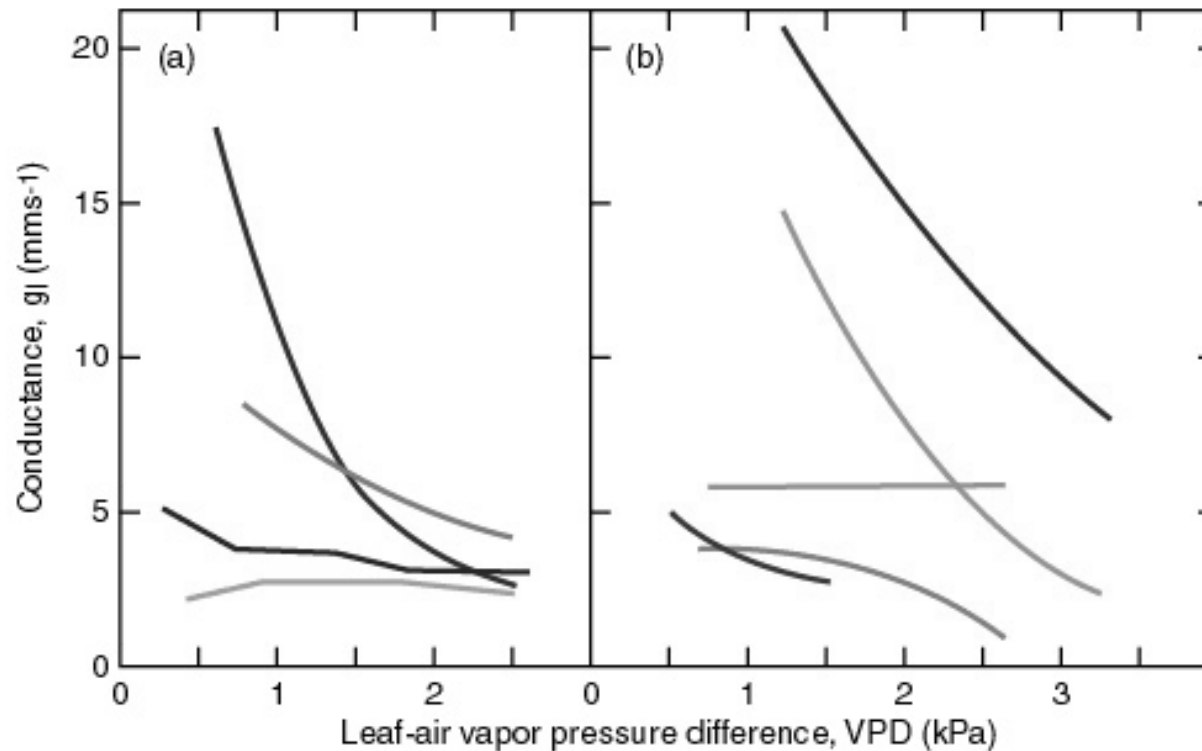
Efecto del déficit hídrico sobre el comportamiento estomático



Este patrón de conducta del estoma permite al árbol asimilar la máxima cantidad de CO<sub>2</sub> mientras que pierde la mínima cantidad de agua

### 3. BALANCE HÍDRICO DE LA PLANTA

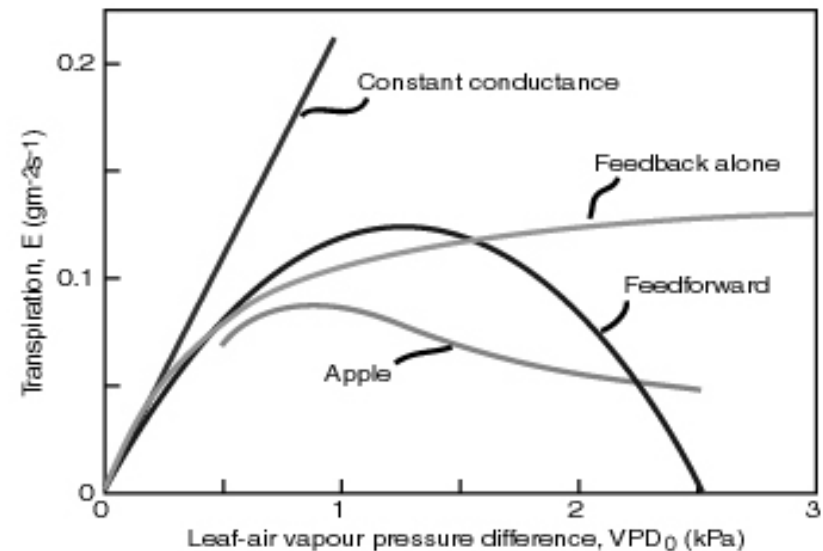
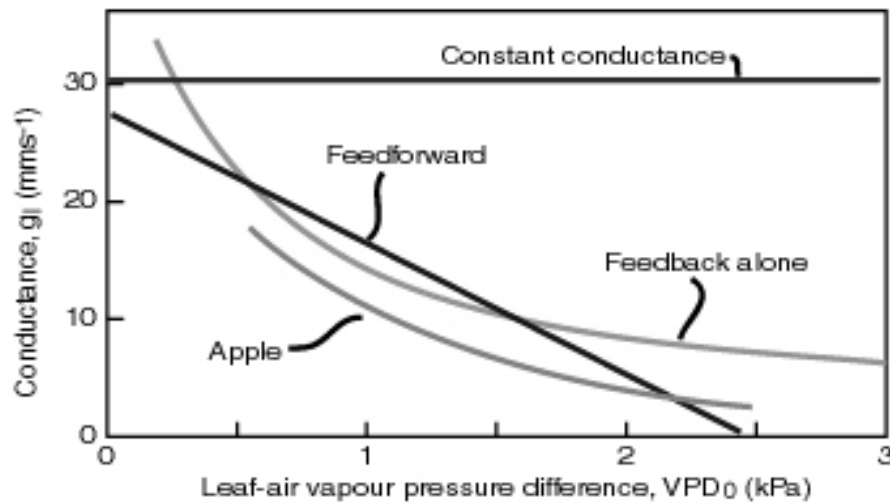
Comportamiento estomático frente a la demanda evaporante de la atmósfera



**Figure 9.1.** Examples of stomatal humidity responses (VPD) for different types of plants. (Freely adapted from Jones, 1983; page 120).

### 3. BALANCE HÍDRICO DE LA PLANTA

Comportamiento estomático frente a la demanda evaporante de la atmósfera



**Figure 9.4.** Types of stomatal humidity response and the consequent relation between transpiration ( $E$ ) and  $\text{VPD}$  at the leaf-air interface ( $\text{VPD}_0$ ), between stomatal conductance  $g_s$  and  $\text{VPD}_0$  and for an apple tree. (Freely adapted from Jones, 1983; p 127).



### **3. BALANCE HÍDRICO DE LA PLANTA**

#### **Rescapitulando...**

- **El crecimiento celular y la asimilación de CO<sub>2</sub> son procesos muy sensibles al estrés hídrico.**
  
- **La ocurrencia de estrés hídrico durante los períodos de rápido crecimiento vegetativo (cultivos anuales o leñosos) → ↓ desarrollo del follaje → ↓ intercep. radiación → ↓ productividad**

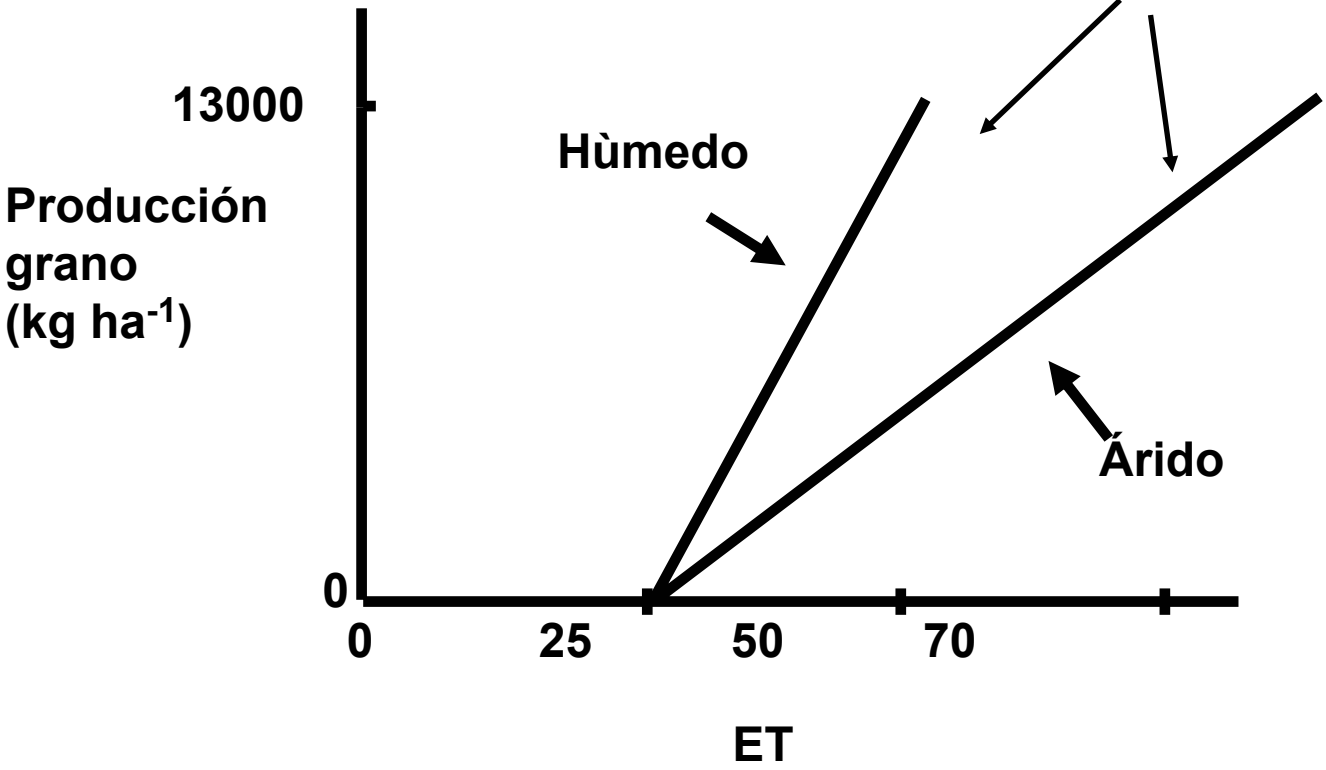
### **3. BALANCE HÍDRICO DE LA PLANTA**

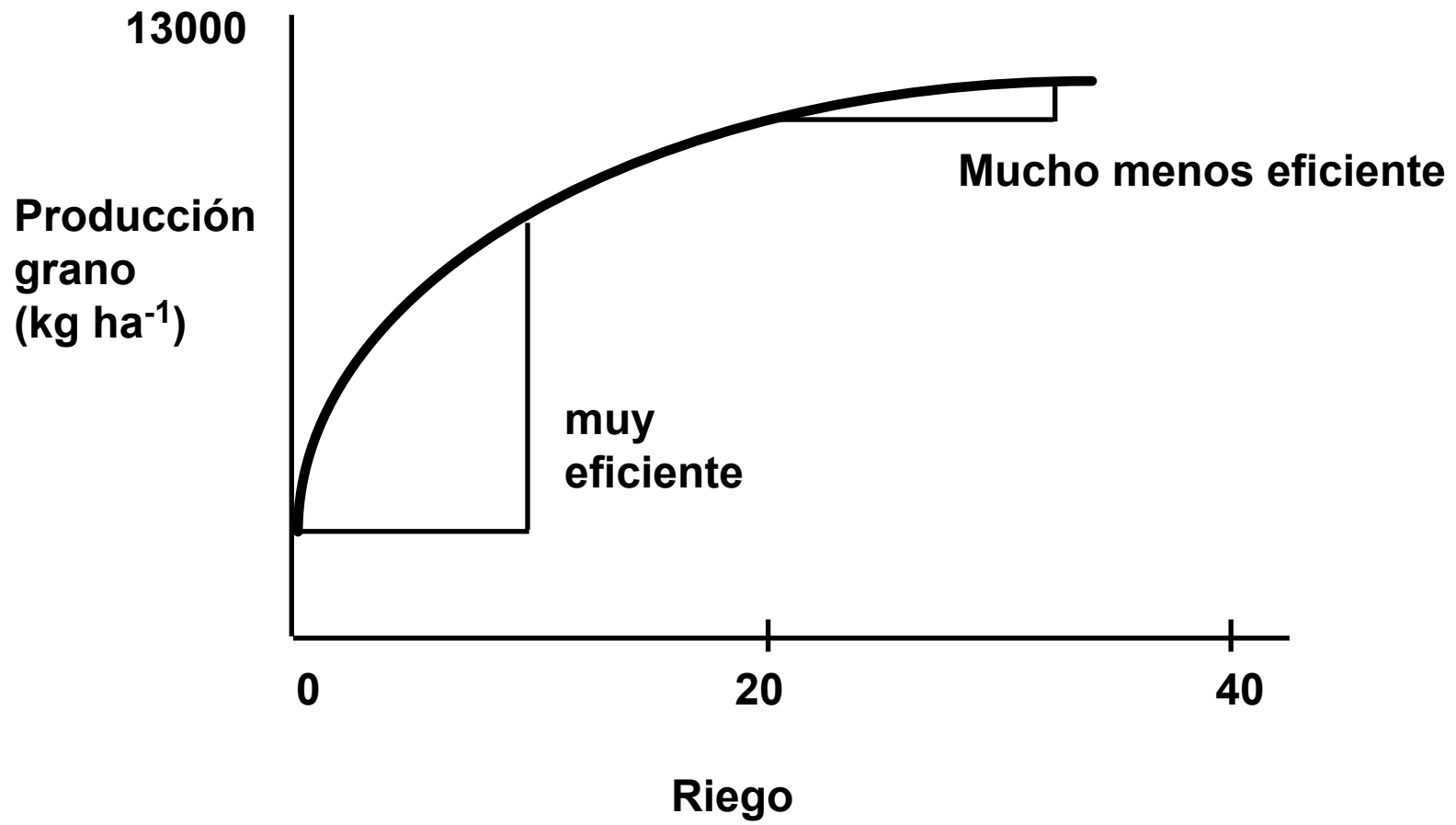
#### **Rescapitulando...**

#### **➤ Como norma general:**

- Evitar cualquier déficit en plantaciones frutales jóvenes ➔ retrasará su desarrollo y entrada en producción**
- Id. durante la fase de rápido crecimiento del fruto.**
- Cuando las partes vegetativas de las plantas son la componente mercadeable (alfalfa, sorgo, etc.) ➔ mantener un crecimiento óptimo (evitar cualquier tipo de estrés).**

# Dependencia medioambiental





## 4. PERÍODOS CRÍTICOS

### Concepto

*Son aquellos períodos en los que un estrés hídrico causaría pérdidas de producción irreversibles*

➤ En muchos cultivos esto puede ocurrir a lo largo de todo su ciclo de cultivo → se consideran períodos críticos los + perjudiciales para la producción.

➤ Los períodos críticos dependen de la especie vegetal e incluso la variedad.

## **4. PERÍODOS CRÍTICOS**

### **Concepto**

**Los períodos críticos se verán + o – afectados en función:**

- ✓ volumen de suelo explorado por el SR**
- ✓ velocidad de desarrollo del estrés**
- ✓ demanda ambiental**
- ✓ enfermedades**
- ✓ abonado, etc.**

## 4. PERÍODOS CRÍTICOS

Tabla 2. Períodos críticos con respecto a la tensión de humedad del suelo en el caso de diferentes cultivos

Alfalfa	Justo después de la siega en el caso de la alfalfa para heno y al principio de la floración en el de la destinada a la producción de semillas
Albaricoques	Período de floración y desarrollo de las yemas
Cebada	Fase inicial de formación de las vainas > fase de consistencia blanda del grano > iniciación de la fase de ahijamiento o maduración
Frijoles	Fase de floración y aparición de las vainas > antes > período de maduración. Sin embargo, el período de maduración > antes si no hay una tensión de humedad previa
Brécoles	Durante la formación y desarrollo de las cabezas
Coles	Durante la formación y desarrollo de las cabezas
Ricino	Requieren un nivel de humedad del suelo relativamente alto durante todo el período de crecimiento
Coliflor	Requiere riegos frecuentes desde la plantación hasta la recolección
Cerezas	Período de rápido crecimiento de la fruta antes de la maduración
Cítricos	Fases de floración y de fructificación; se puede suscitar una fuerte floración suspendiendo el riego justo antes de la fase de floración (limón); se puede controlar la "caída de junio" de los frutos más débiles mediante una gran humedad del suelo
Algodón	Floración y formación de las cápsulas > fases iniciales de crecimiento > después de la formación de las cápsulas
Maíz (cacahuete)	Fases de floración y desarrollo de las semillas > entre la germinación y la floración y el final del período vegetativo
Lechuga	Necesita unos suelos húmedos especialmente antes de la recolección
Maíz	Período de polinización desde la inflorescencia hasta la fructificación > antes de la inflorescencia > períodos de desarrollo del grano; período de polinización muy crítico si no hay una tensión de humedad previa

## 4. PERÍODOS CRÍTICOS

**Tabla 2.** Períodos críticos con respecto a la tensión de humedad del suelo en el caso de diferentes cultivos

---

Avena	Desde la aparición de los flosculos hasta la formación de las cabezuelas posiblemente
Olivo	Justo antes de la floración y durante el crecimiento del fruto
Melocotón(durazno)	Período de rápido crecimiento del fruto hasta la maduración
Guisantes(arvejas)	A principios de la floración y cuando se llenan las vainas
Patata	Niveles altos de humedad; después de la formación de los tubérculos, de la floración a la recolección
Rábanos	Durante el período de ensanchamiento de las raíces
Girasol	Posiblemente durante la siembra y la floración; fase de germinación de las semillas
Cereales secundarios	Desde la formación de las vainas hasta la aparición de las cabezuelas
Sorgo	Aparición de las raíces secundarias y ahijamiento hasta la fase de formación de las vainas > formación de las cabezuelas, floración y formación del grano > período de desarrollo del grano
Soja	Fase de floración y fructificación, y posiblemente período de crecimiento vegetativo máximo
Fresa	Desde el desarrollo del fruto hasta la maduración

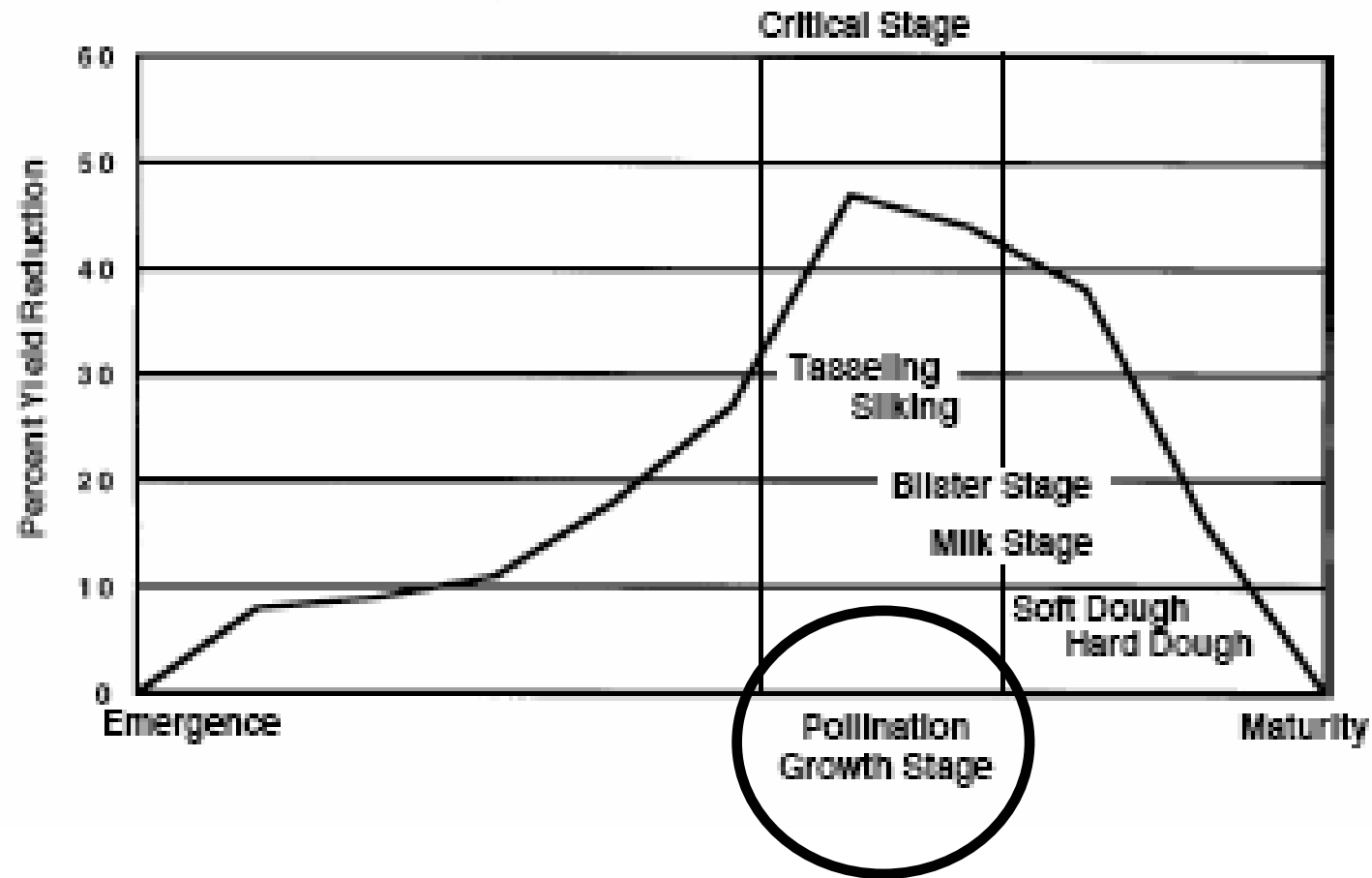
---



## **4. PERÍODOS CRÍTICOS**

- Una idea frecuente y errónea es la de programar el riego en períodos críticos sin tener en cuenta el estado del agua en el suelo.**
- Esto puede conducir a situaciones tanto de infradotación hídrica como de exceso de agua.**

## 4. PERÍODOS CRÍTICOS



**Reducción en la producción de maíz por efecto del déficit hídrico**

## **5. ADAPTACIÓN DE LAS PLANTAS A LA SEQUÍA**

➤ **Las plantas pueden presentar 2 tipos de adaptación a la sequía.**

**A. Evitación: Ciclos muy cortos que concluyen antes de llegar el verano.**

**B. Tolerancia:**

**B.1. Posponen el déficit hídrico:**

- Sistemas radiculares más profundos y densos**
- Marchitamientos y enrollamientos de hojas**
- Estomas muy sensibles a las condiciones que favorecen la transpiración**
- Cutículas gruesas, etc.**

# **5. ADAPTACIÓN DE LAS PLANTAS A LA SEQUÍA**

## **B. Tolerancia:**

### **B.2. Aumentan la tolerancia a ellos:**

- Capacidad de las células de algunas plantas para tolerar potenciales hídricos muy bajos.**

#### **B.2.1. Ajuste osmótico**

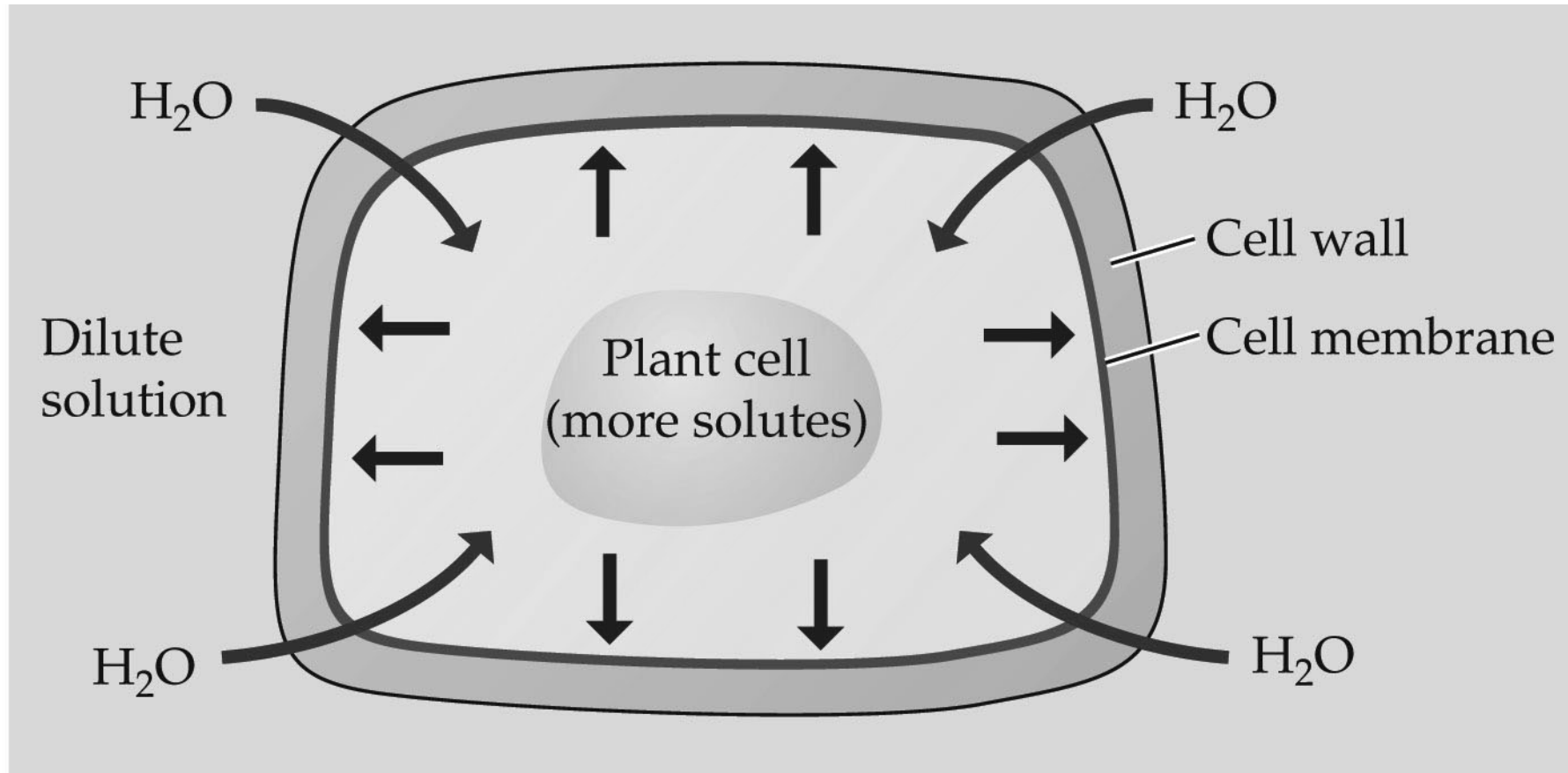
#### **B.2.2. Ajuste elástico**

# 5. ADAPTACIÓN DE LAS PLANTAS A LA SEQUÍA

## AJUSTE OSMÓTICO

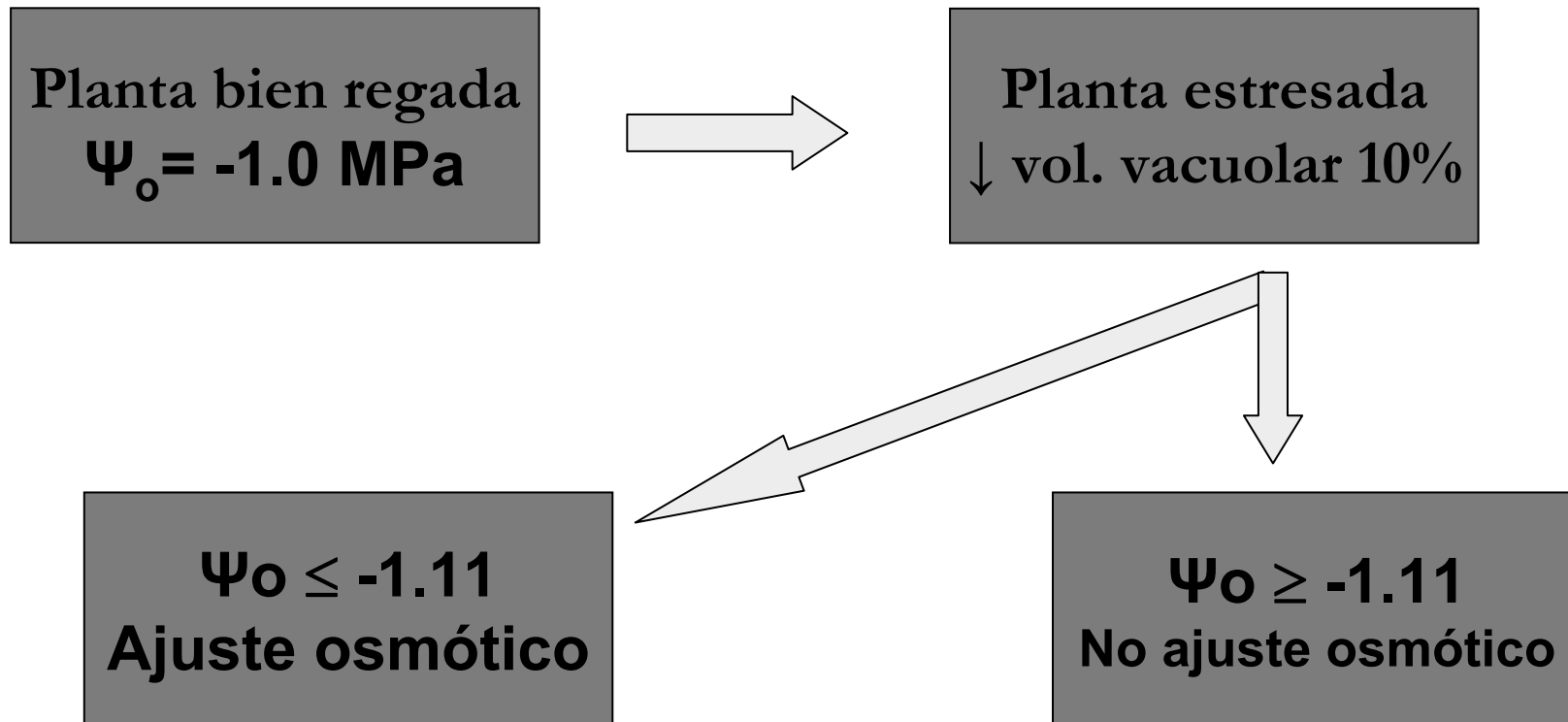
- Mecanismo bioquímico que ayuda a la planta a aclimatarse a condiciones de estrés hídrico y salino.
- [solutos] en la célula (vacuola) aumenta para mantener una presión de turgor positiva dentro de ella.
- La célula acumula solutos osmóticamente activos → ↓  $\Psi_o$ , promueve el flujo de agua al interior de la célula.
- Papel crítico en el proceso de aclimatación de las plantas a condiciones de sequía y salinidad.
- En general es un proceso lento (aclimatación), aunque también se ha observado en las horas centrales del día.

## 5. ADAPTACIÓN DE LAS PLANTAS A LA SEQUÍA

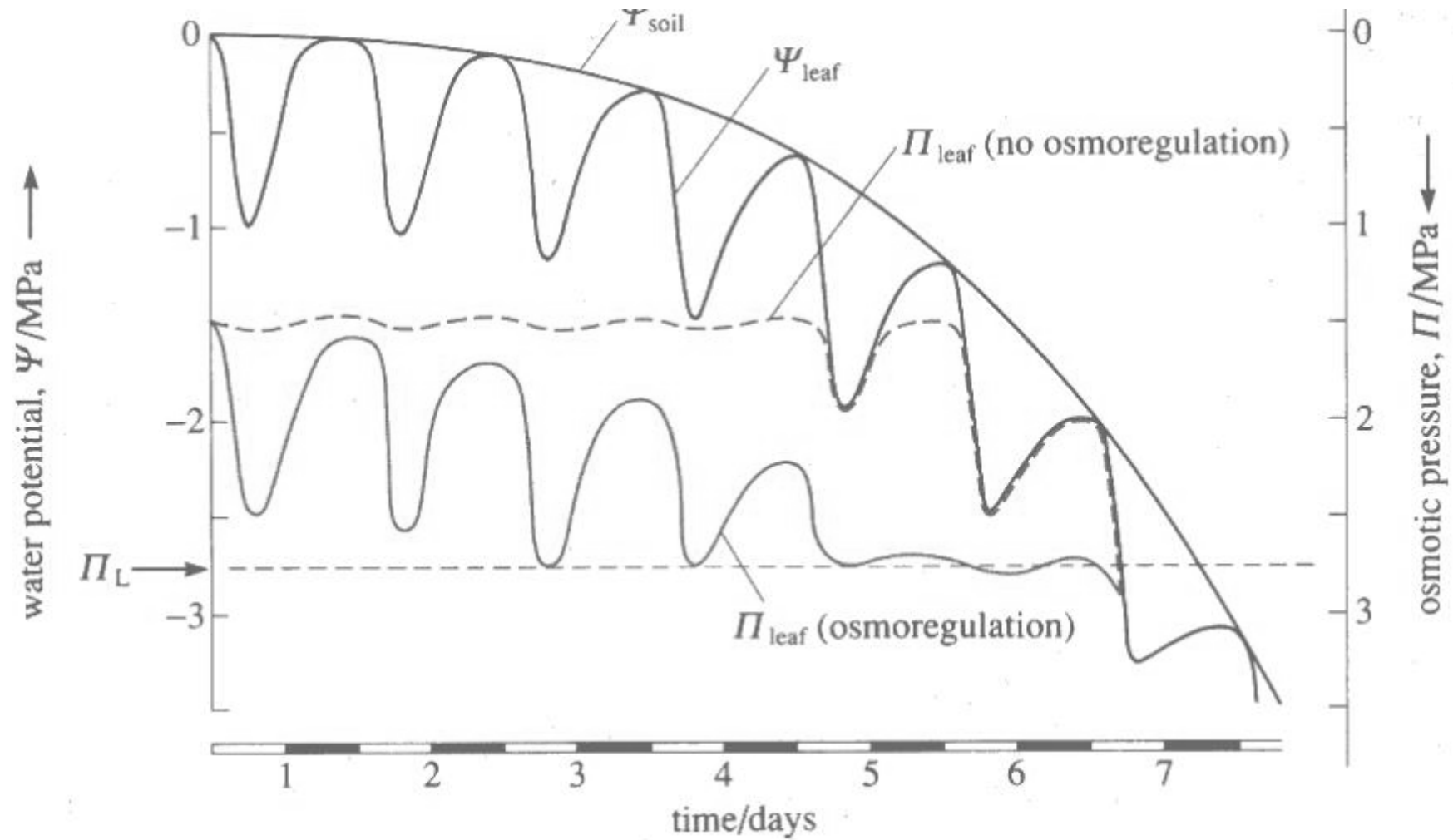


# 5. ADAPTACIÓN DE LAS PLANTAS A LA SEQUÍA

## AJUSTE OSMÓTICO

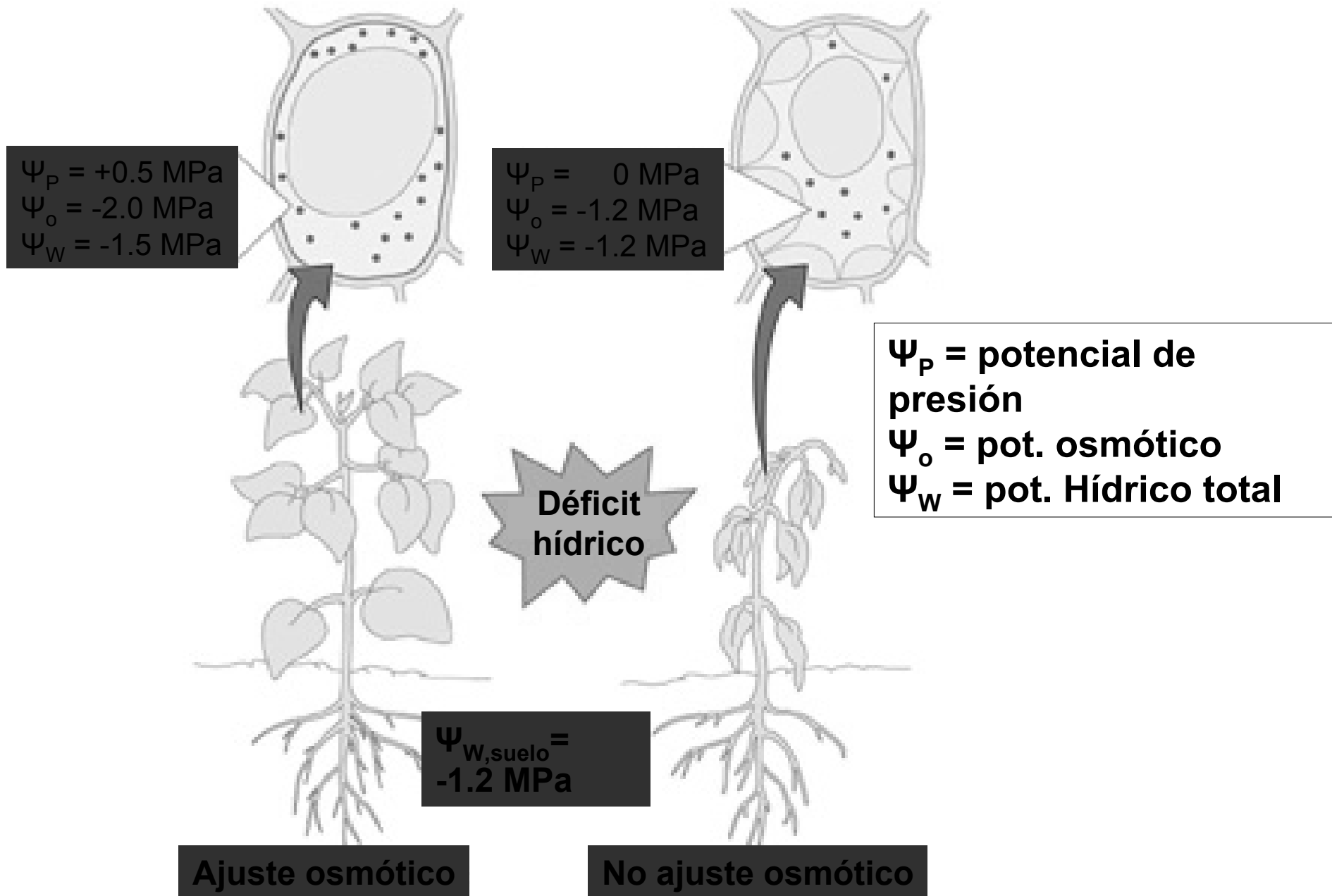


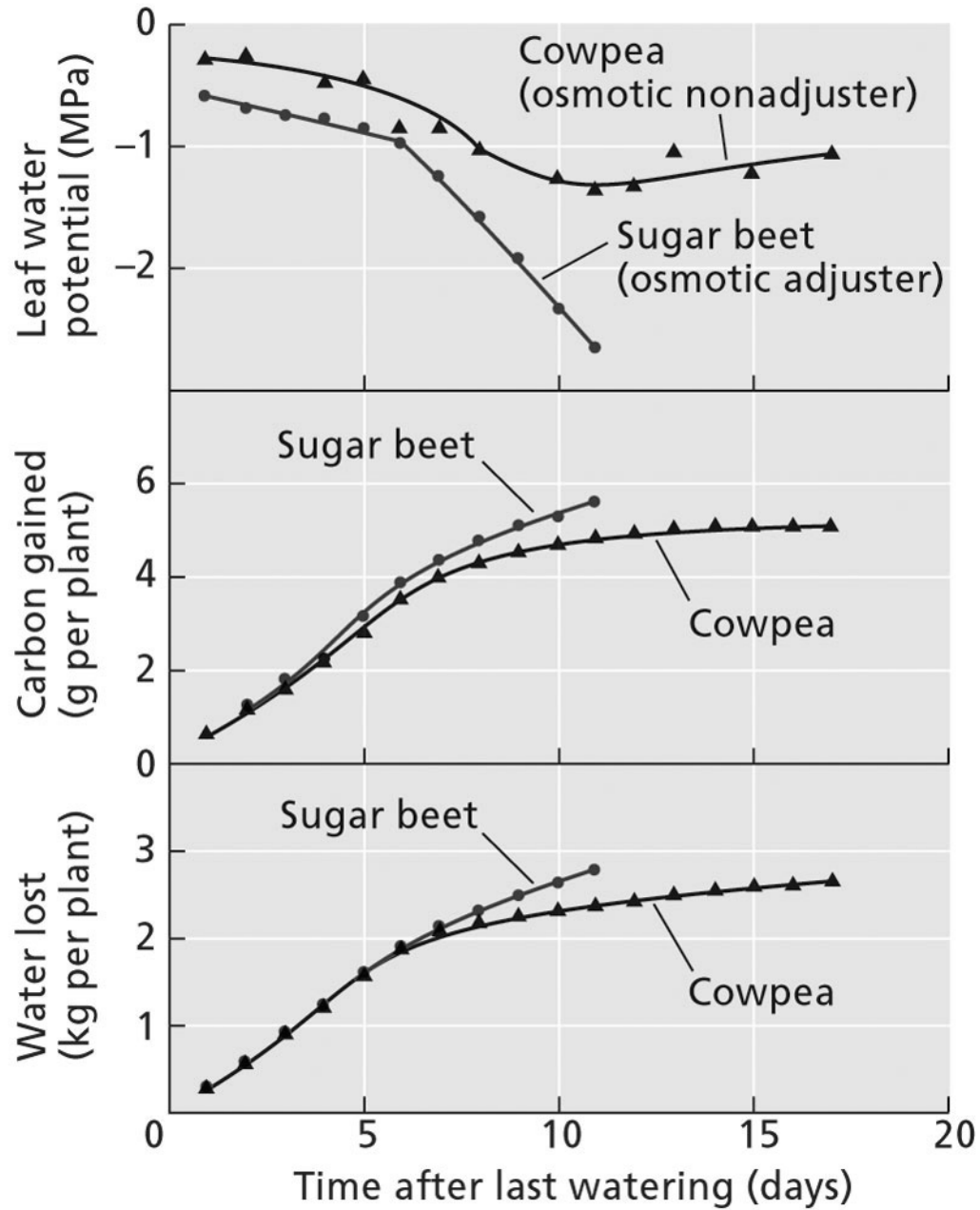
## 5. ADAPTACIÓN DE LAS PLANTAS A LA SEQUÍA AJUSTE OSMÓTICO



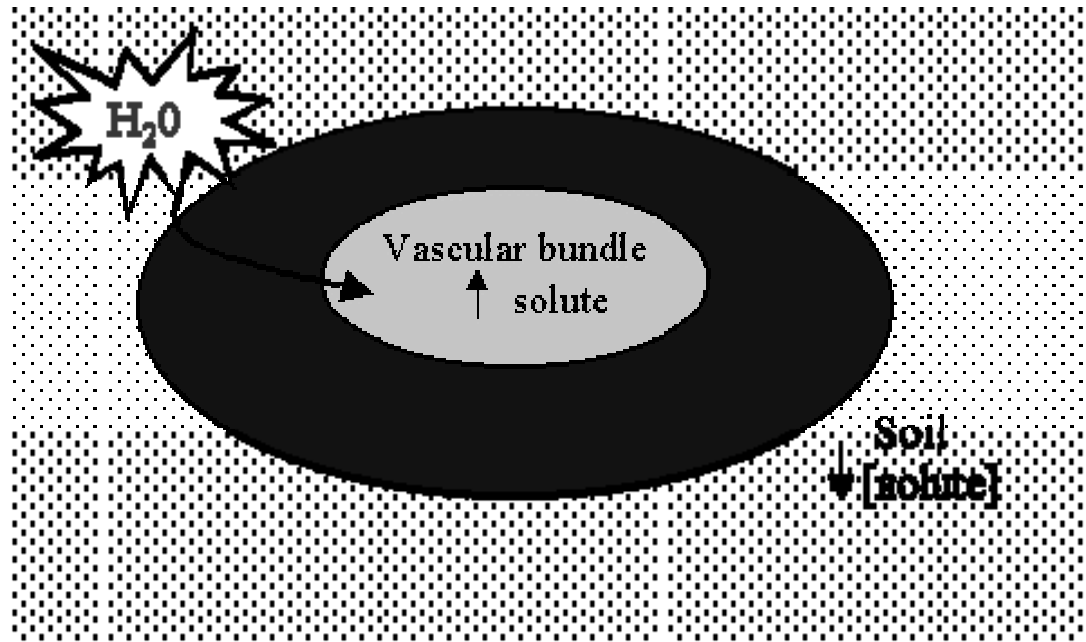


# Ajuste osmótico





PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 25.6 © 2002 Sinauer Associates, Inc.



**Ajuste osmótico en raíces es un mecanismo muy importante**

**El movimiento de agua del suelo a las raíces se debe en gran medida al potencial osmótico**

**La turgencia celular es importante para retrasar la contracción de las raíces y para mantener el contacto con el suelo**

# **SOLUTOS QUE CONTRIBUYEN AL AJUSTE OSMÓTICO**

**Azúcares (glucosa, trehalosa, sacarosa)**

**Azúcar-alcoholes (manitol, sorbitol, glycerol)**

**Poliaminas**

**Aminoácidos (prolina)**

**Betaínas (glicina-betaina)**

**etc.**

**Contribución a potencial osmótico (%) en olivo**  
**Dichio et al**

	<b>Hojas</b> <b>-3.29 MPa</b>	<b>Raíces</b> <b>-2.95 MPa</b>
<b>Cationes</b>	36	26
<b>Manitol</b>	17.3	18.3
<b>Glucosa</b>	9.1	9.8
<b>Otros azúcares</b>	3.0	4.1
<b>Aniones org.</b>	4.6	10.2
<b>Aniones inorg.</b>	4.0	9.2
<b>Otros solutos</b>	26	22.4



} 32%

**Ajuste activo es principalmente debido a manitol y glucosa.**

## 5. ADAPTACIÓN DE LAS PLANTAS A LA SEQUÍA

### AJUSTE ELÁSTICO

- La elasticidad de las paredes celulares depende de las interacciones químicas entre los distintos componentes de la pared celular.
- Una elevada elasticidad de las paredes celulares se corresponde con un módulo de elasticidad bajo ( $\epsilon$ , MPa)

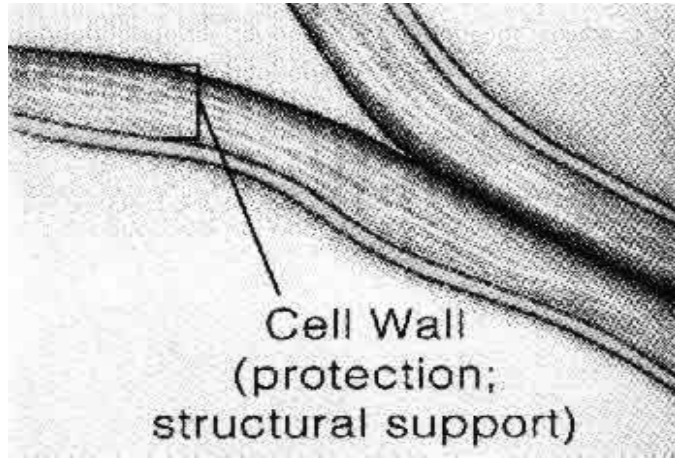
$$\epsilon(\text{MPa}) = (\Delta P / \Delta V) * V$$

$$\epsilon(\text{MPa}) = (\Delta P / \Delta \text{CRA}) * \text{CRA}$$

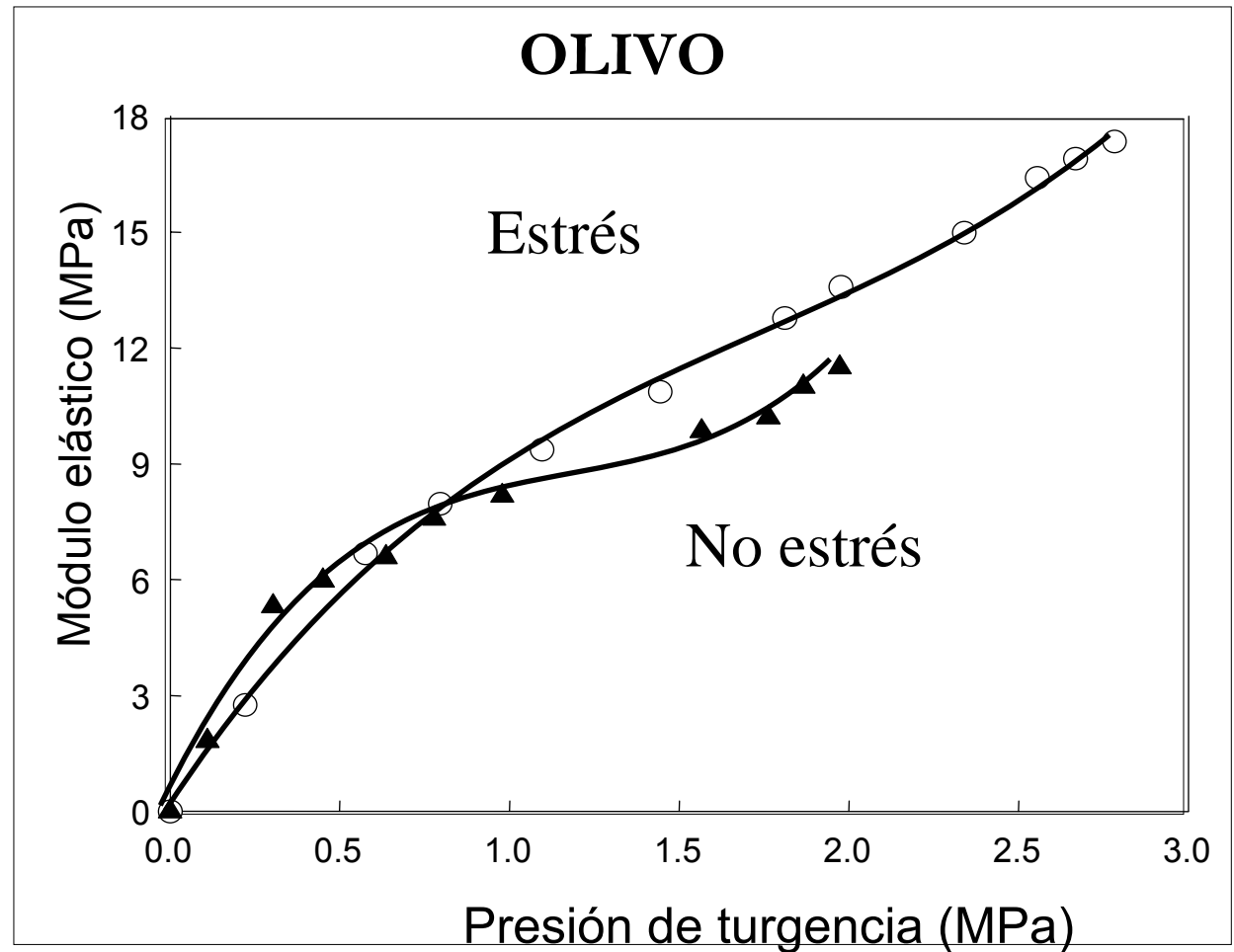
## 5. ADAPTACIÓN DE LAS PLANTAS A LA SEQUÍA

### AJUSTE ELÁSTICO

- ajuste elástico: el déficit hídrico induce cambios en las propiedades de las paredes celulares.
- Éstos se traducen en una disminución significativa de  $\epsilon$  (MPa) respecto al de idénticas plantas bajo condiciones de suministro hídrico adecuado.



$$\varepsilon = \frac{\Delta\Psi_P}{\Delta V/V}$$



**Es posible que el olivo active procesos metabólicos ante condiciones de déficit hídrico que produzcan sustancias que aumenten la rigidez de la pared celular**