

# Tema 4. Transporte de asimilados en la planta. El floema

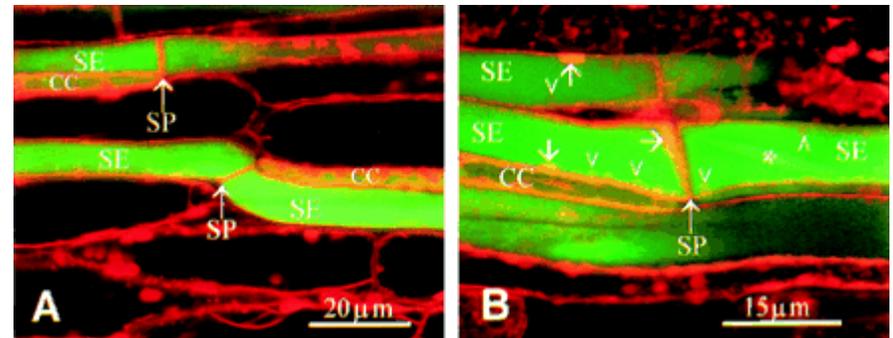
Estructura y característica del floema

Composición del fluido floemático

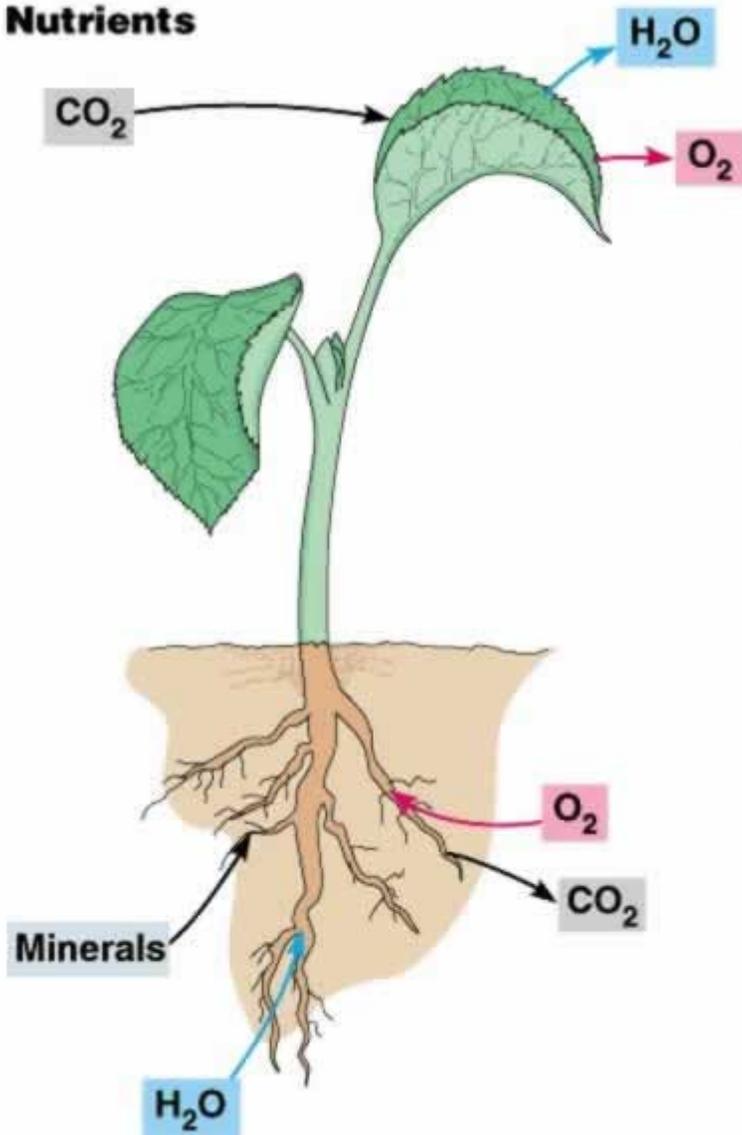
Vías y dirección de transporte

Carga y descarga de las sustancias transportadas en el floema

Mecanismos de transporte.  
Modelo de Munch



## Nutrients



## Plantas → organismos autótrofos

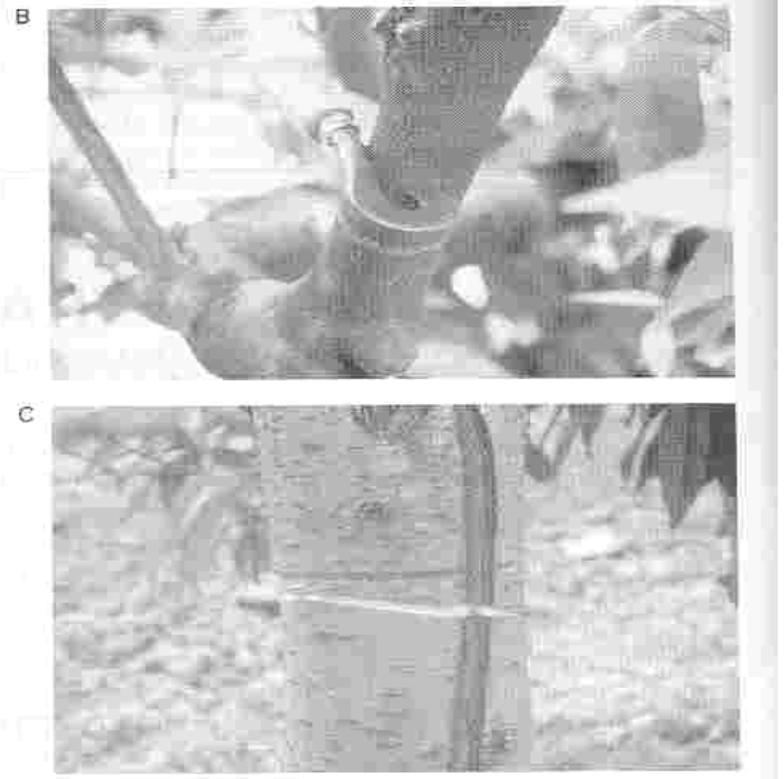
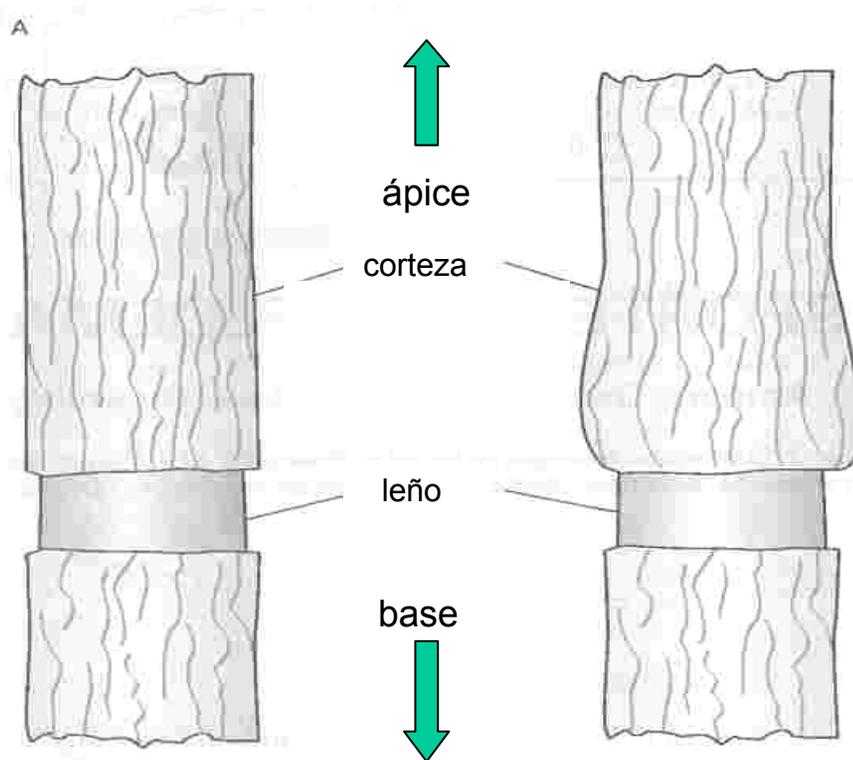
Síntesis de sustancias orgánicas → tejidos fotosintéticos de hojas

- Distribución de sustancias orgánicas a células no autotróficas
- Largas distancias (no difusión)
- Transporte sea eficaz → tubos cribosos del floema

Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Imagen tomada de Campbell & Reece (2005).  
Biology. Pearson. Benjamin Cummings

# Estudios sobre el transporte de fotoasimilados



## Experimentos de anillado de Malpighi (s. XVII)

Eliminación corteza

- No afecta xilema
- Interrumpe transporte de azúcares

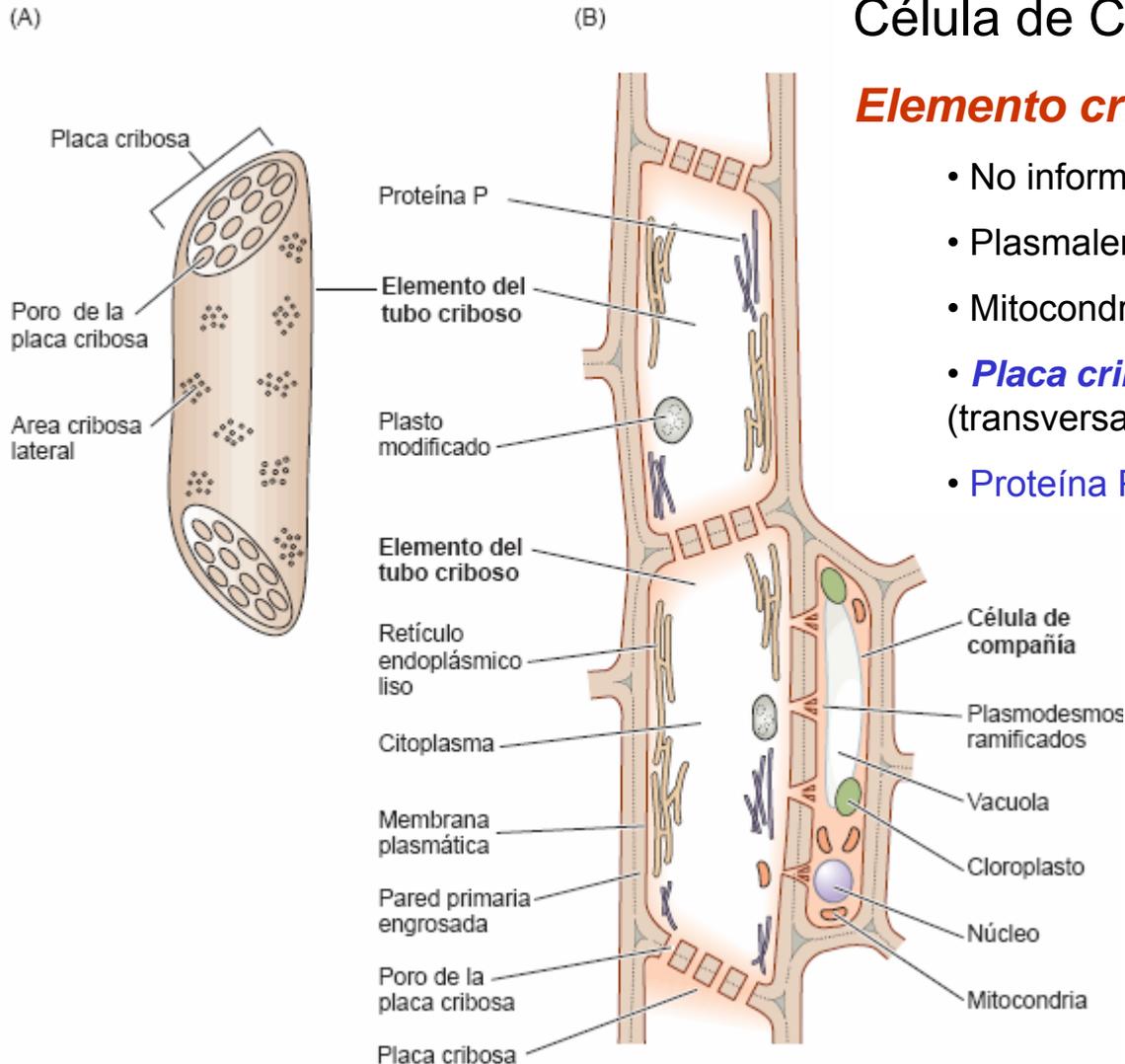
## Anillado. Práctica agrícola

Acumulación de asimilados región distal

- Cuajado
- Crecimiento de los frutos

# Estructura y características del floema

Unidad funcional: Elemento Criboso-  
Célula de Compañía



## **Elemento criboso (EC):**

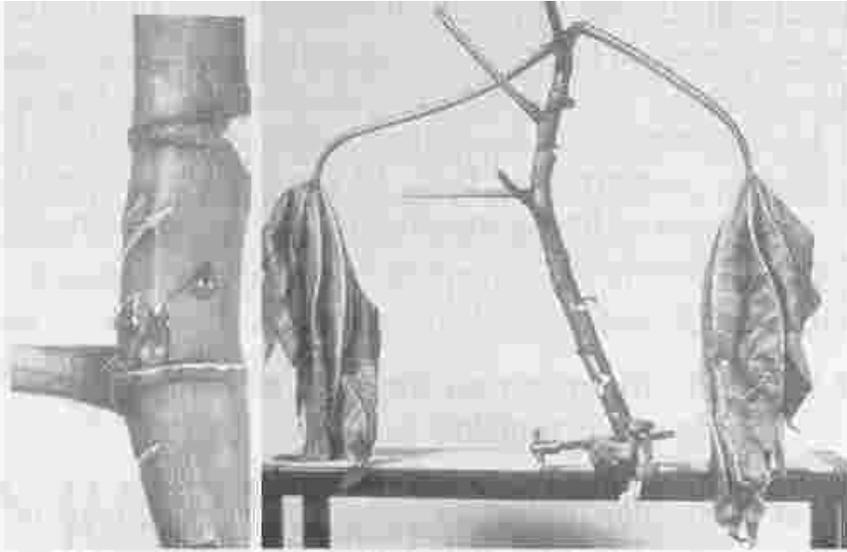
- No información genética, no ribosomas
- Plasmalema
- Mitocondrias, plastos modificados. REL
- **Placa cribosa:** perforaciones de la PC (transversales): unir ECs
- **Proteína P** (Angiosp) → sellar EC dañados

## **Célula de compañía (CC)**

- Todos los orgánulos
- Unidas al EC vía plasmodesmos: ensanchadas por el lado del EC y con varias ramificaciones por el lado de la CC

Tomado de: Taiz & Zeiger 2006. Fisiología Vegetal. Col lecció Ciències experimentals. Universitat Jaume I

# Composición del fluido floemático



**Figura 5-9.** Exudación de fluido de floema en el tallo de *Ricinus communis* provocada por una incisión en la corteza. Esta exudación se produce aun cuando el tallo presenta un déficit hídrico acusado (fotografía de la derecha), lo que prueba la capacidad de los elementos cribosos para mantener la turgencia en estas condiciones. Reproducido de Milburn, J. A., *Planta*, 117:303-319, 1974.

**Contenido tubos cribosos sometido a presión positiva  $\Rightarrow$  corte**

Cucurbitáceas, palmas, *Fraxinus* sp y *Ricinus* sp, exudación horas

Volumen del exudado:

- escaso (sellado tubos; EDTA evitar)
- contaminado

# Composición del fluido floemático

## **Metodología:** estilete de áfidos



## Características del fluido floemático:

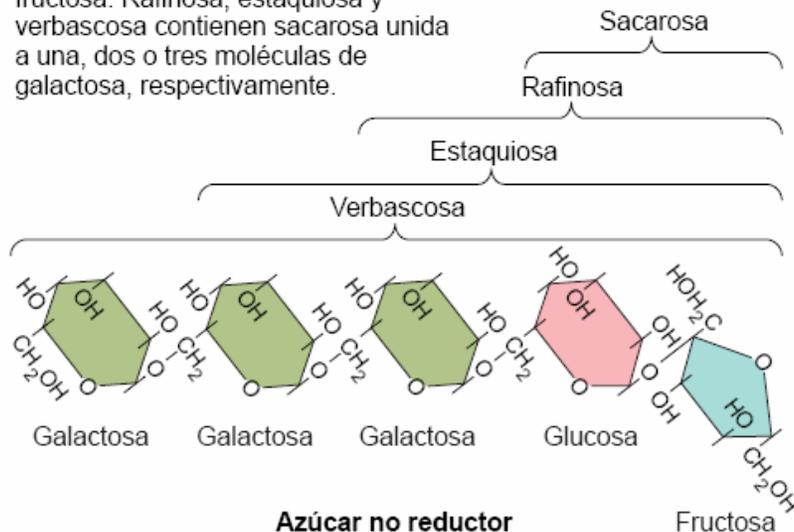
- $\text{pH} \cong 8$
- $\Psi_s = -1.0$  a  $-3.0$  MPa
- Materia seca (%) = 10-25 %
- Viscosidad = Alta

# Composición del fluido floemático

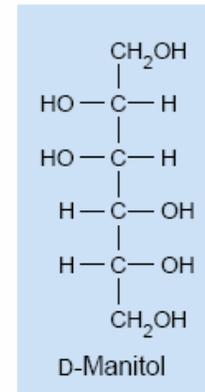
- **Agua**
- **Azúcares no reductores** (80-106 mg/L)
  - **Sacarosa**: azúcar más abundante y a veces el único
  - **Oligosacáridos de la serie de la rafinosa** (Cucurbitáceas)
  - **Alditoles** (Rosáceas-sorbitol; oleáceas-manitol)

## (B) Compuestos que suelen ser transportados en el floema

La sacarosa es un disacárido formado por una molécula de glucosa y una de fructosa. Rafinosa, estaquiosa y verbascosa contienen sacarosa unida a una, dos o tres moléculas de galactosa, respectivamente.



El manitol es un azúcar alcohólico formado por la reducción del grupo aldehído de la manosa.



Azúcar alcohólico

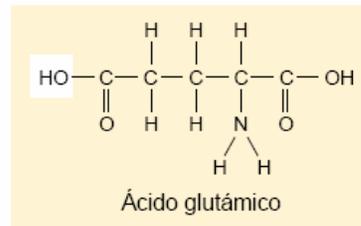
# Composición del fluido floemático. Continuación

## • **Aminoácidos** (5.2 mg/L)

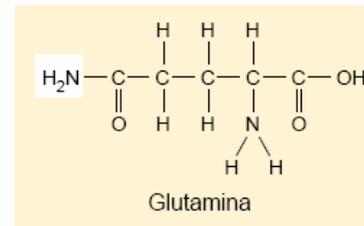
- **Nitrógeno (forma orgánica)**. Concentración varía desarrollo (0,2-0,5%).  
**Senescencia: 5%.**

- **Aminoácidos (amidas)** proteinógenos: Asp, Asn; Glu, Gln
- **Ureidos**: plantas relaciones simbióticas bacterias fijadoras de N<sub>2</sub>

El ácido glutámico, un aminoácido, y la glutamina, su amida, son compuestos nitrogenados importantes en el floema, además del aspartato y la asparragina.

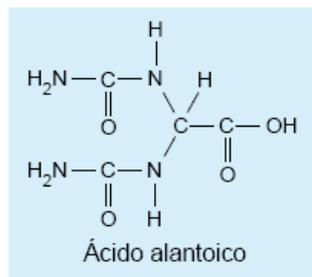


Aminoácido

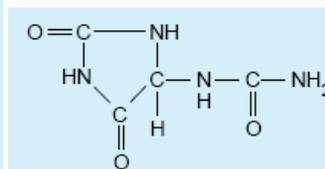


Amida

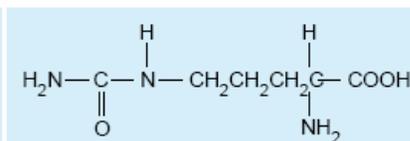
Las especies con nódulos fijadores de nitrógeno también utilizan los ureidos como formas de transporte de nitrógeno.



Ácido alantoico



Alantoína



Citrulina

Ureidos

Tomado de: Taiz & Zeiger 2006.  
Fisiología Vegetal. Col lecció  
Ciències experimentals.  
Universitat Jaume I

# Composición del fluido floemático. Continuación

## • Iones:

- **Cationes:**  $K^+$  (50-100 mM); (78-138 meq/L). **NO en floema:**  $Fe^{2+}$  y  $Ca^{2+}$
- **Aniones:** fosfato, cloruro (20-30 meq/L)

## • Ácidos orgánicos

- Málico (2.0-3.2 mg/L)

## • Proteínas (1.5-2.2 mg/L)

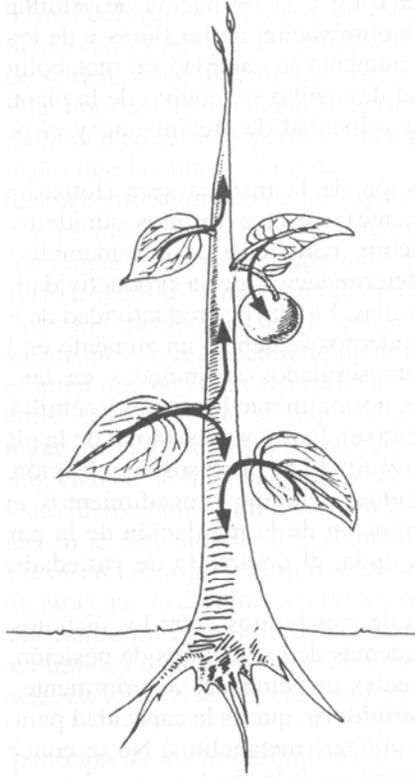
## • ARNm

## • Xenobióticos

- Herbicidas (glifosato)
- Fungicidas
- Reguladores de crecimiento
- Virus. Forma de propagación

Industria  
agroquímica

¿cómo se equilibra  
eléctricamente?



- **Velocidad** = 30-150 cm/h
- **Dirección de transporte:** fuentes → sumideros
  - **Fuentes:** órganos en los que los azúcares se incorporan al tubo criboso
    - Tejidos fotosintéticos
    - Órganos reserva
  - **Sumideros:** órganos importadores de carbohidratos
    - Tejidos no fotosintéticos
    - Competencia por fotosintatos
      - Despuntado
      - Aclareo

## Carácter fuente-sumidero varía durante la ontogenia

### Hojas

- **Raíces napiformes**

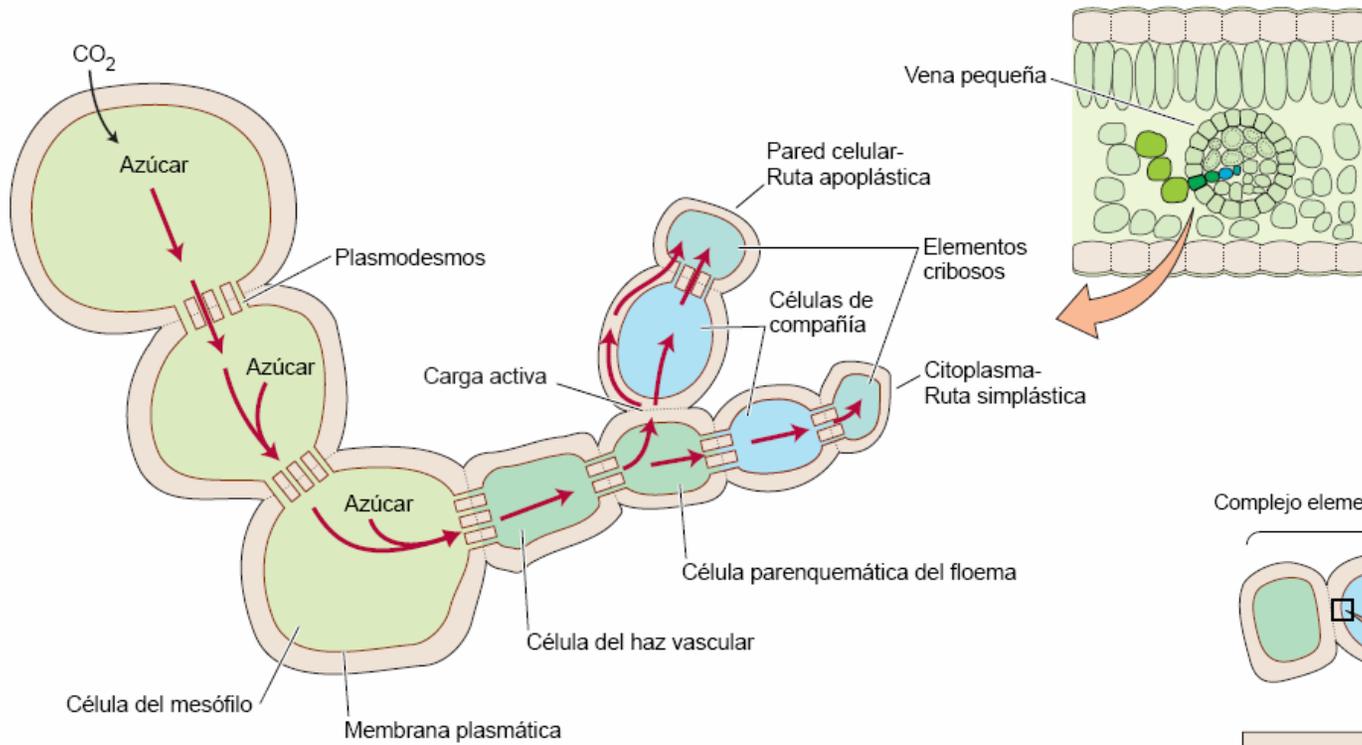
Imagen tomada de Azcón Bieto & Talón (2000).  
Fisiología Vegetal. McGraw-Hill Interamericana

Etapas iniciales. Todos los órganos son sumideros. Posteriormente puede haber un cambio en su conducta. Los frutos son sumideros irreversibles

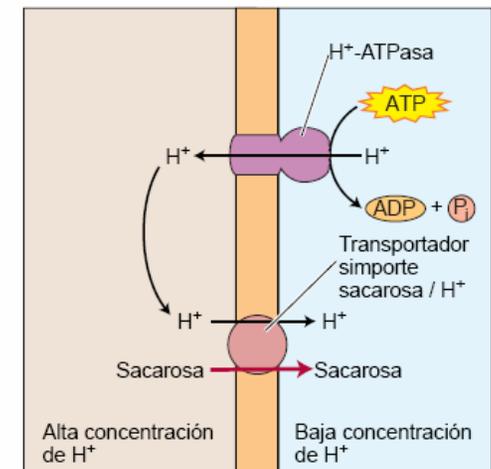
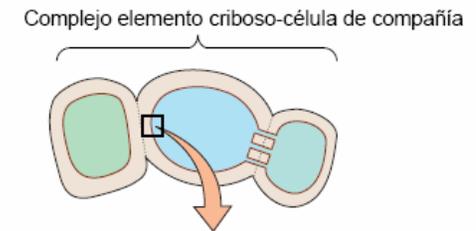
## **Mecanismo de transporte**

- 1.- Carga de floema. Células mesófilo a tubos. Corta distancia**
- 2.- Transporte a larga distancia. Lumen vasos del floema**
- 3.- Descarga floema. Fotosintatos pasan de los tubos a las células del sumidero**

# Carga del floema. Movimiento de fotosintatos del mesófilo hasta el floema



Tomado de: Taiz & Zeiger 2006. Fisiología Vegetal. Colección Ciències experimentals. Universitat Jaume I



## La carga puede ser

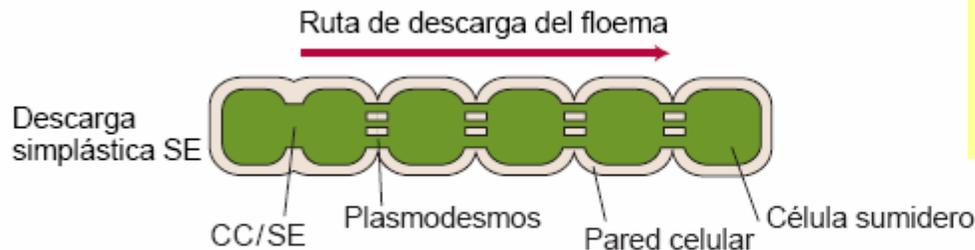
- **Simplástica.** Familias poco evolucionadas (Cucurbitáceas)
- Combinación simplasto-apoplasto: **carga apoplástica.** Familias originarias de zonas templadas (Fabáceas, Asteráceas, etc.)

## El tipo de carga depende:

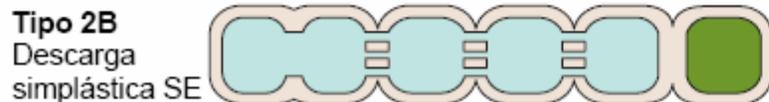
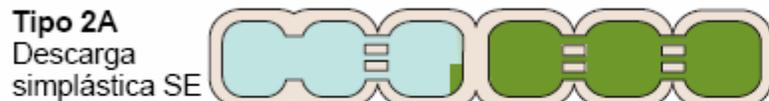
- estructura de las células de compañía
- aislamiento simplástico del complejo y
- naturaleza de los azúcares transportados

# Descarga del floema

## (A) Descarga simplástica del floema



## (B) Descarga apoplástica del floema



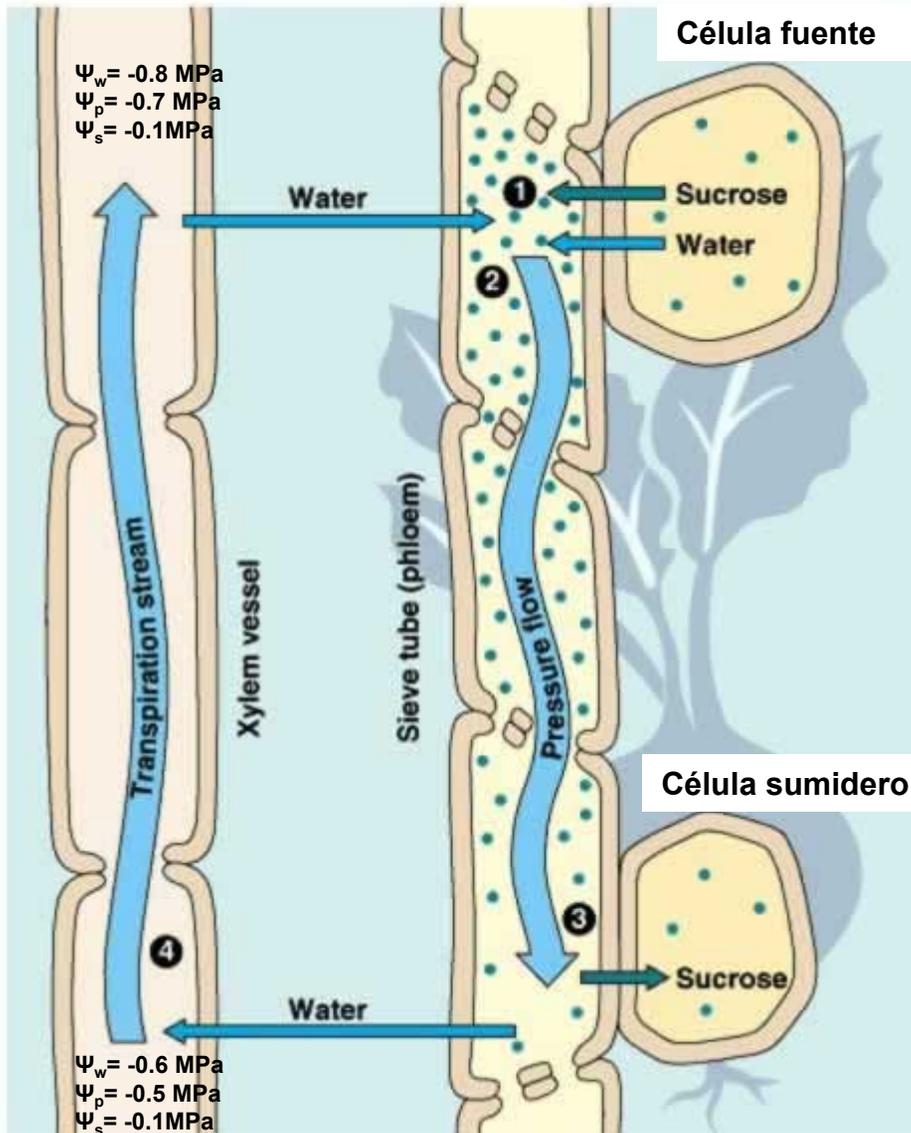
## Durante la descarga apoplástica:

- Sacarosa entra en los sumideros
  - Transportador de sacarosa
- Hidrólisis previa de sacarosa en apoplasto (invertasa)
  - Transportador de hexosas

**Tipo 1:** Esta ruta de descarga del floema se denomina apoplástica porque la primera etapa, el transporte desde el complejo elemento criboso-célula de compañía a las sucesivas células sumidero, se produce en el apoplasto. Una vez los azúcares son llevados de vuelta al simplasto de las células adyacentes, el transporte es simplástico. Esta ruta todavía no ha sido demostrada en ningún tipo de célula sumidero.

**Tipo 2:** Esta ruta también tiene una etapa apoplástica. No obstante, la salida del complejo elemento criboso-célula de compañía (es decir, la descarga del elemento criboso) es simplástica. La etapa apoplástica de la ruta es posterior. La figura superior (2A) muestra una etapa apoplástica cercana a un complejo elemento criboso-célula de compañía; en la figura inferior (2B), la etapa apoplástica posterior es eliminada.

# Mecanismo de transporte: modelo de Munch o flujo por diferencial de presión



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

## Fuente. Carga del floema.

entrada de fotosintatos (activa) al EC  $\rightarrow \Psi_w^{EC}$  baja

Entrada de  $\text{H}_2\text{O}$  al EC desde el xilema genere un potencial de presión (2).

$$\Psi_w = -1.1 \text{ MPa}$$

$$\Psi_p = +0.6 \text{ MPa}$$

$$\Psi_s = -1.7 \text{ MPa}$$

## Sumidero. Descarga del floema

En los sumideros: salida de fotosintatos  $\rightarrow \Psi_w^{EC}$  sube

Salida de  $\text{H}_2\text{O}$  del EC al xilema  $\rightarrow \Psi_p =$  baja

$$\Psi_w = -0.4 \text{ MPa}$$

$$\Psi_p = +0.3 \text{ MPa}$$

$$\Psi_s = -0.7 \text{ MPa}$$

La **diferencia de presión** así generada provoca el *movimiento de agua y los solutos* disueltos en ella desde las fuentes a los sumideros. El  $\text{H}_2\text{O}$  se incorpora en las fuentes y sale en los sumideros

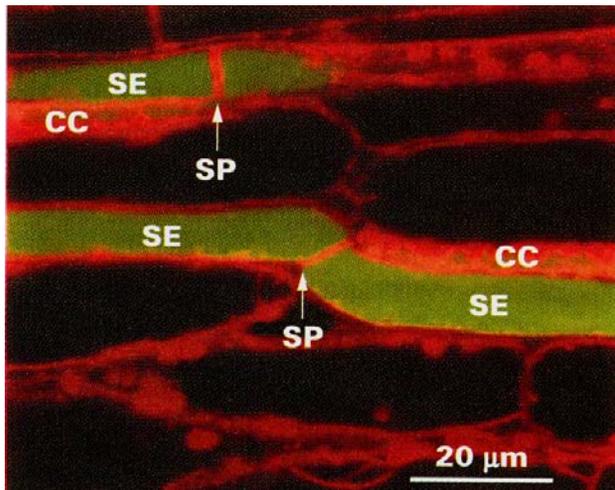
Imagen tomada de Campbell & Reece (2005). Biology. Pearson. Benjamin Cummings

## Según la teoría de Munch:

- **No** es posible el movimiento **bidireccional** en el lumen de un tubo criboso

**Experimentalmente:** Utilizando 2 compuestos marcados radiactivamente o con fluorocromos como los de la familia 5(6)carboxyfluorescein diacetate (CFDA). Estos compuestos tienen la peculiaridad de atravesar el plasmalema en forma de acetato; en la célula son hidrolizados por enzimas citosólicas dando lugar a la formación de carboxifluoresceínas, productos que no permean.

- Comprobado el transporte bidireccional en tubos cribosos adyacentes
- No transporte bidireccional en el mismo tubo



**Transporte de solutos en tubos cribosos funcionales.** Las hojas de *Vicia faba* permanecen unidas a la planta. Doble tinción, con RH-160 que tiñe las membranas ( $\lambda$  emisión, 705 nm) y CFDA, que fluoresce en el verde.

# Competencia entre los distintos sumideros

*Según el modelo de Munch.*

El sumidero que pueda provocar el mayor gradiente de presión recibirá mayor cantidad de flujo floemático y, con ello, mayor cantidad de fotoasimilados.

## La fuerza de un sumidero. Depende

- Tamaño
- Actividad
- Hormonas vegetales
- Nutrientes: K, fosfato, azúcares

**Control de la distribución de fotoasimilados**

Interacción Fuentes-Sumideros:

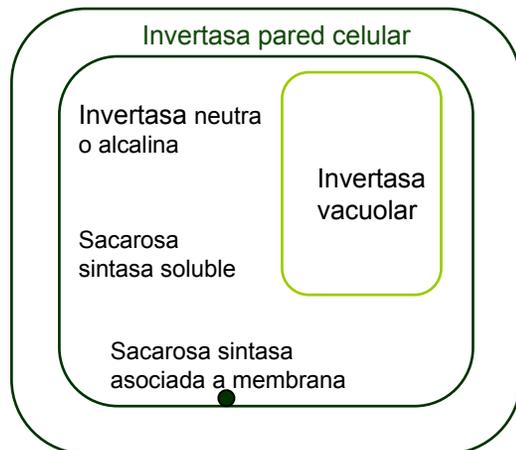
↑ Demanda ↑ tasa fotosintética

# Partición: importancia agronómica

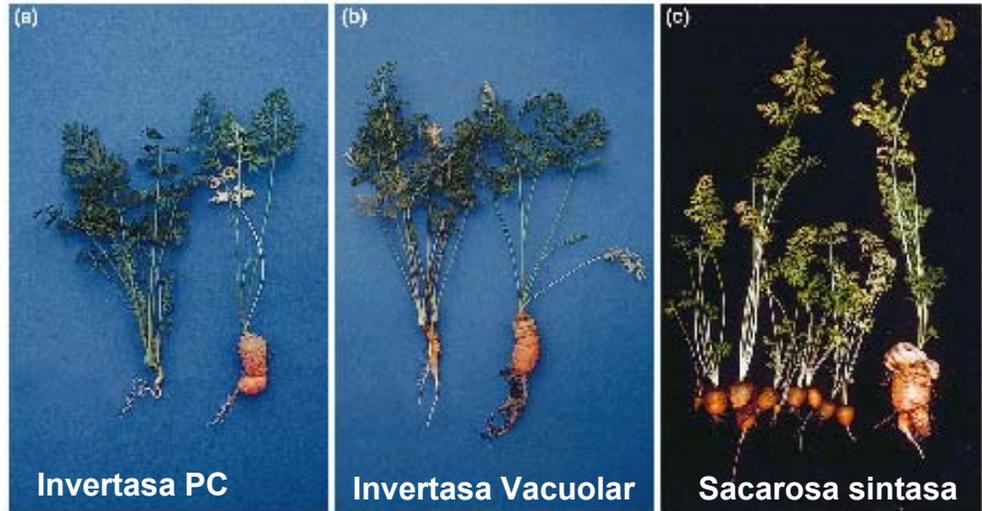
## Mejora del rendimiento

Biomasa se acumule en las zonas aprovechables de la planta

Analizando el papel de las enzimas implicadas en el metabolismo de la sacarosa



## Estrategia ARNm antisentido



## Invertasa (PC, vacuola, citosol)

- Sacarosa  $\rightarrow$  Glucosa + Fructosa

## Sacarosa sintasa (Soluble y ligada a membranas)

- Sacarosa + UDP  $\rightarrow$  UDP-glucosa + fructosa

Imagen tomada de: Trends Plant Sci 4 (1999):401