

# Fisiología Vegetal

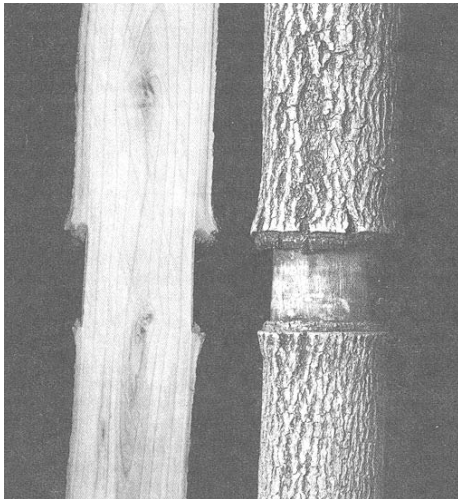
Clase - 6

## ¿Preguntas de la clase anterior?

<http://www.biouls.cl>

## Transporte por floema.

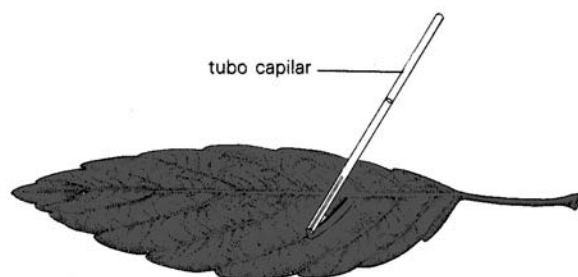
- Agua y sales minerales son transportados vía xilema
- Fotosintatos, otros metabolitos, algunas hormonas vía floema a toda la planta.
- Anatomía del floema (Angiospermas)
- Fuente - Sumidero (destino)
- Composición del floema
- Transporte por floema - La Carga del Sistema
- ¿Como ocurre el transporte a través de los tubos cribosos? Teorías



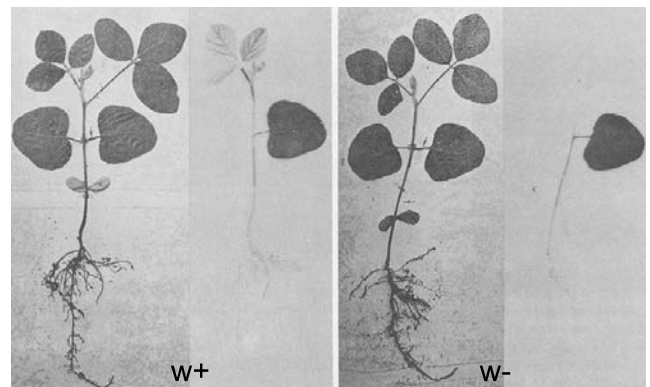
## ¿Como medir la translocación?

Transporte por floema

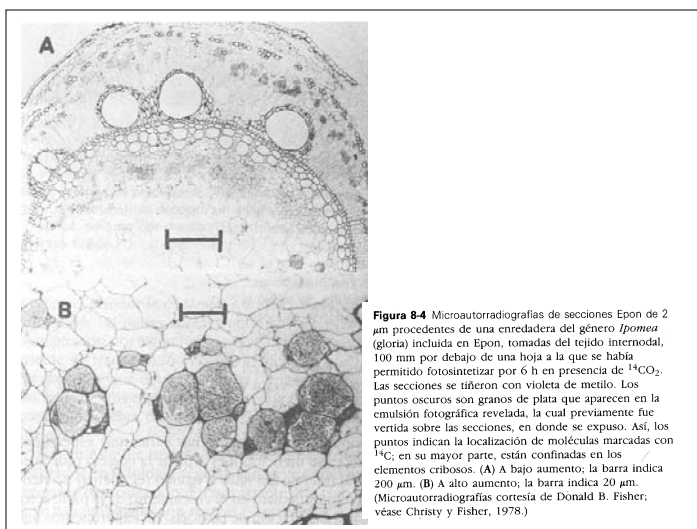
- Uso de marcadores: fluorescencia, virus, herbicida, elementos marcados
- Técnica del flap en reverso (invertido) - autorradiografía.
- Áfidos (entierran sus estiletes en un tubo criboso!).



**Figura 8-2** Técnica de flujo inverso para aplicar soluciones en las hojas. Nótese que este método hace improbable el que las soluciones sean empujadas hacia fuera de la hoja para liberar la tensión en el xilema, ya que no hay una conexión directa entre el segmento cortado y el xilema de la hoja. (Cortesía de John Hendrix.)



**Figure 7-3** Results of an experiment in which autoradiography is used. The purpose of the experiment was to observe the effect of wilting on translocation. The first true leaf on the right of each soybean plant was held for 1 hour in an illuminated chamber containing  $^{14}\text{CO}_2$ , which was converted by photosynthesis into radioactively labeled assimilates. After 6 hours, the plants were harvested, dried, pressed (left, in each pair), and placed in tight contact with X-ray film. After 2 weeks of exposure, the film was developed (right, in each pair). The dark areas show where the most  $^{14}\text{C}$  was located. In both cases, the leaf exposed to the  $^{14}\text{CO}_2$  has by far the most tracer, but more is moved from the turgid plant (left) than the wilted one (right). (Specimens and films courtesy Herman H. Wiebe; see Wiebe, 1962.)

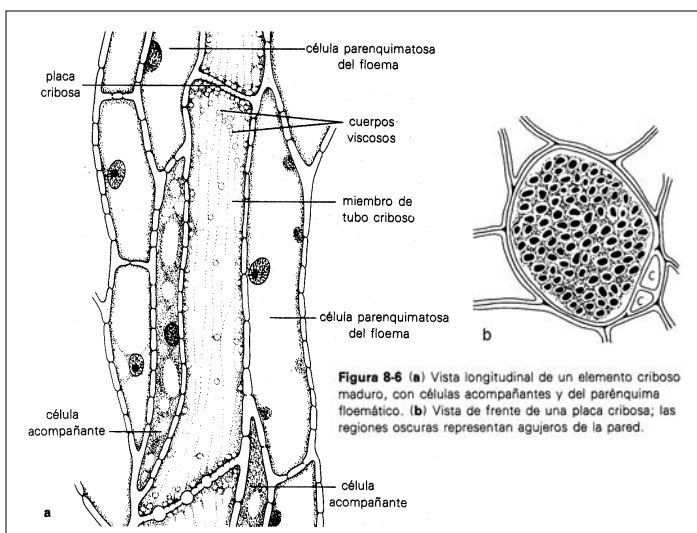


**Figura 8-4** Microautorradiografías de secciones Epon de 2 µm procedentes de una entredadera del género *Ipomea* (gloria) incluida en Epon, tomadas del tejido internodal, 100 mm por debajo de una hoja a la que se había permitido fotosintetizar por 5 h en presencia de <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>. Las secciones se tiñeron con violeta de metilo. Los puntos oscuros son granos de plata que aparecen en la emulsión fotográfica revelada, la cual previamente fue vertida sobre las secciones, en donde se expuso. Así, los puntos indican la localización de moléculas marcadas con <sup>14</sup>C; en su mayor parte, están confinadas en los elementos cribosos. (A) A bajo aumento; la barra indica 200 µm. (B) A alto aumento; la barra indica 20 µm. (Microautorradiografías cortesía de Donald B. Fisher; véase Christy y Fisher, 1978.)

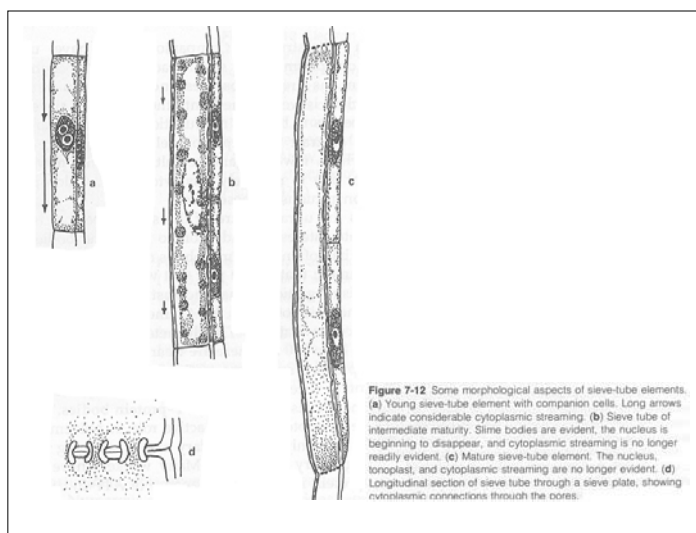
## Anatomía del floema

### Angiospermas

- elementos cribosos (células vivas pero sin núcleo, forman los tubos cribosos).
- células acompañantes.
- fibras.
- parénquima del floema.

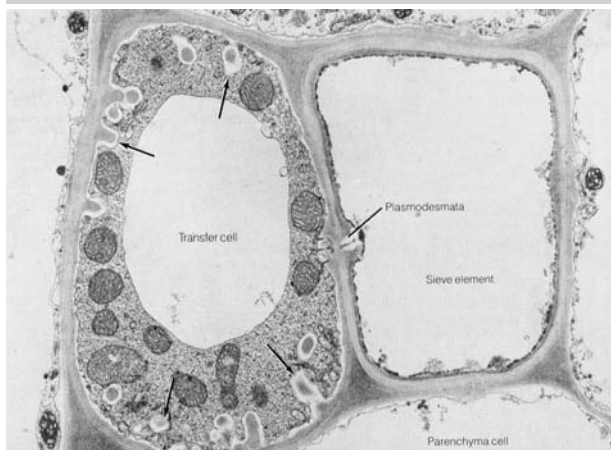


**Figura 8-6** (a) Vista longitudinal de un elemento criboso maduro, con células acompañantes y del parénquima floemático. (b) Vista de frente de una placa cribosa; las regiones oscuras representan agujeros de la pared.



**Figure 7-12** Some morphological aspects of sieve-tube elements. (a) Young sieve-tube element with companion cells. Long arrows indicate considerable cytoplasmic streaming. (b) Sieve tube of intermediate maturity. Slime bodies are evident, the nucleus is beginning to disappear, and cytoplasmic streaming is no longer readily evident. (c) Mature sieve-tube element. The nucleus, tonoplast, and cytoplasmic streaming are no longer evident. (d) Longitudinal section of sieve tube through a sieve plate, showing cytoplasmic connections through the cores.

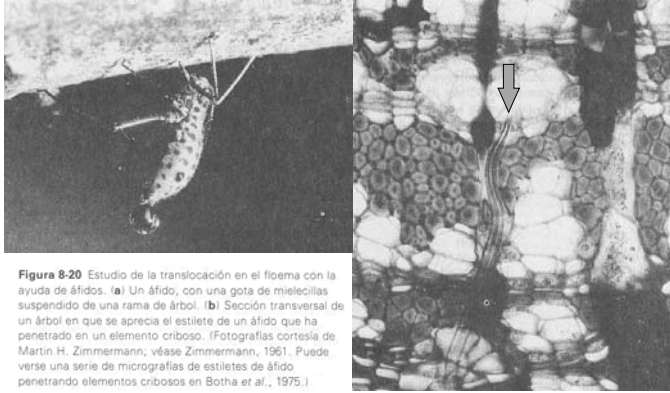
## Elemento criboso y célula acompañante



## Fuente y Sumidero (destino)

### Transporte por floema

- Fuentes: hojas fotosintéticas (raíz y tallos en primavera)
- Sumideros (destinos: raíz en verano, hojas jóvenes, frutos, flores).



**Figura 8-20** Estudio de la translocación en el floema con la ayuda de áfidos. (a) Un áfido, con una gota de mielecillas suspendido de una rama de árbol. (b) Sección transversal de un árbol en que se aprecia el estilete de un áfido que ha penetrado en un elemento criboso. (Fotografías cortesía de Martin H. Zimmermann, véase Zimmermann, 1961. Puede verse una serie de micrografías de estiletos de áfido penetrando elementos cribosos en Botha *et al.*, 1975.)

## Composición del floema

- carbohidratos 90%
  - ▶ azúcares no reducidos como sacarosa (Glu-Fru) y rafinosa (Sacarosa - D-galactosa)
  - ▶ azúcares alcohol como manitol y sorbitol
- amino-ácidos y aminas 0.03 a 0.4%; iones minerales y algunas hormonas.

**Tabla 8-1** Comparación de la composición de xilema y floema en el lupino (*Lupinus albus*)

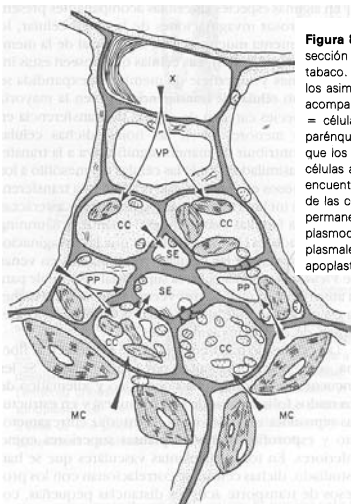
	Savia xilemática (traqueoidal) mg L <sup>-1</sup>	Savia floemática (rezumado de fruta) mg L <sup>-1</sup>
Sacarosa	ND <sup>a</sup>	154,000
Aminoácidos	700	13,000
Potasio	90	1,540
Sodio	60	120
Magnesio	27	85
Calcio	17	21
Hierro	1.8	9.8
Manganeso	0.6	1.4
Zinc	0.4	5.8
Cobre	Tr <sup>b</sup>	0.4
Nitrato	10	ND <sup>a</sup>
pH	6.3	7.9

<sup>a</sup> ND = No se presenta en cantidades detectables.  
<sup>b</sup> Tr = Se presenta en cantidades traza.  
 Fuente: Pate (1975).

## La carga del sistema

### Transporte por floema

- Roeckl (1949): potencial osmótico de las células del mesófilo= -1.3 a -1.8 MPa, de los elementos cribosos (hoja)= -2.0 a -3.0 MPa.
- Mesófilo --(apoplasto)--> célula acompañante --(simplasto)--> elemento criboso.



**Figura 8-7** Esquema de una micrografía electrónica de una sección transversal de una vena menor en una hoja de tabaco. Las flechas señalan las posibles vías de entrada de los asimilados al complejo elemento criboso-célula acompañante. X = xilema; VP = parénquima vascular; CC = célula acompañante; SE = elemento criboso; PP = parénquima del floema; MC = célula del mesófilo. Nótese que los elementos cribosos son mucho menores que las células acompañantes, situación inversa a la que se encuentra en tallos y raíces. Los solutos que se desplazan de las células del mesófilo a los elementos cribosos pueden permanecer en el citoplasma (simplasto), atravesar los plasmodesmos (no mostrados en la figura), o atravesar el plasmalema y penetrar las paredes celulares (ruta del apoplasto). (Tomado de Giaquinta, 1963.)

## Entrada de asimilados al floema

- al agregar ATP aumenta la translocación.
- selectividad (sacarosa >> azúcares reducidos)
- algunos a-a >> que otros
- minerales como N, P, K >> que Ca, Fe y B (estos últimos no son translocados).

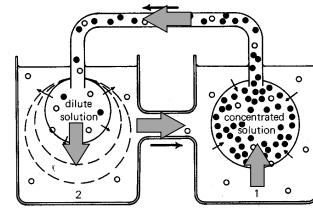
## ¿Como ocurre el transporte a través de los tubos cribosos?

### Teorías

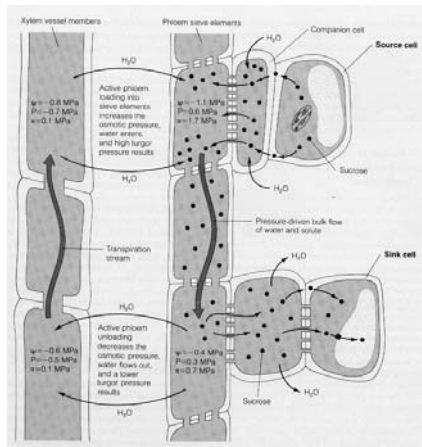
- Pasivo: la energía se utiliza para establecer el gradiente entre fuente y destino.
- Activo: se utiliza energía para transportar, además de la utilizada para mantener la estructura viable.

## Teoría de transporte pasivo por floema

Münch 1926

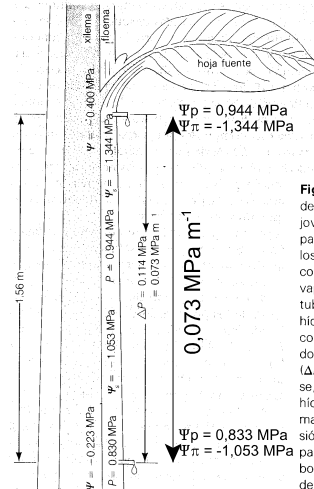


**Figure 7-6** A model illustrating the pressure flow theory of solute translocation as proposed by Münch. Note that concentration of black particles will control the rate and direction of flow, but white particles (which are much more dilute) will move along in the resulting stream. Dashed lines on the left imply that flow may occur due to expansion (growth) of the second osmometer (tissue), as well as movement out through the membrane. (From Salisbury, 1966.)



### Flujo por Presión (Münch)

Aplicado a una planta

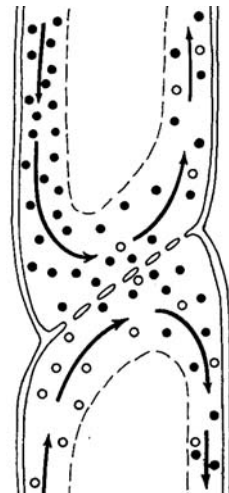


**Figura 8-23** Magnitudes osmóticas en los tubos cribosos de floema y xilema (apoplasto) de un sauce (*Salix viminalis*) joven. Los potenciales osmóticos ( $\Psi_{\pi}$ ) se determinaron a partir de savia del floema exudada por estiletes de áfidos; los potenciales hídricos ( $\Psi$ ) del apoplasto (en muestras de corteza) se determinaron con ayuda de un psicrómetro de vapor (véanse las Figs. 3-5 y 3-9); las presiones ( $P$ ) en los tubos cribosos se calcularon suponiendo que el potencial hídrico de la savia floemática se encontraba en equilibrio con el de los tejidos circundantes ( $P = \Psi - \Psi_{\pi}$ ), incluyendo xilema. Nótese que hay un gradiente positivo de presión ( $\Delta P$ ) en los tubos cribosos a partir del ápice y hacia la base, aun cuando existe un gradiente opuesto de potencial hídrico del apoplasto (provocado por la tensión en el xilema, además de las fuerzas máticas). El gradiente de presión de alrededor de  $0.07 \text{ MPa m}^{-1}$  es más que suficiente para inducir un flujo a presión de la savia por los tubos cribosos. (Los datos son promedios de varios experimentos de S. Rogers y A. J. Peel, 1975.)

## Teorías de transporte activo por floema

- ciclosis
- electro-osmosis (Fensom 1957, Spanner 1958)
- movimientos peristálticos.

**Figure 7-8** A schematic illustration of the cytoplasmic streaming hypothesis of solute translocation. Note that diffusion of white or black particles across the sieve plate will occur in response only to their own concentration gradients. Movement of the two materials might occur simultaneously in opposite directions. Rate of movement is accelerated by streaming. (From Salisbury, 1966.)

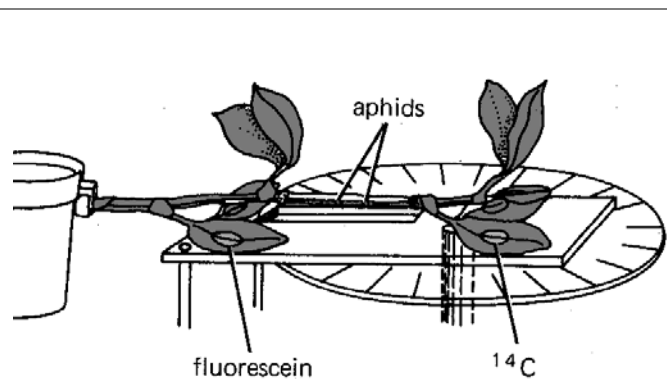




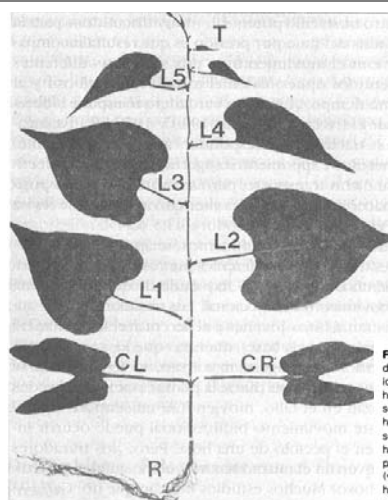
**Figure 7-9** A longitudinal section ( $18\ \mu\text{m}$  thick) of a sieve tube viewed in the Nomarski microscope and showing parallel strands of cytoplasm, one of which (-\*) is easily followed through the sieve pore. The bar represents  $10\ \mu\text{m}$ . (From Thaine and De Maria, 1973.)

## Problemas de cada teoría

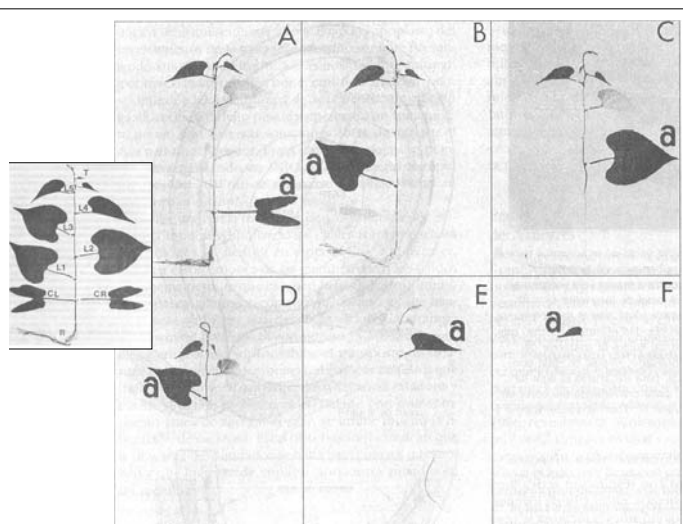
- existencia de bidireccionalidad en el flujo.
- existencia de la proteína-P
- requerimientos energéticos para el transporte.



**Figure 7-15** Experimental arrangement for the study of the simultaneous movement of fluorescein and  $^{14}\text{C}$ -assimilates in *Vicia faba* plants. (From Eschrich, 1967.)

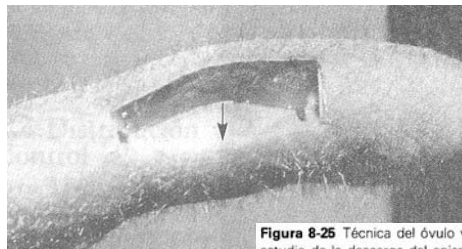


**Figura 8-24** Autorradiograma en que se muestra cómo diferentes hojas en una larga enredadera (Ipomoea) exporta los productos de asimilación a diferentes vertederos. La hoja o (cotiledón) marcada con una *a* en cada radiograma se dejó fotosintetizando en presencia de  $^{14}\text{C}$  durante 24 h antes de segarla. Después de esto, las plantas se seccionaron en varias partes (raíz, hojas cotiledonarias, hojas verdaderas, nudos, internudos y extremo superior) para impedir el movimiento de asimilados entre las partes (véase más arriba). Las partes se montaron, se seccionaron por hiperventilación y se pusieron en contacto con película por rayos X durante 24 días.

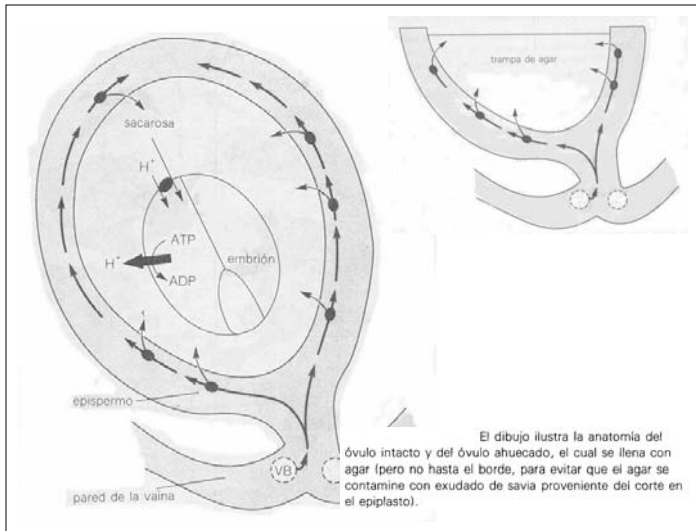


## La descarga del sistema

Técnica del óvulo vacío



**Figura 8-25** Técnica del óvulo vacío de leguminosa para el estudio de la descarga del epispermo. La fotografía muestra una vaina con un corte a manera de ventana en su pared, así como la mitad distal de la semilla en desarrollo, la cual fue eliminada junto con la parte restante del embrión. Se aprecia con claridad el hueco (flecha) que queda para el estudio.



## Transporte por Floema

### El Resumen

- Fotosintatos, otros metabolitos, algunas hormonas vía floema a toda la planta.
- Anatomía del floema
- Fuente - Sumidero (destino)
- Composición del floema
- Transporte por floema - La Carga del Sistema
- ¿Cómo ocurre el transporte a través de los tubos cribosos?
- Teoría de flujo por presión