



# Tema 4. Biología vegetal

## 4.2 Transporte en el floema de las plantas



Germán Tenorio

Biología NS-Diploma BI

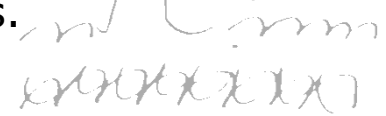
Curso 2014-2016

IMAGEN: lowres.cartoonstock.com



*"Maple syrup? Really? Gosh, all these years I thought this was a mandatory drug screening!"*

**Idea Fundamental:** La estructura y la función están correlacionadas en el floema de las plantas.





## Los tejidos conductores: Floema

- Junto con el xilema, el otro componente de los haces vasculares es el floema, que se encarga de transportar compuestos orgánicos (**savia elaborada**) desde las estructuras origen hasta la de destino.
- El transporte de los compuestos orgánicos en una planta se denomina **translocación**.
- El floema conecta partes de la planta donde se necesita el aporte de azúcares y otros solutos, con aquellas partes donde se producen.
- Dado que algunas veces un tejido origen se convierte en destino, es necesario que el **transporte en el floema sea bidireccional**.
- El fluido en el interior del floema se mueve debido a un **gradiente de presión**, haciendo falta energía para generarlo, por lo que el **movimiento de la savia elaborada en el floema es un proceso activo**.

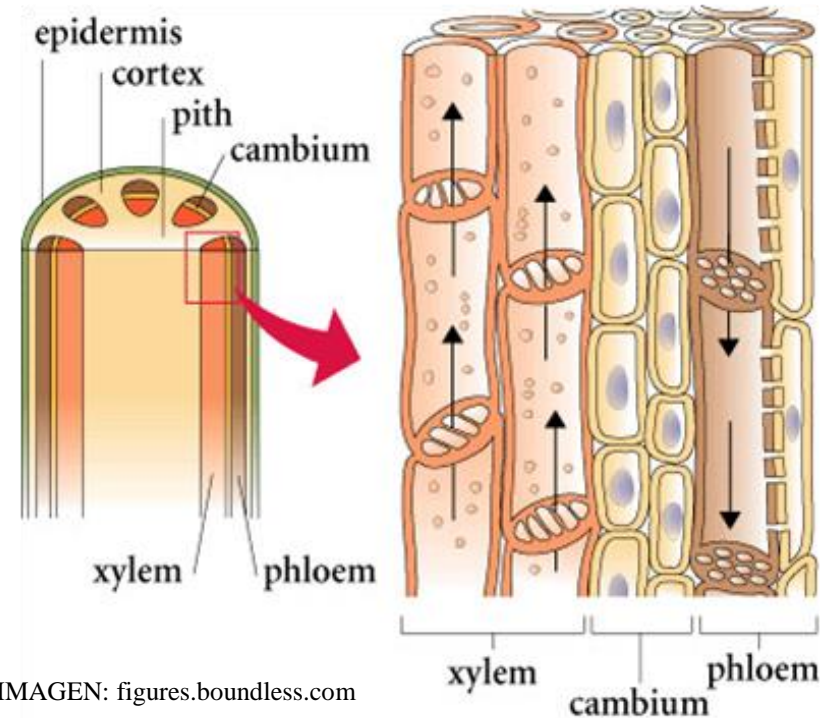


IMAGEN: figures.boundless.com

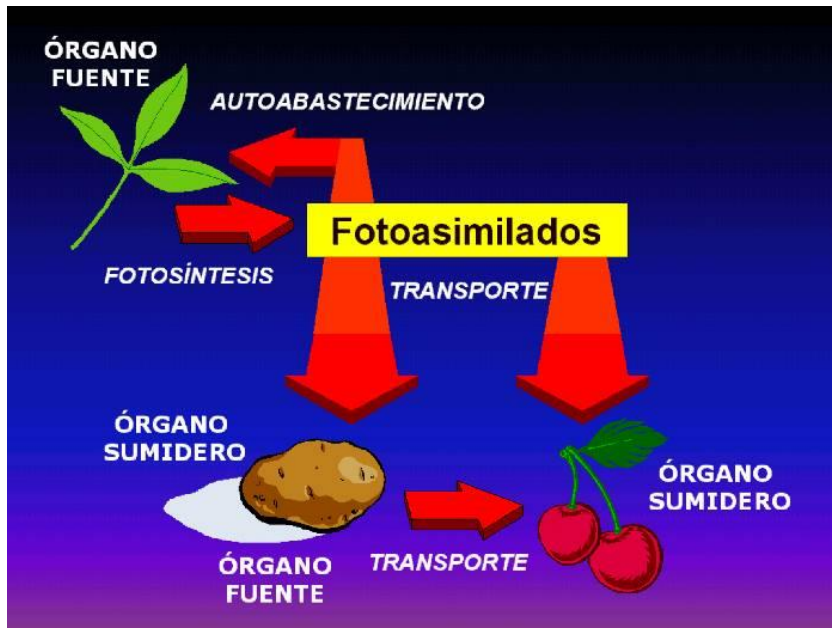
*Handwritten notes:*  
no...  
xxxxxxx



## Los tejidos conductores: Floema

- En la siguiente tabla se clasifican las partes de la planta en estructuras **origen** o **fuentes** (áreas donde se los azúcares y aminoácidos son cargados en el floema) y **destino** o **sumidero** (áreas donde son descargados y usados los azúcares y aminoácidos).

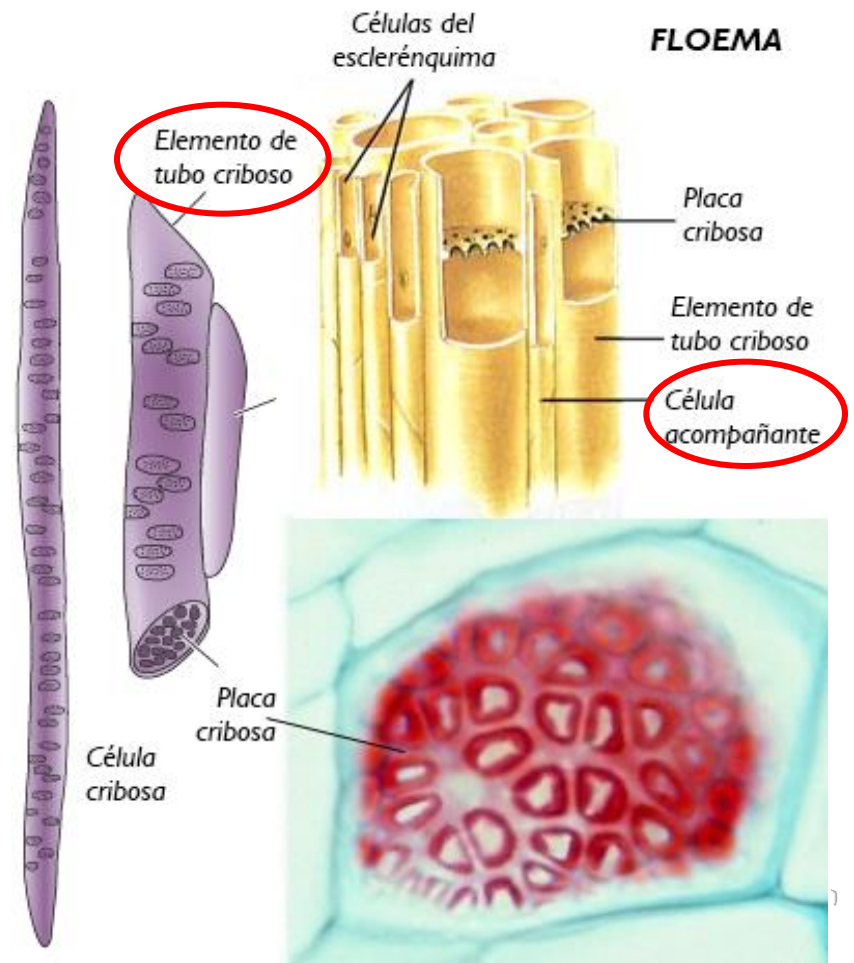
Origen
* Tejidos fotosintéticos: <ul style="list-style-type: none"><li>- Hojas verdes maduras</li><li>- Tallos verdes</li></ul>
* Órganos de reserva que están descargando sus reservas: <ul style="list-style-type: none"><li>- Tejidos de reserva de semillas en germinación</li><li>- Tubérculos al comienzo de la estación de crecimiento</li></ul>
Destino
* Raíces que están creciendo o absorbiendo iones minerales usando la energía de la respiración celular.
* Partes de la planta que están creciendo o desarrollando reservas de alimento: <ul style="list-style-type: none"><li>- Frutos en desarrollo</li><li>- Semillas en desarrollo</li><li>- Hojas en crecimiento</li><li>- Tubérculos en desarrollo</li></ul>





## APLICACIÓN: Relaciones entre estructura y función de los tubos cribados del floema

- Las **funciones del floema** incluyen la carga de carbohidratos desde las estructuras origen, su transporte a largas distancias, y su descarga en las estructuras destino.
- AL igual que ocurre en el xilema, la estructura de los vasos conductores de xfloema está perfectamente adaptada a la función que realizan.
- Los **vasos de floema** poseen 2 tipos de células: los elementos del tubo criboso y las células acompañantes. A diferencia de lo que ocurre con los elementos del xilema, ambos tipos están formados por **células vivas con paredes no lignificadas**







# APLICACIÓN: Relaciones entre estructura y función de los tubos cribados del floema

- Los **elementos del tubo criboso (tubos cribados)** están formados de alargadas células vivas sin núcleo, citoplasma reducido y delgadas paredes no lignificadas. Las paredes de los extremos suelen ser horizontales y con muchos poros grandes, constituyendo lo que se denomina **placa cribosa**.

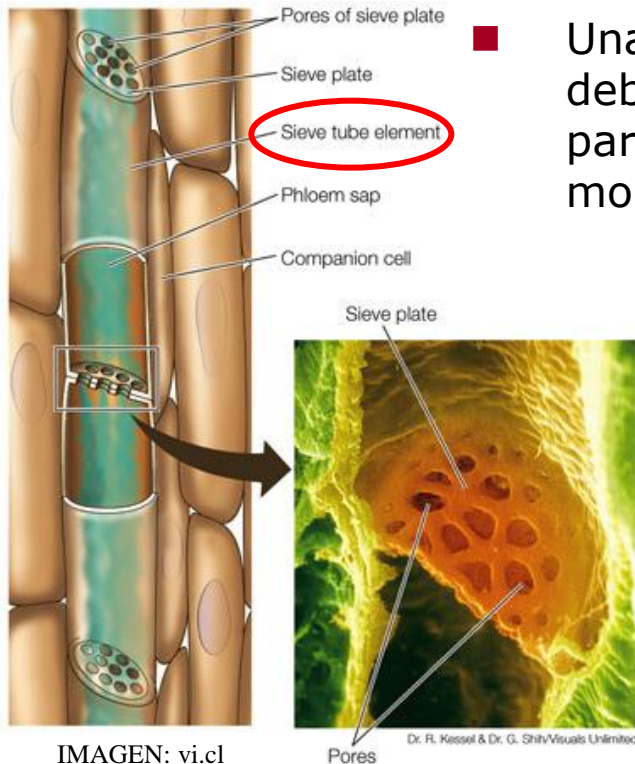
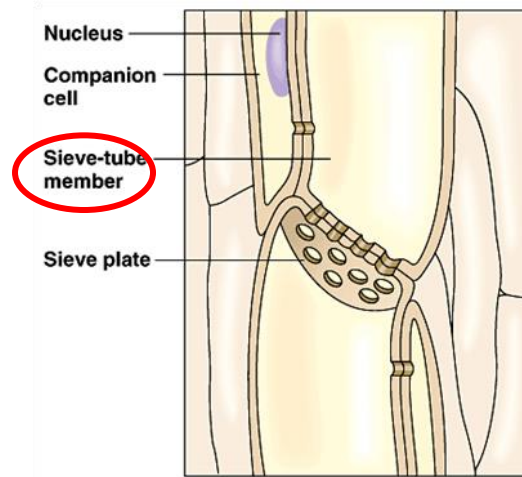
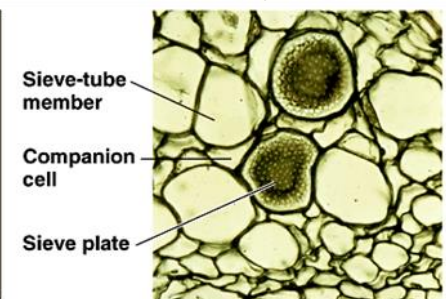


IMAGEN: vi.cl

- Una razón por la que las células de estos elementos deben estar vivas es que dependen de su membrana para mantener la concentración de sacarosa y moléculas orgánicas mediante transporte activo.



(a) Longitudinal view



(b) Transverse section (LM)



# APLICACIÓN: Relaciones entre estructura y función de los tubos cribados del floema

- Junto a cada elemento del tubo criboso aparece una **célula acompañante** que está fisiológicamente relacionada, participando en la carga y descarga del material orgánico en el elemento del tubo criboso.

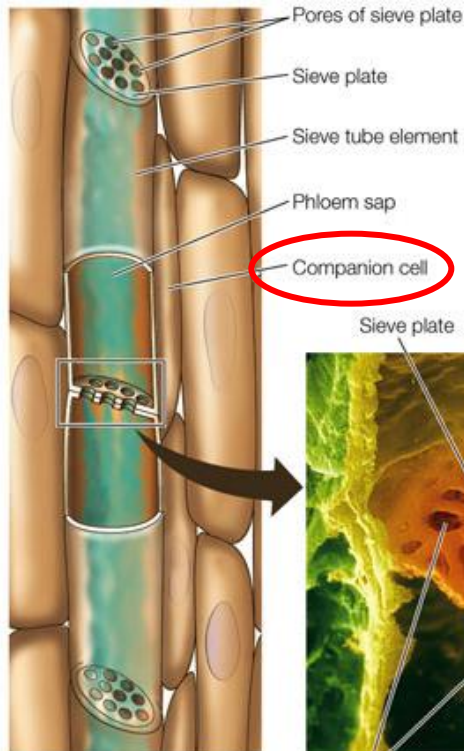


IMAGEN: vi.cl

- Las **células acompañantes** realizan muchas de las funciones metabólicas y genéticas de las células del tubo criboso.

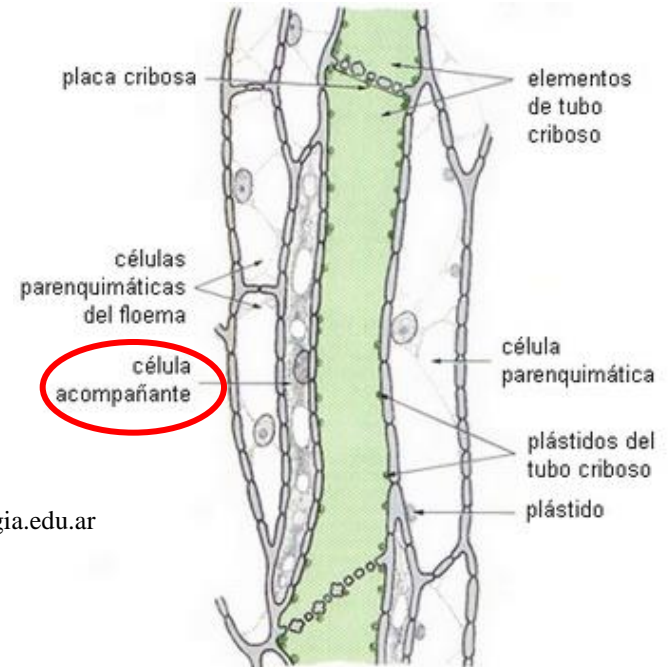


IMAGEN: biologia.edu.ar

Pores

Dr. R. Kessel & Dr. G. Shih/Visuals Unlimited.



# APLICACIÓN: Relaciones entre estructura y función de los tubos cribados del floema

## ■ Las células acompañantes:

- contienen **numerosas mitocondrias** y **proteínas transportadoras en su membrana** para el transporte activo de sacarosa.
- su **membrana plasmática se pliega hacia el interior** incrementando la capacidad de carga del floema mediante la ruta apoplástica.
- Los **plasmodesmos** son poros u orificios que conectan el citoplasma de las estas células con la de los elementos del tubo criboso.

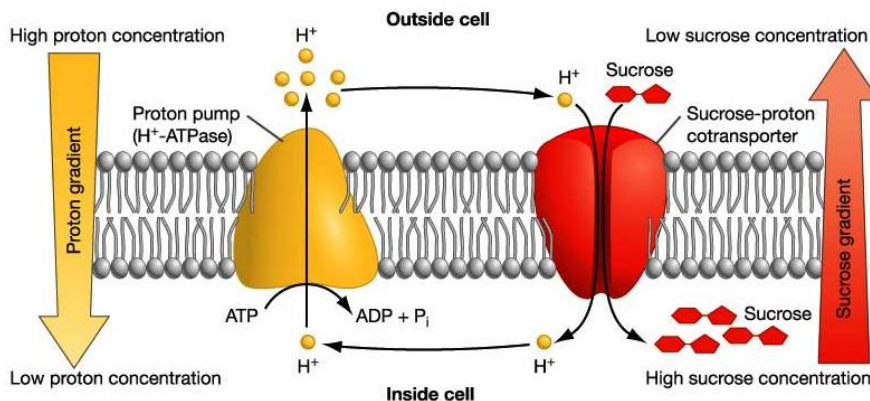
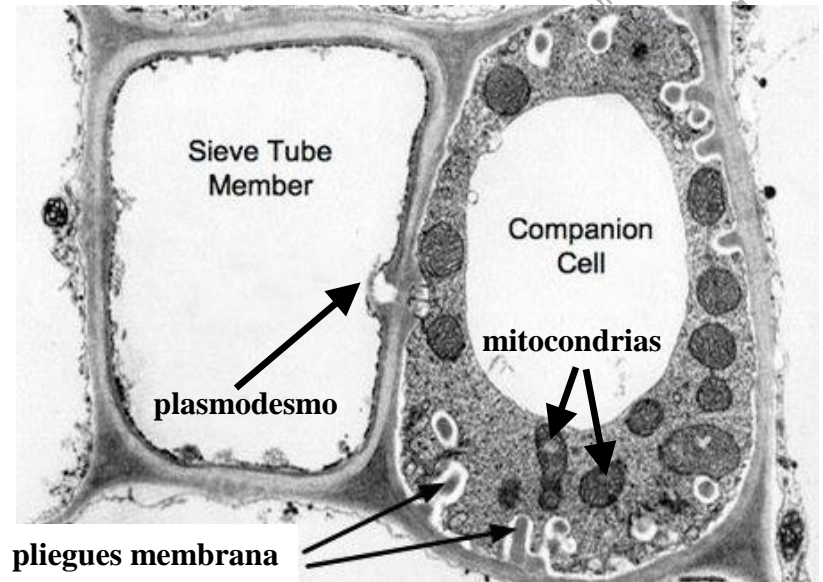


IMAGEN: uic.edu

IMAGEN: plantcellbiology.masters.gkrta.org



pliegues membrana





## APLICACIÓN: Relaciones entre estructura y función de los tubos cribados del floema

- Las células individuales que forman el elemento del tubo criboso están separadas por paredes horizontales perforadas denominadas **placas cribosas**, que son los remanentes de las paredes que separaban a ambas células.
- Estas perforaciones en las paredes junto con el reducido citoplasma hacen que la resistencia al flujo de la savia bruta sea menor.

IMAGEN: uic.edu/

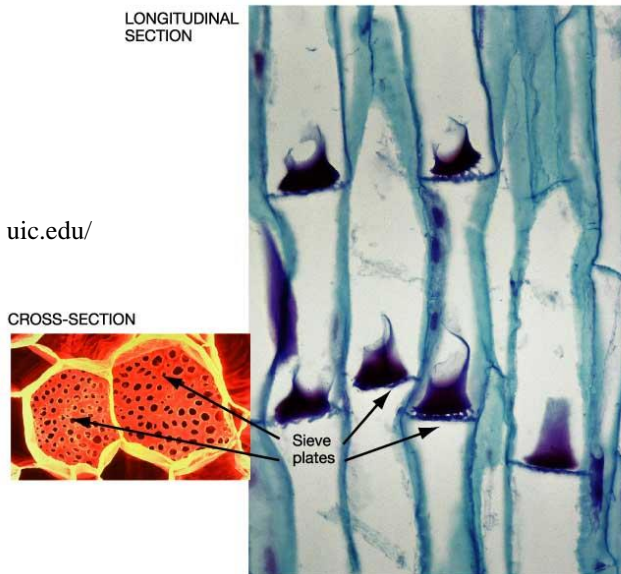
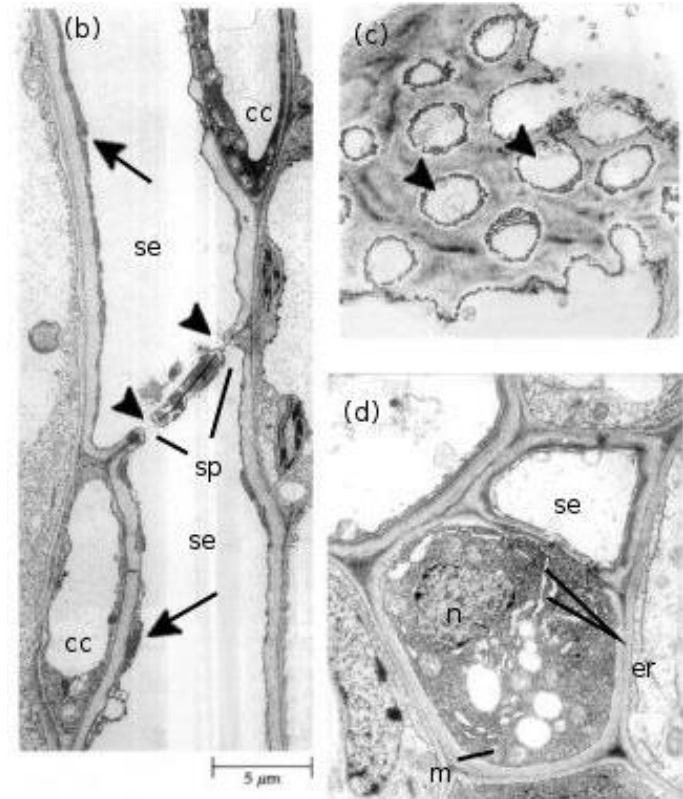


IMAGEN: plantsinaction.science.uq.edu.au

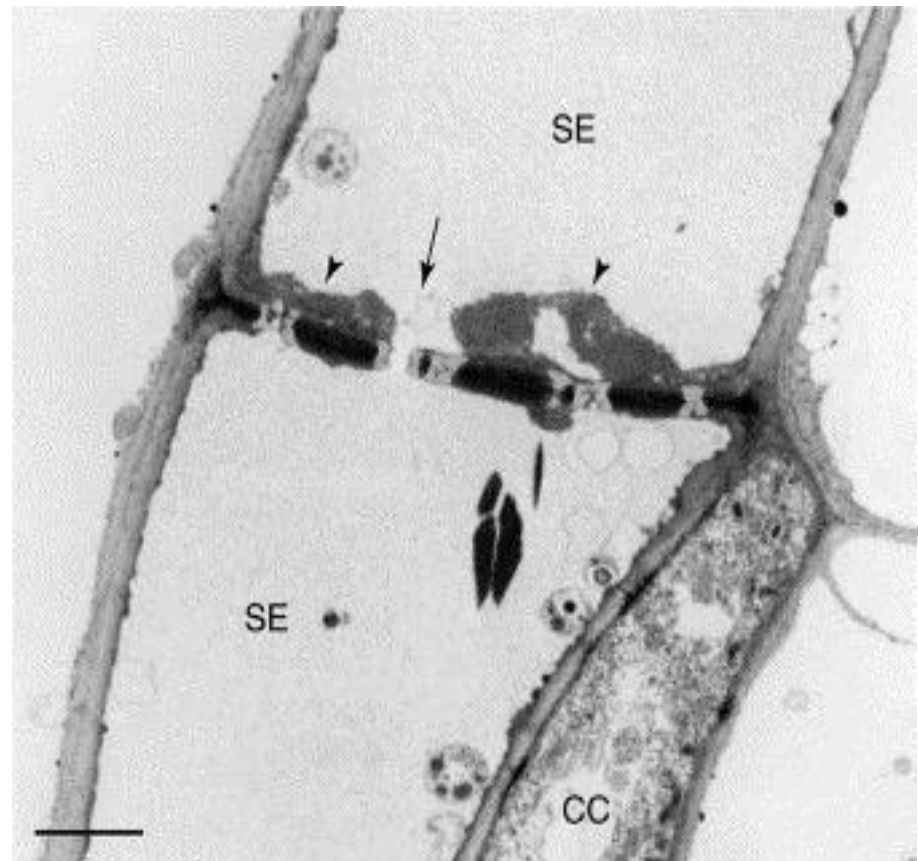






## APLICACIÓN: Relaciones entre estructura y función de los tubos cribados del floema

- Identifica:
  - Células del tubo criboso
  - Placa cribosa
  - Poros de la placa cribosa
  - Célula acompañante
  - Citoplasma célula cribosa
  - Mitocondrias en las células acompañante





## HABILIDAD: Identificación de xilema y floema en secciones de tallo y raíz en imágenes al microscopio

- Al igual que ocurre en el tallo, en una sección de raíz joven, se distinguen hacia el interior, la **epidermis y corteza**. Sin embargo, a diferencia del tallo, en la raíz la **endodermis** separa los haces vasculares del parénquima, estando formada de una única capa de células cuyas paredes tienen **suberina**, que las impermeabilizan, formando la **banda de Caspary**.

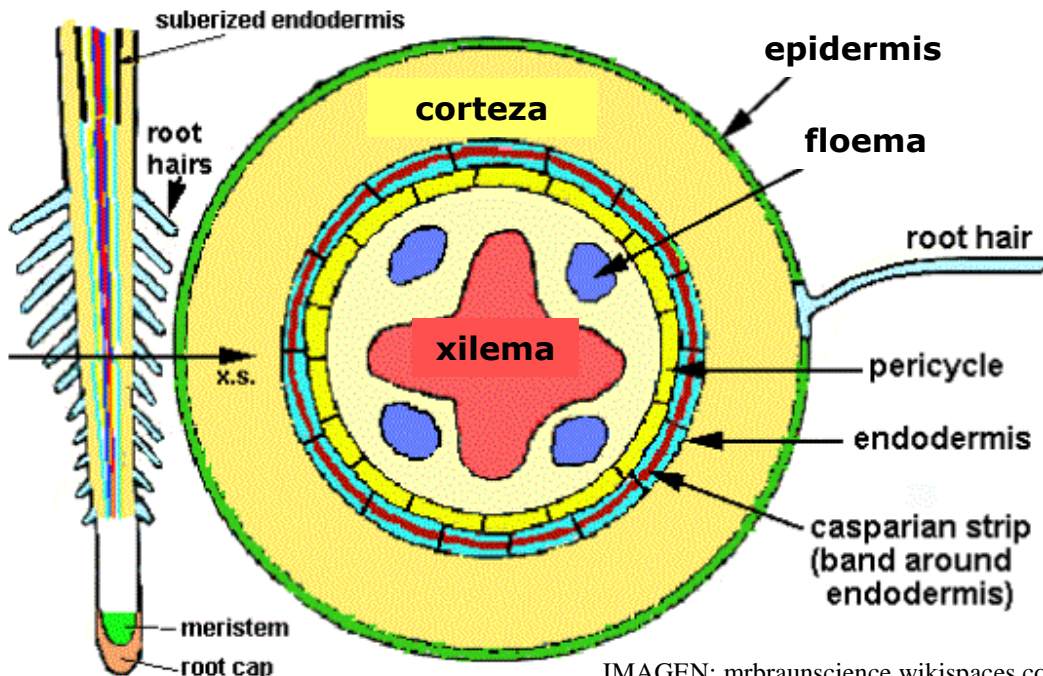


IMAGEN: mrbraunscience.wikispaces.com

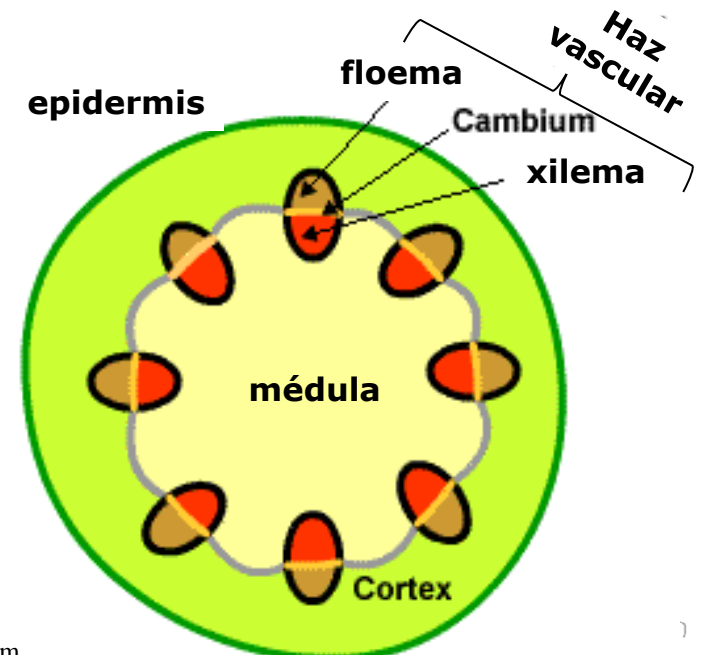


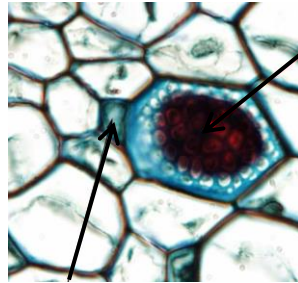
IMAGEN: clipartbest.com



## HABILIDAD: Identificación xilema y floema al microscopio

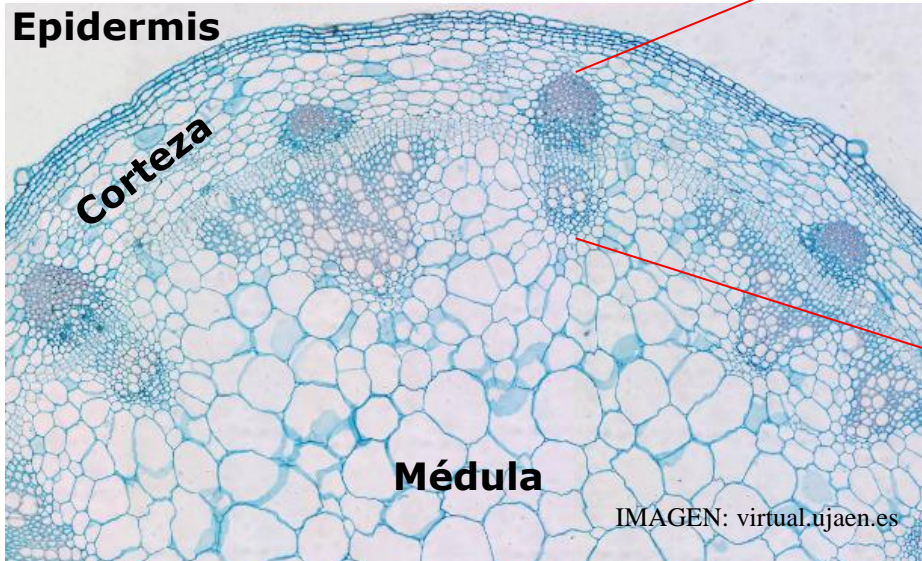
- Los vasos del **xilema** son generalmente mayores que los de floema, estando siempre los vasos de floema localizados hacia en exterior tanto en el tallo como en la raíz.

### SECCIÓN TALLO PRIMARIO



Placa  
cribosa

Célula acompañante

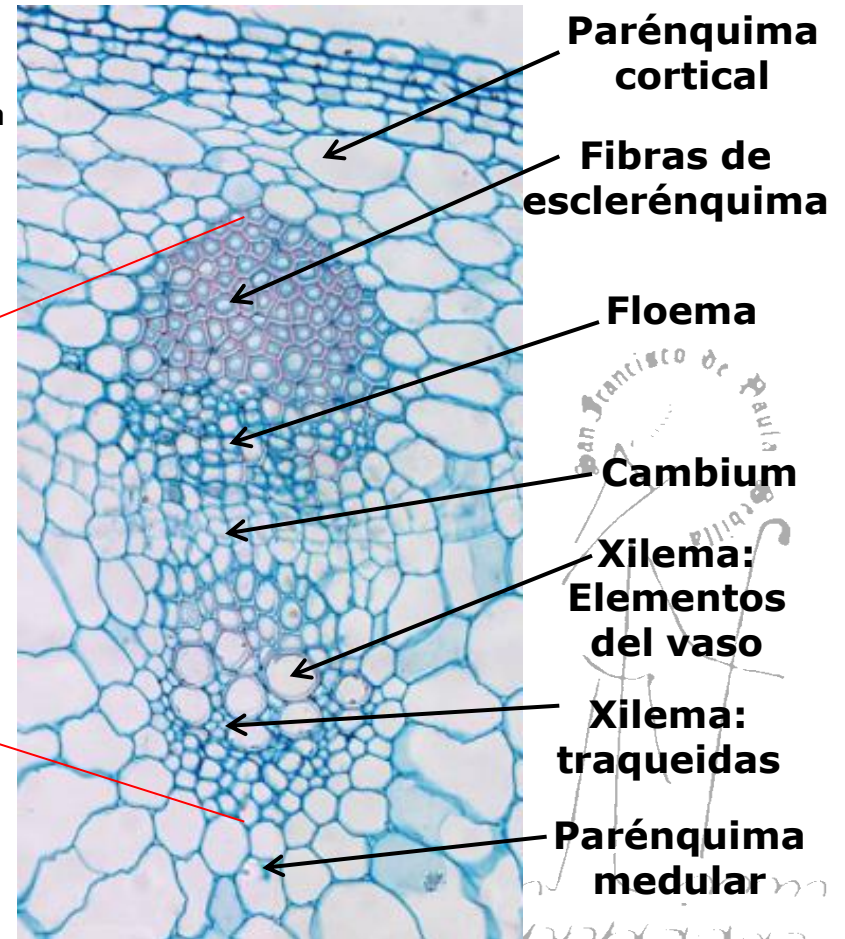


Epidermis

Corteza

Médula

IMAGEN: virtual.tjaen.es



Parénquima  
cortical

Fibras de  
esclerénquima

Floema

Cambium

Xilema:  
Elementos  
del vaso

Xilema:  
traqueidas

Parénquima  
medular

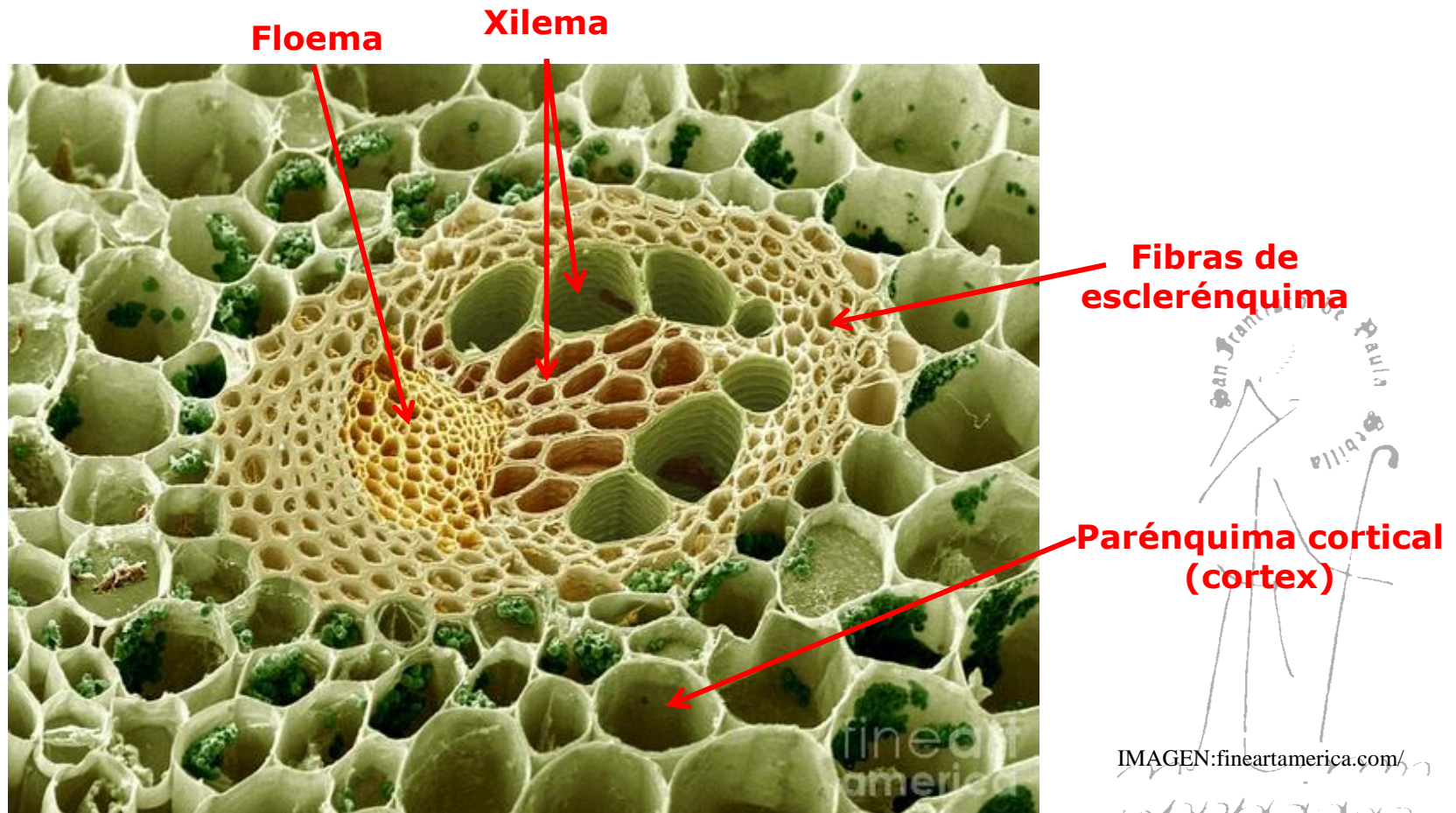
XXXXXXXX





## HABILIDAD: Identificación xilema y floema al microscopio

- Imagen coloreada de una sección de tallo primario visto al microscopio electrónico de barrido (SEM).



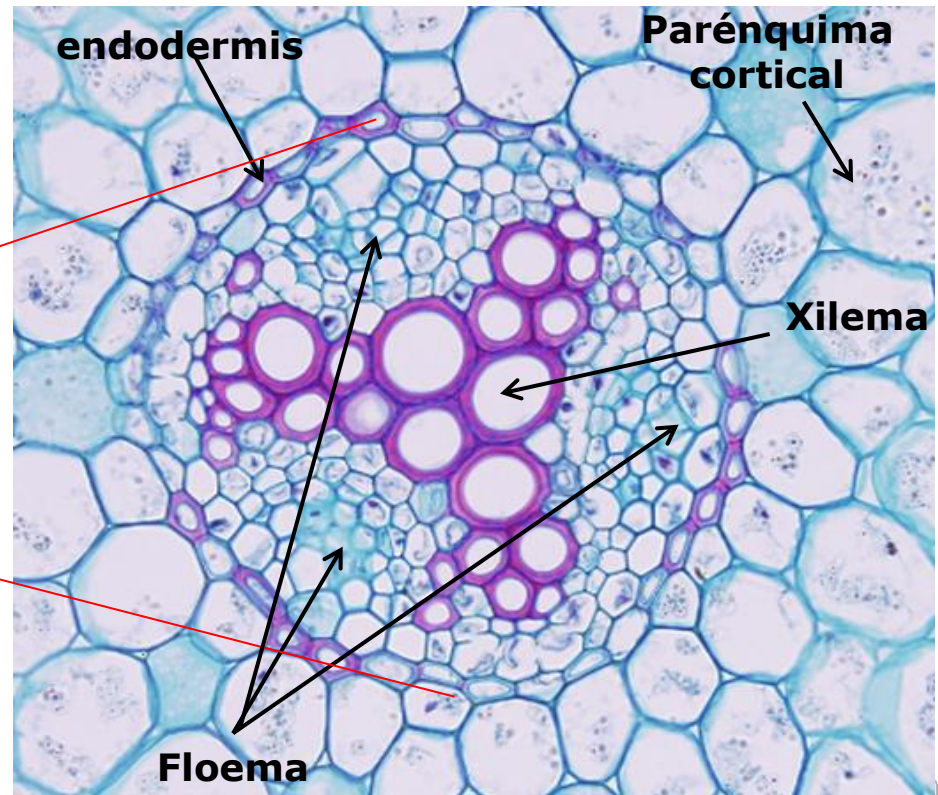
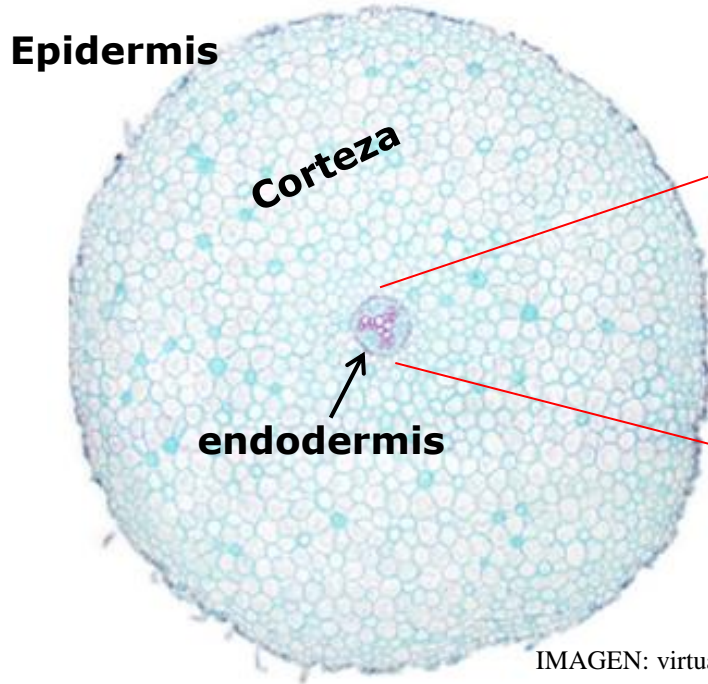




## HABILIDAD: Identificación xilema y floema al microscopio

- En la raíz, el córtex es mucho más ancho que en el tallo, localizándose los haces vasculares en el centro de la raíz, con el xilema y el floema primarios dispuestos alternamente. El xilema está formado casi exclusivamente por tráqueas, que alterna con pequeños grupos de células apretadas que constituyen el floema 1º, donde no es posible distinguir entre los distintos tipos celulares que lo componen.

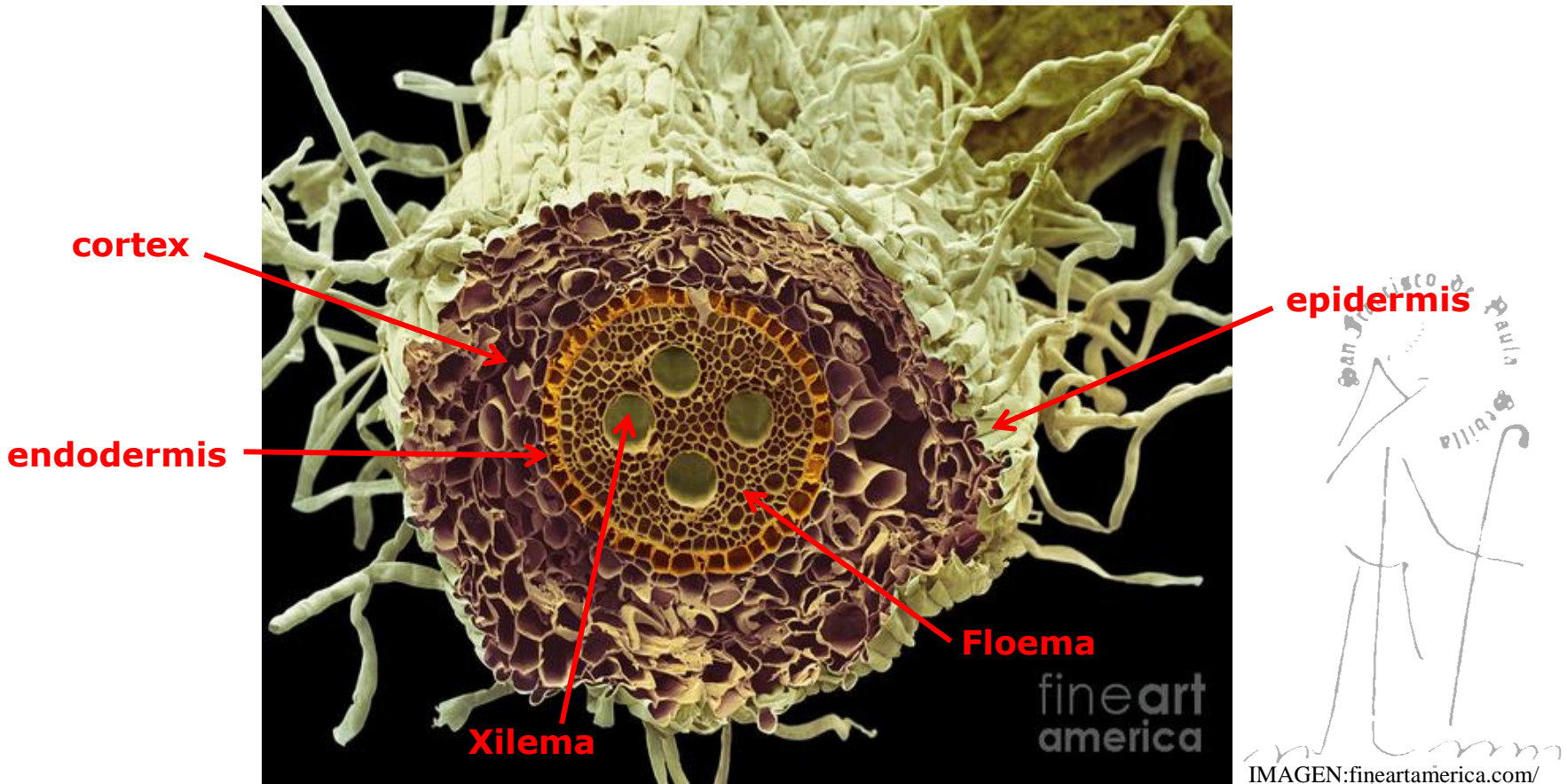
### SECCIÓN RAÍZ PRIMARIA





## HABILIDAD: Identificación xilema y floema al microscopio

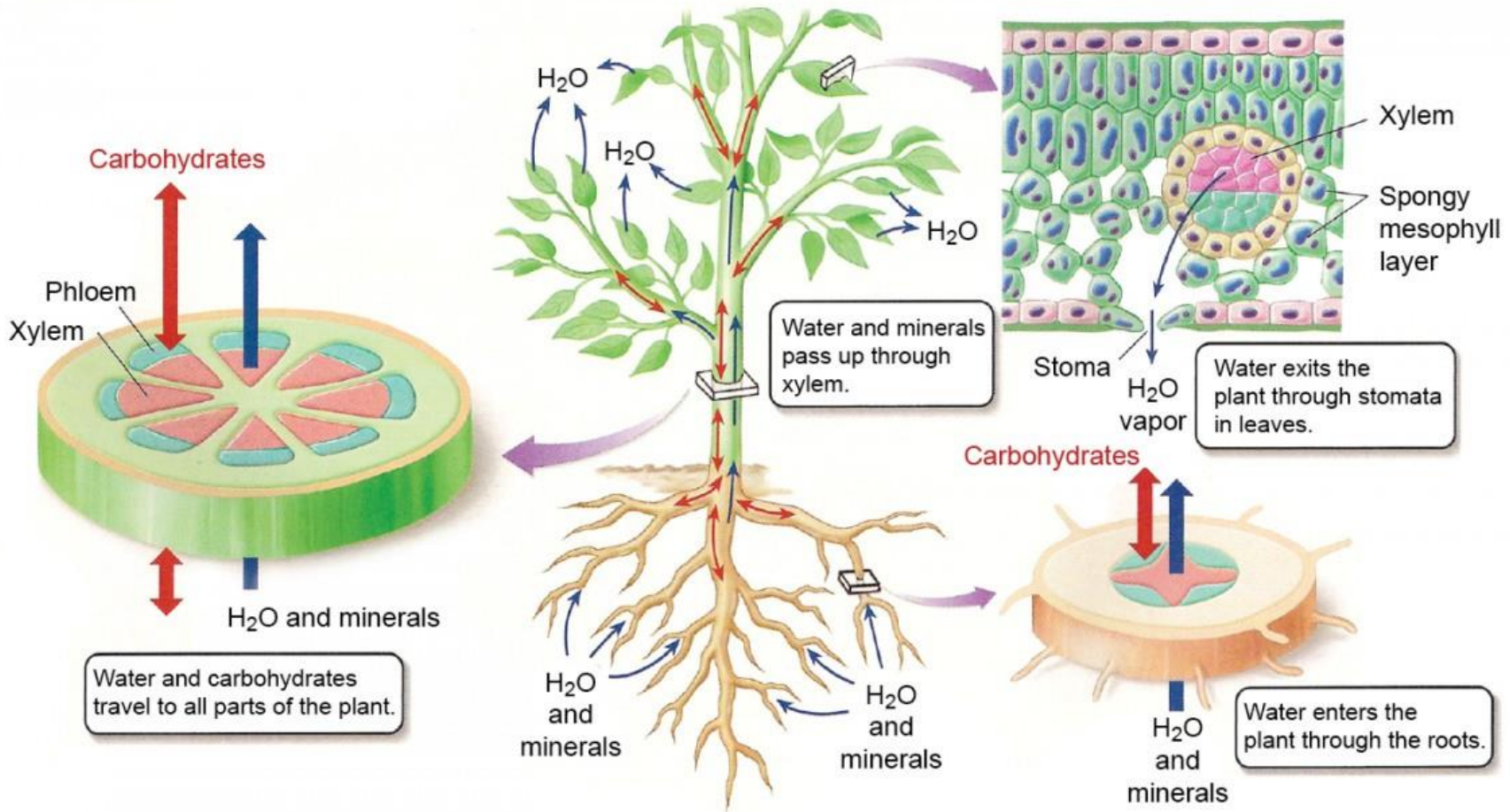
- Imagen coloreada de una sección de raíz primaria vista al microscopio electrónico de barrido (SEM).







# HABILIDAD: Identificación xilema y floema al microscopio





## Carga del floema

- Los compuestos orgánicos son cargados en los tubos cribados del floema mediante **transporte activo**.
- El disacárido **sacarosa** es el soluto que más prevalece en la savia del floema. Constituye la principal forma en la que se transportan los carbohidratos, dado que no puede ser metabolizado directamente en la respiración celular, evitando que sea consumido durante su transporte.

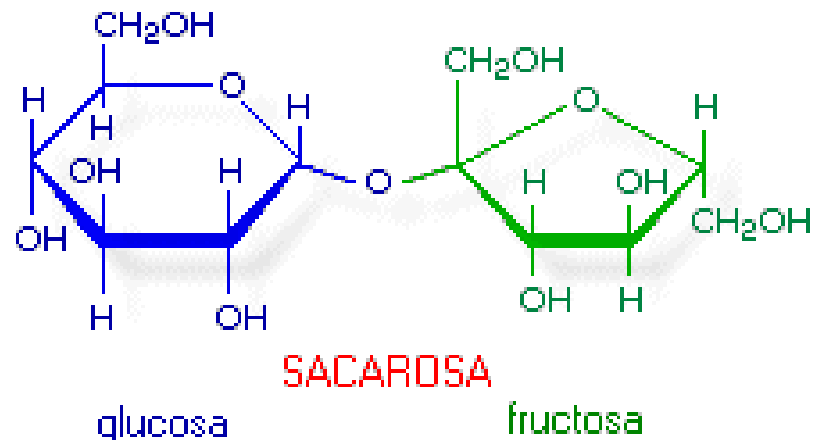
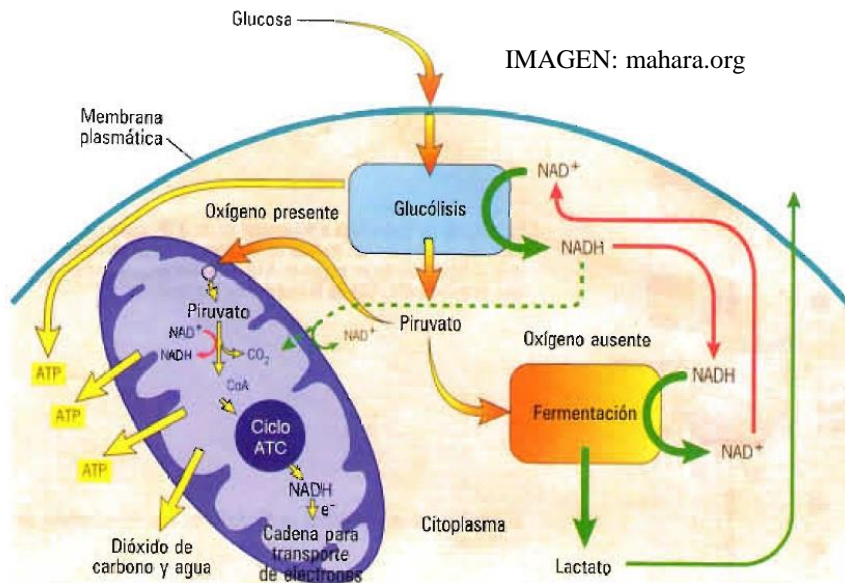


IMAGEN: monografias.com

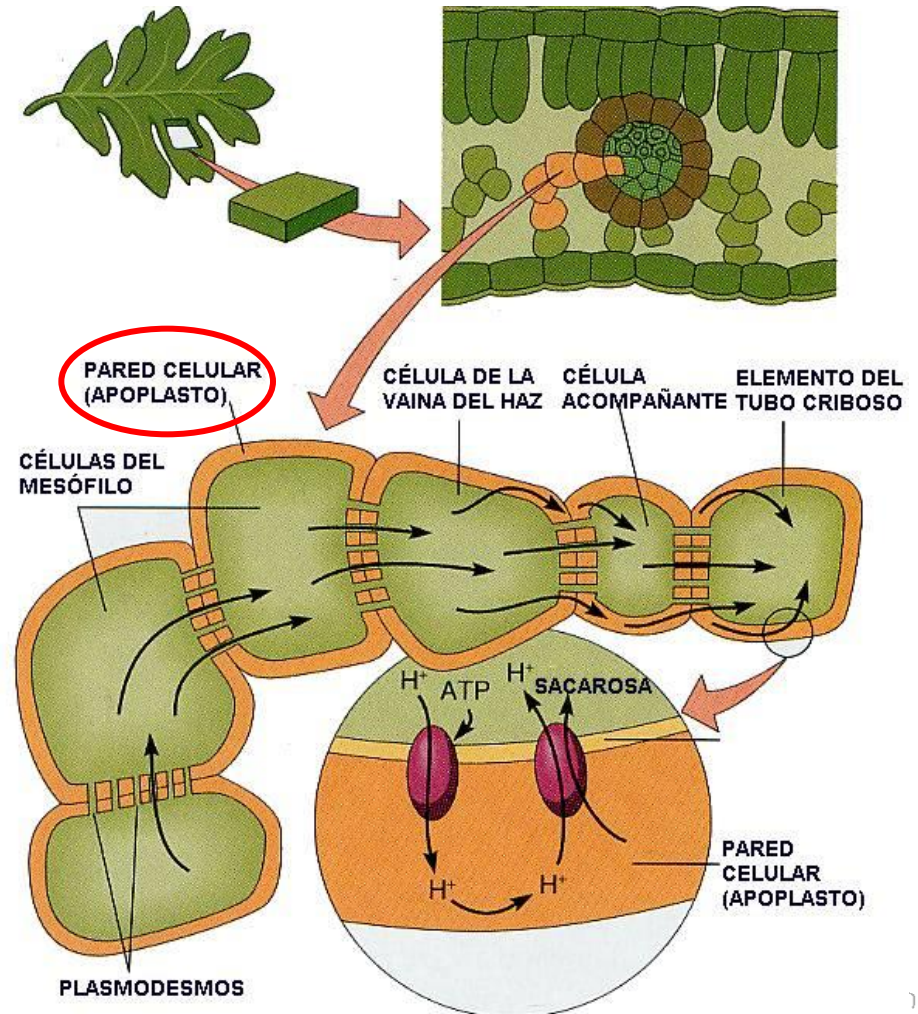
- El mecanismo utilizado para cargar los azúcares en el floema difiere de unas especies de plantas a otras.





## Carga del floema

- **En algunas especies**, se lleva a cabo la **ruta apoplástica**.
- En esta ruta, una cantidad suficiente de sacarosa viaja a través de las paredes celulares desde las células del mesófilo fotosintético, hasta las paredes celulares de las células acompañantes y elementos del tubo cribado.
- Una vez allí, una proteína transportadora de sacarosa situada en la membrana plasmática introducirá activamente al azúcar en su interior (células del tubo cribado), creando un gradiente de concentración de sacarosa mediante transporte activo.

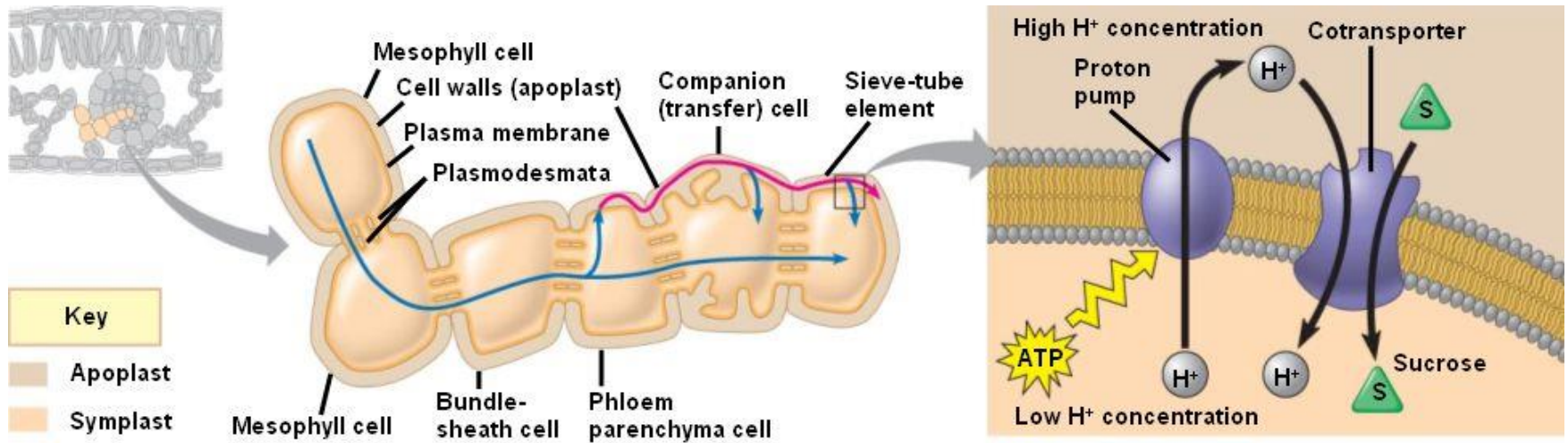




## Carga del floema

- Este gradiente se consigue mediante un mecanismo en el que protones ( $H^+$ ) son transportados activamente (con gasto de ATP) al exterior de las células del tubo criboso o de la célula acompañante. Ahora los  $H^+$  fluyen a favor de su gradiente de concentración mediante una proteína cotransportadora, entrando en el interior de la célula del tubo criboso con la sacarosa.

IMAGEN: uic.edu



- Por tanto, en este transporte activo de la sacarosa, el ATP se consume en bombear protones fuera y no en transportar directamente la sacarosa al interior del floema.

*Handwritten notes:*  
m m m m  
x x x x x x x x



## Carga del floema

- **En otras especies**, se lleva a cabo la **ruta simplástica**.
- En esta ruta, la mayor parte de la sacarosa viaja directamente entre las células, a través de conexiones denominadas **plasmodesmos**, a favor de su gradiente de concentración.
- Una vez que la sacarosa alcanza a las células acompañantes, es convertida en un oligosacárido para mantener el gradiente de concentración de sacarosa e impedir su retroceso.

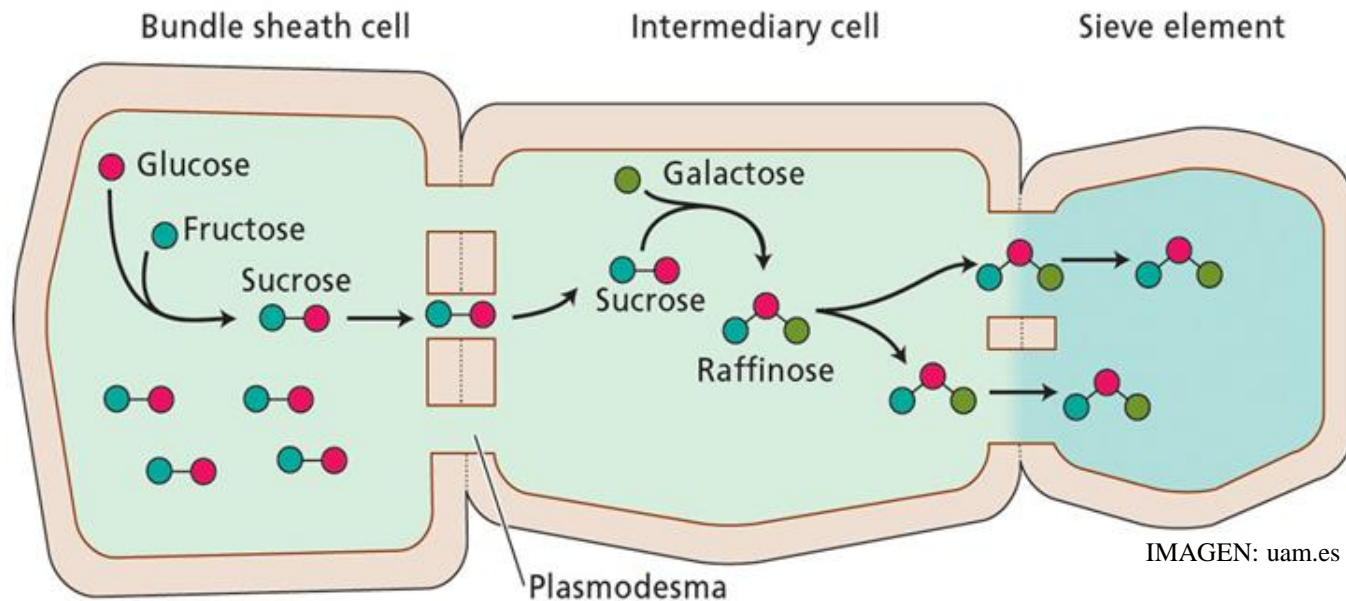


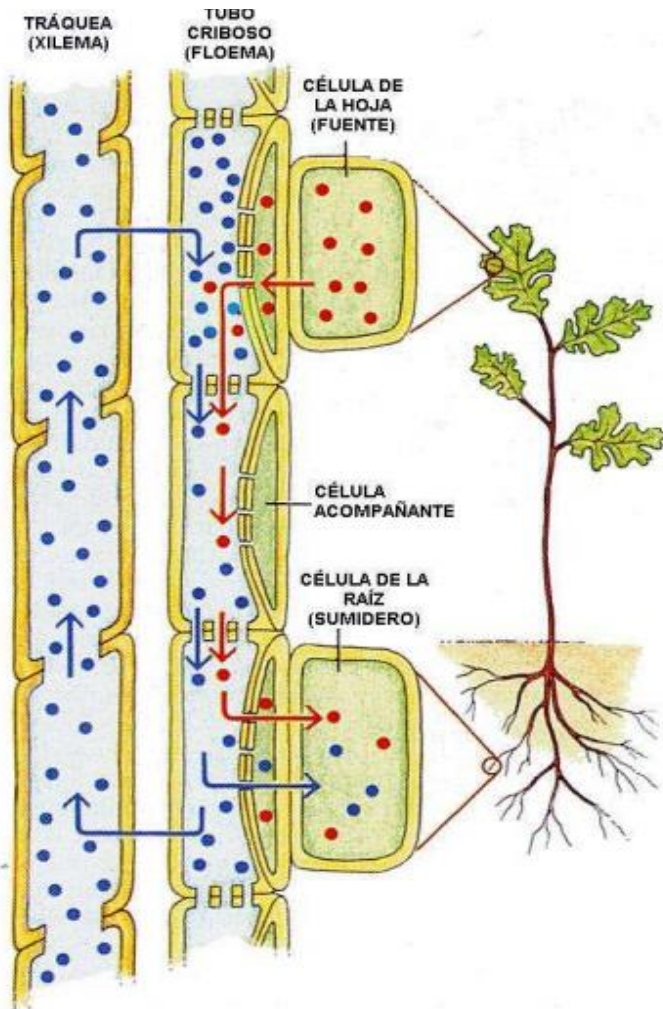
IMAGEN: uam.es







## Translocación activa: Flujo por presión



- Una vez que la sacarosa ha sido cargada activamente en el floema, ésta debe desplazarse desde el tejido origen o fuente, hacia los de destino o sumidero, pero ¿cómo ocurre?
- La **hipótesis de flujo por presión** explica el desplazamiento de la savia elaborada debido a la existencia de un gradiente de presión entre la fuente (origen) y el sumidero (destino).
- La **estructura origen** es una zona de elevada presión hidrostática debido a la alta concentración de azúcares, mientras que la estructura **destino** es una zona de baja presión hidrostática debido a que su concentración de azúcares es menor.

XXXXXXXXXX





## Translocación activa: Flujo por presión

- El **potencial hídrico** ( $\Psi_w$ ) es una magnitud que mide la tendencia del agua de fluir de un lugar a otro.
- El agua fluye desde un área de alto potencial hídrico hacia otro con un potencial menor.
- El potencial hídrico está constituido por varios potenciales que influyen sobre el movimiento del agua, fundamentalmente, el potencial de soluto u osmótico ( $\Psi_s$ ) y el potencial de presión ( $\Psi_p$ ).

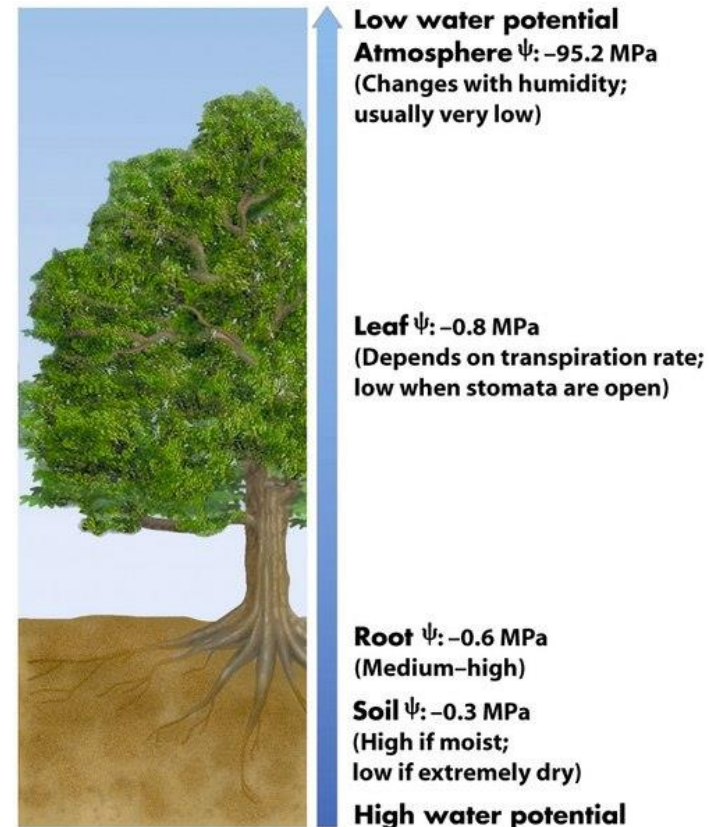
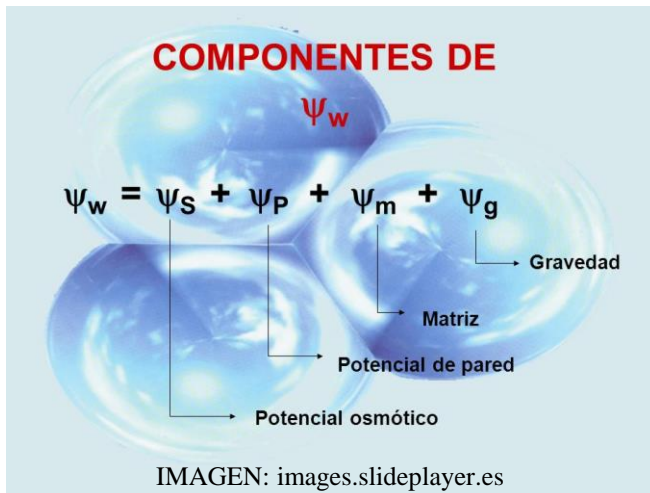


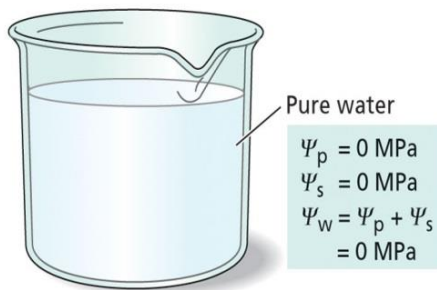
Figure 36-3 Biological Science, 2/e  
© 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



## Translocación activa: Flujo por presión

- El **potencial de soluto u osmótico** es el debido a la concentración de un soluto. Dicho potencial para el agua pura es cero, pero una vez que se añade un soluto, este potencial se hace más negativo. Cuanto más negativo sea, mayor es la tendencia del agua de moverse hacia allí desde un sitio donde dicho potencial sea mayor, es decir, contenga menos soluto.

(A) Pure water



(B) Solution containing 0.1 M sucrose

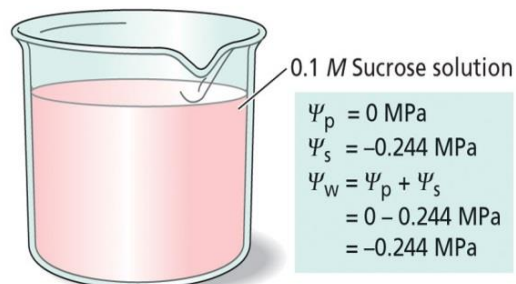
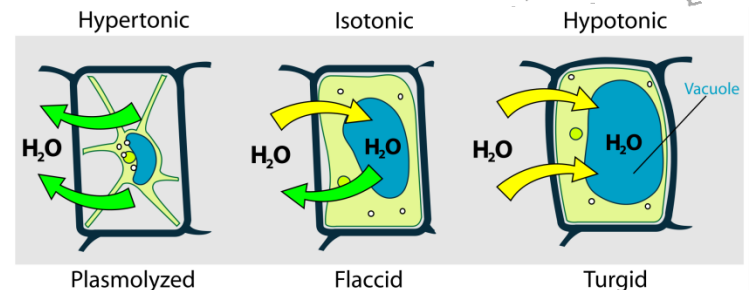


IMAGEN: physioanatomy.tripod.com

- El **potencial de presión** es el relacionado con la presión que ejercen las rígidas paredes celulares vegetales contra la célula. Aumenta cuando entra agua en la célula, siendo máximo cuando alcanza la máxima turgencia y mínimo cuando alcanza el valor de plasmólisis incipiente.

### Actividad 1

IMAGEN: upload.wikimedia.org

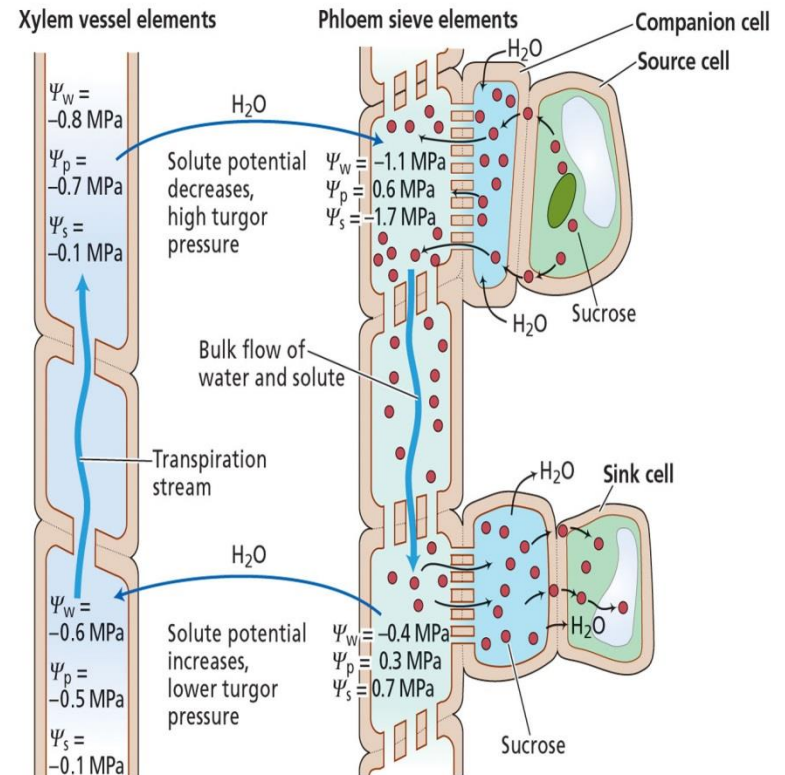


- En un vaso de precipitados, al no existir potencial de presión, el potencial hídrico depende del de soluto, por lo que la adición de solutos hace que el potencial hídrico disminuya.



## Translocación activa: Flujo por presión

- En la planta, la sacarosa producida por la fotosíntesis en una estructura origen (hoja) es secretada activamente a los tubos cribosos, **disminuyendo el potencial hídrico en el tubo criboso**, lo que provoca que **el agua** que está entrando a la hoja por la corriente de transpiración **penetre en el tubo criboso por ósmosis**.
- Es decir, las altas concentraciones de solutos en el floema en la estructura de origen causa la absorción de agua por ósmosis desde el xilema.
- Las **rígidas paredes celulares** en combinación con la **incapacidad de compresión del agua**, provoca un **aumento de la presión hidrostática en el floema en la estructura origen**, por lo que el agua fluirá de forma espontánea siguiendo un gradiente de presión, desde este área de alta presión a otra de menor presión (destino), transportando la sacarosa en disolución.





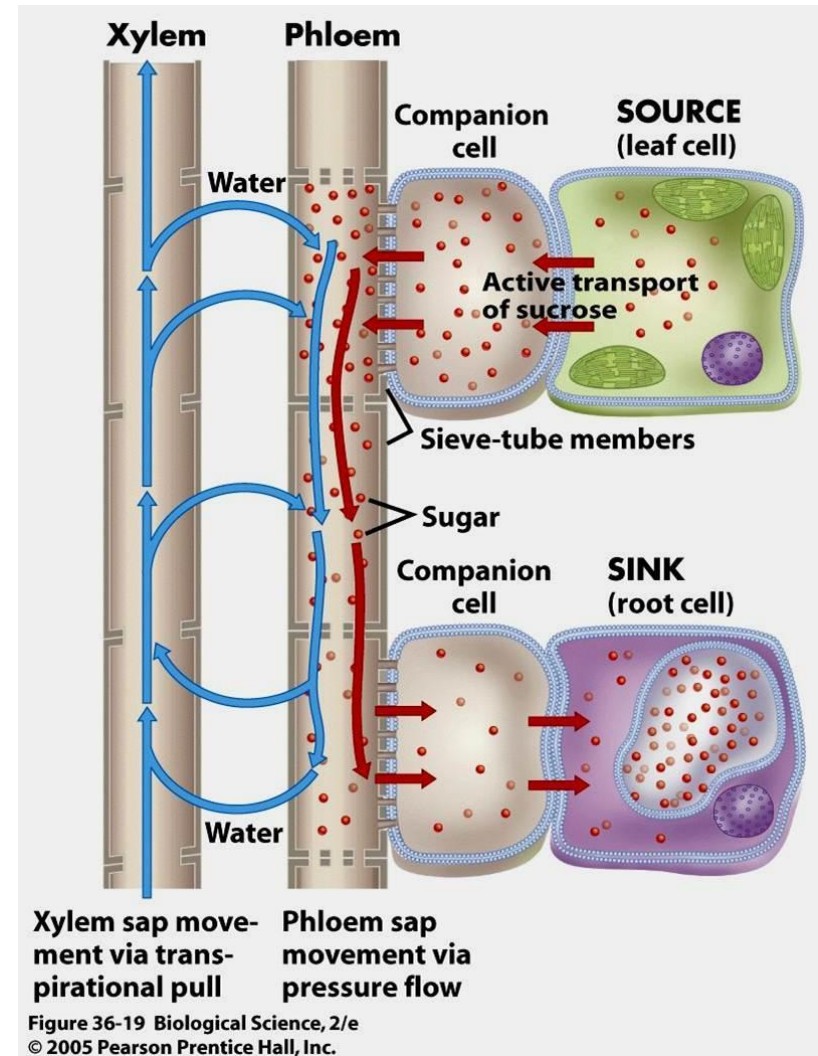
## Translocación activa: Flujo por presión

- La sacarosa es transportada pasivamente por el agua a una estructura destino o sumidero (raíz de almacenamiento) donde la sacarosa es extraída (descargada) del tubo criboso.
- La extracción de sacarosa provoca un **aumento del potencial hídrico y una disminución de la presión hidrostática** en el tubo criboso de la estructura destino, con el movimiento subsiguiente del agua fuera de ese lugar, regresando al xilema y recirculando en la corriente de transpiración.

W7

Video1

IMAGEN: classconnection.s3.amazonaws.com







## NATURALEZA CIENCIAS: Las mejoras en los aparatos y equipos conllevan avances en la investigación científica

- La savia elaborada en el floema es rica en nutrientes comparado con otros productos de la planta, estando compuesta de pequeñas moléculas solubles que no necesitan ser digeridas.
- A pesar de ello, los únicos animales que la consumen como parte de su dieta son insectos fitopatógenos del grupo de los Hemípteros, que incluye a los **áfidos** (pulgones), las cigarras, cochinillas blancas y otros.
- Estos animales se han usado para medir la tasa de transporte de la savia elaborada en el floema.

IMAGEN: <http://lh6.ggpht.com>



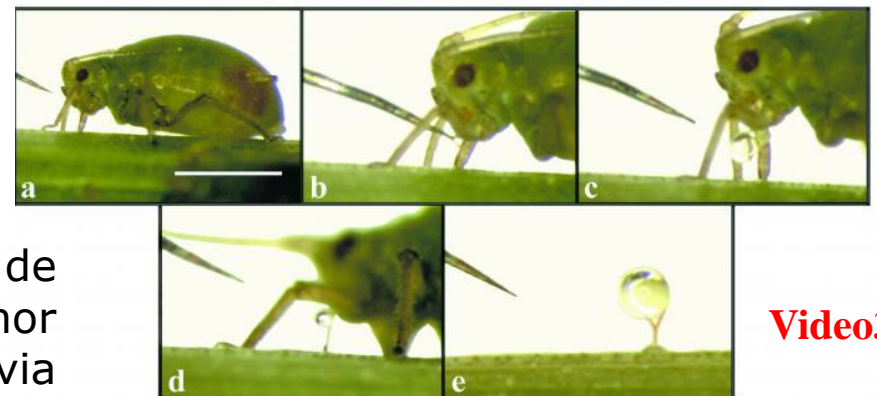
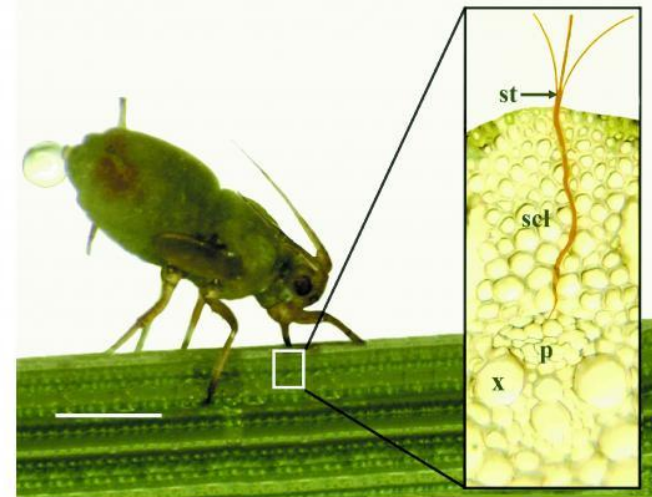
IMAGEN: [upload.wikimedia.org](http://upload.wikimedia.org)





## NATURALEZA CIENCIAS: Las mejoras en los aparatos y equipos conllevan avances en la investigación científica

- Los áfidos se caracterizan por poseer un estilete (st) en su aparato bucal, capaz de atravesar la epidermis y esclerénquima (scl) de las plantas hasta llegar al floema (p), donde succionan la savia elaborada.
- Si el áfido es anestesiado y se le corta el estilete, el contenido del floema continuará fluyendo hacia el exterior a través del estilete, pudiéndose analizar tanto la tasa de flujo como la composición de la savia elaborada.
- Cuanto más cerca esté el estilete de una estructura de destino, menor será la tasa con la que fluye la savia hacia fuera por el estilete. ¿Por qué?

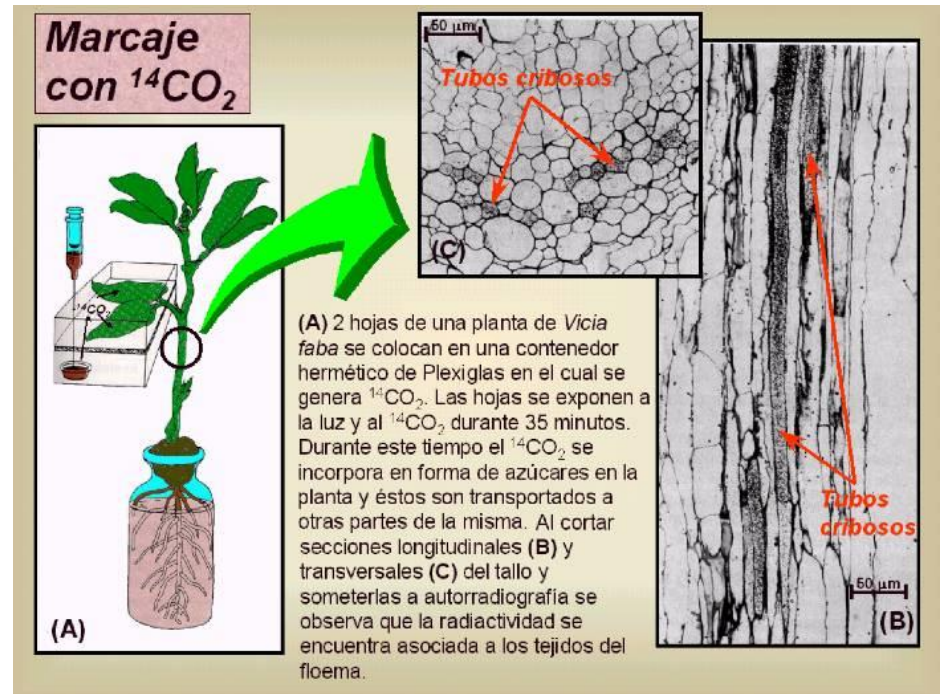


**Video3**



## NATURALEZA CIENCIAS: Las mejoras en los aparatos y equipos conllevan avances en la investigación científica

- Además de mediante el uso de áfidos, otra forma de medir la tasa de transporte en el floema es mediante el uso de dióxido de carbono marcado radiactivamente con el isótopo radiactivo  $^{14}\text{C}$ , como el, que solo fue posible una vez que los radioisótopos estuvieron disponibles.
- El  $^{14}\text{C}$  es un isótopo radiactivo del carbono. Cuando a la planta se le suministra  $\text{CO}_2$  marcado con dicho isótopo, las plantas lo fijarán a materia orgánica en la fotosíntesis.
- A medida que el carbono es metabolizado, se encontrará en diferentes moléculas dentro de la planta, lo que puede ser rastreado usando un detector de radiación o una película fotográfica.



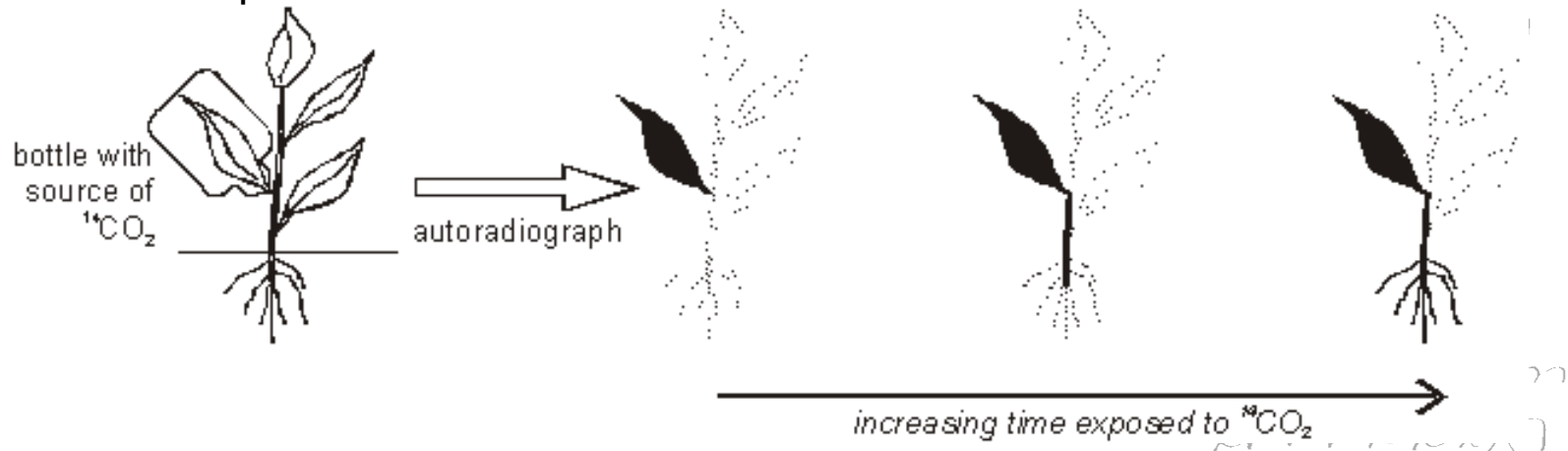
XXXXXXXXXX





## NATURALEZA CIENCIAS: Las mejoras en los aparatos y equipos conllevan avances en la investigación científica

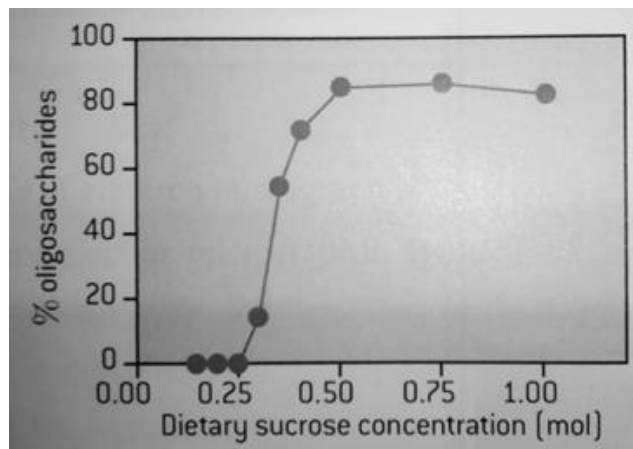
- En un experimento típico en el laboratorio, se expone una hoja de una planta durante un corto periodo de tiempo a dióxido de carbono marcado con el isótopo radioactivo  $^{14}\text{C}$ . Este  $^{14}\text{CO}_2$  será capturado en la fotosíntesis y el  $^{14}\text{C}$  incorporado en forma de glucosa y posteriormente de sacarosa.
- La planta es congelada en nitrógeno líquido y colocada en una película fotográfica en oscuridad. La autoradiografía resultante muestra la localización de los compuestos que contienen  $^{14}\text{C}$ , de manera que incrementando el tiempo de exposición a  $^{14}\text{CO}_2$  se determina la tasa de transporte en el floema.





## HABILIDAD: Análisis de datos de experimentos de medición de tasas de transporte en el floema

- Los áfidos solo ingieren una pequeña proporción de los azúcares de la savia elaborada. El resto, sale a través de las heces en forma de un líquido denominado ligamaza. Debido a su alta concentración en azúcares, la savia del floema tiene una mayor concentración de solutos que las células de los áfidos. Las enzimas secretadas al interior del intestino de los áfidos reducen la concentración de soluto en la savia del floema, mediante la conversión de los azúcares en oligosacáridos. La siguiente figura muestra la relación entre la concentración de sacarosa en la savia del floema ingerida por los áfidos y el contenido de oligosacáridos en la ligamaza.



- Describe la relación entre las concentración de sacarosa en la savia ingerida por el áfido y el porcentaje de oligosacáridos en la ligamaza. **[3]**
- Sugiera razones por las que los áfidos secretan enzimas para reducir la concentración de soluto del fluido en el intestino. **[2]**

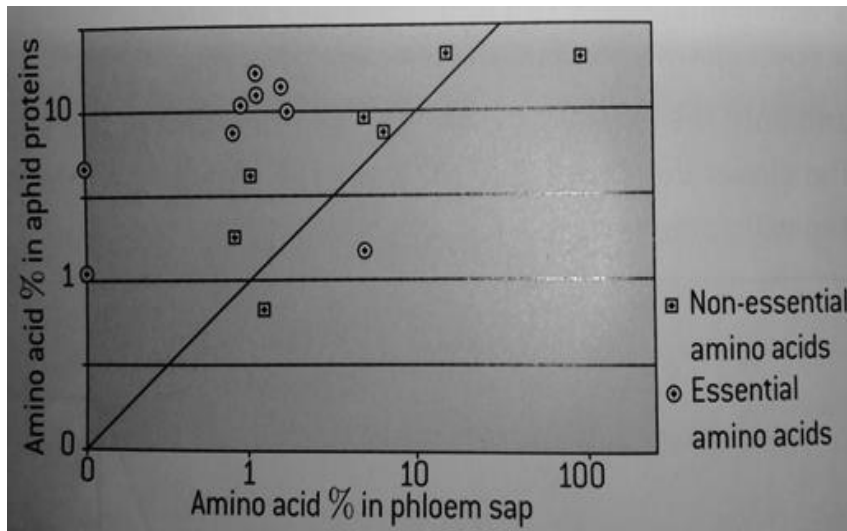
*Handwritten notes and scribbles in the bottom right corner of the page.*



## HABILIDAD: Análisis de datos de experimentos de medición de tasas de transporte en el floema

- Los áfidos ingieren mayores volúmenes de savia elaborada de lo que realmente necesitan, para obtener suficiente azúcar para la respiración celular. Esto es debido a que también necesitan incorporar aminoácidos, cuya concentración en la savia es baja.

La siguiente figura muestra los porcentajes de aminoácidos individuales en la savia y el porcentaje de proteínas en el áfido. Nueve de los aminoácidos son esenciales y no pueden ser sintetizados en las células de los áfidos.



- (a) Evalúe la savia como fuente de aminoácidos para los áfidos. **[3]**
- (b) Sugiera razones para las diferencias en el contenido en aminoácidos entre la savia del floema y las proteínas de los áfidos. **[2]**

Handwritten notes and a diagram. The diagram shows a vertical line with several horizontal lines branching off to the right, resembling a tree or a set of data points. The text below the diagram is illegible.