11.-

La nutrición de las plantas

1 La nutrición en las plantas

El **reino Plantas** se caracteriza porque sus integrantes son organismos pluricelulares autótrofos y poseen una pared vegetal de celulosa.

Como todos los seres vivos, las plantas realizan las tres funciones vitales: nutrición, relación y reproducción.

La **nutrición vegetal** se caracteriza por ser **autótrofa fotosintética**, es decir, las plantas elaboran su propia materia orgánica a partir de la inorgánica (agua, sales minerales y dióxido de carbono) utilizando como fuente de energía para ello la energía solar.

$$H_2O + \text{sales minerales} + CO_2 \xrightarrow[\text{Fotosíntesis}]{\text{Luz}} \text{materia orgánica (glúcidos, lípidos, proteínas, etc.)}$$

Ecuación global de la fotosíntesis.

Eso es posible gracias a la existencia en los vegetales de estructuras especiales llamadas cloroplastos que poseen moléculas específicas, los **pigmentos fotosintéticos**, para captar la energía solar y transformarla en energía química.

Hay diferencias entre cómo se nutren las plantas con organización de tipo talo (o protocormofítica) y las plantas con organización tipo cormo.

1.1 Nutrición en plantas con organización tipo talo

Las plantas briofitas como los musgos y hepáticas son consideradas las plantas más primitivas y fueron los primeros vegetales en colonizar el medio terrestre. Aunque vivan en este medio, pero necesitan ambientes con mucha humedad, principalmente, para conseguir reproducirse.

No presentan raíz ni tallo ni hojas, aunque tienen estructuras parecidas: **filoides**, que llevan a cabo funciones parecidas a las hojas; **cauloide**, que corresponde a un falso talo, y **rizoides,** que realizan funciones similares a las raíces de las plantas cormofíticas, fijando el vegetal al sustrato.

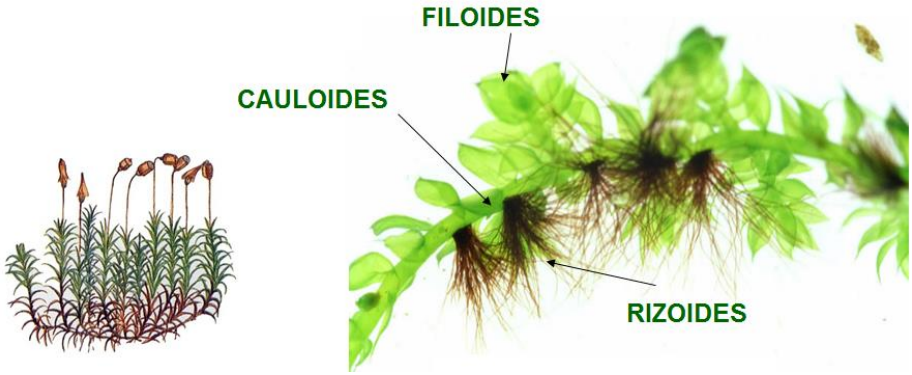


Figura. *A la izquierda, dibujo de una planta briofita, concretamente un musgo. A la derecha, imagen obtenida con lupa de las principales estructuras de un musgo.*

Al no poseer estructuras especializadas, la absorción de agua y sales minerales, el intercambio de gases y el transporte de sustancias por el interior de la planta los realizan directamente a través de toda su superficie por difusión entre sus células y el medio que las rodea.

Este proceso se produce gracias a que sus epitelios carecen de una cutícula o cubierta de ceras impermeables en la cara exterior de la epidermis, como ocurre en los tejidos de protección de las cormofitas.

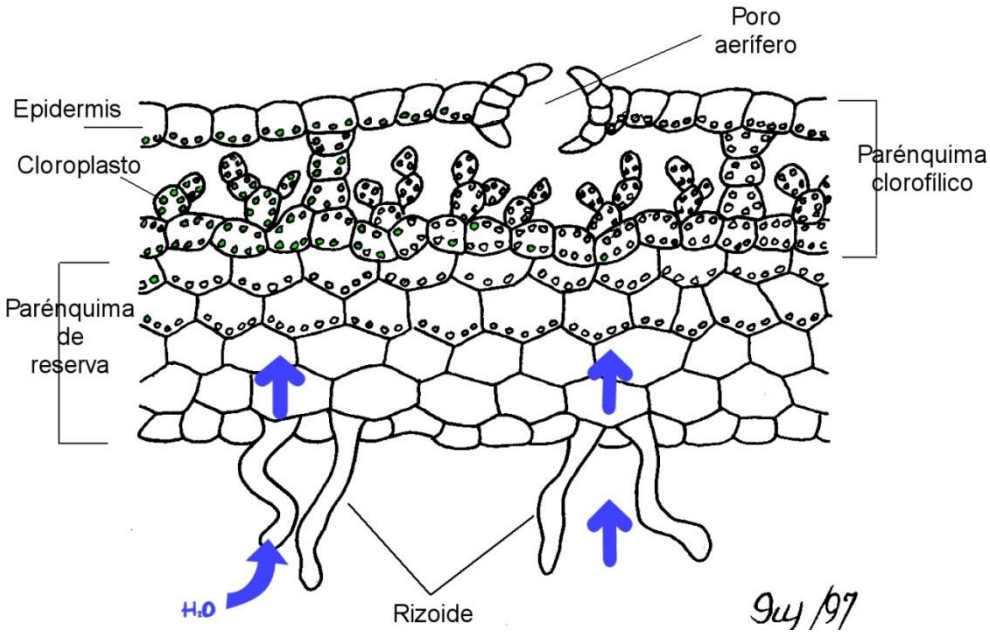


Figura. *Corte transversal de un musgo.*

1.2 Nutrición en plantas con organización cormofítica

Estas plantas presentan órganos específicos como las **raíces**, a través de la cuales se realiza la absorción de gua y sales minerales del suelo, y las **hojas**, que captan la luz y fijan el dióxido de carbono de la atmósfera. Además, poseen un sistema de **vasos conductores**, por el que se transportan tanto las sustancias incorporadas como las elaboradas en la fotosíntesis.

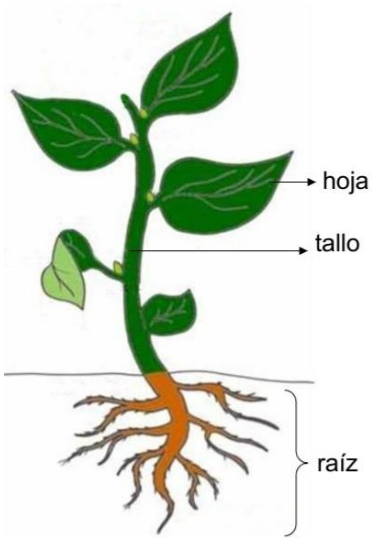


Figura. *Planta cormofíta. Se caracteriza por una organización vegetal en la que las células se agrupan en tejidos y órganos.*

Debido a esta estructura, el proceso de nutrición sigue una serie de etapas que se verán en detalles en los próximos apartados y que se son las siguientes:

- Absorción de nutrientes inorgánicos por la raíz.
- Transporte de la savia bruta hasta las hojas.
- En las hojas se produce el intercambio de gases y la fotosíntesis
- La savia elaborada se transporta por la planta.
- La planta elimina los productos de desecho o excreción.

2 Absorción de nutrientes inorgánicos por la raíz

En las plantas cormofitas la incorporación de la mayoría de los bioelementos se lleva a cabo en las raíces mediante la absorción de agua y sales minerales presentes en el suelo. Además, la raíz puede almacenar sustancias de reserva y es un órgano encargado de fijar la planta al suelo. Se pueden distinguir en ella las siguientes partes:

- **Cuello**. Es la zona de transición hacia el tallo.

- **Zona pilífera**. Contiene numerosos **pelos absorbentes, radicales o radiculares,** formados por extensiones de las células epiteliales; la pared de estas células es delgada y carente de cutícula.

Los pelos absorbentes aumentan la superficie de contacto con el agua del suelo, aumentando la capacidad de absorción.

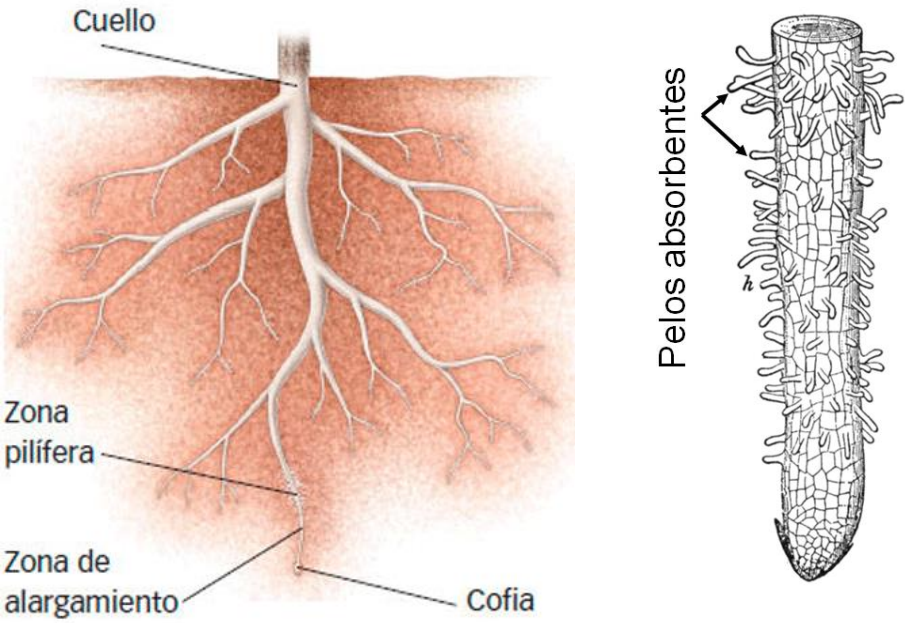


Figura. *A la izquierda, partes de la raíz. A la derecha, detalle de un trozo de raíz con pelos absorbentes.*

- **Zona de alargamiento**. Es la zona en la que las células se alargan y comienzan su diferenciación. No presentan pelos absorbentes.

- **Cono vegetativo**. Es la parte terminal de la raíz. Es responsable del crecimiento apical, pues en su interior se encuentra la yema vegetativa, formada por meristemos primarios y protegida por la **cofia** o **caliptra**.

En la raíz se distinguen dos tipos de estructura: la **estructura primaria**, encargada del crecimiento en longitud de la planta, y la **estructura secundaria**, que surge a partir del segundo año de vida y determina el crecimiento en grosor.

2.1 La absorción del agua

Como ya hemos mencionado, la absorción del gua se hace a través de las raíces, que poseen en su epidermis unas células especializadas en la absorción llamadas pelos absorbentes.

Una sola planta puede tener miles de millones de pelos absorbentes en su raíz.

El proceso por el que el agua penetra en los pelos radicales es la **ósmosis**[1]. Para que esta tenga lugar es necesario que la concentración de solutos en el suelo que se encuentra en torno a la raíz sea menor que la que tienen las células epidérmicas; de esta manera, el agua pasará de la solución menos concentrada (**hipotónica**) que hay en el suelo a la más concentrada (**hipertónica**) que hay en el interior de las células de la raíz. Es por ello por lo que solo un pequeño grupo de plantas están adaptadas a vivir en medios salinos hipertónicos respecto a sus células.

Tras penetrar el agua en las células de la epidermis, esta va pasando por los espacios intercelulares y atravesando las paredes de celulosa y el parénquima hasta alcanzar el xilema, desde donde comienza el acenso por el tallo.

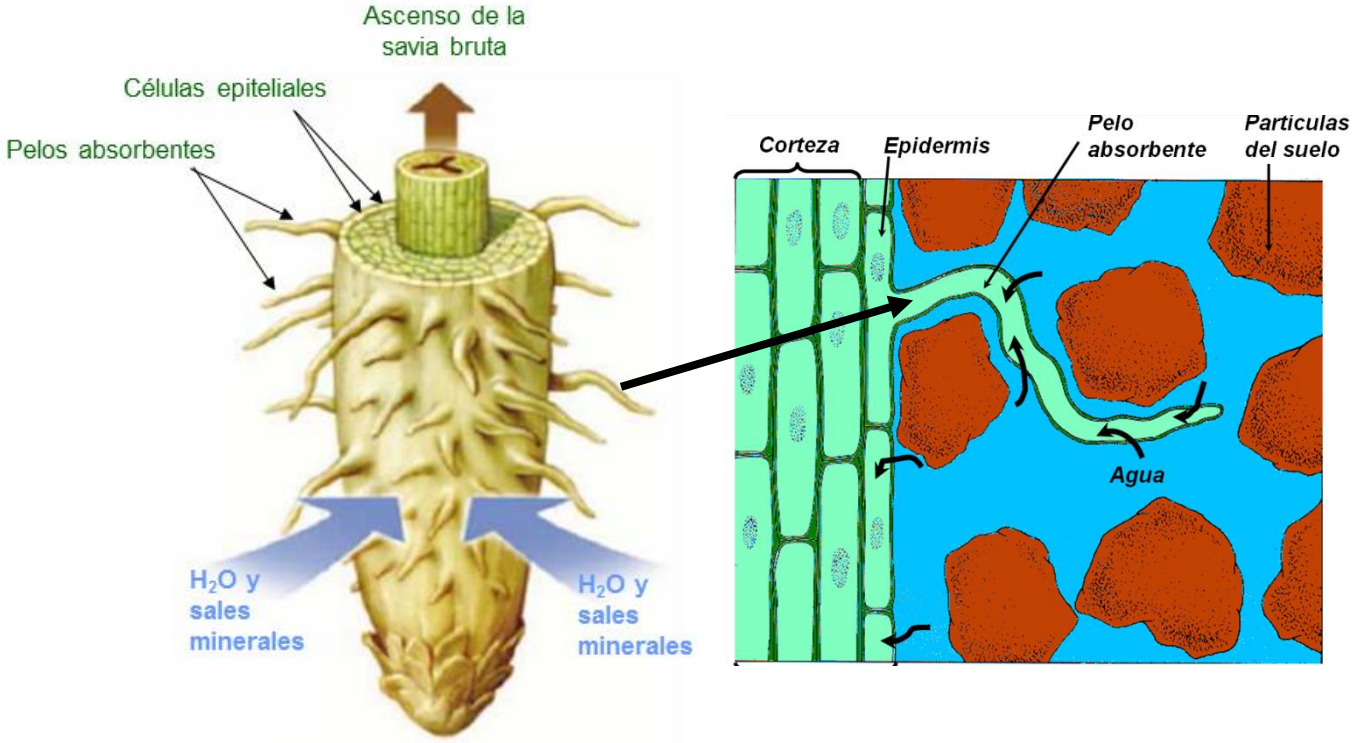


Figura. *A la izquierda, visión general de la entrada de agua a las raíces. A la derecha, detalle de la entrada de agua a la raíz a través de los pelos absorbentes.*

[1] **Ósmosis**. Cuando dos disoluciones de distinta concentración están separadas por una membrana semipermeable (que deja pasar el disolvente, pero no el soluto), las partículas del disolvente pasan de la disolución más diluida (hipotónica) a la más concentrada (hipertónica) hasta alcanzar el equilibrio, es decir, hasta igualar dichas concentraciones.

2.2 La entrada de sales minerales

La raíz, es igualmente, el órgano encargado de la incorporación de las sales minerales, concretamente se realiza por la **zona pilífera**. Para que esto se produzca, las sales deben estar disueltas, es decir, en forma de iones (los más comunes son **K^+, Na^+, Mg^{2+}, Fe^{2+}, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}, NO_3^-**), o en cantidades mínimas, como sucede con los oligoelementos.

El mecanismo de entrada es el **transporte activo**, es decir, se realiza en contra de gradiente de concentración (ya que la concentración de sales en el interior de la raíz es mayor que en el suelo), por lo que es necesario un gasto de energía. Este mecanismo requiere la participación de enzimas transportadoras de la membrana plasmática, que introducen iones del exterior en el interior de las células epidérmicas y los pelos absorbentes.

Finalmente, la mezcla de agua y sales minerales que entra en las raíces es lo que se conoce como **savia bruta**.

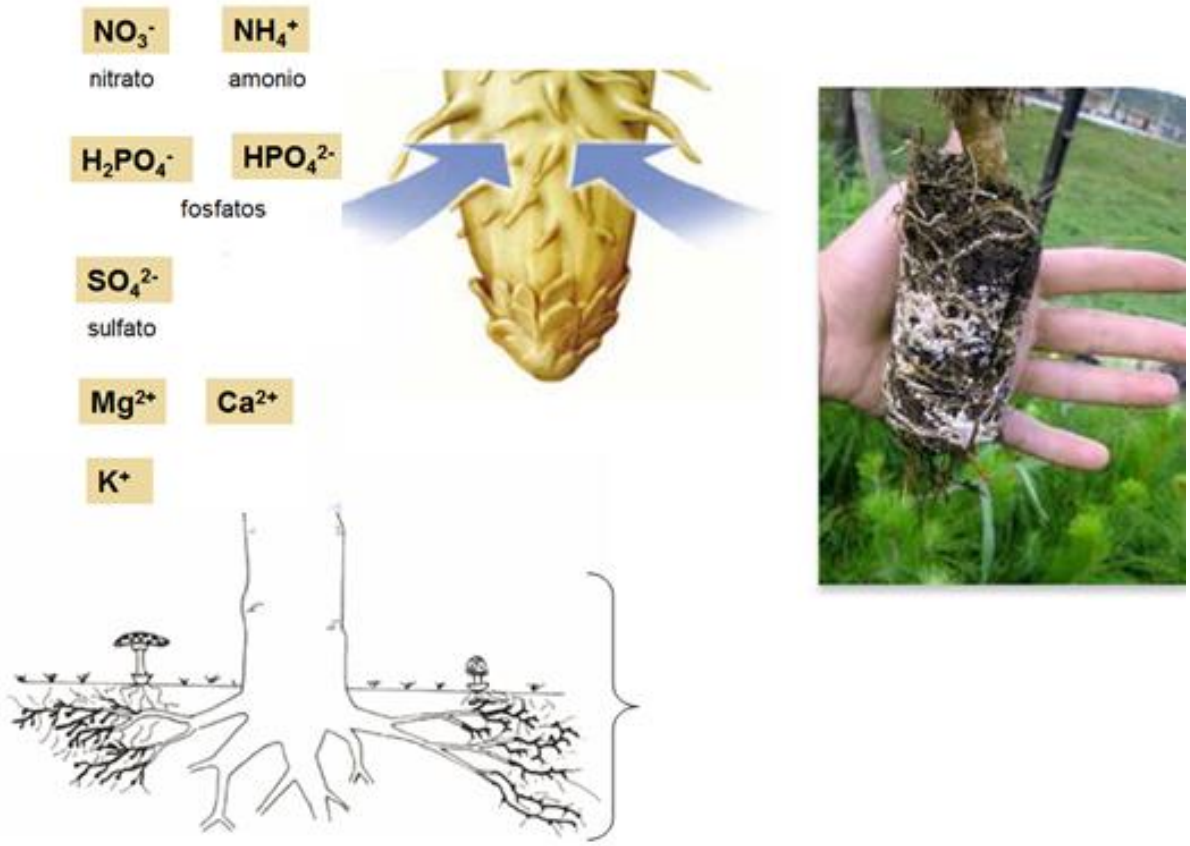


Figura. *Algunas plantas como los robles o las encinas, necesitan asociarse con un hongo mediante simbiosis para incorporar algunos minerales. Esta asociación raíz-hongo se llama* ***micorriza****.*

3 Transporte de la sabia bruta hasta las hojas

La **savia bruta**, formada por el agua y las sales minerales absorbidas, es transportada a lo largo de la raíz y del tallo hasta las hojas, donde una parte del gua se elimina por transpiración y otra se utiliza en la fotosíntesis.

El **tallo** es el eje, normalmente aéreo, en el que se sitúan las hojas, flores y yemas. Además de conducir la savia bruta y elaborada, sirve de almacén de sustancias de reserva. Las partes principales de un tallo son:

- **Nudos**. Engrosamientos donde se insertan las hojas.

- **Entrenudos**. Tramos del tallo localizados entre dos nudos.

- **Yemas terminales**. Partes situadas en el extremo de los tallos y ramas, con meristemos primarios responsables del crecimiento en longitud.

- **Yemas axilares**. Partes situadas en las axilas de las hojas, en las que se forman las ramas laterales.

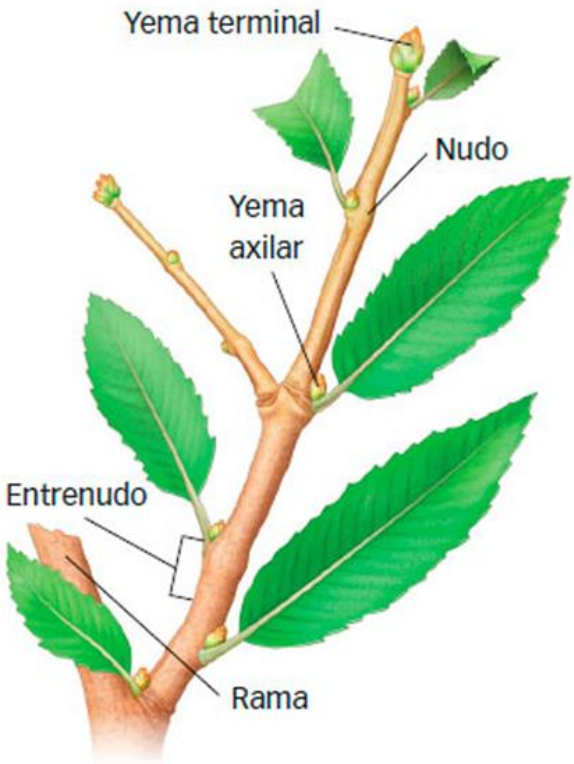


Figura. *Partes principales de un tallo.*

3.1 Estructura primaria del tallo

Es la que corresponde al **primer año de vida** de las plantas leñosas o a las plantas herbáceas anuales. Se distingue:

- **Epidermis**. Está formada por una sola capa de células, con estomas y cutícula.

- **Cilindro cortical**. Está constituido por parénquima de reserva. En su periferia aparecen cordones longitudinales de los tejidos esclerénquima y colénquima, con paredes engrosadas para aumentar la resistencia tanto a la torsión como a la flexión.

- **Endodermis**. Separa el cilindro cortical del central y protege de manera especial a los tallos acuáticos y rizomas (tallos subterráneos).

- **Cilindro central**. Se compone de un parénquima, generalmente con funciones de reserva y haces conductores de xilema y floema que transportan la savia bruta y la savia elaborada, respectivamente. Estos haces, en un corte transversal del tallo de las plantas dicotiledóneas, aparecen formando un anillo regular que deja el parénquima en el centro y que da origen a la médula. En las plantas monocotiledóneas, en cambio, los haces se disponen de manera dispersa.

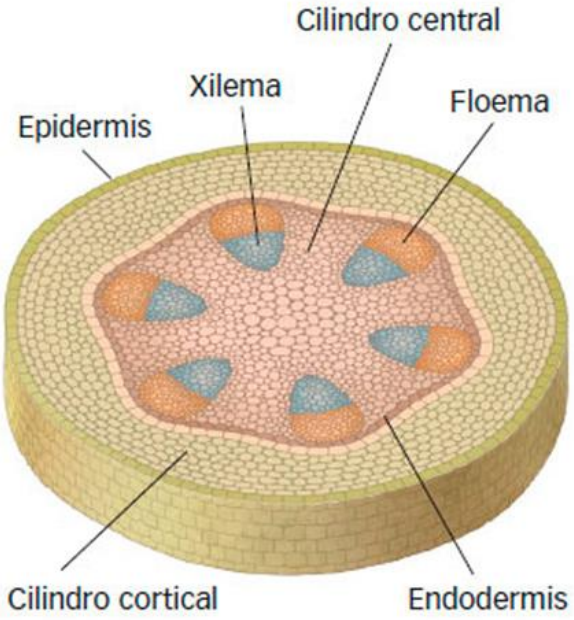
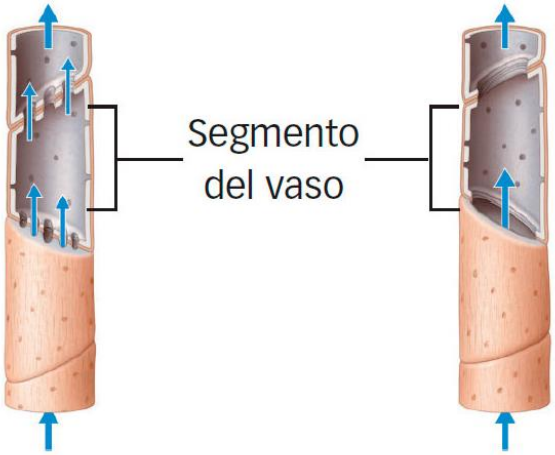


Figura. *Estructura primaria de un tallo de dicotiledónea.*

3.2 El xilema

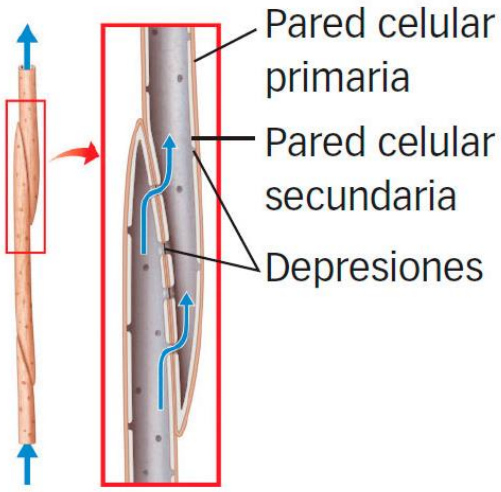
La savia bruta es transportada de forma continua a través de células tubulares muertas que forman el **tejido leñoso** o **xilema**. Estas células pueden ser de dos tipos:

- **Tráqueas** o **vasos leñosos**, de forma cilíndrica, con gruesas paredes reforzadas por lignina y cuyos tabiques de separación entre células han desaparecido o están perforados, dando lugar a un largo tubo hueco.



Tráqueas o vasos leñosos

- **Traqueidas**, con un lumen o espacio interior estrecho, más cortas y con extremos puntiagudos.



Traqueidas

Los vasos leñosos son más frecuentes en las plantas angiospermas, mientras que en la mayor parte de las gimnospermas son las traqueidas.

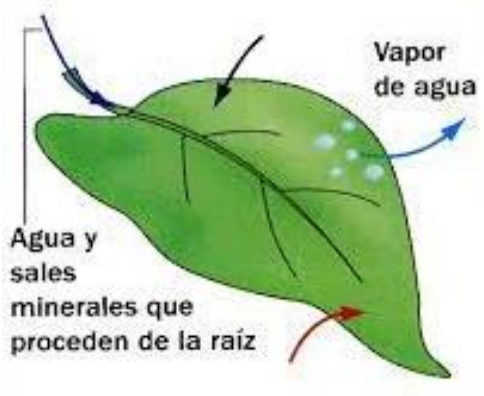
3.3 Mecanismos de transporte de la savia bruta

En el transporte ascendente de la savia bruta intervienen una serie de mecanismos capaces de mover, por el interior de los vasos y las traqueidas, gran cantidad de agua a muchos metros de altura, en contra de la fuerza de la gravedad. La velocidad de acenso depende del diámetro de los vasos del xilema, que en los árboles es de 1 y 40 m/h.

Los procesos que, actuando conjuntamente, hacen posible el ascenso de la savia a lo largo de los tubos huecos del xilema son los siguientes:

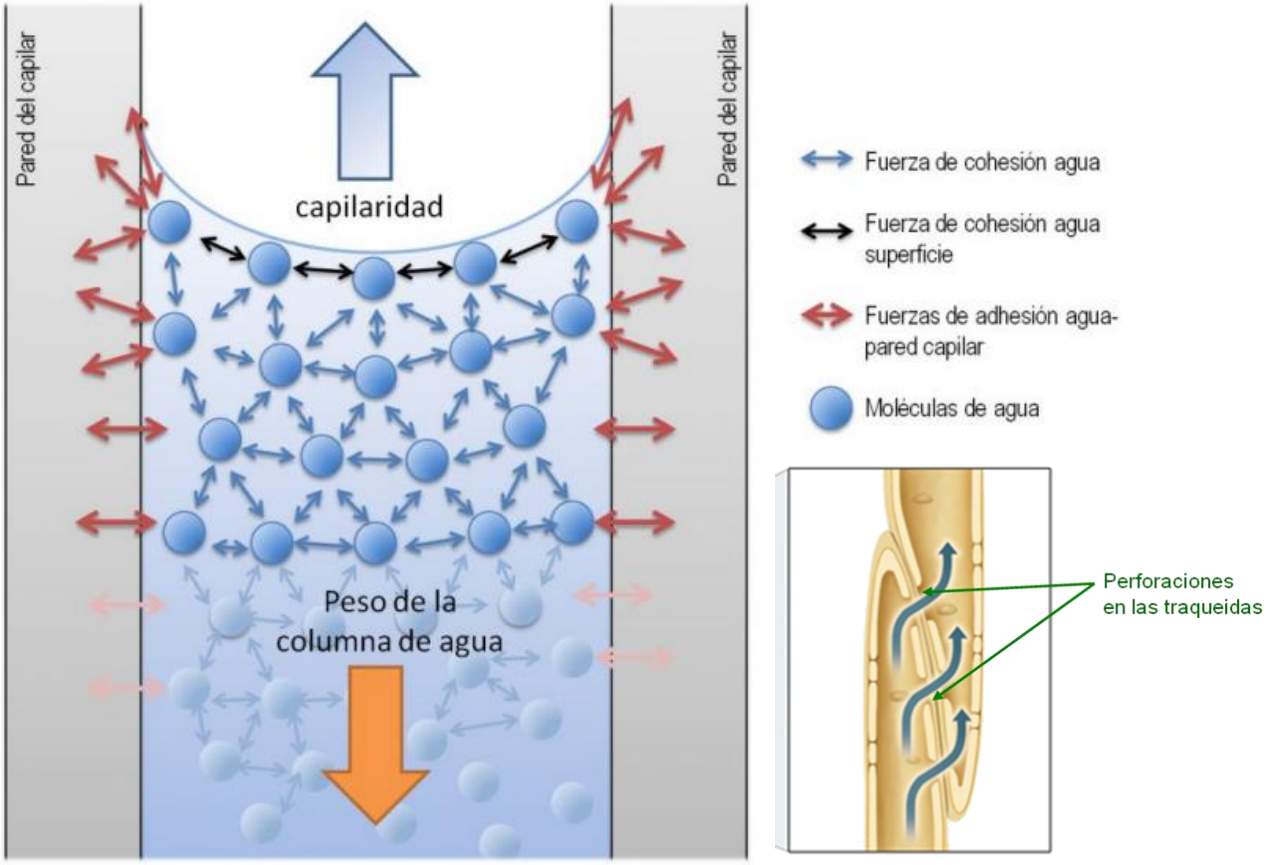
- **Atracción por la transpiración**. El agua se evapora a través de los estomas de las hojas; esto genera una **tensión** o presión negativa y, en consecuencia, el agua asciende hacia las hojas por los vasos del xilema.

  Esta tensión se transmite a lo largo del sistema vascular, desde el tallo hasta las raíces, haciendo que el agua se mueva como por un efecto de succión.



- **Cohesión-adhesión**. Las moléculas de agua se encuentran fuertemente unidas entre sí; esta elevada cohesión y la fuerte adhesión de las moléculas de agua a las paredes de las células del xilema permiten que el gua ascienda. La fuerza de atracción de la transpiración se transmite, molécula a molécula, por toda la columna de agua.

  La fina estructura de los vasos del xilema y las propiedades de cohesión y adhesión del agua hacen que la savia bruta pueda ascender por **capilaridad**.



- **Presión radicular**. La presión ejercida por mecanismos osmóticos, originados por la continua entrada de agua en los pelos radicales, "empuja" a las moléculas de agua a ascender.

  En condiciones normales, esta presión es muy pequeña, pero cuando las condiciones de transpiración son deficientes, la presión de la raíz puede tener mayor importancia. Este mecanismo es eficaz en plantas pequeñas, pero no sucede lo mismo en plantas de mayor altura.

Las plantas que viven en lugares cálidos, en suelos ricos en agua o en atmósferas muy húmedas presentan gotas de agua a lo largo del borde de sus hojas. Esta pérdida de agua en forma líquida se llama **gutación** y se debe a que la transpiración no iguala a la absorción ocasionada por la presión radicular, por lo que el agua es literalmente "empujada" desde las raíces a lo largo del xilema y es expulsada por unas estructuras especiales, denominadas **hidátodos**.

Fenómeno de gutación.

4 Intercambio de gases y fotosíntesis en las hojas

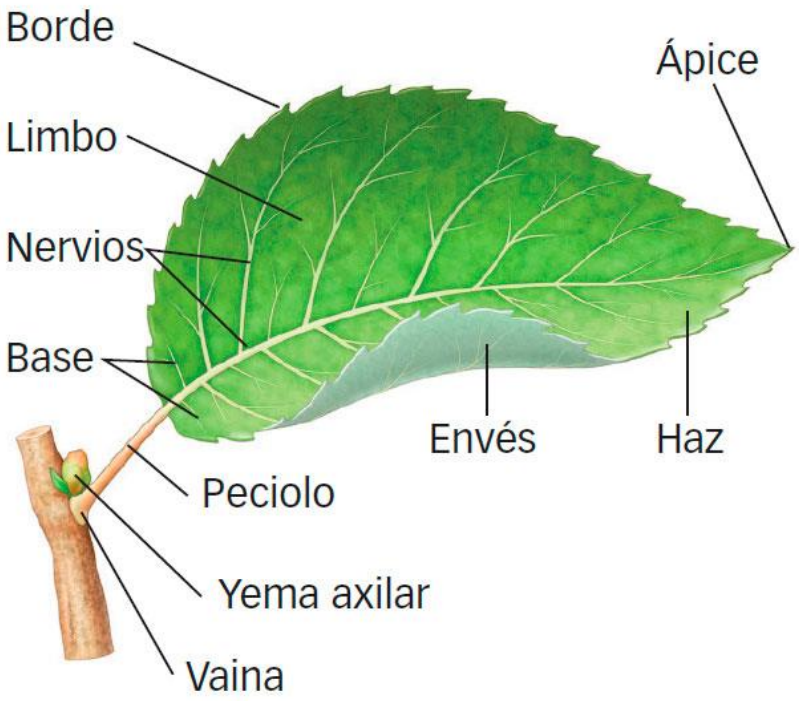
En las hojas se realizan procesos esenciales para la nutrición de las plantas: la transpiración, el intercambio de gases y la fotosíntesis

4.1 Estructura de las hojas

Las hojas son órganos aéreos y laminares, en los que distinguimos:

- **Peciolo**. Parte por la que el limbo se une al tallo; a veces en su parte inferior existen **estípulas** y en la base foliar se puede desarrollar un ensanchamiento o **vaina** que rodea al tallo por encima del nudo.

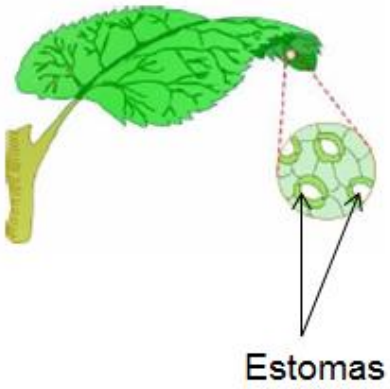
- **Limbo**. Zona de la hoja frecuentemente delgada y plana, en la que se diferencia el haz en su parte superior y el envés en la interior. El color del haz es más vivo que el del envés. Los nervios que se observan en el limbo corresponden a los haces conductores de xilema y floema.



Partes del limbo foliar:

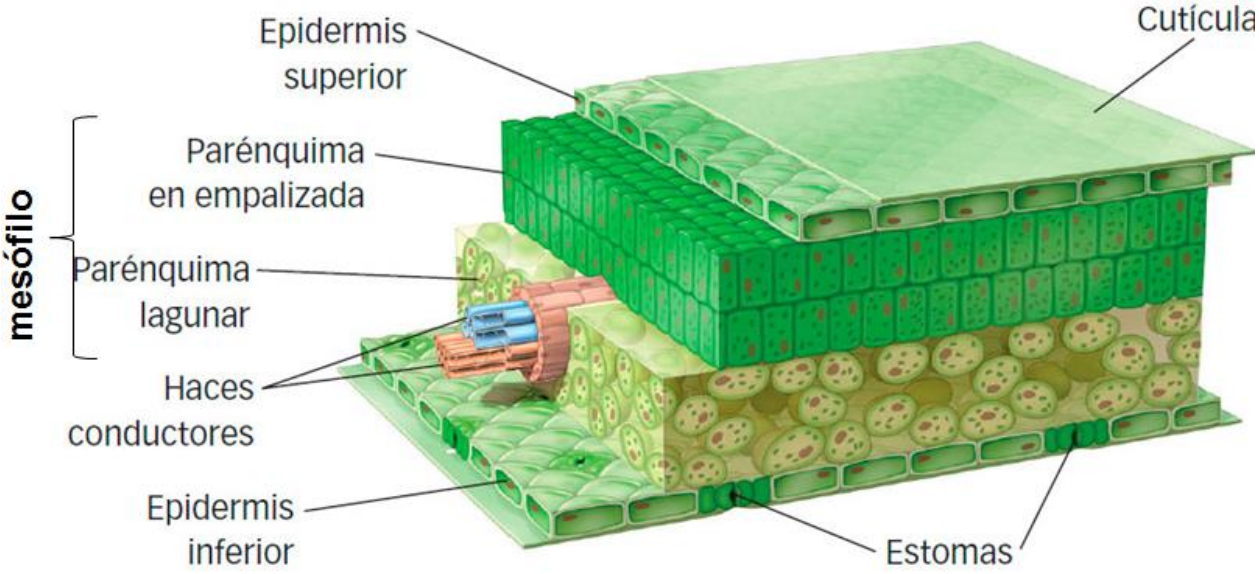
- **Epidermis**. Está formada por una capa de células que segregan cutina, formando una cutícula que rodea superficialmente al limbo.

  Tanto la cutícula como la epidermis son transparentes, dejando pasar luz a las células fotosintetizadoras del mesófilo. Estructuras características de la epidermis son los estomas, más numerosos por lo general en el envés que en el haz. Los **estomas** son estructuras que ponen en contacto el exterior de la hoja y los espacios intercelulares del interior.



- **Haces conductores**. Se encuentran en el mesófilo; conducen xilema y floema y forman las **nerviaciones** de las hojas. Se reconocen fácilmente en el limbo foliar por su dureza y falta de clorofila.

- **Mesófilo**. Está constituido, en casi todos los grupos de plantas, por **parénquima en empaliada**, en el haz y **parénquima lagunar**, en el envés. El primero está formado por dos o tres capas de células alargadas con gran número de cloroplastos y unidas en el sentido de la superficie de la hoja. En cambio, en el parénquima lagunar las células son irregulares, dejan muchos huecos entre ellas y contienen pocos cloroplastos; actúa sobre todo como tejido de reserva.



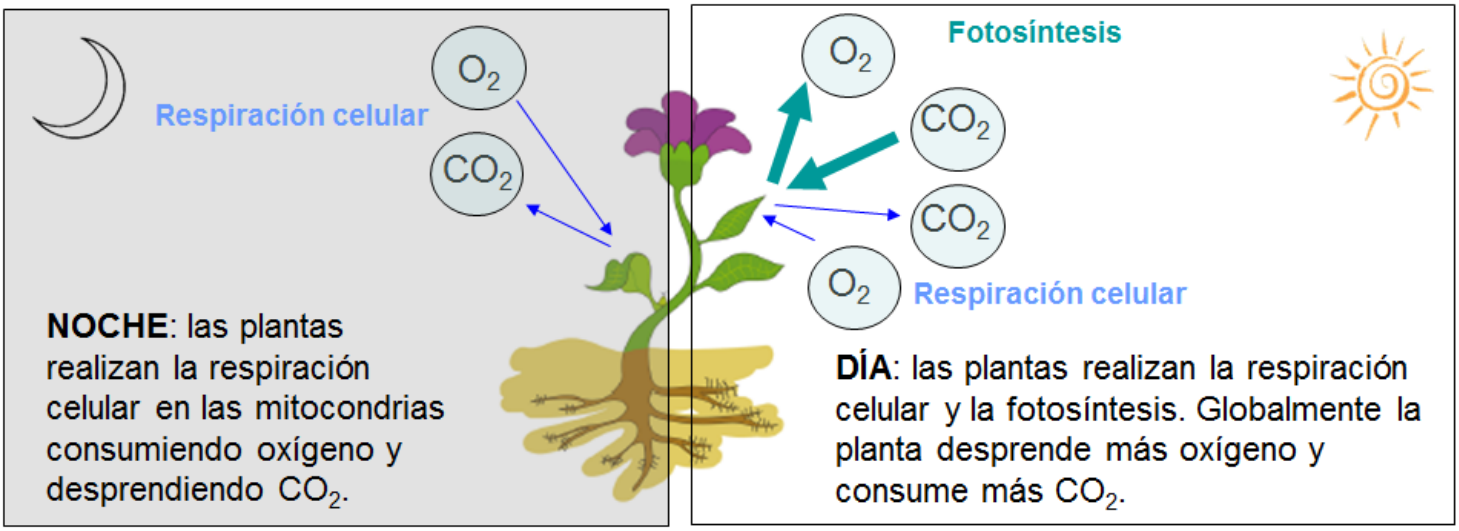
4.2 La transpiración y el intercambio de gases

La **transpiración** es la pérdida de agua por evaporación que se produce en las hojas mediante un proceso de difusión simple. La mayor parte de la transpiración de una planta se produce a través de los estomas de la epidermis foliar.

Las plantas intercambian dióxido de carbono (CO_2) y oxígeno (O_2) con la atmósfera:

- **Por la noche**, en oscuridad, las plantas no realizan fotosíntesis, por lo que solo hay consumo de oxígeno y desprendimiento de dióxido de carbono debido a la respiración celular.

- **Durante el día**, con iluminación, las plantas realizan fotosíntesis y siguen respirando. La intensidad de intercambio de gases de la fotosíntesis es superior a la de la respiración, por lo que generalmente las plantas durante el día desprenden oxígeno y consumen dióxido de carbono.



Este intercambio de gases se lleva a cabo principalmente a través de los **estomas** de las hojas. En los tallos de más de un año, el intercambio de gases se produce también a través de las **lenticelas**, grietas o huecos que existen en el tejido suberoso y que ponen en contacto el parénquima interno con el exterior.

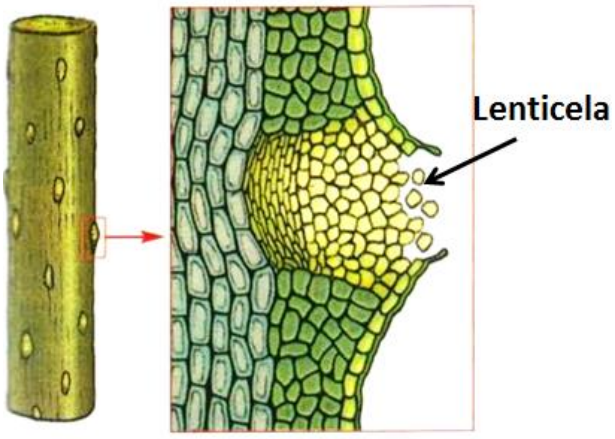
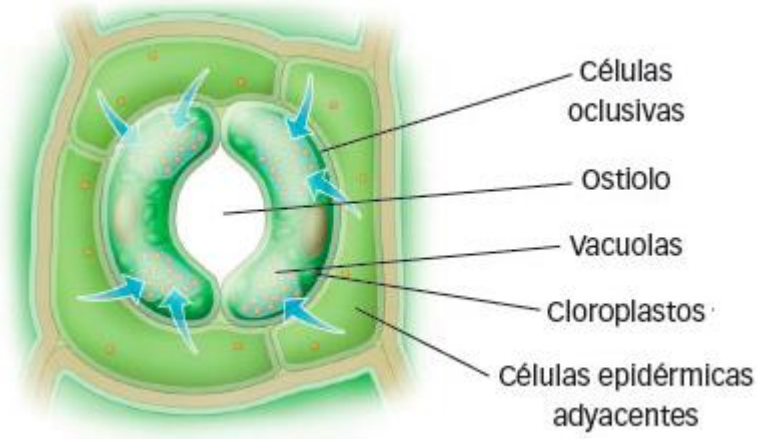
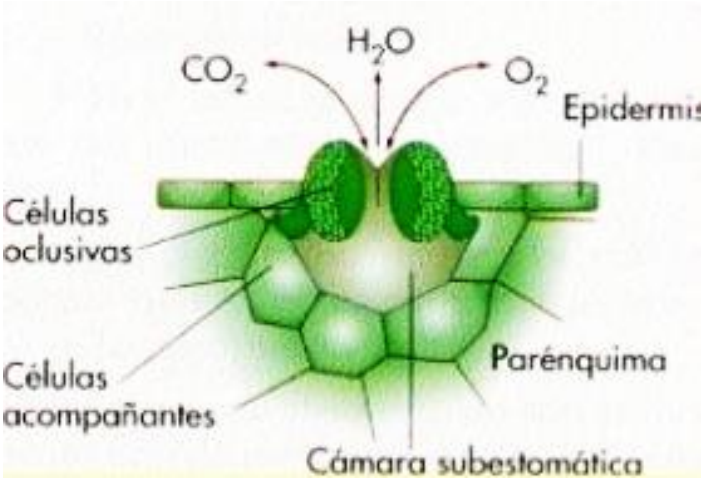


Figura. *A la izquierda, tallo con lenticelas. A la derecha, detalle de una de ellas.*

Los **estomas** están constituidos por células epidérmicas diferenciadas. En el estoma se distinguen dos **células oclusivas**, con forma arriñonada y cloroplastos, entre las que hay una abertura u **ostiolo** que conecta con una **cámara subestomática**.

En algunos casos, las células epidérmicas que rodean a las oclusivas están especializadas y reciben el nombre de **células anexas**.





La mayor parte del proceso de transpiración y del intercambuio de gases se produce a través de los estomas de las hojas. La apertura y cierre del estoma se debe al cambio de turgencia de las células oclusivas.

Al entrar agua de las células de alrededor, las oclusivas se hinchan y, debido a la diferente distribución de la pared celular, se abre el ostiolo, cuando se pierde agua, se cierra el ostiolo.

Este intercambio de agua está regulado por el ion K^+: al aumentar su concentración en las vacuolas de las células oclusivas, entra agua por ósmosis desde las células epidérmicas adyacentes, produciéndose la turgencia y, por tanto, la apertura del estoma; la salida de K^+ provoca la salida de agua. El intercambio de K^+ provoca la salida de agua. El intercambio de K^+ se produce a través de canales específicos dependientes de energía.

Entre los factores que afectan a la apertura y cierre de los estomas están:

- La **luz** produce un incremento de los azúcares procedentes de la fotosíntesis en las células oclusivas que poseen cloroplastos. La concentración elevada de azúcares provoca la entrada de agua en la célula por ósmosis y, por tanto, la apertura del estoma durante el día. Por las noches los estomas se cierran al decrecer la concentración de azúcares.

- La **concentración de CO_2** elevada en el mesófilo por el incremento de la respiración celular produce el cierre de los estomas.

- La **disponibilidad de agua** puede influir estimulando el cierre de los estomas cuando existe déficit de agua en el suelo (estrés hídrico).

4.3 La fotosíntesis en las hojas

La fotosíntesis es un proceso mediante el que las plantas convierten la energía luminosa en energía química, que es utilizada para la síntesis de nutrientes orgánicos. Se lleva a cabo sobre todo en los cloroplastos del parénquima en empalizada del mesófilo de las hojas, además de en los tallos verdes y en sépalos de las flores. Para el proceso de fotosíntesis se requiere agua, que proviene de la savia bruta, y dióxido de carbono, que la planta obtiene del aire, principalmente por difusión a través de los estomas. Tanto el agua como el dióxido de carbono difunden dentro de los cloroplastos.

En el proceso de fotosíntesis podemos diferenciar dos fases:

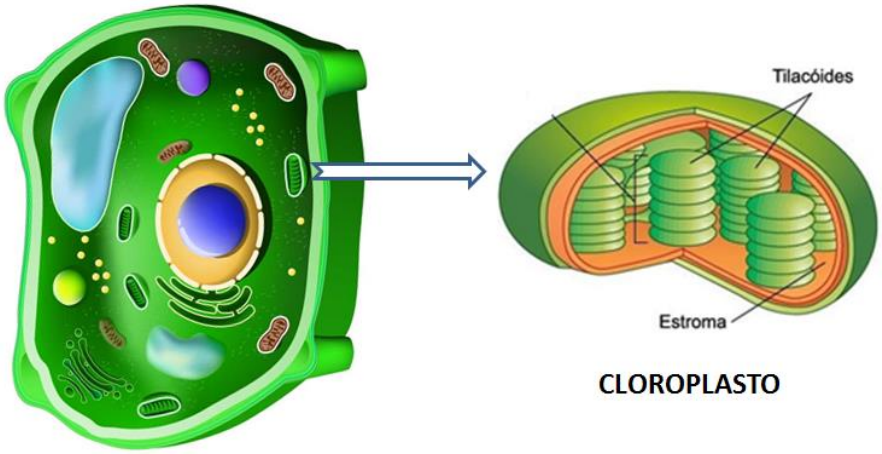
- una **fase luminosa** en la que intervine la luz y
- una **fase oscura** exclusivamente química

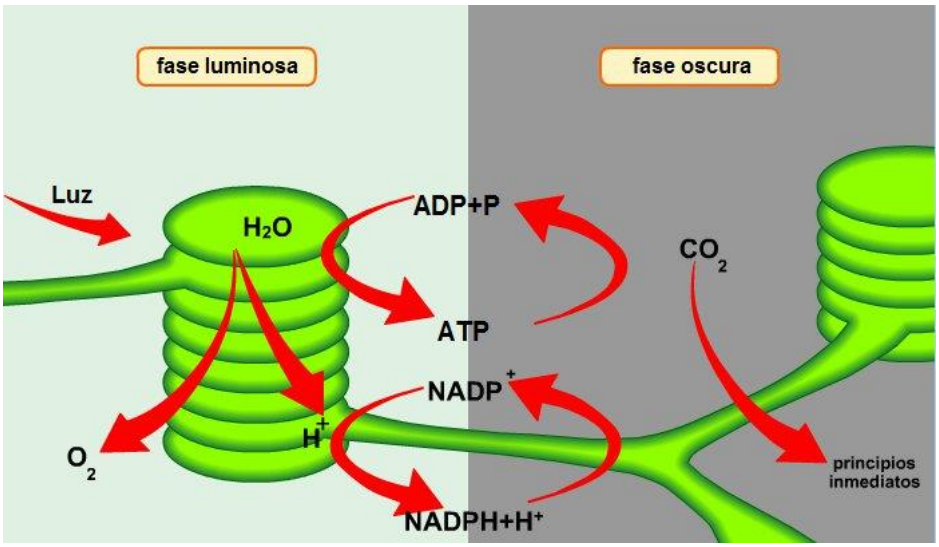
<u>Fase luminosa.</u> Se da en presencia de luz y tiene lugar en la **membrana de los tilacoides** presentes en los cloroplastos. Los pigmentos como la clorofila, xantofila y carotenos absorben la energía luminosa y provocan:

- La ***fotolisis*** del agua: $H_2O \rightarrow ½\ O_2 + 2\ H^+ + 2\ e^-$ con el desprendimiento de oxígeno a la atmósfera.

- Que los electrones liberados en la fotolisis del agua intervengan en reacciones de oxido-reducción que proporcionarán ***energía química en forma de moléculas de ATP***.

- Que los H^+ obtenidos en la fotolisis son recogidos por moléculas específicas transportadoras que tienen **poder reductor[2] como el $NADP^+$.**





[2] **Poder reductor:** capacidad que poseen algunas biomoléculas de donar electrones o recibir protones (H^+) en las reacciones metabólicas de oxidación-reducción, es decir, en aquellas donde una molécula se oxida, pierde electrones y otra molécula se reduce, gana esos electrones.

Fase oscura. No precisa la luz para realizarse, se da tanto de día como de noche y tiene lugar en el **estroma** de los cloroplastos. Se lleva a cabo un conjunto de reacciones denominado **ciclo de Calvin**, donde se utiliza el CO_2 del aire (o del agua en las plantas acuáticas) y el ATP y H^+ obtenidos en la fase luminosa. Se **sintetizan así moléculas orgánicas** como glúcidos (glucosa, por ejemplo), lípidos, aminoácidos, etc., gracias también a la intervención de sales minerales.

Los productos finales de la fotosíntesis, principalmente azúcares y polisacáridos, van a constituir la **savia elaborada** y serán transportados a otros lugares de la planta; allí servirán de nutrientes en los distintos procesos fisiológicos que se desarrollan en los diversos tejidos.

4.4 Importancia de la fotosíntesis

La fotosíntesis es uno de los procesos de mayor importancia desde el punto de vista biológico. Gracias a ella, las plantas pueden elaborar su propia materia orgánica a partir de materia inorgánica, lo que permite su supervivencia. Pero, además, tiene una gran importancia para el resto de la biosfera.

- La materia orgánica que forma los vegetales sirve de primer eslabón en las cadenas tróficas de los ecosistemas, lo que mantiene el ciclo de la materia.

- En la fase luminosa, la energía que llega del sol es transformada en energía química y almacenada en forma de ATP. Mientras la energía luminosa no puede ser utilizada por todos los seres vivos, la energía química sí. Esto hace que la fotosíntesis sea el proceso que origina el flujo de energía en los ecosistemas.

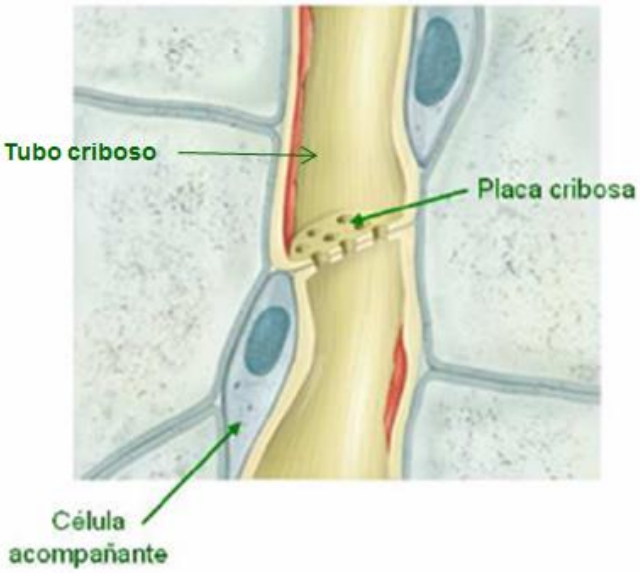
- El oxígeno liberado en la fotosíntesis, como producto residual, es un gas imprescindible para todos los organismos aerobios, incluso para las propias plantas.

- La fotosíntesis fija el CO_2 ambiental en forma de moléculas orgánicas. La retirada de este gas de la atmósfera regula el efecto invernadero.

5 Transporte de la savia elaborada

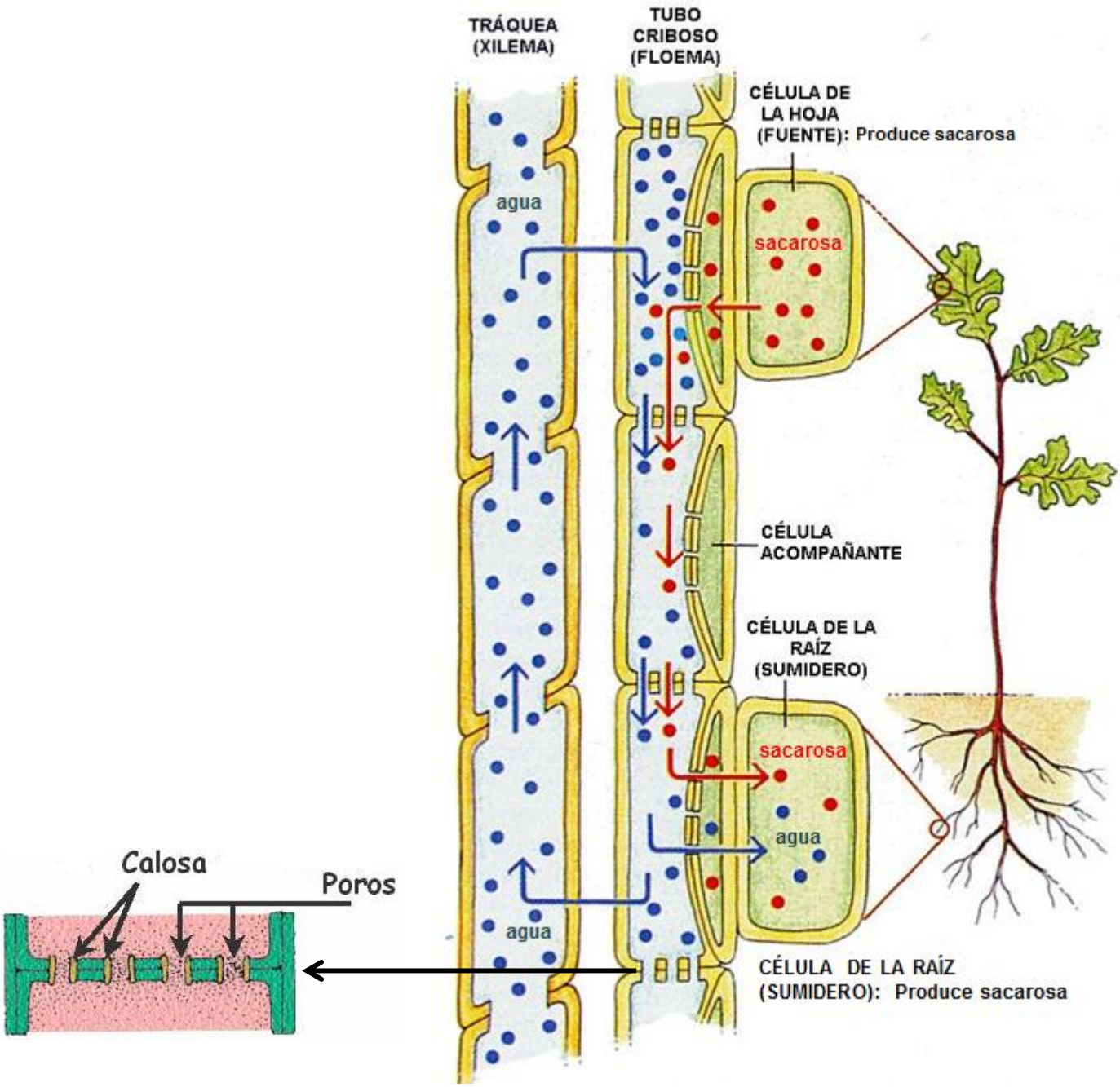
Las moléculas orgánicas producidas en la fotosíntesis, principalmente glúcidos como la sacarosa, además de aminoácidos y otras sustancias, junto con el agua, forman la **savia elaborada**.

El transporte de estas sustancias tienen lugar a través de los **vasos liberianos** o **tubos cribosos** y las **células acompañantes** del f**loema**. Los vasos liberianos son células vivas, alargadas, dispuestas unas a continuación de otras y separadas por tabiques de separación o placas cribosas; estas placas están perforadas por poros a modo de criba, lo que permite la circulación de savia de una célula a otra.



La savia elaborada se transporta desde los **órganos productores** o **fuentes** (hojas principalmente) a los **órganos consumidores** (raíces y tallos en crecimiento, yemas, flores, frutos y semillas) por un proceso llamado **translocación**.

El paso de la savia de las fuentes a los sumideros se explica mediante la **hipótesis del flujo de presión**. La savia elaborada entra en los **tubos cribosos (floema)** por transporte activo (con gasto de energía) y produce un aumento de concentración. Esto provoca la cesión del agua desde los **vasos leñosos (xilema)**, que se encuentran paralelos a ellos. El agua entra por ósmosis y ayuda a que se produzca el transporte de los nutrientes. Estos son extraídos por las células que los necesitan, con lo que disminuye su concentración; entonces, la mayor parte del agua regresa al xilema.



El movimiento de la savia elaborada es lento, ya que los huecos de las placas cribosas que atraviesan la luz de los vasos liberianos se taponan con un polisacárido llamado **calosa** en las estaciones frías, interrumpiéndose el transporte. En la primavera siguiente, la calosa se disuelve y el movimiento se inicia de nuevo.

6 La eliminación de los productos de excreción

La falta de aparatos excretores en los vegetales hace que haya tejidos excretores y secretores, cuyas células elaboran determinadas sustancias como resultado de la actividad metabólica.

6.1 La excreción

Recibe el nombre de **excreción** la expulsión de sustancias que no pueden ser utilizadas por las plantas y que incluso estorban por ser residuos del metabolismo. Un ejemplo de excreción en sentido amplio es la pérdida de las hojas y de la corteza.

6.2 La secreción

La **secreción** es la expulsión de sustancias que son útiles para las plantas.

Los tejidos secretores están formados por células con capacidad de sintetizar sustancias que no se incorporan al metabolismo fundamental. Estas pueden ser expulsadas al exterior o almacenadas en vacuolas o espacios intercelulares. Entre ellas se encuentran ciertas sustancias olorosas, que fabrican las plantas aromáticas; el **néctar**, la **resina** o el **látex**.

El **néctar** es una solución azucarada que atrae a los insectos que intervienen en la polinización.

La **resina** es una sustancia viscosa que se deposita en los canales resiníferos de las coníferas. Su misión es defender a la planta de insectos fitófagos y de los hongos. El látex es una mezcla de glúcidos, alcaloides, aceites, terpenos, etc., cuya misión, al igual que la resina, es defender a la planta de los insectos y de los hongos.

El **látex** circula por los canales laticíferos de algunas plantas, como la lechetrezna o la higuera. Tanto la resina como el látex tienen aplicaciones industriales y médicas.