



1 1

La nutrición de las plantas

- 1 Los procesos de nutrición en plantas
- 2 La absorción en plantas cormofitas
- 3 El transporte de la savia bruta
- 4 La transpiración y el intercambio de gases
- 5 La fotosíntesis
- 6 El transporte de la savia elaborada
- 7 El metabolismo y almacenamiento de los nutrientes
- 8 La excreción en plantas

En las cadenas alimentarias, los animales carnívoros se alimentan de otros animales que a su vez se alimentan de plantas.

En último término, todos los animales dependemos de las plantas para nuestra nutrición, ya que son ellas, con su capacidad fotosintética, las responsables de elaborar materia orgánica a partir de materia inorgánica.

Las plantas submarinas, como la posidonia, junto con las algas son los organismos autótrofos fotosintéticos que realizan uno de los mayores aportes de materia orgánica y de oxígeno a nuestro planeta.

Las praderas de posidonia de Las Salinas son declaradas Patrimonio de la Humanidad

El 14 de diciembre de 1999, la UNESCO ha declarado como Patrimonio de la Humanidad las praderas de posidonia del Parque Natural de Las Salinas, un excepcional ecosistema de gran valor.

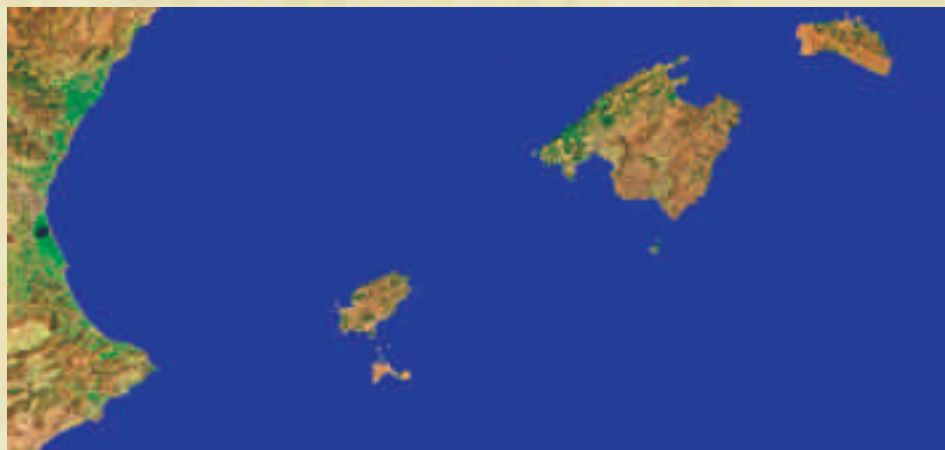
La UNESCO declaró la ciudad de Ibiza como Patrimonio de la Humanidad, y ha extendido esta protección al Parque Natural de Las Salinas, situado entre las islas de Ibiza y Formentera. Este parque incluye extensas praderas de *Posidonia oceánica*, planta endémica del mar Mediterráneo, que vive bajo el agua, entre la superficie y los 50 metros de profundidad, donde todavía llega la luz suficiente para realizar la fotosíntesis.

La posidonia, llamada así por Poseidón, rey del mar en la mitología griega, enraíza en aquellos fondos que crean suelo, llegando a formar grandes extensiones de hasta 2 000 kilómetros cuadrados. Estas plantas son uno de los organismos más longevos del planeta, llegando a vivir hasta 100 000 años. Los ecosistemas que forman

son importantísimos, pues albergan y generan gran biodiversidad. Son el principal productor primario del mar Mediterráneo debido a que generan entre 4 y 20 litros de oxígeno diarios por cada metro cuadrado, constituyendo una de las fuentes de oxigenación más importantes de este mar. Además, durante los periodos de máxima productividad, parte de este oxígeno es difundido a la atmósfera terrestre.

Anualmente son capaces de fijar hasta medio millón de toneladas de CO₂, evitando así que este gas, responsable del efecto invernadero, escape a la atmósfera. Las hojas de posidonia, que son largas, en forma de cinta y de color verde intenso, son arrastradas al morir hasta zonas más profundas, donde al descomponerse aportan nutrientes a otros seres vivos de los fondos marinos.

Carlos Duarte, científico del Instituto Mediterráneo y de la Universidad de Baleares, explica que la importancia de la protección de estas praderas radica en las numerosas funciones que desempeñan, como productor de oxígeno, sumidero de CO₂, reciclado de nutrientes, prevención de la erosión, protección de la línea de costa, y para la creación y sostén de las playas.



Recuerda y contesta

La nutrición de las plantas es autótrofa, pues sintetizan, con ayuda de la luz, los compuestos orgánicos que necesitan a partir de nutrientes inorgánicos como agua, dióxido de carbono y sales minerales.

Las plantas cormofitas han desarrollado órganos específicos para la nutrición, como: la raíz, el tallo y las hojas, además de un sistema de tejidos de transporte que lleva los nutrientes a los diferentes órganos de la planta.

- ▶ ¿Cómo se llama el proceso que transforma la energía luminosa en energía química?
- ▶ ¿Recuerdas cuál es el orgánulo celular donde se realiza este proceso?
- ▶ ¿Qué procesos nutritivos se dan en las raíces y las hojas?
- ▶ ¿Cuáles son los tejidos de transporte de las plantas?

1 Los procesos de nutrición en plantas

Las plantas son organismos autótrofos que realizan **fotosíntesis**. Del medio en que viven obtienen agua, sales minerales y dióxido de carbono, y utilizan la luz como fuente de energía para fabricar su propia **materia orgánica**.

En los organismos con organización **talofítica***, que no tienen verdaderos tejidos, el proceso de nutrición es muy simple. Al no poseer órganos específicos para la nutrición, la incorporación de la materia inorgánica necesaria para realizar la fotosíntesis se realiza directamente del medio, por lo general acuático.

Por el contrario, las plantas **cormofitas*** presentan órganos específicos como las **raíces**, a través de las cuales se realiza la absorción de agua 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.

En las plantas cormofitas, el proceso nutritivo consta de varias etapas.

***Organización talofítica:** Tipo de organización en la que no existen tejidos, ni órganos. Las algas y los líquenes tienen esta organización.

***Organización cormofítica:** Organización vegetal en la que las células se agrupan en tejidos y órganos. Las plantas peridofitas y espermafitas tienen organización cormofítica.

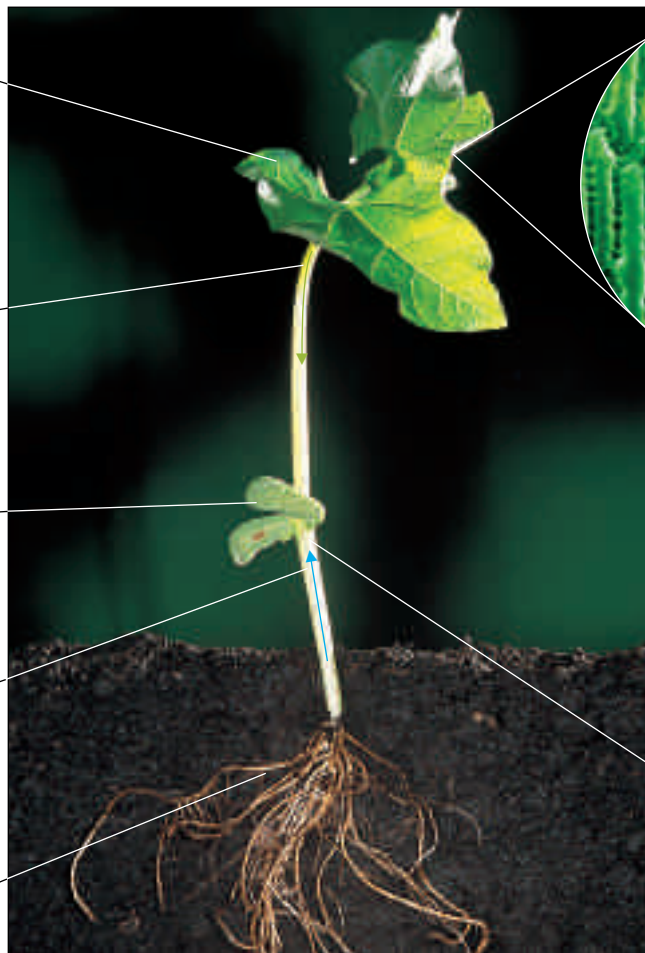
Fotosíntesis. Proceso bioquímico que se realiza en los parénquimas clorofílicos de hojas y tallos verdes. Utiliza la energía luminosa para obtener materia orgánica a partir de inorgánica.

Transporte de la savia elaborada. Se realiza desde los tejidos fotosintetizadores a todas las partes de la planta por medio de los vasos conductores del floema.

Acumulación y/o eliminación de sustancias de desecho.

Transporte de la savia bruta. Se realiza desde las raíces hasta las hojas a través de los vasos conductores del xilema.

Incorporación de nutrientes. Absorción de agua y sales minerales por las raíces, y formación de la savia bruta.



Intercambio de gases. El dióxido de carbono, el oxígeno y el vapor de agua se intercambian con el medio a través de los estomas de las hojas.

Utilización de los compuestos orgánicos elaborados para obtener materia y energía mediante el metabolismo celular. Una parte de este corresponde a la **respiración celular**, con ella todas las células de la planta, aunque no realicen fotosíntesis, obtienen materia y energía.

Actividades

- 1 Además de las algas y los líquenes, ¿qué otros organismos tienen organización talofítica?
- 2 Enumera los procesos de nutrición en las plantas, ordenándolos desde la absorción de sustancias en la raíz hasta la eliminación de sustancias de desecho. Indica dónde se realiza cada uno.

1.1. Nutrición en plantas briofitas

Las briofitas, musgos y hepáticas son consideradas las plantas más primitivas. Son vegetales estructuralmente muy sencillos que carecen de tejidos conductores. No presentan raíz ni tallo ni hojas; aunque tienen estructuras parecidas denominadas **rizoides**, corresponden a falsas raíces; **cauloides**, falsos tallos, y **filoides**, falsas hojas.

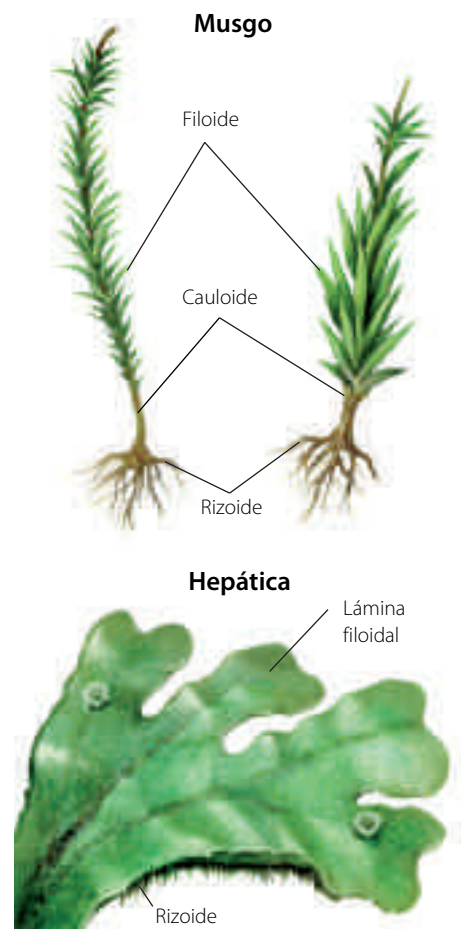
Los rizoides realizan funciones similares a las raíces de las cormofitas, fijando el vegetal al sustrato. Los filoides llevan a cabo funciones parecidas a las hojas, en ellos tiene lugar la fotosíntesis. Esta estructura, que recuerda a la de plantas cormofitas, se llama **protocormofítica**.

Los musgos y hepáticas viven en medios terrestres, pero necesitan ambientes con mucha humedad. Al no poseer estructuras especializadas para la absorción, la obtención de agua y sales minerales la realizan directamente por difusión del medio que les rodea a través de toda su superficie. Este proceso puede producirse gracias a que sus epitelios carecen de una **cutícula*** impermeable que impida la entrada, como ocurre en los tejidos de protección de las cormofitas.

El intercambio de gases también lo realizan directamente por difusión entre sus células y el medio en el que viven.

El transporte de sustancias por el interior tiene lugar por simple difusión de unas células a otras, y en ocasiones por transporte activo.

***Cutícula:** Cubierta de ceras situada en la cara exterior de la epidermis.



Actividades

- 3 En las briofitas, ¿cuáles son los órganos análogos a los de las cormofitas?, ¿qué función realiza cada uno?
- 4 Si no existen tejidos de transporte en las briofitas, ¿cómo se distribuyen las sustancias por el interior de la planta?
- 5 Si las briofitas no tienen raíz ni hojas, ¿cómo obtienen sus nutrientes?
- 6 Explica por qué la presencia de cutícula impediría el proceso de nutrición de las briofitas.

2 La absorción en plantas cormofitas

***Ósmosis:** Las membranas de las células vegetales son permeables al agua y relativamente impermeables a solutos, por lo que el agua se mueve a través de las mismas desde donde la concentración de solutos es menor hacia donde es mayor.

***Coloide:** Tipo de mezcla en la cual una sustancia se encuentra en el seno de otra pero sin llegar a disolverse.

Existen dieciséis elementos químicos esenciales para el desarrollo de las plantas terrestres. Salvo excepciones, todos ellos provienen del suelo. Estos bioelementos se pueden dividir en:

- **Macronutrientes.** Se requieren en cantidades relativamente grandes, alrededor del 0,05 % del peso seco.
- **Micronutrientes.** Se necesitan en cantidades muy pequeñas, por lo que también se conocen como **oligoelementos**.

En las plantas cormofitas la incorporación de la mayoría de bioelementos se lleva a cabo en las raíces, por medio de la absorción de agua y sales minerales del suelo.

2.1. Absorción de agua

Las raíces mantienen el aporte continuo de agua que las plantas necesitan para su nutrición, y compensan la pérdida de la misma por transpiración. En algunos casos existen mecanismos de incorporación de agua atmosférica a través de células epiteliales de otros órganos.

La zona de la raíz en la que se absorbe el agua se llama **zona pilífera**. Está formada por células epiteliales con **pelos absorbentes**, cuyas paredes son delgadas y carecen de cutícula, lo que le confiere una alta capacidad de absorción.

La membrana celular es la barrera semipermeable que separa el exterior del interior celular y que determina la absorción selectiva de nutrientes. El agua atraviesa la membrana y penetra en los pelos por **ósmosis***.

En los suelos salinos la concentración de solutos en el agua del terreno es superior a la que existe en el interior de los tejidos de la raíz. Las plantas que viven en estos suelos poseen adaptaciones especiales para obtener agua, acumulando por ejemplo sales minerales en vacuolas de las células radiculares.

2.2. Factores que afectan a la absorción de agua

Hay varios factores que afectan a la absorción de agua por las raíces:

- La **temperatura** favorece los procesos del metabolismo celular y, por tanto, incrementa la absorción. Las temperaturas bajas la disminuyen.

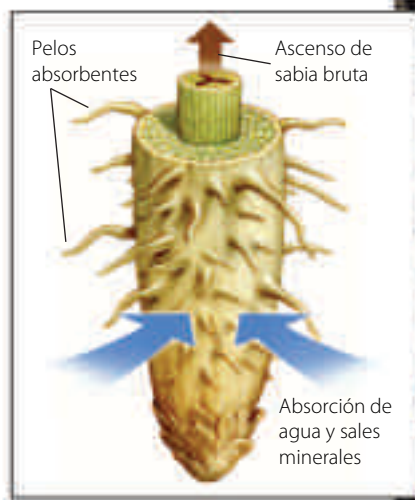
- La mayor **aireación** del suelo provoca un aumento de la superficie de absorción, formándose raíces muy ramificadas y pelos radicales largos y numerosos.

- El aumento de la **cantidad de agua** en el suelo favorece su entrada a las raíces, siempre que la concentración de sales en el suelo sea inferior a la del interior de los pelos radicales.

- La **capacidad de retención** del suelo es importante, pues en muchos casos el agua del terreno no es agua libre o circulante, sino que está retenida en forma de **coloides***. Además, en ocasiones parte del agua queda fuertemente adherida a las partículas del suelo.

Actividades

- 7 ¿Qué diferencia existe entre un macronutriente y un micronutriente?
- 8 Explica cómo absorben agua las raíces, ¿cómo se llama el mecanismo?
- 9 Cita y explica los principales factores que influyen en la absorción de agua por la raíz.
- 10 ¿Cuál es la forma principal de entrada de sales minerales a la raíz?, ¿qué mecanismo utilizan?



A través de los pelos absorbentes de las raíces, las plantas cormofitas incorporan el agua y algunos nutrientes esenciales para su nutrición.

2.3. Absorción de sales minerales

La absorción de sales minerales se realiza en forma de **iones**. El mecanismo de entrada es por **transporte activo**, y se realiza en contra de gradiente de concentración, por lo que es necesario un gasto de energía. Este mecanismo requiere la participación de enzimas transportadoras que se encuentran en la membrana plasmática, introduciendo iones del exterior al interior de las células epidérmicas y los pelos absorbentes. En muchos casos se han observado además **canales iónicos** a través de la membrana que facilitan el proceso. Existen también mecanismos por difusión e intercambio iónico sin gasto energético.

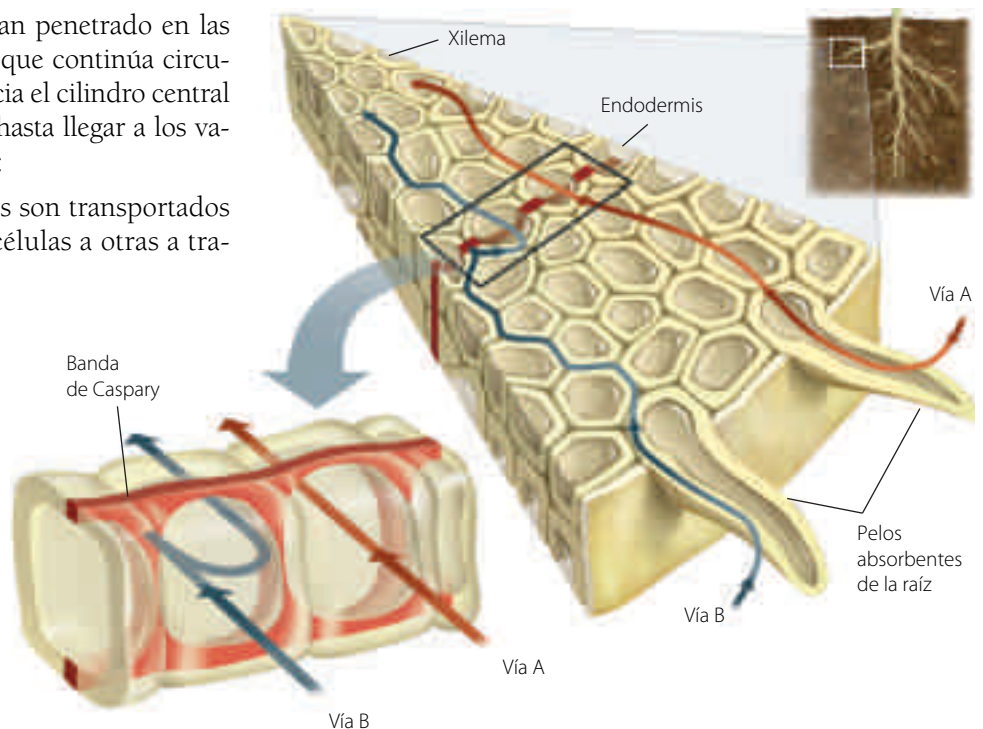
***Plasmodesmos:** Poros en la pared celular que comunican células vecinas.

Nutrientes	Funciones moleculares principales	Forma en la que se absorbe
Carbono (C)	Componente de todos los compuestos orgánicos.	Dióxido de carbono (CO ₂)
Hidrógeno (H)	Componente de todos los compuestos orgánicos.	Agua (H ₂ O)
Oxígeno (O)	Componente de todos los compuestos orgánicos.	Agua (H ₂ O) y oxígeno molecular (O ₂)
Nitrógeno (N)	Componente de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, coenzimas...	Nitratos (NO ₃ ⁻) y amonio (NH ₄ ⁺)
Fósforo (P)	Componente de ácidos nucleicos, fosfolípidos, ATP...	Fosfatos (H ₂ PO ₄ ⁻ y HPO ₄ ²⁻)
Azufre (S)	Componente de algunos aminoácidos y vitaminas.	Sulfatos (SO ₄ ²⁻)
Magnesio (Mg)	Componente de la clorofila y activador enzimático.	Ion libre de Mg ²⁺
Calcio (Ca)	Activador enzimático, interviene en procesos de permeabilidad y estabilidad de la membrana.	Ion libre de Ca ²⁺
Potasio (K)	Activador enzimático, participa en procesos de ósmosis y apertura de estomas.	Ion libre de K ⁺
Oligoelementos: Boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), manganeso (Mn), hierro (Fe), cinc (Zn) y molibdeno (Mo)	El boro facilita el transporte de azúcares. El cloro interviene en el balance iónico de la célula. El cobre es componente de enzimas de la fotosíntesis. El manganeso y el cinc son componentes de enzimas respiratorias. El hierro es componente de enzimas de la respiración y la fotosíntesis. El molibdeno es componente de enzimas del metabolismo del nitrógeno.	B, Cl ⁻ , Cu ²⁺ , Mn ⁷⁺ , Zn ²⁺ , Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , MoO ₄ ²⁻ .

Una vez que el agua y las sales minerales han penetrado en las células epidérmicas, forman la **savia bruta**, que continúa circulando radialmente en el interior de la raíz hacia el cilindro central donde se encuentra el xilema. El transporte hasta llegar a los vasos leñosos se puede realizar de dos maneras:

- **Vía A o simplástica.** El agua y los solutos son transportados por ósmosis y transporte activo de unas células a otras a través de **plasmodesmos***.
- **Vía B o apoplástica.** El movimiento se realiza por difusión simple por el exterior de la membrana celular, y engloba las paredes celulares y los espacios intercelulares. Este movimiento se ve interrumpido en la endodermis de la raíz, donde existen engrosamientos de suberina entre las células, la **banda de Caspary**, que regulan el paso de sustancias.

Las **micorrizas**, asociación simbiótica de hongos y raíces de plantas, es otro medio muy eficaz que facilita la absorción de agua y nutrientes del suelo, especialmente fosfatos y oligoelementos.



3 El transporte de la savia bruta

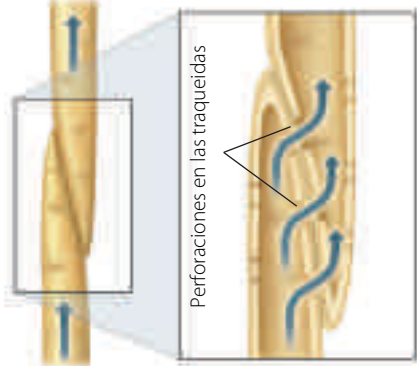
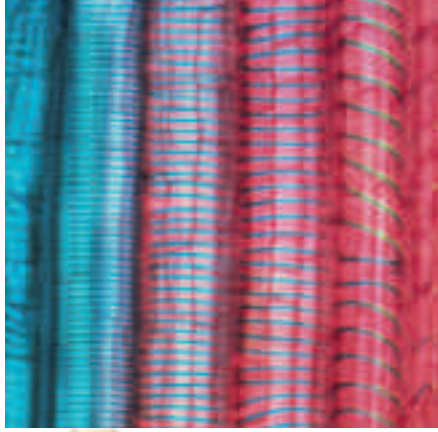
El agua junto con las sales minerales que se absorben en las raíces constituyen la **savia bruta**. Esta mezcla es transportada a lo largo de la raíz y del tallo hasta las hojas, donde parte del agua se elimina por transpiración y otra se utiliza en la fotosíntesis.

La savia bruta es transportada de forma continua a través de los vasos que forman el **tejido leñoso** o **xilema**. Estos vasos están constituidos por células muertas, denominadas **traqueidas**, que son huecas, cilíndricas, con gruesas paredes reforzadas por **lignina** y cuyos tabiques de separación entre células han desaparecido o están perforados.

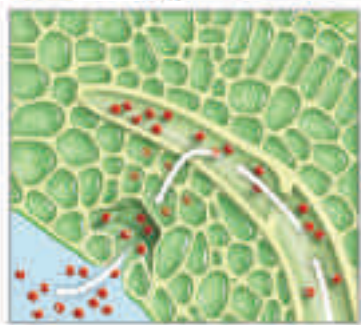
3.1. Mecanismos de transporte de la savia bruta

En el transporte ascendente de savia bruta intervienen una serie de mecanismos capaces de mover, por el interior de las traqueidas, gran cantidad de agua a muchos metros de altura, en contra de la fuerza de gravedad.

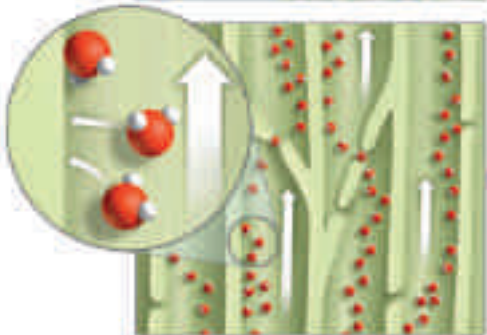
- **Cohesión-tensión.** Se debe a la estructura de las moléculas de agua, que se encuentran fuertemente unidas entre sí, lo que produce una elevada cohesión. Esta cohesión hace subir la savia bruta, ya que puede crear gran tensión gracias a dos fenómenos:
 - **Transpiración.** A medida que el agua se evapora por transpiración en las hojas, se genera una presión o tensión 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.
 - **Capilaridad.** La fina estructura de las traqueidas y las propiedades de cohesión y adhesión del agua hacen que la savia bruta se pueda adherir a las paredes de los tubos del xilema y ascender por capilaridad.
- **Presión radicular.** Es la presión ejercida por mecanismos osmóticos originados por la continua entrada de agua en los pelos radicales, que «empujan» 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 importancia. Se puede apreciar, cuando se corta un árbol, cómo en el tocón se acumula agua en su superficie.



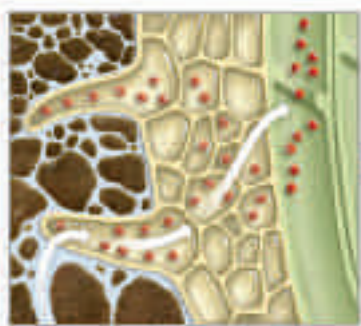
Perforaciones en las traqueidas



Transpiración



Capilaridad



Presión radicular



Actividades

- 11 Cita los tres mecanismos por los que la savia bruta asciende por los tallos hacia las hojas y explícalos.

4 La transpiración y el intercambio de gases

En las hojas se realizan dos procesos esenciales para la nutrición vegetal: la **transpiración** y el **intercambio de gases**.

4.1. Transpiración

La **transpiración** es la pérdida de agua por evaporación que se produce en las hojas mediante un proceso de difusión simple.

En la epidermis foliar se encuentran dispersos los **estomas**, estructuras que ponen en contacto el exterior de la hoja y los espacios intercelulares del interior. A su través se produce la mayoría de la transpiración de la planta.

Los estomas están constituidos por dos **células oclusivas** con forma arriñonada, entre las que hay una abertura u **ostiolo**, que conecta con una **cámara subestomática**. Los estomas abren o cierran el ostiolo, y regulan la transpiración.

La velocidad de la transpiración depende de **factores ambientales**, como:

- **La luz.** Produce un incremento de los azúcares procedentes de la fotosíntesis en las células oclusivas que poseen cloroplastos. La elevada concentración 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 disminuir la concentración de azúcares.
- **El viento.** Facilita la eliminación del vapor de agua cercano a la hoja e incrementa la transpiración.
- **La humedad relativa del aire.** Si la humedad atmosférica es alta, disminuye la transpiración.
- **La temperatura.** Las temperaturas elevadas aumentan la evaporación del agua, y, por tanto, incrementan la transpiración.

4.2. Intercambio de gases

Las plantas intercambian **dióxido de carbono** y **oxígeno** con la atmósfera. Este intercambio se lleva a cabo principalmente a través de los estomas.

- **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, la planta sigue respirando y realiza fotosíntesis. La intensidad de intercambio de gases de la fotosíntesis es superior al de la respiración, por lo que globalmente la planta durante el día desprende oxígeno y consume dióxido de carbono.

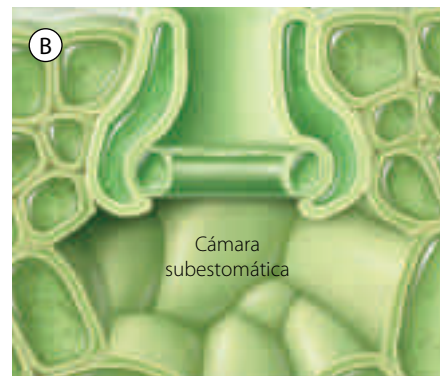
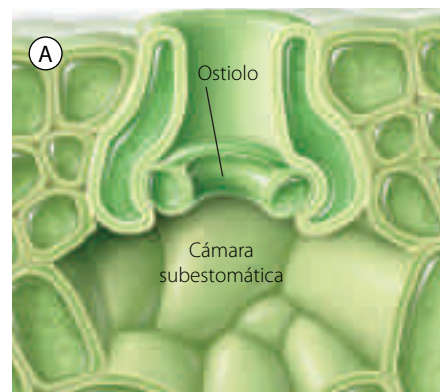
En los tallos de más de un año, el intercambio de gases se produce a través de las **lenticelas**, grietas o huecos que existen en el tejido suberoso y que ponen en contacto el parénquima interno con el exterior.

4.3. Gutación

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 la absorción de agua, por lo que esta es literalmente «empujada» a lo largo del xilema, desde las raíces, siendo expulsada por unas estructuras especiales, denominadas **hidátodos**.



Corte longitudinal de un estoma de la acícula de un pino (teñido con rojo congo)



Esquema en sección longitudinal de un estoma abierto (A) y de uno cerrado (B)

Actividades

- 12 ¿Cómo se llaman las células por las que se mueve la savia bruta?
- 13 ¿Por qué es importante la transpiración para las plantas?

5 La fotosíntesis

La fotosíntesis es el proceso por el cual las plantas convierten la energía luminosa en energía química, que es utilizada para la síntesis de sustancias orgánicas. La reacción global puede resumirse en la siguiente ecuación:



La fotosíntesis consta de una serie de reacciones fotoquímicas que se realizan en los cloroplastos del parénquima clorofílico, de las hojas y tallos verdes.

Se pueden diferenciar dos fases: una **fase dependiente de la luz**, en la que la energía luminosa se transforma en energía química, y una **fase independiente de la luz**, exclusivamente química, en la que se sintetizan sustancias orgánicas.

5.1. Fase luminosa

Esta fase tiene lugar en las membranas de los **tilacoides** de los cloroplastos, y en ella se absorbe la energía luminosa que proviene del Sol.

Ciertos pigmentos, como la **clorofila**, de color verde; la **xantofila**, de color amarillo, y los **carotenoides**, de color anaranjado, utilizan la energía luminosa para decomponer las moléculas de agua, obteniendo como productos resultantes: oxígeno molecular (O_2), electrones (e^-) y protones (H^+).

Los electrones pasan a una cadena de reacciones de **óxido-reducción**, en la que la energía obtenida es almacenada en forma de enlaces químicos, en unas moléculas denominadas **ATP**.

5.2. Fase oscura

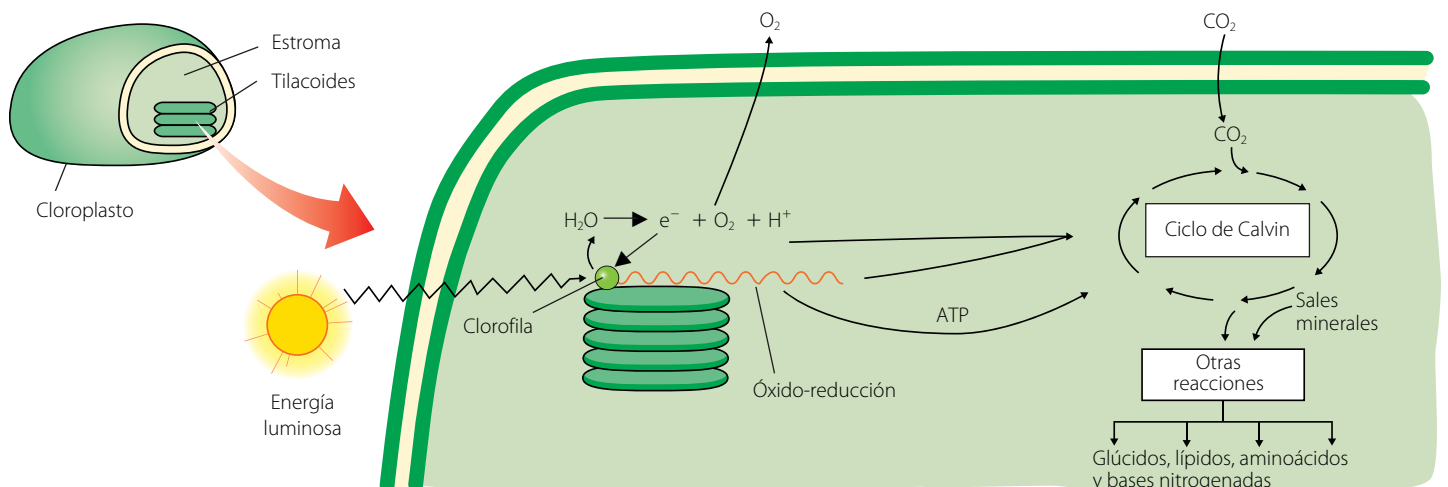
Tiene lugar en el **estroma** de los cloroplastos y utiliza algunos de los productos obtenidos en la fase luminosa; el CO_2 , tomado del medio; los compuestos ricos en nitrógeno, azufre y fósforo, procedentes de las sales minerales, y la energía química, almacenada en forma de ATP, para sintetizar **materia orgánica**.

El CO_2 , junto con el producto resultante de la cadena de óxido-reducción y la energía del ATP, son utilizados en un conjunto de reacciones, denominado **ciclo de Calvin**, que forma parte de la fase oscura.

Los productos obtenidos en el ciclo de Calvin, junto con las sales minerales, son usados, mediante otras reacciones anabólicas, para elaborar productos orgánicos más complejos como glúcidos, lípidos, aminoácidos y bases nitrogenadas. Dado que se utiliza energía química, el proceso es **independiente de la luz**.

Actividades

- 14** ¿Crees que la fase oscura recibe este nombre porque solo se lleva a cabo de noche?
- 15** ¿La fase oscura puede realizarse de día, es decir, con la luz del sol? Y la fase luminosa ¿puede producirse por la noche? Explica tus respuestas.

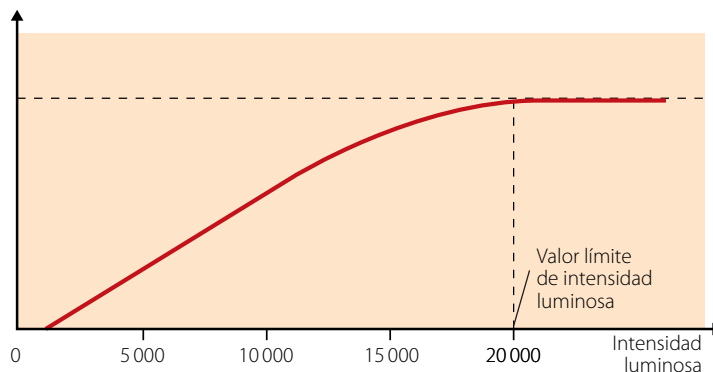


5.3. Factores que afectan a la fotosíntesis

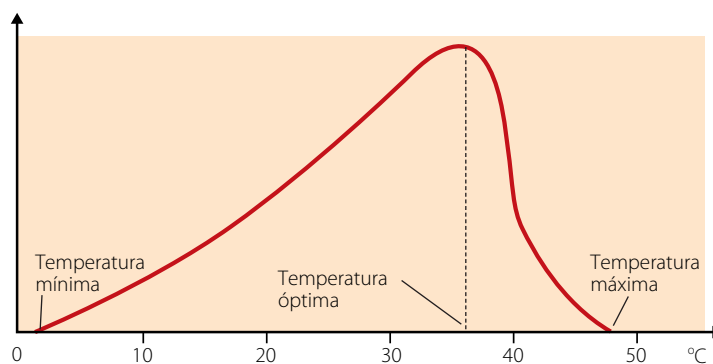
El rendimiento fotosintético de una planta se puede medir de varias maneras, entre ellas: en función de la cantidad de oxígeno producido o de la cantidad de CO₂ asimilado en el proceso.

Existen varios factores que afectan a la intensidad con que se produce la fotosíntesis y, por tanto, a su rendimiento, entre ellos destacan:

- **La concentración de CO₂.** El aumento de la concentración de CO₂ ambiental incrementa el rendimiento de la fotosíntesis, hasta llegar a un valor límite en el que ese rendimiento es máximo y se estabiliza.
- **La concentración de O₂.** Cuando la concentración de oxígeno es elevada, el rendimiento fotosintético disminuye, ya que este gas disminuye la actividad de una de las enzimas que controla el ciclo de Calvin.
- **La intensidad luminosa.** El aumento de la intensidad luminosa incrementa la actividad fotosintética hasta alcanzar un valor límite, que depende del tipo de planta. En plantas **heliófilas*** este valor se alcanza en intensidades de radiación altas, mientras que en plantas **umbrófilas*** el límite se alcanza en intensidades de luz bajas.
- **La temperatura.** Al aumentar la temperatura se incrementa el rendimiento fotosintético, hasta alcanzar una temperatura óptima, a partir de la cual se produce un descenso considerable de la actividad fotosintética. Esto se debe a que la actividad de las enzimas que actúan en las reacciones fotosintéticas es óptima a una temperatura determinada, disminuyendo su eficacia por encima y por debajo de ese valor.



Influencia de la **intensidad luminosa** sobre el rendimiento fotosintético medido en función del oxígeno producido.



Influencia de la **temperatura** sobre el rendimiento fotosintético medido en función del oxígeno producido.

5.4. 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 las mismas plantas.
- La fotosíntesis fija el CO₂ ambiental en forma de moléculas orgánicas. La retirada de este gas de la atmósfera regula el efecto invernadero.

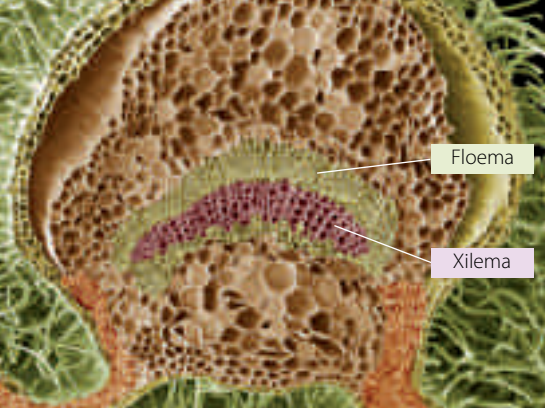
***Heliófila:** Planta adaptada a vivir a pleno sol.

***Umbrófila:** Planta adaptada a vivir en ambientes sombreados.

Actividades

16 Explica cómo afecta la concentración de CO₂ al rendimiento de la fotosíntesis.

17 ¿Cuál es la importancia de la fotosíntesis en el flujo de energía de un ecosistema?



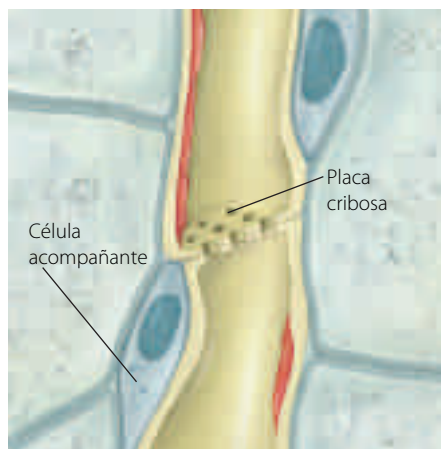
6 El transporte de la savia elaborada

Las moléculas orgánicas, principalmente glúcidos como la sacarosa, producidas en la fotosíntesis forman la **savia elaborada**. El transporte de estas sustancias desde los tejidos productores hacia todas las partes de la planta tiene lugar a través de los **vasos liberianos**, o **tubos cribosos**, y células acompañantes del **floema**.

Los vasos liberianos son células vivas, alargadas, dispuestas unas a continuación de otras, y cuyos tabiques de separación o **placas cribosas** están perforados por poros a modo de criba, lo que permite la circulación de savia de una célula a otra.

Como en gran medida los compuestos orgánicos se acumulan en las raíces, el transporte se realiza en esa dirección, aunque los frutos, las semillas y los órganos de crecimiento, como yemas, también lo requieren.

Los glúcidos y demás componentes orgánicos producidos en el parénquima clorofílico de las hojas pasan por transporte activo a las células acompañantes del floema, y a través de los plasmodesmos entran dentro de los tubos cribosos.



6.1. Mecanismos de transporte

Se conocen actualmente dos tipos de mecanismos de transporte por el floema, uno pasivo y otro activo, que no son excluyentes entre sí.

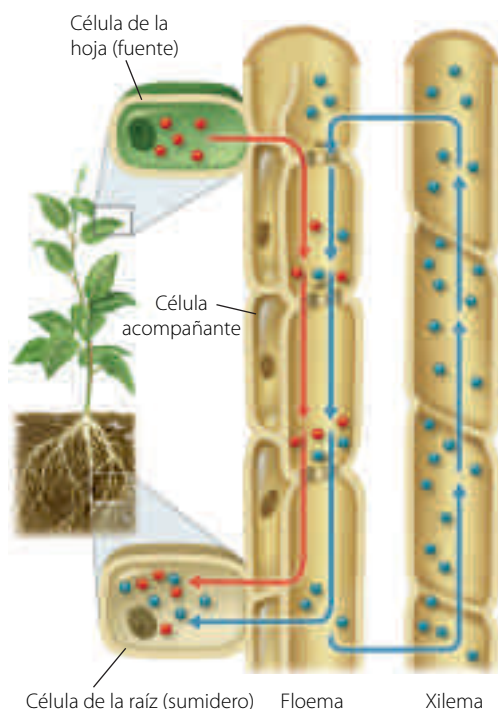
- **Mecanismo pasivo.** Se basa en la hipótesis del **flujo de masa** o flujo de presión. Según esta hipótesis, el movimiento se realiza por medio de un gradiente de presión entre los órganos productores o fotosintetizadores y los órganos consumidores.

El aumento de glúcidos en los tubos cribosos hace que se incremente la concentración de solutos, lo que provoca la entrada de agua por ósmosis en los mismos. El agua procede de las células vecinas del xilema, y como resultado de la entrada masiva de agua se produce un empuje de la savia elaborada hacia los órganos consumidores, donde pasan, por transporte activo, desde los tubos cribosos hacia las células que la requieren. La consecuente disminución en la concentración de solutos hace que el agua salga de los tubos cribosos por ósmosis a los tejidos que le rodean.

- **Mecanismo activo.** Se basa en la hipótesis de las **corrientes intracitoplasmáticas**, que considera que muchos de los compuestos orgánicos podrían transportarse a través del citoplasma de los tubos cribosos con consumo de energía.

El movimiento de la savia elaborada es lento, ya que la luz de los vasos liberianos está interrumpida por las placas cribosas, cuyos huecos se taponan con **calosa** en las estaciones frías, interrumpiéndose el transporte. En la primavera siguiente, la calosa se disuelve y el movimiento se reinicia de nuevo.

La intensidad del transporte se ve aumentada con las características de los solutos, la actividad metabólica, la temperatura, la luz y el oxígeno. La temperatura favorece el metabolismo celular, incrementando hasta un límite determinado la velocidad. La luz incrementa la formación de azúcares, por lo que favorece el transporte en el tallo.



- ➔ Movimiento de agua
- ➔ Movimiento de glúcido
- Glúcido
- Agua

Actividades

- 18 ¿Cuáles son los principales componentes de la savia elaborada? ¿Qué destino tiene la savia elaborada? ¿Por qué se habla de órganos productores y órganos consumidores?
- 19 ¿Qué es la calosa y qué función desempeña? Explica cómo actúa.

7 El metabolismo y el almacenamiento de los nutrientes

Cuando los nutrientes llegan a las células, estas los utilizan en dos tipos de reacciones metabólicas. Unas reacciones son de síntesis y transformación de compuestos (**anabolismo**), en las que se reponen y elaboran componentes celulares que requieren los tejidos en crecimiento. Otras reacciones son de degradación (**catabolismo**), y en ellas se obtiene energía, como es la respiración celular que se realiza en las mitocondrias. Este metabolismo es similar al de los animales.

Las plantas, sin embargo, pueden sintetizar numerosos compuestos orgánicos de gran complejidad, que no suelen aparecer en el metabolismo general de síntesis o degradación, y constituyen reacciones del llamado **metabolismo secundario**.

Estos compuestos pueden ser de gran importancia para la planta o incluso para los consumidores que se alimentan de ellas. Desde el punto de vista químico tienen importancia los siguientes compuestos:

- **Terpenoides.** Son un grupo de sustancias, algunas de las cuales se evaporan con facilidad, como el mentol, y tienen poder bactericida o pueden servir para atraer a los insectos. Otros son carotenoides que funcionan como pigmentos accesorios en la fotosíntesis.
- **Fenoles.** Moléculas con anillos aromáticos. Algunos de sus derivados se encuentran formando parte de la cadena de transporte de electrones de la fotosíntesis.
- **Alcaloides.** Se conocen unos 3 000, entre los que se encuentran numerosas drogas, medicamentos y venenos. En muchas plantas son sustancias con función disuasoria, para no ser comidas por animales. En otros casos no se sabe muy bien su función y se relacionan con compuestos de excreción.
- **Derivados de las porfirinas.** Son distintas sustancias que por su estructura molecular poseen color. Muchas son pigmentos fotosintéticos, como las clorofilas y ficobiliproteínas, además de diferentes coenzimas*.

***Coenzima:** Compuesto orgánico necesario para la actividad de las enzimas.

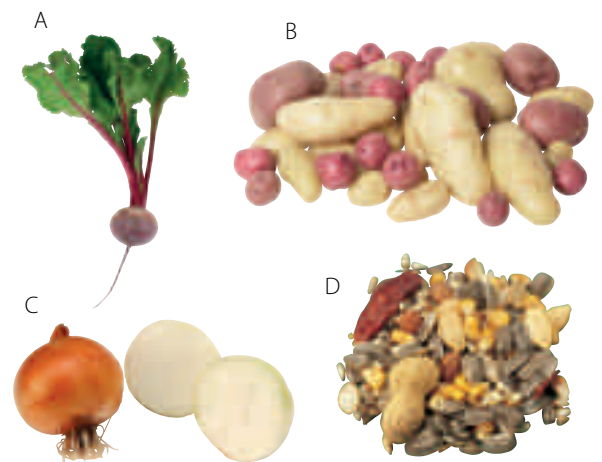
7.1. Almacenamiento de sustancias de reserva

Muchas plantas almacenan parte de los nutrientes elaborados como sustancias de reserva, entre ellas: **grasas**, **proteínas** y **polisacáridos**, como el **almidón**.

El depósito se realiza en tejidos parenquimáticos situados en órganos como raíces y tallos, principalmente, con objeto de ser utilizados en los momentos que el desarrollo de la planta lo requiera.

Las raíces pueden modificarse como órganos de almacén de polisacáridos, como ocurre, por ejemplo, en la planta de la remolacha. Otras plantas acumulan componentes orgánicos, como almidón, en tallos muy transformados, como los tubérculos de la planta de la patata.

Las proteínas de reserva se encuentran principalmente almacenadas en el endospermo de las semillas, y también en raíces y bulbos.



En las plantas las sustancias de reserva se almacenan de diferentes maneras. En raíces, como la remolacha (A); en tubérculos, como la patata (B); en bulbos, como la cebolla (C), o en semillas (D).

Actividades

20 ¿Qué diferencia hay entre anabolismo y catabolismo?

21 Menciona algún ejemplo de sustancia de reserva en vegetales y el lugar en el que se acumula.



Obtención del látex para la elaboración de caucho.

8 La excreción en plantas

La excreción consiste en la eliminación de sustancias de desecho producidas en el metabolismo. Al contrario de los animales, las plantas carecen de aparato excretor, por lo que los procesos de excreción no están muy desarrollados.

Algunos desechos sólidos son almacenados, por ejemplo, en el interior de vacuolas como cristales de **oxalato cálcico**, y otros son reutilizados en procesos de síntesis, o se aprovechan en el metabolismo secundario. Muchos árboles y arbustos, por ejemplo, liberan los productos de excreción al producirse la caída de la hoja.

Muchas plantas tienen **tejidos secretores**, por medio de los cuales se expulsan distintas sustancias, como néctar, resinas, aceites, látex, etc.

El **néctar** es una mezcla de azúcares que atrae a los insectos polinizadores, se almacena en glándulas o **nectarios** situados en las flores. Las **resinas** se guardan en los **canales resiníferos** de muchas gimnospermas. Muchos **aceites** esenciales se expulsan al exterior mediante **pelos glandulares** o son almacenados en bolsas oleíferas. El **látex** se almacena en los **tubos laticíferos**.

En algunas plantas adaptadas a suelos salinos el exceso de **sal** se acumula en tejidos ricos en agua, o se segrega al exterior de la epidermis por transporte activo.

Existen otras sustancias que son expulsadas en forma gaseosa, como el **dióxido de carbono** producido en la respiración, o el **etileno** (hormona de la maduración), que es un gas expulsado junto a los frutos maduros.

Muchas sustancias que almacenan las plantas han sido, y son, utilizadas por las personas, ya que se emplean como materias primas de las que se obtienen productos como el caucho, procedente del látex de la planta *Hevea brasiliensis*, aceites esenciales de las plantas de la familia de las labiadas o diferentes principios activos de plantas medicinales.

Actividades

- 22** ¿A qué se denomina metabolismo secundario? Cita algunas sustancias que se fabriquen en este proceso.
- 23** ¿Cómo eliminan las plantas los productos de desecho?

Rincón para el debate

Biocombustibles como alternativa a combustibles fósiles

Se llaman biocombustibles o biocarburantes aquellos combustibles que se obtienen de la biomasa vegetal. Actualmente su uso se está expandiendo, y se cree pueden suplir parte del consumo de combustibles fósiles. La Unión Europea tiene como objetivo que para el año 2010 los estados miembros sustituyan el 5,75 % del petróleo que consumen por biocombustibles.

Los más usados actualmente son el bioetanol y el biodiésel. El primero se obtiene a partir de la caña de azúcar, la remolacha o el maíz, cuya producción mundial se centra, en un 90 %, en Brasil y EE.UU. El segundo se elabora a partir de aceites vegetales, obtenidos de semillas de colza, girasol y otras cultivadas para este propósito. Alemania produce el 63 % del biodiésel usado en el mundo.

Pero el cultivo de especies vegetales para elaborar biocombustibles no está exento de controversia. Entre los argumentos a su favor están la reducción del efecto invernadero, al no incrementar los niveles de CO_2 en la atmósfera, la revitalización de las economías rurales y el aprovechamiento de tierras con poco valor agrícola. Entre los aspectos negativos figuran el alto coste de producción, que dobla al de la gasolina y el gasóleo, y la necesidad de grandes superficies para su cultivo, lo que potencia los monocultivos intensivos y aumenta el uso de pesticidas y herbicidas.

- ¿Cuáles son los principales tipos de biocombustibles?
- ¿Qué diferencias y similitudes observas en el origen de los combustibles fósiles tradicionales y los biocombustibles?
- ¿Cómo valoras las razones dadas a favor y en contra de la potenciación de los biocombustibles?



Demostración de la fotosíntesis y extracción de pigmentos fotosintéticos

La primera parte de la experiencia demostrará que la fotosíntesis se produce en las hojas, y en la segunda extraeremos los pigmentos que existen en las hojas responsables de la fotosíntesis. Para la primera nos basaremos en la prueba del yodo, para reconocer la presencia de almidón como producto derivado de la fotosíntesis. En la segunda realizaremos una cromatografía sobre papel, para separar los pigmentos vegetales.

Objetivos

- Comprender el efecto de la luz en la fotosíntesis.
- Conocer la técnica de la cromatografía sobre papel.
- Reconocer los distintos pigmentos vegetales.

Material necesario

- Plantas de geranio
- Hojas verdes de espinacas
- Papel o cartulina negra
- Tijeras, papel celo y clips
- Mortero
- Papel de filtro
- Alcohol de 96°C
- Vasos de precipitados de 250 cm³ y 500 cm³
- Tubos de ensayo
- Pinzas, trípode y rejilla
- Mechero Bunsen
- Solución de lugol

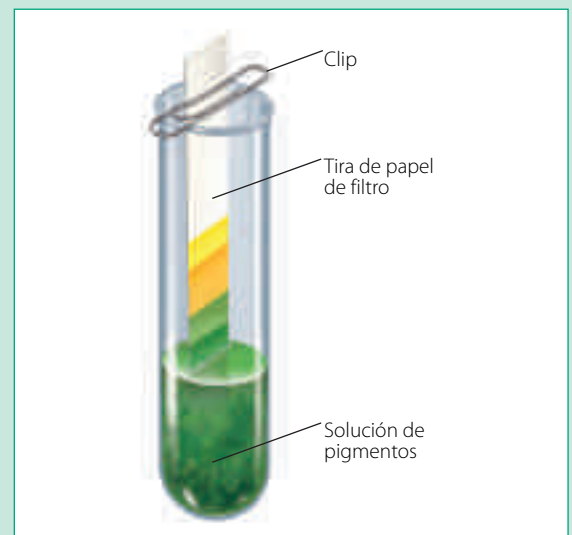
Desarrollo

Demostración de la fotosíntesis

1. Cubrimos con cartulina negra, por ambas caras, la mitad de dos o tres hojas de geranio, y dejamos la planta a la luz.
2. Al cabo de dos días, arrancamos las hojas de la planta, quitamos el papel y las sumergimos en un vaso de precipitados de 250 cm³ con alcohol de 96°.
3. Colocamos el vaso de precipitados en el interior de otro de 500 cm³ con agua, para calentar al baño maría, durante 15 minutos más o menos. Después de ese tiempo las hojas habrán perdido el color verde.
4. Sacamos, con unas pinzas, las hojas del alcohol, las escurrimos y las introducimos en una solución de lugol durante un minuto y después las retiramos.

Extracción y separación de pigmentos vegetales

1. Cortamos y machacamos ligeramente las hojas de espinaca en un mortero con una pequeña cantidad de alcohol de 96°.
2. Introducimos las hojas machacadas en un vaso de precipitados de 250 cm³, y añadimos unos 50 cm³ de alcohol de 96°.
3. Colocamos el vaso de precipitados en el interior de otro de 500 cm³ con agua, para calentar al baño maría, durante 15 minutos.
4. Tomamos 5 cm³ de dicha disolución y la colocamos en un tubo de ensayo ancho. Introducimos en el tubo una fina tira de papel de filtro previamente preparada, cuidando de que no toque las paredes del tubo. Para ello, la colgaremos de un clip de forma que quede introducida dentro de la disolución.
5. Pasados unos minutos, veremos cómo la disolución asciende por el papel y se separan los diferentes pigmentos.
6. Quitamos la tira de papel de filtro y la dejamos secar. Obtendremos una serie de bandas coloreadas, dos bandas de clorofilas una de carotenos y otras de xantofila por este orden de abajo arriba.



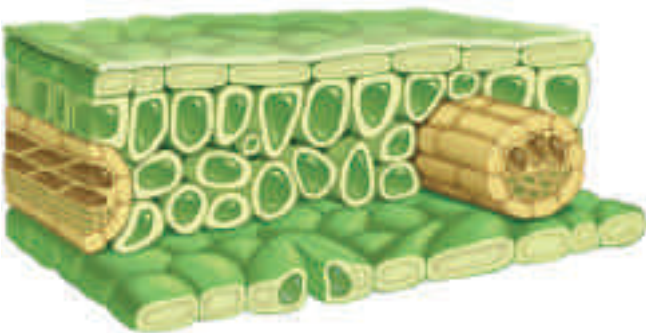
Practica

- 24** ¿Por qué se han decolorado las hojas? ¿qué pigmento han perdido?
- 25** ¿Por qué las zonas de las hojas expuestas a la luz se tiñen de oscuro y las zonas mantenidas en la oscuridad no?, ¿qué compuesto se ha formado?

- 26** ¿Podrías decir que el almidón es un compuesto producido como resultado de la fotosíntesis?
- 27** Dibuja en tu cuaderno la tira de papel de filtro de la cromatografía, mide la anchura de las bandas y relaciona cada una con los pigmentos citados en el texto.

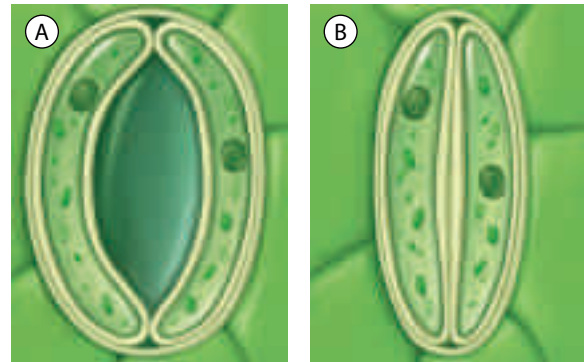
Actividades de repaso

- 28** ¿Cuáles son los tejidos vegetales que intervienen en los procesos de nutrición? Localiza cada uno de los tejidos en sus órganos respectivos.
- 29** ¿De dónde proceden los nutrientes inorgánicos de las briofitas?, ¿cuál es su mecanismo de entrada en estas plantas? ¿Crees que el escaso desarrollo de musgos y hepáticas puede estar relacionado con sus procesos de nutrición?
- 30** ¿Crees que para las plantas cormofitas supone alguna ventaja adaptativa el tener órganos específicos para la nutrición como las raíces? Razona tu respuesta.
- 31** ¿Qué son los macronutrientes vegetales? Cita los que conozcas. ¿Cuál es la razón por la cual los macronutrientes se requieren en más cantidad por las plantas?
- 32** Relaciona los procesos de la columna izquierda con sus efectos en la derecha.
- | | |
|---------------|--|
| Ósmosis • | • Crea tensión en el agua, dentro de las traqueidas. |
| Gravedad • | • Tiende a sacar agua fuera de la célula. |
| Capilaridad • | • Elimina vapor de agua fuera de las hojas. |
| Turgencia • | • Se opone al flujo de agua por la transpiración hacia la parte superior de los árboles. |
| Difusión • | • Tiende a introducir agua en la célula. |
- 33** ¿Qué diferencias existen entre el transporte simplástico y el apoplástico del agua y las sales minerales en la raíz? ¿A qué tipo de transporte afecta la banda de Caspary?
- 34** Cita y explica las diferencias que encuentres entre la pérdida de agua por transpiración y por gutación.
- 35** Copia este esquema de una hoja y localiza los siguientes elementos: parénquima clorofílico, vasos conductores, estoma, cutícula y epidermis.

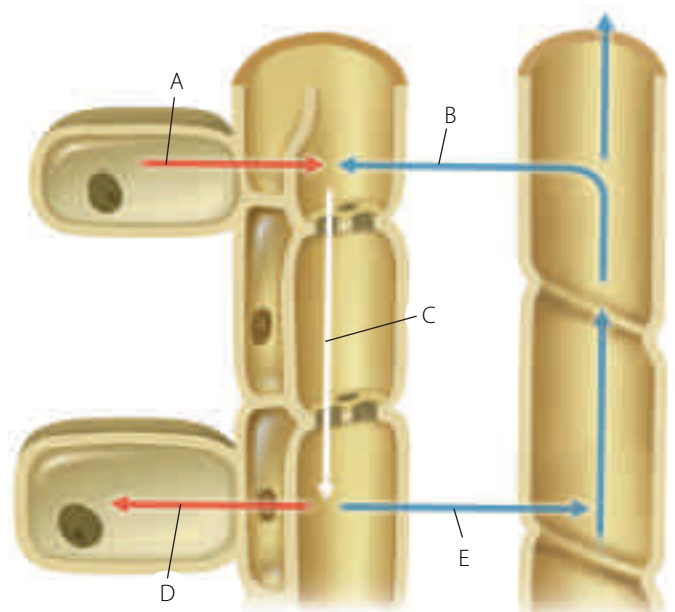


- 36** La transpiración a través de la cutícula en las plantas jóvenes, aunque falten los estomas, puede alcanzar hasta el 50% del total del volumen de agua transpirada. Sin embargo, en las plantas adultas no llega al 10%. ¿Podrías explicar por qué?
- 37** ¿Qué son las lenticelas? ¿Qué función tienen en las plantas? ¿Dónde se encuentran?

- 38** Identifica las siguientes estructuras, dibújalas en sección longitudinal y señala sus elementos.



- 39** ¿Qué reacciones químicas ocurren en la fase dependiente de la luz de la fotosíntesis?
- 40** ¿Por qué disminuye el rendimiento fotosintético cuando aumenta la concentración de O_2 ambiental?
- 41** ¿Qué plantas alcanzan mayores rendimientos fotosintéticos cuando varía la intensidad luminosa, las que viven con mucha luz o las que viven en zonas de sombra? Razona tu respuesta.
- 42** Las plantas realizan la fotosíntesis gracias a sus pigmentos fotosintéticos, pero hay muchas células de las plantas, como las de la raíz o las semillas, que no los poseen. ¿Cómo obtienen entonces materia orgánica?
- 43** ¿Cuál es el mecanismo que explica el movimiento de la savia elaborada por el floema? ¿Es el único o puede haber otros complementarios? ¿Por qué se interrumpe el movimiento de la savia elaborada en los árboles durante las estaciones frías?
- 44** Copia el siguiente esquema, coloca el nombre de las partes y marca en las flechas los procesos que se desarrollan (transporte activo, ósmosis, flujo de masa, etc.).



Actividades de ampliación

45 ¿Qué crees que puede ocurrir si regamos una planta con agua salada? Describe lo que sucedería en sus raíces. ¿Cómo se puede explicar que puedan vivir plantas en suelos salinos?

46 Lee el siguiente texto referente al agua que discurre por los vasos del xilema en las plantas:

Debido a la estructura dipolar del agua, la cohesión producida por la unión de sus moléculas es tan grande que la fuerza de tensión de una columna delgada de agua puede llegar hasta 140 kg/cm², es decir, que se necesitaría una fuerza opuesta de más de 140 kg/cm² si se quisiera romper una columna de agua.

Explica el significado del texto. ¿Por qué se dice que el agua es una molécula dipolar? ¿Qué relación tiene esta propiedad con el texto?

47 Realiza la siguiente experiencia y contesta a las cuestiones finales.

Coloca debajo de una campana de vidrio o plástico una rama de geranio o cualquier otra planta ornamental con hojas, puede valer también una lechuga. Al cabo de pocas horas observarás que el vidrio está interiormente lleno de gotas de agua, y la planta se ha marchitado.

- ¿Cuál es el proceso fisiológico que ha tenido lugar en la experiencia?
- ¿Por qué razón las hojas se marchitan?
- ¿Podrías relacionar estos fenómenos con la ósmosis, turgencia y difusión?

48 Hasta comienzos del siglo XVII se tenía la idea de que las plantas se alimentaban y aumentaban de peso únicamente por las sustancias del suelo.

Una sencilla experiencia del médico y químico Joannes van Helmont cambió dicha creencia. Plantó un sauce de 2,27 kg en una maceta con 90,7 kg de tierra y durante cinco años regó el árbol con agua de lluvia. Pasado este tiempo la masa del árbol era de 67,7 kg, y la de la tierra de la maceta, de 57 kg.

- Investiga cuál fue la conclusión a la que llegó Van Helmont.
- ¿Cuánto había aumentado la masa de la planta? ¿Cuánto había disminuido la de la tierra de la maceta? Explica esta diferencia.
- Si se hubiese tenido en cuenta la masa de agua, ¿crees que hubiese influido en la explicación de los resultados del experimento?
- ¿De dónde obtienen las plantas las sustancias que necesitan para su metabolismo?



49 En 1772 el químico y filósofo Joseph Priestley descubrió que una rama de menta podía purificar el aire interior de un recipiente donde previamente había ardido una vela.

¿Qué gas era el responsable de purificar el aire confinado en el recipiente?

50 En la siguiente tabla se dan las velocidades de transporte de savia en el xilema y en el floema en algunas plantas.

Planta	Velocidad máx. xilema (cm/h)	Velocidad máx. floema (cm/h)
Conífera	120	48
Dicotiledónea leñosa	4 400	120
Monocotiledónea	6 000	168-660
Trepadora herbácea	15 000	72

- ¿Qué savia es la que circula más rápidamente por los vasos conductores?
- ¿Cuál crees que puede ser la razón de tales diferencias?
- Calcula cuánto tardará la savia bruta de una dicotiledónea leñosa en recorrer 20 metros.
- Haz lo mismo pero en una planta trepadora y con la savia elaborada.

51 Localiza en qué lugar (órgano, tejido, célula u orgánulo celular) se producen los siguientes procesos:

- Fase oscura de la fotosíntesis
- Fase luminosa de la fotosíntesis
- Respiración celular
- Absorción de agua
- Transpiración
- Transporte de savia bruta

52 La siguiente tabla muestra el promedio del número de estomas por mm² en las hojas de diferentes plantas:

Planta	Haz de la hoja	Envés de la hoja
Alfalfa (B)	170	138
Manzano (B)	0	284
Trigo (A)	33	14
Maíz (A)	52	68
Tomate (B)	12	130
Encina (B)	0	450
Avena (A)	25	23

- ¿Cuál crees que puede ser la razón de que existan generalmente más estomas en el envés que en el haz de las hojas?
- El número de estomas está en relación con la difusión de dióxido de carbono, ¿existe algún otro factor referente a los estomas que tenga que ver con la difusión y fijación de dióxido de carbono?
- Podrías establecer alguna relación entre el número de estomas en el haz y en el envés con el tipo de planta: monocotiledónea (A) o dicotiledónea (B).

Orientaciones para un examen

En un estudio realizado en dos especies de plantas para evaluar la influencia de la temperatura en la intensidad de la fotosíntesis (medida a partir de la cantidad de O_2 liberado, en unidades arbitrarias), con luz de alta intensidad, se han obtenido los datos de la tabla adjunta.

- Realiza una gráfica con los datos.
- Analiza cómo influye la temperatura en la fotosíntesis, en cada una de las dos especies.
- Calcula la temperatura óptima en la especie A y en la especie B.

Temperatura (°C)	5	10	15	20	25	30	35
Intensidad de fotosíntesis (Especie A)	12	25	60	130	175	170	90
Intensidad de fotosíntesis (Especie B)	40	90	190	280	375	400	385

Análisis de factores que afectan a la actividad de la fotosíntesis

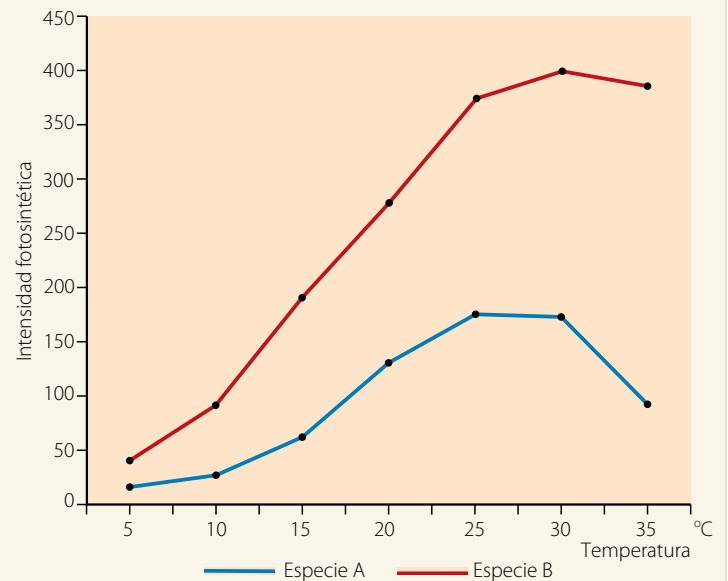
El ejercicio tiene como propósito realizar gráficas a partir de datos contenidos en tablas, así como el análisis y la interpretación de las variables que intervienen sobre un proceso biológico, en este caso la fotosíntesis.

Entre los factores que pueden influir en la fotosíntesis se encuentran: la concentración de CO_2 , la concentración de O_2 , la intensidad luminosa, el tiempo de iluminación, la humedad, la temperatura.

Para analizar cómo influye la temperatura en la fotosíntesis, se comparan sus variaciones con el rendimiento fotosintético, que suele calcularse según la cantidad de O_2 desprendido como producto de la fotosíntesis.

- Para representar los valores de la tabla, lo haremos mediante una gráfica lineal, con la variable de temperatura en el eje de abscisas, y la actividad fotosintética en el de ordenadas, diferenciando cada una de las especies mediante una línea de diferente color.
- El aumento de la temperatura provoca una aceleración de la fotosíntesis, pues los valores de la intensidad de la fotosíntesis se elevan. Este incremento es lineal entre 5 y 20 °C en la planta A, y entre 5 y 25 °C en la planta B. Luego empieza a atenuarse y hasta alcanzar un óptimo, mas allá del cual la intensidad de la fotosíntesis disminuye y finalmente resulta inhibida a 35 °C.

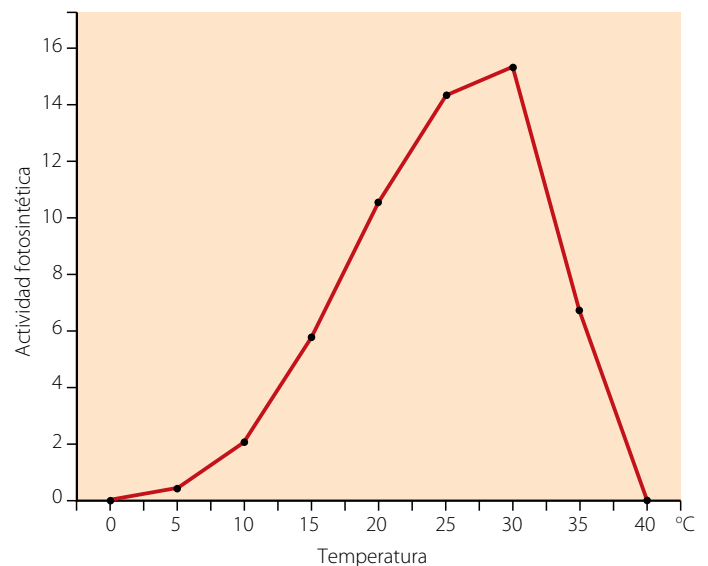
- Para la especie A la temperatura óptima será de 25 °C, que corresponde al máximo de intensidad de la fotosíntesis (175), y para la especie B de 30 °C, que corresponde al máximo de intensidad de la fotosíntesis (400).



Practica

53 En un estudio sobre un grupo de plantas de climas templados se han obtenido los datos que se muestran en la gráfica adjunta, donde se indica la temperatura y la actividad fotosintética (medida a partir de la cantidad de O_2 liberado en unidades arbitrarias).

- Realiza una tabla con los datos.
- Analiza cómo influye la temperatura en la fotosíntesis.
- Calcula la temperatura óptima.



Jardines históricos

Al contrario de los parajes naturales, los jardines son espacios delimitados y producto de la ordenación humana de determinados elementos naturales.

El nacimiento de las ciudades trajo consigo el origen de los jardines. En las antiguas villas griegas y romanas el jardín formaba parte del espacio habitado, al igual que la casa propiamente dicha. Pero el gusto por los jardines no solo es patrimonio de Occidente, recordemos los jardines egipcios, los de la antigua Mesopotamia y Persia, sin olvidar los ricos jardines orientales de China y Japón.

En España muchos jardines históricos han sido declarados bienes de interés cultural, unas veces en función de su origen o pasado histórico; otras, por sus valores estéticos, sensoriales o botánicos. Quizá el número no sea tan elevado en comparación con otros países del entorno, pero sí están caracterizados por su gran heterogeneidad.



Jardines de la Real Fábrica de paños de Brihuega (Guadalajara).

Los jardines como divulgadores de cultura y ciencia

En los últimos años, el número de visitantes de jardines como la Alhambra y el Generalife se sitúa por encima de los dos millones anuales. Otros jardines históricos, como el Real Jardín Botánico de Madrid, han visto incrementado su número de visitantes y se organizan visitas guiadas para escolares, personas mayores y universitarios.

En los jardines podemos apreciar una gran variedad de plantas ornamentales, que en muchos casos no son propias de la flora de la región, sino originarias de otros países y que reflejan la historia de su descubrimiento. Cumplen así una importante labor educativa y pedagógica.

Contamos con restos de patios de las villas romanas en Itálica (Sevilla) y Mérida, cuyos principales ornatos eran las plantas. Los árabes dejaron también una huella importante con jardines que quedaban dentro de sus edificaciones, y en los que el agua tomaba un papel primordial, como los jardines hispano-árabes de la Alhambra y del Generalife de Granada, los Reales Alcázares de Sevilla, o el patio de los naranjos junto a la mezquita de Córdoba.

Durante la Edad Media, los jardines se encontraban en los numerosos claustros de monasterios en los que se cultivaban plantas de huerta y medicinales para proveer a las antiguas farmacias de los conventos.

A partir del Renacimiento los jardines tomaron especial relevancia en los palacios y residencias reales, como el jardín del Emperador en Yuste, los del palacio de Aranjuez, los de El Escorial y los de la Granja de San Ildefonso inspirados en los de Versalles.



Patio de la acequia del Generalife (Granada).



Palacio de Cristal del Parque del Retiro (Madrid).

No te lo pierdas

Libros

- ▶ D.O. HALL y K.K. RAO. *Fotosíntesis*. Cuadernos de Biología. Ediciones Omega, S.A.

En la red

- ▶ www.inea.uva.es/servicios/histologia/inicio_real.htm
Contiene información sobre la célula y los tejidos vegetales.



12 La relación y la reproducción de las plantas

- 1 La regulación y la coordinación en plantas
- 2 Las hormonas vegetales
- 3 Los movimientos de las plantas
- 4 Termoperiodo y fotoperiodo
- 5 La función de reproducción en plantas
- 6 La reproducción sexual en plantas
- 7 La reproducción en espermafitas
- 8 La polinización y la fecundación
- 9 La semilla y el fruto de las angiospermas
- 10 La diseminación y germinación de la semilla

Las plantas son organismos vivos que carecen de órganos de los sentidos. A pesar de ello, son capaces de detectar cambios en el medio y de elaborar respuestas.

Asimismo, tienen la capacidad de reproducirse de una infinidad de formas diferentes. Entre ellas, la más compleja es la reproducción sexual de las angiospermas, en la que se produce una unión entre células germinales masculinas y femeninas. Este tipo de reproducción se realiza en unos órganos especializados para ello que son las flores.

Científicos encuentran en Sumatra la flor más grande del mundo

Tras varios meses explorando el archipiélago de Indonesia, un equipo de botánicos ha descubierto la flor más grande del mundo, a la que han denominado Aro gigante.

El año 1878 será recordado como aquel en que la exploración científica de las selvas de Sumatra, liderada por el botánico Beccari, ha deslumbrado a la comunidad científica internacional con uno de los descubrimientos botánicos más sorprendentes del siglo. Con sus casi tres metros de altura y 75 kilogramos, la recién descubierta *Amorphophallus titanum*, más conocida como «Aro gigante», se ha convertido en la flor más grande conocida.

Los científicos han podido encontrar esta planta gracias a la ayuda de los aborígenes de la isla, que ya la conocían y la llamaban *bun-*

ga bangkai o «flor cadáver». Este nombre hace referencia al repugnante hedor que emite esta flor, que en palabras de los exploradores recuerda a una mezcla entre carne podrida y excrementos. Los indonesios aseguran que esta planta florece tan solo una vez cada diez años y que su nauseabundo olor puede detectarse a más de ochocientos metros de distancia. Al parecer, el pútrido olor es crucial para su supervivencia, ya que atrae a cientos de moscas, escarabajos y abejas que se posan sobre la flor, la cual se cierra sobre ellos, manteniéndolos atrapados hasta que quedan cubiertos de polen.

El botánico Odoardo Beccari, autor del descubrimiento, ha precisado que el «Aro gigante» no se trata realmente de una flor, sino de una hierba que cuando florece desarrolla una estructura o inflorescencia en forma de espárrago. Esta estructura, verde por fuera y rojo intenso por dentro, agrupa a multitud de minúsculas flores, en la zona inferior las femeninas, reducidas a un pistilo y en la superior las masculinas. Al madurar, la inflorescencia se abre formando una estructura acampanada, comienza a emitir su fétido aroma para ser polinizada, y a los tres días marchita. Beccari ya ha enviado semi-

llas de este extraño ejemplar al jardín botánico de Florencia para que esta planta pueda ser criada y admirada también en Europa.



Recuerda y contesta

Las plantas tienen capacidad para responder a estímulos externos, su respuesta está generalmente relacionada con el crecimiento.

Poseen sustancias encargadas de la coordinación de determinados procesos, como la floración, el desarrollo de las hojas, la maduración de los frutos...

Las plantas se reproducen, asegurando el mantenimiento de las especies. Pueden hacerlo de forma asexual o sexual.

- ▶ ¿Cómo se llaman las sustancias encargadas de la regulación y coordinación en las plantas?
- ▶ ¿Sabes el tipo de ciclo biológico característico de las plantas?
- ▶ Mediante la reproducción asexual ¿se producen plantas genéticamente idénticas entre sí?
- ▶ ¿Cómo se llaman las células sexuales que las plantas utilizan en la reproducción sexual?

1 La regulación y la coordinación en plantas

La regulación incluye todos los procesos biológicos que mantienen el estado de equilibrio en los organismos, reajustando y coordinando sus procesos internos. En las plantas, tanto la regulación como el desarrollo se llevan a cabo principalmente mediante **hormonas vegetales**.

Las plantas tienen capacidad para percibir cambios en las condiciones del medio que les rodea, en forma de **estímulos**, y elaborar **respuestas** adecuadas.

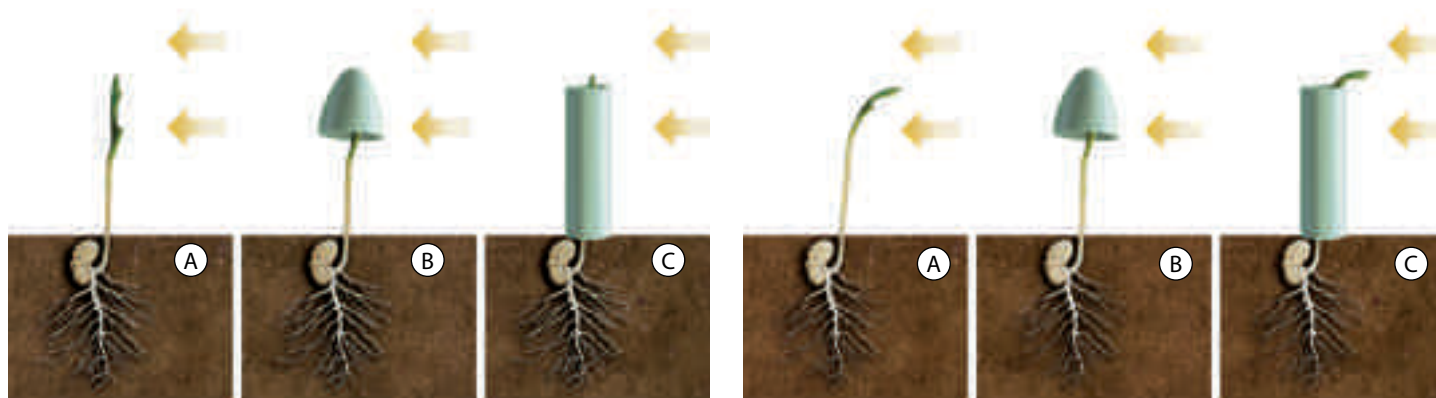
Entre los estímulos a los que son sensibles destacan: la gravedad, la temperatura, la humedad, la duración, intensidad y dirección de la luz, etc.

1.1. La percepción en las plantas

Las primeras experiencias en las que se comprobó la capacidad de percepción de estímulos de las plantas fueron publicadas en 1880 por los hermanos **Charles y Francis Darwin**.

El experimento se basó en la respuesta a la luz de varias semillas de alpiste puestas a germinar.

***Coleóptilo**: Vaina protectora que encierra el tallo en formación de algunas monocotiledóneas.



Algunas de las plántulas en crecimiento no se cubrieron (A), a otras se las tapó el ápice (B) y a un tercer grupo se le cubrió la plántula por debajo del ápice dejando éste al descubierto (C). A continuación, se expuso a los tres grupos a una fuerte luz lateral.

Después de su exposición a la luz, las plántulas con el ápice libre (A y C) se inclinaban hacia la luz. Por otro lado, las plantas con el ápice cubierto siguieron creciendo en altura pero no se inclinaron. La conclusión de los investigadores fue que el extremo de los tallos es sensible a la luz.

Experiencias posteriores llevadas a cabo por **Arpad Paal** (1919) y **Fristis A. Went** (1928) demostraron la presencia y acción de hormonas de crecimiento en **coleóptilos*** de avena. Entre los resultados de estos experimentos destacan:

- Si la punta de un coleóptilo se corta y separa, el crecimiento de la plántula se detiene.
- Cuando la punta de un coleóptilo se corta, y después se deja en su lugar, mantenida la plántula en oscuridad, el crecimiento continúa.
- Si se corta la punta, se coloca sobre una pequeña placa de agar durante un tiempo y luego la placa se coloca en el extremo del coleóptilo cortado, el crecimiento continúa.
- Si la placa de agar se coloca algún tiempo en el extremo de un coleóptilo cortado, pero dispuesto hacia un lado de forma asimétrica, y mantenido en la oscuridad, el crecimiento continúa inclinado hacia el lado contrario al agar.
- En el caso anterior, el ángulo de inclinación del coleóptilo es tanto mayor cuanto más bloques de agar se colocan.

Actividades

- 1 Cita algunos estímulos capaces de ser percibidos por las plantas.
- 2 Según las experiencias de Paal y Went, ¿dónde crees que se produce la sustancia que ocasiona el crecimiento? Explica por qué el bloque de agar provoca los efectos que encontraron estos autores.

2 Las hormonas vegetales

Las hormonas vegetales o **fitohormonas**, son sustancias sintetizadas por las plantas, que pueden estimular o inhibir el crecimiento y la diferenciación de las células vegetales, coordinando así el desarrollo de diferentes partes de la planta.

Al contrario que las animales, las hormonas vegetales no son producidas en órganos específicos, sino que se sintetizan en células situadas principalmente en tejidos embrionarios, como los meristemos apicales de raíces y tallos.

Desde el lugar de producción son transportadas, a través de los tejidos conductores, a los órganos donde actúan, aunque en ocasiones los lugares de formación y actuación pueden ser los mismos.

Las funciones de las hormonas vegetales son muy variadas, en su mayoría relacionadas con procesos de desarrollo, crecimiento y senescencia*.

***Senescencia:** Proceso de envejecimiento de una planta caracterizado por la degradación de sustancias, la acumulación de productos y la síntesis de etileno.

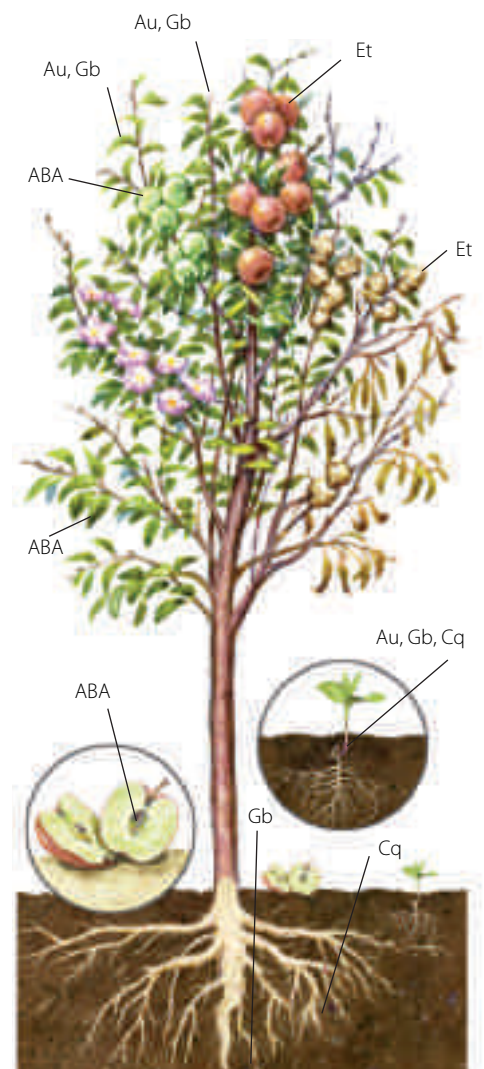
2.1. Tipos de fitohormonas

Existen diferentes tipos de hormonas vegetales:

- **Auxinas (Au).** Se sintetizan principalmente en los meristemos de las yemas apicales, en el embrión de las semillas y en las hojas jóvenes. Son responsables del crecimiento de la planta, al producir el alargamiento de las células, e inducen la formación de nuevas raíces laterales. Están relacionadas con los procesos de fototropismo y geotropismo.
- **Giberelinas (Gb).** Se sintetizan principalmente en los meristemos apicales del tallo y las raíces, en hojas jóvenes y en el embrión. Actúan produciendo el alargamiento de los tallos y estimulando la germinación.
- **Citoquininas (Cq).** Son elaboradas principalmente en los ápices de las raíces y en las semillas en germinación. Estimulan las divisiones celulares en los meristemos, inducen la formación de nuevos brotes e inhiben el letargo de las semillas.
- **Ácido abscísico (ABA).** Se produce en hojas, tallos, semillas maduras y frutos verdes. Inhibe el crecimiento de los tallos, estimula el cierre de los estomas y favorece la senescencia de las hojas y el reposo estacional de las yemas en las plantas leñosas.
- **Etileno (Et).** Es un gas que se produce en los tejidos de los frutos durante su maduración, y en las hojas y flores senescentes. Estimula la maduración de los frutos y la senescencia y caída de las hojas.

En ocasiones las fitohormonas actúan de forma conjunta, potenciando su acción o realizando acciones contrarias. Mientras las auxinas inducen la formación de raíces, las citoquininas la inhiben. Por otra parte, las auxinas inhiben la formación de brotes laterales en los tallos y las citoquininas la estimulan.

En general, las citoquininas y las giberelinas mantienen el estado juvenil de las plantas, mientras que el etileno y el ácido abscísico inducen procesos de senescencia.



Principales zonas de producción de fitohormonas en una planta.

Actividades

- 3 ¿Qué diferencia principal existe entre las hormonas animales y las vegetales?
- 4 Cita una hormona relacionada con el crecimiento en longitud de la planta y otra que estimule la caída de las hojas.

3 Los movimientos de las plantas



Si durante el crecimiento de una planta se mantiene una iluminación lateral, el tallo crece curvándose hacia el foco de luz.

Las plantas pueden reaccionar frente a determinados estímulos externos mediante **movimientos** que afectan a algunas zonas de la planta.

3.1. Tropismos

Se denominan **tropismos** los movimientos lentos debidos al crecimiento de la planta, orientados por estímulos externos y que producen deformaciones permanentes.

Como las partes diferenciadas de un vegetal carecen de capacidad de movimiento, los tropismos solo son posibles en las zonas de tallos y raíces con crecimiento activo. Los tropismos se producen por la distinta velocidad de crecimiento de diferentes partes de la planta, de modo que se originan deformaciones del tallo o de la raíz, cuya orientación depende de la dirección del estímulo.

En función del tipo de estímulo, los tropismos se clasifican en:

- **Fototropismo.** Movimiento orientado por la acción de la **luz**. Su regulación se debe a las **auxinas**. La luz inactiva la auxina, por lo que la parte del tallo orientada hacia el foco luminoso crece menos y este se curva hacia la luz.
- **Geotropismo.** Movimiento orientado por la acción de la **gravedad**. En la raíz el geotropismo es positivo, es decir, la raíz crece a favor de la fuerza de la gravedad. El tallo tiene geotropismo negativo, por lo que su crecimiento se dirige en contra de la gravedad. Está regulado por las **auxinas**.
- **Higrotropismo.** Movimiento orientado por la **humedad**. La raíz tiene higrotropismo positivo, de manera que se dirige hacia las zonas del suelo ricas en agua.
- **Quimiotropismo.** Movimiento orientado por la acción de **sustancias químicas**. Las raíces tienen quimiotropismo positivo hacia las sales minerales del suelo.
- **Tigmotropismo.** Movimiento orientado por el **contacto** con materiales sólidos. Es llamativo en tallos de plantas trepadoras, que se enrollan alrededor de un objeto al contactar con el mismo. Se produce por la interrupción del crecimiento en la parte del tallo que toca el objeto, continuando en el resto.



Las flores de la campanilla se cierran de noche y se abren de día. Se trata de una nictinastia provocada por la diferencia de iluminación.

3.2. Nastias

Se denominan **nastias** los movimientos pasajeros de alguna de las partes del vegetal provocados por estímulos externos y que no guardan relación con la dirección en que actúa dicho estímulo. A diferencia de los tropismos, las nastias sí afectan a órganos adultos. Se diferencian dos tipos:

- **Nictinastias.** Debidas a los cambios de iluminación del día y la noche. Se aprecian en flores y hojas que se repliegan durante la noche y se expanden durante el día. Se produce por la diferencia de turgencia de las células de los órganos.
- **Sismonástias.** Provocadas por el contacto o la presión localizada en ciertos órganos. Es el caso de las hojas de *Mimosa pudica* que se pliegan ante un contacto. También las poseen algunas plantas insectívoras (*Drosera* y *Dionea*) que pliegan sus hojas con la presión de un insecto al posarse.

Actividades

- 5 ¿Qué tipo de movimiento produce una deformación permanente de las plantas?
- 6 Define lo que son las nastias. ¿Qué diferencias existen con los tropismos?
- 7 ¿Qué ventajas supone para una planta el higrotropismo positivo?

4 Termoperiodo y fotoperiodo

Existen determinados factores externos, como la **temperatura** y la **luz**, que tienen efectos sobre algunos aspectos del desarrollo de las plantas, entre ellos la **germinación** y la **floración**.

4.1. Efectos de la temperatura. Termoperiodo

Entre los efectos que la temperatura tiene en las plantas destacan:

- **Estratificación***. En algunas plantas, la germinación de las semillas se induce al ser expuestas al frío durante un periodo más o menos largo. Muchas requieren un enfriamiento de varias semanas entre 0 y 5 °C. Hay plantas de alta montaña que no germinan si sus semillas no han estado durante un tiempo por debajo del punto de congelación.
- **Vernalización**. Es el proceso por el cual se induce la floración exponiendo la planta a bajas temperaturas, como es el caso del centeno y del trigo, aunque en otras se produce a temperaturas algo más elevadas, como en el arroz.
Se ha propuesto la existencia de una hormona, llamada **vernalina**, que controlaría esta respuesta, aunque no ha sido identificada.

***Estratificación**: Término que proviene de la práctica habitual de colocar las semillas entre capas de arena y dejarlas así todo el invierno. Al llegar la primavera, las semillas germinaban al perder el estado de dormición.

4.2. Efectos de la luz. Fotoperiodo

La iluminación y algunas de sus características, como su intensidad, duración, etc., tienen una gran influencia en las plantas. En muchas, la floración depende del fotoperiodo, pues se produce dependiendo del número de horas de oscuridad. Según esto, podemos diferenciar tres tipos de plantas:

- **Plantas de día corto (PDC)**. Para florecer necesitan un número máximo de horas diarias de luz, o un periodo largo de oscuridad ininterrumpido, que varía de unas plantas a otras. Florecen al detectar que los días se acortan y las noches se alargan. Es el caso del arroz, el crisantemo, las fresas...
- **Plantas de día largo (PDL)**. Para florecer necesitan un número mínimo de horas diarias de luz o una duración de la noche igual o menor a un número determinado de horas. Son las plantas que florecen cuando los días se alargan y las noches se acortan. Es el caso del trigo, la lechuga, el trébol...
- **Plantas de día neutro (PDN)**. En estas, la floración no está relacionada con la duración del día y la noche, y se inicia a causa de otros factores externos o internos, como ocurre con plantas de origen tropical, donde no existen grandes cambios en la duración del día y la noche.

Muchas de las plantas que dependen para su floración de un fotoperiodo tienen en las hojas un pigmento fotorreceptor de composición proteica, denominado **fitocromo**.

Actividades

- 8 ¿Cuáles son las diferencias entre la vernalización y la estratificación?
- 9 ¿De qué depende en muchas plantas que se produzca o no la floración?



El crisantemo es una planta de día corto.



El trigo es una planta de día largo.



La orquídea es una planta de día neutro.

5 La función de reproducción en plantas

Una de las funciones que caracterizan a los seres vivos es la **reproducción**, que asegura la perpetuación de las especies. En las plantas se realizan dos tipos de reproducción: **sexual** y **asexual**.

5.1. Reproducción asexual en plantas

Es un proceso en el que no se produce fusión de células, sino multiplicación de las plantas por otros mecanismos, que dan lugar a descendientes genéticamente exactos al progenitor.

La reproducción asexual desempeña un papel muy importante en las plantas, pues en algunas es el proceso habitual de reproducción. Además presenta importantes ventajas adaptativas, ya que un único individuo puede producir una gran cantidad de descendientes. En este tipo de reproducción se puede diferenciar entre:

- **Reproducción asexual** propiamente dicha. En ella la reproducción se realiza mediante unas células germinales especiales, como las **esporas**, que normalmente son unicelulares y con capacidad para originar directamente un nuevo individuo. Se forman en órganos llamados **esporangios**. La fase del ciclo vital de una planta que se reproduce por esporas es el esporofito.
- **Multiplicación vegetativa**. Se produce a partir de células somáticas* por fragmentación y división. Los musgos se multiplican vegetativamente mediante la fragmentación de sus cauloides, al morir o destruirse las partes más viejas. En otros casos se realiza mediante **propágulos**, que son masas de células que pueden desarrollar un nuevo individuo.

En la multiplicación vegetativa de las **cormofitas** intervienen órganos específicos, como: estolones, rizomas, tubérculos y bulbos. Se lleva a cabo gracias a las **yemas**, con células meristemáticas que mantienen la capacidad de división.

- Los **estolones** son ramificaciones laterales que salen de la base de los tallos con crecimiento horizontal. Sus yemas emiten raíces, dando lugar a nuevos individuos que se independizan. Por ejemplo, las fresas o los tréboles.
- Los **rizomas** son tallos subterráneos que crecen horizontalmente en el suelo, y acumulan sustancias de reserva. A partir de yemas, pueden formar tallos aéreos que con el tiempo enraízan y se separan del rizoma principal. Entre las plantas con rizomas están el lirio y el bambú.
- Los **tubérculos** son tallos subterráneos muy ensanchados que almacenan alimento. Pueden separarse de la planta original y constituir plantas separadas. Por ejemplo, la patata y la chufa.
- Los **bulbos** son tallos subterráneos cortos y más o menos esféricos, con hojas carnosas de almacenamiento dispuestas en capas. Con frecuencia, a partir de yemas situadas entre las hojas, se forman bulbos más pequeños. Cuando este muere, los bulbos hijos rebrotan, quedan independientes y forman plantas separadas. Por ejemplo, las cebollas, los ajos, los narcisos...

*Célula somática: Aquella que no participa en la formación de gametos.



Estolones

Rizomas



Tubérculos

Bulbos

Actividades

- 10 Cita los órganos de la reproducción vegetativa de las plantas cormofitas.
- 11 Define qué es una espora y dónde se forma. ¿A qué se llama esporofito?

5.2. Multiplicación artificial en plantas

Los distintos tipos de multiplicación vegetativa de las plantas son utilizados por las personas mediante diversas técnicas. Estas técnicas se basan en la existencia de yemas adventicias, con capacidad para formar raíces, y emplean fragmentos de una planta seleccionada para producir otras, que tendrán la misma constitución genética que la planta origen y, por tanto, con sus mismas características.

Estas técnicas son muy importantes en **agricultura** y **silvicultura***, ya que permiten obtener plantas genéticamente idénticas a una seleccionada por sus cualidades.

***Silvicultura:** Cultivo de plantas en bosques y montes.



Acodo. Consiste en enterrar parcialmente una rama de un árbol o arbusto del que se quiere obtener otro ejemplar sin separarlo del mismo. Se deja siempre al aire libre el extremo terminal de la rama enterrada que lleva la yema terminal. La zona enterrada forma raíces a partir de yemas adventicias y cuando las raíces están suficientemente desarrolladas, se separa de la planta madre y se trasplanta. Este sistema es muy parecido al mecanismo natural de los estolones, y es empleado, por ejemplo, en especies cultivadas como la vid.



Estaquillas o esquejes. Son trozos de ramas de árboles que una vez cortados se introducen en el suelo, y si las condiciones son favorables, desarrollan raíces y forman nuevas plantas idénticas al árbol de procedencia. El éxito de esta técnica se basa en la capacidad de las células del esqueje de transformarse en células embrionarias para formar yemas adventicias. Con frecuencia se utilizan fitohormonas para favorecer el desarrollo de las raíces. Esta práctica es muy empleada para la multiplicación de rosales, olivos y chopos.



Injerto. En este caso, una parte de la planta, el injerto, se hace crecer sobre otra ya enraizada que actúa de **portainjerto**. El resultado es una planta mezcla de dos, una que aporta los nutrientes y se encuentra en la parte inferior, y otra situada en la parte superior. El injerto debe tener al menos una yema terminal y ser de la misma variedad que el portainjerto. Se emplea en horticultura para la obtención de frutales de calidad, como manzanos o cerezos, y en floricultura para la producción de rosas.



Micropropagación. Hoy día se emplean técnicas de **clonación** y **cultivo in vitro** de plantas seleccionadas, de las que se obtienen muchas, genéticamente idénticas, en un reducido espacio y en poco tiempo. Primero se cultivan células, embrionarias o somáticas, en un tubo de ensayo. Con ello se obtiene una masa de células indiferenciada o **callo**, en la que se induce hormonalmente la diferenciación de una plantita. Esta se trasplanta con posterioridad a un terreno definitivo, previa aclimatación.

Actividades

- 12 Explica los procedimientos clásicos utilizados para la propagación artificial de plantas.
- 13 En qué consiste la micropropagación vegetal. ¿Qué ventajas tiene respecto a los otros tipos de propagación artificial?

6 La reproducción sexual en plantas

La reproducción sexual conduce a la formación de nuevas plantas con una constitución genética distinta a la de sus progenitores, ya que son el resultado de la unión de dos células germinales de distinto progenitor procedentes de una meiosis.



Las plantas se caracterizan por tener un **ciclo biológico diplohaplonte** con alternancia de dos generaciones: el **esporofito**, diploide, asexual y productor de esporas, y el **gametofito**, haploide, sexual y productor de gametos.

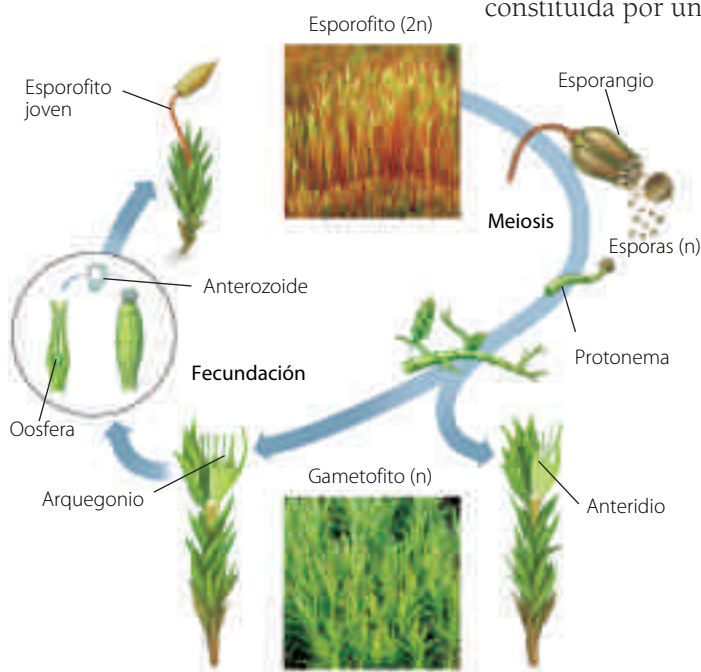
En las plantas se observa una tendencia evolutiva, según la cual, desde las más primitivas, como las briofitas, hasta las más evolucionadas, como los helechos y las espermatofitas (productoras de semillas), la fase gametofito se va reduciendo y llega a estar constituida por unas pocas células, mientras que predomina la fase esporofito.

6.1. Ciclo biológico de briofitas

***Gametangios:** Órganos sexuales de las plantas en los que se forman los gametos. Existen gametangios masculinos y gametangios femeninos.

Las plantas briofitas, como los musgos y las hepáticas, viven en el medio terrestre, pero necesitan ambientes con mucha humedad para completar su ciclo vital. Son plantas sencillas tanto en su morfología y anatomía como en su funcionamiento.

Como todas las plantas, tienen un ciclo diplohaplonte con alternancia de dos generaciones adultas. De las dos fases, la más aparente es el gametofito (n), que está constituida por una plantita formada por rizoides, cauloides y filoides.



En el extremo de los cauloides se diferencian los órganos sexuales formadores de gametos por mitosis, que pueden ser:

- **Arquegonios.** Son los gametangios* femeninos. Forman un gameto femenino inmóvil llamado **oosfera**.
- **Anteridios.** Son los gametangios masculinos. Forman gametos masculinos móviles que llevan flagelos y se denominan **anterozoides**. El agua del ambiente posibilita la llegada de los anterozoides al arquegonio, donde se produce la fecundación.

El **cigoto** diploide, resultante de la fecundación, germina y desarrolla el **esporofito** ($2n$). Este queda unido al gametofito y está formado por un pie delgado en cuyo extremo se diferencia una cápsula, que es el **esporangio**, donde se forman esporas haploides por meiosis. Las esporas al germinar forman una estructura filamentosa de pocas células llamada **protonema**, que se fija al sustrato y desarrolla el gametofito. En este ciclo predomina la fase gametofito frente a la fase esporofito, que es de menor tamaño y vive a expensas del gametofito.

Actividades

- 14 ¿Qué es el protonema?, ¿qué tipo de planta va a desarrollar? ¿Sabrías decir el número de juegos de cromosomas que posee?
- 15 ¿Cómo se llama el gametofito de los musgos?, ¿qué características tiene?, ¿cuál es su dotación cromosómica?

6.2. Ciclo biológico de pteridofitas

Las pteridofitas son plantas más evolucionadas que las briofitas, poseen raíz, tallo y hojas, así como tejidos conductores, pero necesitan vivir en lugares húmedos.

A este grupo pertenecen los helechos, que presentan un ciclo biológico diplohaplonte, en el que se ha reducido mucho la fase haploide o gametofito, mientras el esporofito es la fase dominante.

El esporofito diploide es la planta de helecho que podemos observar en la naturaleza, con raíz, tallo y hojas, llamadas **frondes**.

En la cara inferior de los frondes se disponen los **esporangios**, agrupados en estructuras que se denominan **soros**.

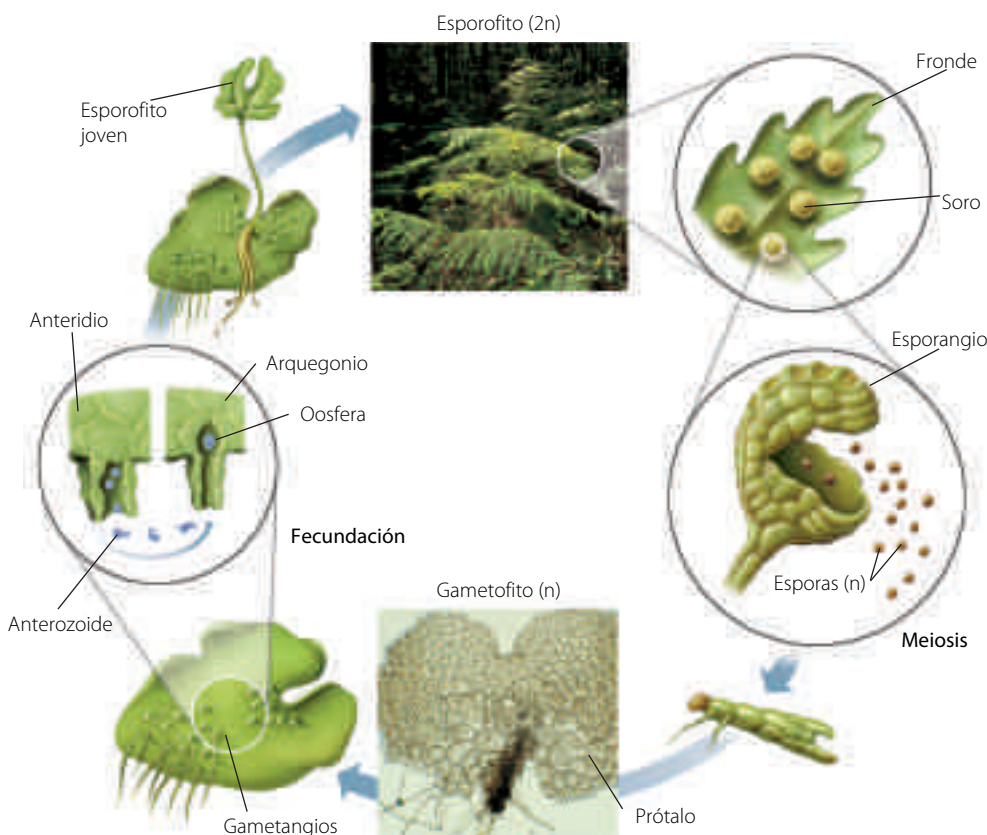
En el interior de los esporangios se forman las esporas por meiosis. Las esporas haploides, al caer al suelo en condiciones idóneas, germinan formando un pequeño **gametofito** haploide de unos centímetros, con forma laminar acorazonada y color verde, que se llama **prótalo**.

En la parte inferior del prótalo se forman los **gametangios**. Los **anteridios** producen **anterozoides** enrollados en espiral y con numerosos flagelos. Los **arquegonios** tienen en su interior una **oosfera**.

Gracias a la humedad y el agua ambiental, los anterozoides pueden llegar al arquegonio. Una vez que atraviesan el cuello del arquegonio, llegan a la oosfera y se produce la fecundación.

Tras producirse la fusión de los gametos, se forma un cigoto diploide, y después de sucesivas mitosis se desarrolla un pequeño embrión. En sus primeros momentos, el embrión vive a expensas del prótalo hasta que se desarrolla como un esporofito joven.

El esporofito joven crece y da lugar a un helecho adulto que vuelve a producir esporas por meiosis.



Actividades

- 16 ¿Qué diferencia hay entre fronde, esporangio y soro?
- 17 ¿Qué diferencias y qué semejanzas existen entre los ciclos de musgos y helechos?
- 18 ¿Cómo se llama el gametofito de los helechos?, ¿qué características tiene?, ¿cuál es su dotación cromosómica?

7 La reproducción en espermafitas

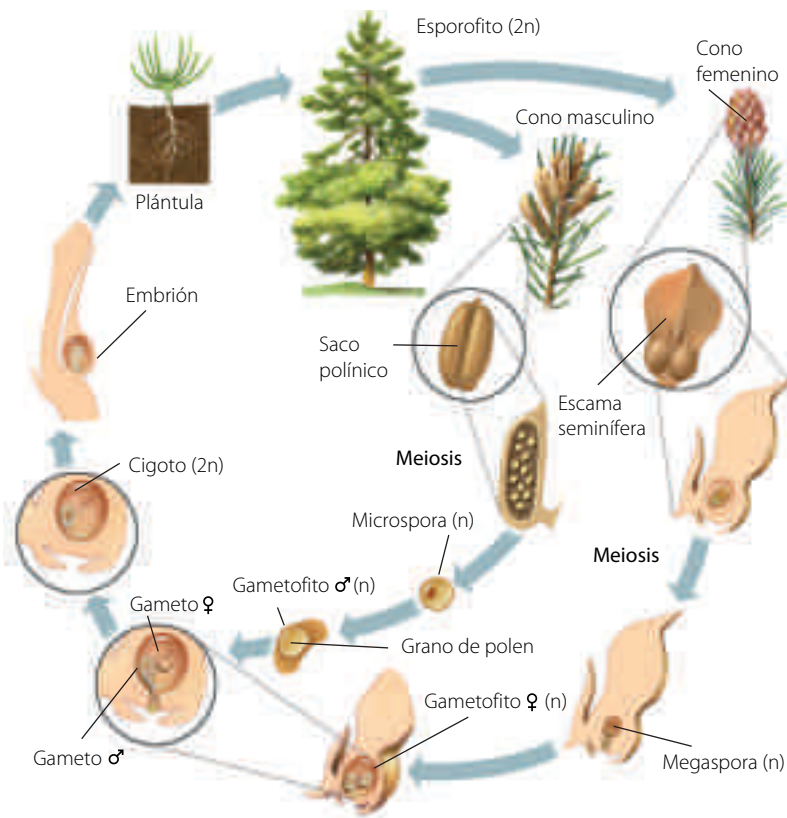
Las adaptaciones, tanto morfológicas como funcionales y reproductoras, de las espermafitas les han permitido colonizar todos los hábitats del medio terrestre. Entre estas adaptaciones destacan su **fecundación independiente del agua** y la formación de **semillas**, como estructuras de dispersión.

Las espermafitas tienen un ciclo biológico **diplohaplonte** con un gametofito muy reducido que se desarrolla a expensas del esporofito.

Dentro de este grupo se encuentran las **gimnospermas** y las **angiospermas**.

7.1. Ciclo biológico de gimnospermas

Los pinos, los abetos, los cedros, etc., son gimnospermas. En estas plantas, el árbol representa el **esporofito**, que lleva estructuras de reproducción, llamados **conos** o **estróbilos**, productores de esporas.



Los conos están formados por hojas modificadas, llamadas **escamas** o **brácteas**, dispuestas alrededor de un eje. Algunas gimnospermas pueden ser unisexuales o dioicas, al tener solo un tipo de conos (masculinos o femeninos) en el mismo individuo.

- Los **conos masculinos** tienen escamas, en cuya base hay dos **sacos polínicos**, en los que se producen, por meiosis, **microsporas** que se transforman en granos de polen o **gametofitos masculinos**.

Los granos de polen están formados por varias células, una de ellas se divide por mitosis y produce los **gametos masculinos**.

- Los **conos femeninos** están constituidos por brácteas, que en su parte interna llevan una **escama seminífera**. En su interior, la célula madre de las megasporas sufre una meiosis y produce cuatro células haploides, tres de ellas degeneran y la **megaspora** que queda, tras sucesivas mitosis, desarrollará el **gametofito femenino**.

El gametofito femenino forma en su interior dos o tres **arquegonios**, cada uno con una **ovocélula** u **oosfera**, que es el gameto femenino.

Los granos de polen son transportados, por el aire o por cualquier otro sistema, y llegan al gametofito femenino.

La **fecundación** comienza cuando el grano de polen forma un **tubo polínico** que llega al arquegonio, donde uno de los núcleos espermáticos se une con la oosfera para dar lugar a un cigoto diploide, el otro núcleo espermático degenera.

A partir del cigoto se forma el embrión, que queda rodeado del **endospermo**, derivado de los tejidos del gametofito que rodean al arquegonio, y los tegumentos del primordio seminal se transforman en tegumentos de la semilla.

Durante todo el proceso de la fecundación, los conos femeninos cambian su aspecto, tomando una consistencia leñosa, y pasando a llamarse **piñas**. Cuando las semillas maduran, la piña se abre y las libera, caen al suelo, y si las condiciones son adecuadas, germinan y se desarrollan dando lugar al esporofito adulto.

Actividades

- 19 ¿Cuál es la característica diferencial más importante de las espermafitas con respecto de las pteridofitas?
- 20 ¿A qué se denominan conos en las plantas gimnospermas?, ¿es lo mismo decir cono que piña?
- 21 Describe cómo se realiza la fecundación en las plantas gimnospermas.

7.2. Plantas angiospermas. Morfología de la flor

Las plantas angiospermas presentan sus órganos sexuales agrupados en flores. Las flores de las angiospermas son **completas**, es decir tienen **periantio** (cáliz y corola), y tras la fecundación dan lugar a las semillas y el fruto.

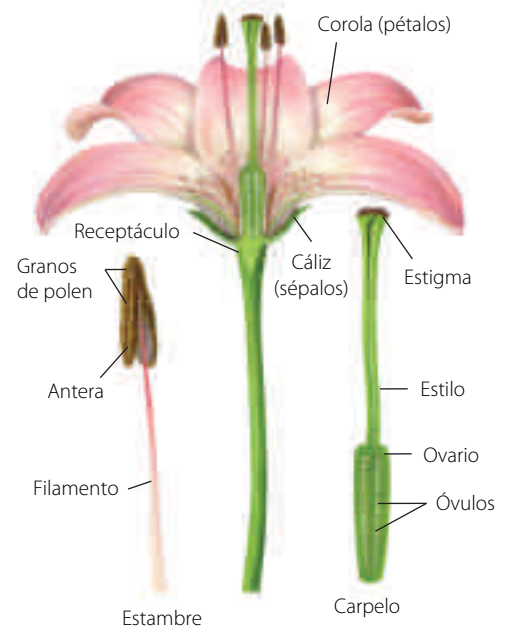
La flor está constituida por hojas más o menos modificadas, que se disponen formando verticilos* sobre un **receptáculo floral**, que es un ensanchamiento del **pedúnculo floral** o rama que sostiene la flor. Desde el exterior hacia el interior se encuentran los siguientes verticilos:

- **Cáliz.** Formado por los **sépalos**, que son hojas poco modificadas, generalmente de color verde.
- **Corola.** Compuesta por **pétalos**, que son hojas poco modificadas de diversos colores.

El conjunto de cáliz y corola se denomina **periantio**, y está constituido por dos verticilos estériles, cuya misión es proteger a los verticilos fértiles y facilitar la polinización. En algunas flores los sépalos y los pétalos tienen la misma coloración, en cuyo caso se llaman **tépalos**.

- **Androceo.** Formado por hojas muy modificadas, que reciben el nombre de **estambres**. Cada estambre está compuesto por un delgado **filamento**, en cuyo extremo superior existe un ensanchamiento llamado **antera**. Cada antera consta de dos **tecas**, separadas por un surco, y cada una se compone de dos **sacos polínicos**, donde se producen los granos de polen.
- **Gineceo.** Se encuentra situado en el centro de la flor y está formado por hojas muy modificadas, que se denominan **carpelos**. Cada carpelo consta de una cavidad inferior, el **ovario**, que se prolonga en un **estilo** delgado rematado por una superficie más ensanchada, el **estigma**. En el interior del ovario se desarrollan los óvulos.

Muchas angiospermas poseen flores hermafroditas, ya que tienen tanto el androceo como el gineceo en la misma flor.



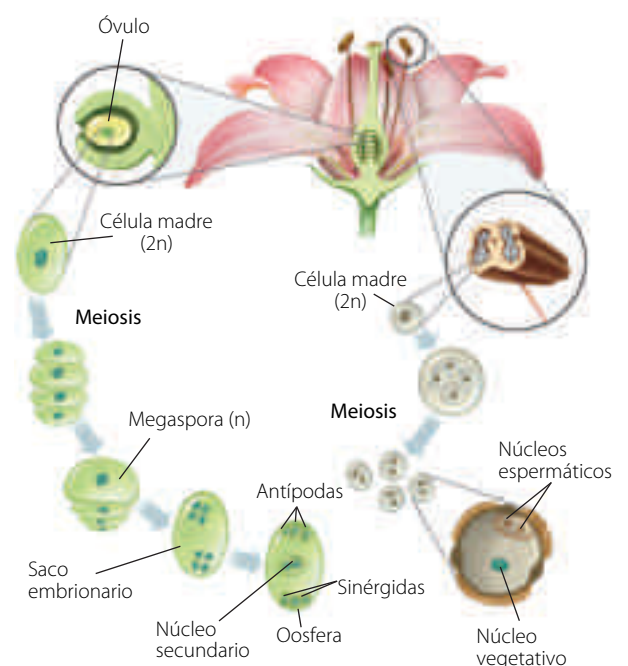
***Verticilo:** Conjunto de tres o más hojas, flores o piezas de la flor, que están insertas en el mismo plano alrededor de un tallo.

***Citocinesis:** División en dos del citoplasma de una célula.

7.3. Formación de gametofitos en angiospermas

En las plantas angiospermas los gametofitos son de tamaño reducido.

- **Gametofito masculino.** Es el grano de polen germinado. La germinación se realiza cuando este llega al estigma y comienza la formación del tubo polínico. En el interior del grano de polen hay dos núcleos: el **núcleo vegetativo** y el **núcleo generativo**. Este último se volverá a dividir en el interior del tubo polínico para formar dos **núcleos espermáticos** que son los gametos masculinos.
- **Gametofito femenino.** Es el saco embrionario. Una de las células, la **célula madre de la megaspora**, se divide por meiosis y da lugar a cuatro células, de las cuales tres degeneran y una sola queda como megaspora haploide a partir de la cual se desarrollará el saco embrionario, con siete células. La megaspora aumenta de tamaño y se divide sin citocinesis*, primero en dos núcleos y después cada uno dos veces más, formándose ocho núcleos. En uno de los polos, se separan tres núcleos de la megaspora rodeados de citoplasma, que originan el aparato ovular, constituido por: la **oosfera** y dos células más, las **sinérgidas**. En el polo opuesto quedan tres núcleos, que se rodean de un citoplasma propio y forman tres células llamadas **antípodas**. Los dos núcleos polares restantes quedan en el centro, se fusionan formando el **núcleo secundario** diploide de la megaspora. En las angiospermas no se forman arqueogonios.



8 La polinización y la fecundación



La polinización entomófila es la que se produce por insectos. La ornitófila se realiza por aves como el colibrí.

La **polinización** consiste en la transferencia de los granos de polen desde la antera hasta el estigma de la misma flor o de otra.

Si el polen se transfiere al estigma de la flor de otro individuo se denomina **polinización cruzada**, y con ella se produce una mezcla de material genético de distintos ejemplares. Si la polinización se realiza entre flores de la misma planta, se llama **autopolinización**. Algunas especies pueden tener los dos tipos.

Según el agente que transporte los granos de polen, se distinguen los siguientes tipos de polinización:

- **Anemófila**. Se realiza por el **viento**. Las especies con polinización anemófila tienen flores poco vistosas con adaptaciones características, como los estambres y los estigmas largos. Además producen mucho polen, los granos son pequeños y ligeros. Es característica de gimnospermas y gramíneas.

- **Entomófila**. Se realiza por **insectos**. En este caso, las flores presentan adaptaciones que atraen a los insectos polinizadores, como el olor o el color y la vistosidad de los pétalos. En algunos casos desarrollan **nectarios**, con néctar rico en compuestos azucarados.

En otros casos, los pétalos simulan el color, pilosidad, formas y olor de hembras de insectos de manera que los machos son atraídos hacia la flor.

Los insectos, atraídos por las flores, penetran en ellas y, al tocar los estambres, se impregnan del polen. Al posarse en otra flor depositan los granos de polen que llevan en el exterior de su cuerpo sobre el estigma del carpelo.

- **Ornitófila**. Se realiza por **pájaros**. Generalmente se trata de pájaros que tienen picos largos y estrechos, como los colibríes, que buscan el néctar de las flores.

Actividades

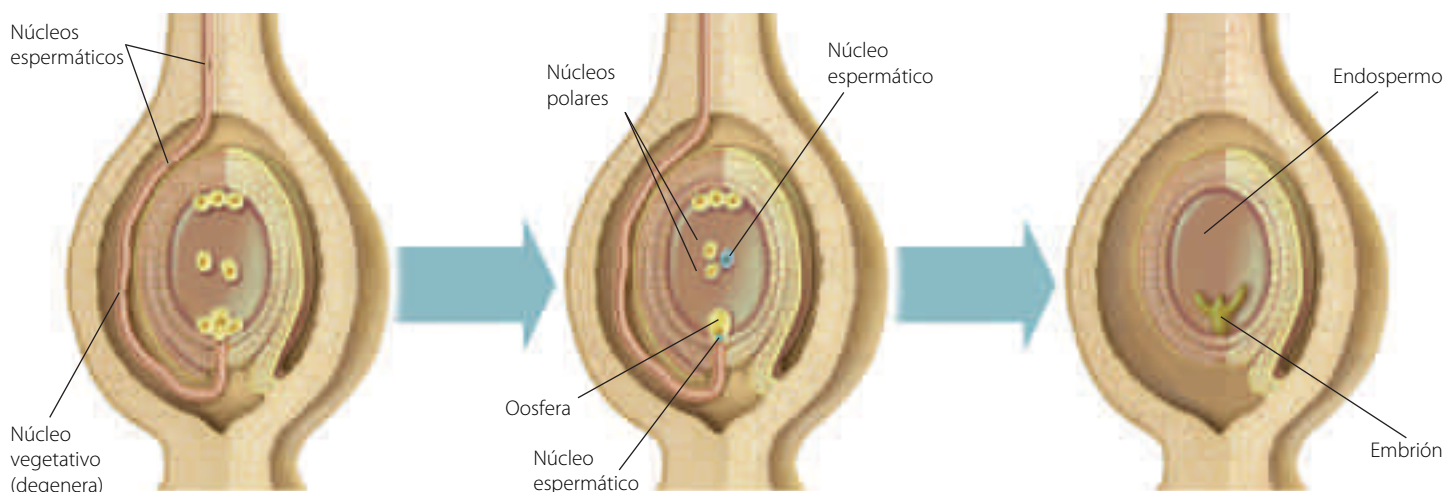
22 Define qué es la polinización y los tipos de agentes que conozcas.

23 ¿Es lo mismo polinización que fecundación? Señala las diferencias si existen.

8.1. Doble fecundación de angiospermas

Después de la polinización el grano de polen (microspora) germina en el estigma, produciendo un tubo polínico que crece a través del carpelo.

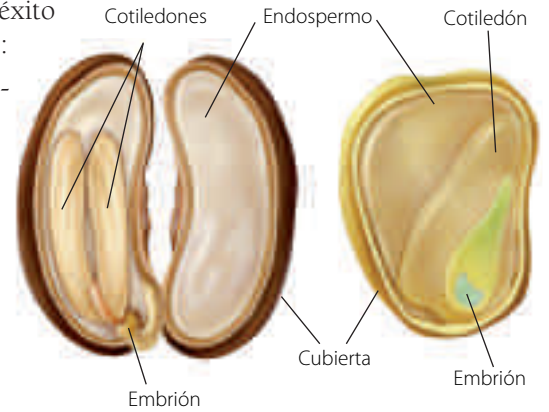
La **fecundación** ocurre cuando el tubo polínico llega al ovario, penetra hasta alcanzar el gametofito femenino, se rompe y libera los dos gametos masculinos (núcleos espermáticos), uno de los cuales se une con el del gameto femenino (oosfera), para formar el **cigoto diploide**, a partir del cual se desarrollará el embrión. El otro núcleo (secundario) se une a los dos núcleos polares del gametofito femenino, dando lugar a un núcleo triploide ($3n$) del que derivará el **endospermo**. Esto constituye la **doble fecundación** característica de angiospermas.



9 La semilla y el fruto de las angiospermas

Después de la doble fecundación, el óvulo se transforma en **semilla**. Las semillas representan la principal forma de dispersión de las espermatofitas, su éxito frente a las esporas, en el medio terrestre, se debe a tres razones principales:

- La semilla contiene un **embrión** pluricelular con raíz, tallo y hojas embrionarias; mientras que las esporas están constituidas por una sola célula.
- La semilla contiene **endospermo**, un tejido con misión nutritiva para los primeros momentos del desarrollo; en cambio, las esporas poseen pocas reservas alimenticias.
- Las semillas están protegidas por cubiertas, mientras las esporas apenas poseen protección.



9.1. Morfología del fruto

El fruto procede de los tejidos del carpelo que se desarrollan después de la fecundación. Está compuesto de una o más semillas rodeadas de un tejido protector, el **pericarpio**, formado por el desarrollo de las paredes del ovario. El pericarpio se compone de tres capas: el **epicarpio**, la capa más externa; el **mesocarpio**, intermedia, y el **endocarpio**, la más interna.

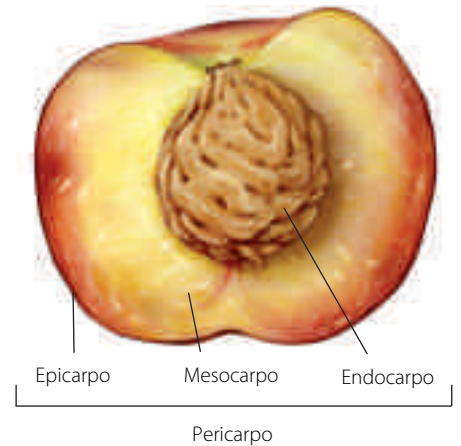
Según el tipo de fruto que se forme, estas tres capas serán distintas en su consistencia y las relaciones que guarden entre sí.

9.2. Tipos de frutos

Se pueden diferenciar tres tipos de frutos:

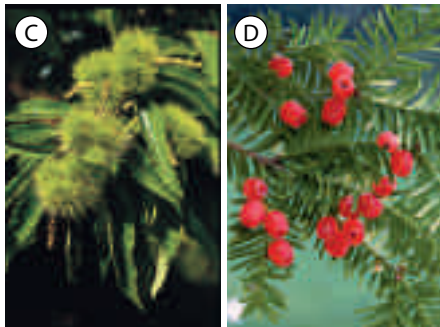
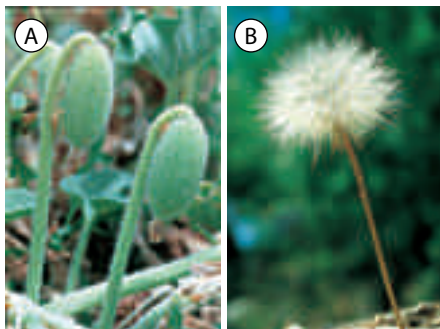
- **Simple**. Son aquellos que derivan de una flor con un solo ovario. Se dividen en dos grandes grupos, según la consistencia y succulencia de sus paredes:
 - **Secos**. Están formados por tejidos duros al desecarse y lignificarse sus células. Según la apertura del fruto para dejar libres las semillas, se diferencian dos tipos: frutos **dehiscentes**, se abren espontáneamente por diversos mecanismos, y frutos **indehiscentes**, permanecen cerrados con las semillas en su interior.
 - **Carnosos**. Cuando maduran están formados por tejidos succulentos. La parte carnosa puede ocupar todo el pericarpio o alguna de sus partes.
- **Múltiples**. Son aquellos en los que el fruto deriva de una flor con varios carpelos libres, cada uno forma un fruto independiente de los otros. También pueden ser secos o carnosos, como por ejemplo la mora.
- **Complejos**. Se dan en el caso de que la formación del fruto se realice con la intervención de otras partes de la flor, que no sean las paredes del ovario, como: el **pomo** (manzana) y la **balausta** (granada), entre otros.

También se encuentran **infrutescencias**, que son agrupaciones de frutos procedentes de las inflorescencias, como por ejemplo el higo y la piña tropical.



Actividades

- 24 ¿Cuáles son las razones de que las semillas sean los elementos más importantes de propagación de las plantas superiores?
- 25 Define lo que es un fruto y de qué partes está compuesto.
- 26 Qué diferencias existen entre frutos simples, frutos múltiples y frutos complejos.



A: Planta bolócora (pepino del diablo).
 B: Planta anemócora (vilano de diente de león).
 C: Planta epizoócora (castaño).
 D: Planta endozoócora (tejo).

10 La diseminación y germinación de la semilla

La diseminación de las semillas (o de los frutos enteros) es un hecho crucial del proceso de la reproducción. Las adaptaciones de las plantas para la dispersión son muy numerosas y variadas. Dependiendo del agente dispersante, se puede establecer la siguiente clasificación:

- **Plantas bolócoras.** Sus frutos han desarrollado mecanismos motores especiales de autodispersión, como es el caso del género *Echium*, que proyecta las semillas a distancia durante la maduración.
- **Plantas hidrócoras.** La dispersión de las semillas se realiza por medio del agua (hidrocoria). Así ocurre en las ninfáceas, cuyos frutos flotantes se descomponen lentamente en el agua, diseminando las semillas.
- **Plantas anemócoras.** La diseminación se produce por el viento (anemocoria). Tanto los frutos como las semillas, tienen adaptaciones para mantenerse suspendidas en el aire y facilitar el vuelo, como pueden ser pelos, vilanos, laminillas membranosas o partes de una inflorescencia.
- **Plantas zoócoras.** Presentan dispositivos en sus semillas o frutos para ser retenidas en la piel o plumas de los animales (**epizoocoria**), como espinas, garfios, excrecencias mucilaginosas, etc. En otras ocasiones, los frutos son carnosos y apetitosos para los animales, de manera que al comerlos, y luego eliminar las heces, son dispersadas las semillas (**endozoocoria**).

10.1. Germinación y tipos

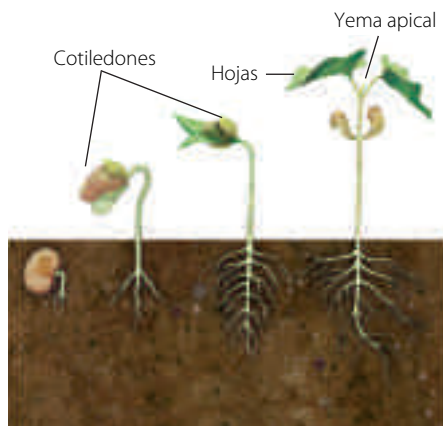
La germinación es la transformación de la semilla en una pequeña planta. Incluye una serie de procesos metabólicos y morfogénéticos que tienen como resultado la transformación del embrión en una plántula, que es capaz de valerse por sí sola.

Las giberelinas desempeñan un papel importante en la germinación, al estimular la hidrólisis de polisacáridos de almacén que hay en el endospermo. En general, la semilla absorbe agua y se hincha, lo que hace que la cubierta se rompa y emerja la radícula. Una vez fuera, la radícula penetra en el suelo, produce pelos absorbentes y comienza la absorción de nutrientes del suelo.

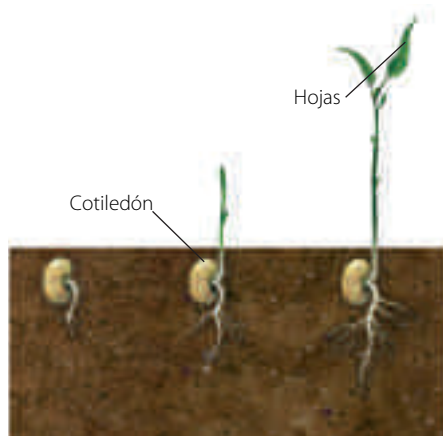
Se diferencian dos tipos básicos de germinación:

- **Epigea.** Los cotiledones y el ápice caulinar salen por encima del suelo. Esta germinación la presentan muchas leguminosas, como la judía.
- **Hipogea.** Los cotiledones permanecen dentro de la cubierta y bajo el suelo. Este tipo de germinación se da en la mayoría de monocotiledóneas.

Entre los **factores** que afectan a la germinación están: el agua, los gases, la temperatura y la viabilidad de la semilla, es decir, el periodo de tiempo que conservan su capacidad para germinar, y que es extremadamente variable, dependiendo de las condiciones de almacenamiento y del tipo de semilla. La capacidad de germinación puede llegar a veces hasta los 200 años. El trigo tiene unos diez años. Las semillas de plantas tropicales que no están sometidas a condiciones extremas no suelen tener más de un año de capacidad germinadora.



Proceso de germinación epigea.



Proceso de germinación hipogea.

Actividades

- 27** Cita los tipos de dispersión y explica el agente dispersante en cada caso.
28 ¿Qué diferencias existen entre la germinación epigea y la hipogea?

Estudio de diversos tipos de flores

En las espermatofitas, la flor es una estructura que reúne los órganos reproductores de la planta. La flor se organiza en cuatro partes o verticilos, de los cuales los más internos (androceo y gineceo) son fértiles, y los dos más externos (cáliz y corola) son estériles. Vamos a estudiar flores de dicotiledóneas que, en la mayoría de los casos, están formadas por todos los verticilos.

Objetivos

- Conocer las diferentes partes de la flor en angiospermas.
- Comprender la función que realizan cada una de las partes.
- Comprender el destino de los órganos de la flor en su transformación en fruto.

Material necesario

- Placa de corcho de 10 × 10
- Alfileres
- Pinzas de disección
- Bisturí
- Pincel fino
- Portaobjetos excavado
- Cubreobjetos
- Flores: amapola, leguminosa y romero
- Lupa binocular
- Microscopio
- 3 g de gelatina
- 10 g de sacarosa
- 100 g de agua caliente

Desarrollo

1. Observamos una flor de amapola, dibujamos, contamos y anotamos el número de los sépalos. Nos fijaremos si son iguales, están soldados o libres y su color. Haremos lo mismo con una flor de judía y de romero. Cuando los sépalos y los pétalos están unidos, su número se sabe al fijarse en los dientes que salen en la parte superior del cáliz o los lóbulos de la corola.
2. Separamos un pétalo y lo observamos con la lupa binocular, comprobando si tienen nervios como las hojas.
3. Eliminamos el cáliz y la corola, y observamos el androceo. Contamos el número de estambres de cada una de las flores. En caso de que sean muy pequeñas, usaremos la lupa. Con las pinzas de disección tomamos uno de los estambres y observamos sus partes a la lupa. Dibujamos un esquema con el nombre de las partes y anotamos el número de estambres de cada flor.
4. Con ayuda de un pincel tomamos granos de polen. Los espolvoreamos sobre una gota de solución de gelatina-sacarosa puesta en un cubre. Con cuidado invertimos el cubreobjetos sobre un portaobjetos excavado, y lo mantenemos en un lugar aireado, a unos 20 °C. Al día siguiente observaremos al microscopio la preparación para ver cómo se produce la germinación del grano de polen, formándose el tubo polínico.
5. En la parte central de la flor está el gineceo, que en el caso de la flor de amapola tiene forma globosa, con la parte superior aplastada. Está formado por varios carpelos unidos, y en él se observan unas bandas estigmáticas, cada una de las cuales representa el estigma de un carpelo. Contamos el número de bandas y observamos a la lupa el gineceo de cada flor.
6. A continuación cortamos transversalmente el gineceo de la amapola. Observamos el corte a la lupa y podremos ver que la cavidad interna está dividida por tabiques. Contamos el número de huecos y observaremos cómo en el interior están dispuestos los primordios seminales.



Practica

29 ¿Se observan nervios en los pétalos?, ¿cuál crees puede ser el origen de los sépalos y los pétalos?

30 ¿A qué equivale el tubo polínico?, ¿qué se encuentra en su interior?

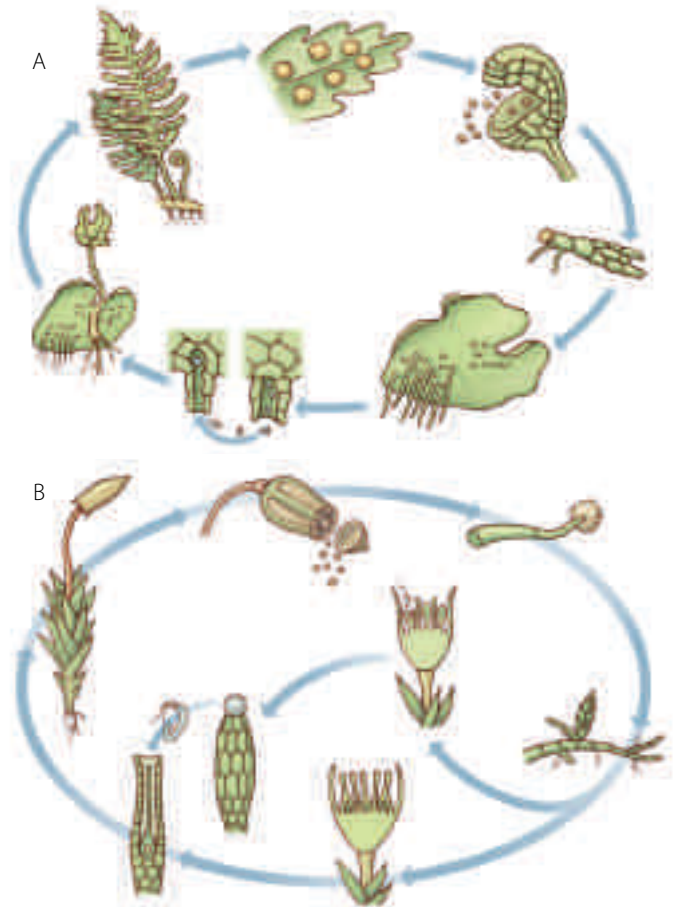
31 ¿Cuántos carpelos forman la flor de la amapola?, ¿a qué te recuerda el ovario abierto de la leguminosa?

32 A la vista del tipo de flores estudiadas, ¿qué tipo de polinización tendrá cada una?

Actividades de repaso

- 33** Señala las semejanzas y las diferencias entre las hormonas de los animales y las hormonas de las plantas. ¿Por qué algunos científicos prefieren llamar a las fitohormonas, reguladores del crecimiento?
- 34** Cita los cinco tipos de hormonas vegetales y una función característica de cada una.
- 35** Comenta las siguientes frases:
- «Citoquininas y giberelinas son hormonas que mantienen el estado juvenil de una planta».
 - «Las hormonas responsables de los procesos de senescencia son el etileno y el ácido abscísico».
- 36** ¿Con qué hormonas vegetales están relacionados los siguientes procesos?
- Germinación de las semillas.
 - Formación de raíces laterales.
 - Cierre de los estomas.
 - Maduración de los frutos.
- 37** ¿Por qué los tropismos y las nastias son procesos ligados al crecimiento?
- Cita qué tipo de tropismo producen los siguientes estímulos: presión, agua, luz, sustancias químicas, gravedad.
 - Señala los tipos de nastias que conoces, di las diferencias entre ellas y un ejemplo de cada una.
- 38** Haz una relación de las diferencias entre la reproducción asexual por esporas y la multiplicación vegetativa.
¿Qué dotación cromosómica tienen las esporas en los ciclos biológicos de las plantas?
- 39** Define los siguientes términos y pon un ejemplo de cada uno de ellos:
- Bulbo
 - Propágulo
 - Rizoma
 - Estolón
- 40** ¿Por qué las yemas de las plantas son estructuras capaces de producir nuevas plantas en la multiplicación vegetativa?, ¿qué tipo de yemas conoces?
- 41** ¿Qué es un esqueje? ¿qué tipo de fitohormona utilizarías para el enraizamiento de esquejes?
- 42** Indica si las siguientes estructuras son haploides o diploides:
- Cauloide
 - Cápsula
 - Espora
 - Anteridio
- 43** ¿Cómo se llaman los gametos masculinos y femeninos en briofitas, pteridofitas y espermafitas?
- 44** Establece las diferencias entre:
- Tejido esporógeno y tejido meristemático
 - Óvulo y oosfera
 - Tejido fértil y tejido estéril
 - Grano de polen y núcleo espermático

- 45** Las dos figuras siguientes representan ciclos biológicos.



- ¿A qué tipo de plantas pertenece cada uno?
 - ¿Cuándo se produce la meiosis en cada ciclo?
 - En cada uno de los ciclos, indica qué partes son haploides y cuáles diploides.
- 46** Determina la dotación cromosómica de las siguientes estructuras:
- Tegumentos de semilla gimnosperma
 - Oosfera
 - Embrión
 - Gametofito
 - Endospermo de gimnosperma
 - Núcleo espermático
 - Árbol esporofito
- 47** ¿En qué momento se produce la meiosis, tanto en el androceo como en el gineceo?
- 48** ¿A qué se llama doble fecundación?, ¿cómo se realiza?, ¿de qué plantas es característica?
- 49** A qué tipo de flores y polinización nos referimos si decimos: «Tienen abundancia de néctar, color y vistosidad en sus corolas y producen gran cantidad de flores en un pie de planta».

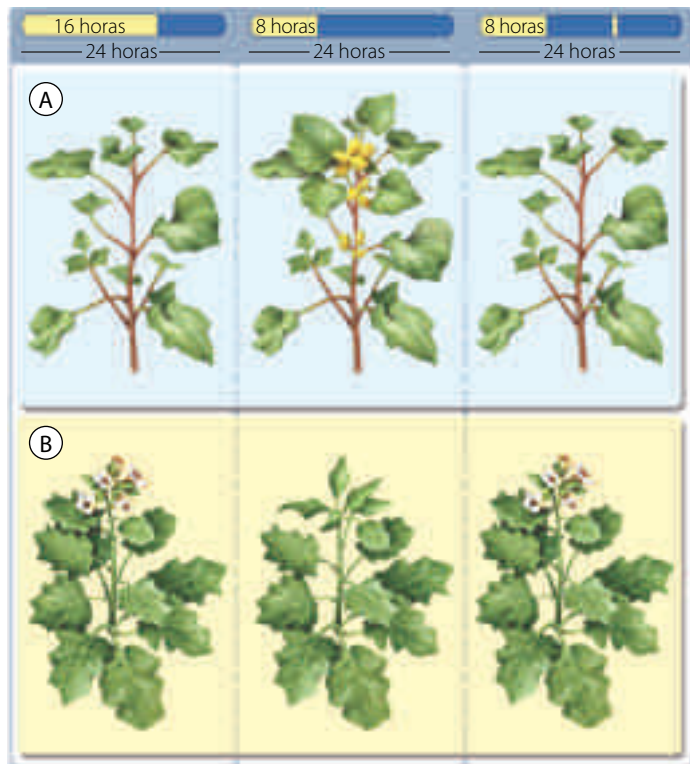
Actividades de ampliación

- 50** Con relación a los experimentos de Darwin y Went, referentes a los movimientos por crecimiento de las plantas debidos a la luz, contesta a las siguientes preguntas:
- ¿Por qué crecen las plántulas sin dirigirse hacia el foco de luz cuando se les tapa el ápice?
 - ¿Solamente se curva la plántula hacia la luz cuando tiene el ápice al descubierto?
 - ¿Qué utilizarías para hacer que una plántula continúe su crecimiento cuando se le ha cortado el ápice?

- 51** Copia y completa la siguiente tabla con la relación entre hormonas, funciones y lugares de síntesis.

Hormona	Función	Lugar de formación
Giberelinas		
Auxinas		
Etileno		
Citoquininas		
Ácido abscísico		

- 52** ¿Solamente los estímulos luminosos tienen relación con procesos de movimiento en los vegetales, o existen otros aspectos del desarrollo de las plantas en los que intervienen? Si es así, cítalos y explica cómo lo hacen.
- 53** Fijándote en la figura adjunta, explica el funcionamiento de las plantas de día corto (PDC) y las de día largo (PDL). ¿A qué tipo de plantas corresponde la serie de dibujos A y la serie de dibujos B?



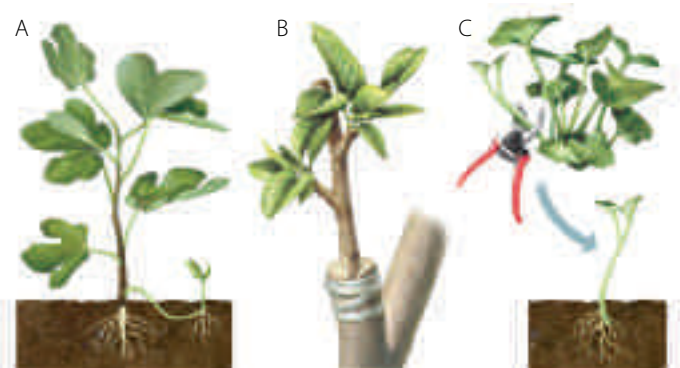
- 54** ¿Qué tipo de técnica utilizarías para multiplicar las siguientes plantas?
- Arbusto de talle baja que tiene ramas cercanas al suelo.
 - Árbol que produce frutos de excelente calidad pero procede de otra región.
 - Planta de la que se quieren obtener muchas iguales y en poco tiempo.
 - Árboles con yemas abundantes y facilidad de enraizamiento.

- 55** Realiza un esquema de las partes de una flor de angiosperma, indica cada una de las estructuras que forman sus piezas y la función que tiene cada una.

- 56** ¿Qué ventajas e inconvenientes tienen la polinización cruzada y cuáles la autopolinización para las plantas? Documentate y haz un pequeño informe con algunas de las adaptaciones que las plantas tienen para evitar la autofecundación. Describe diferentes adaptaciones de las plantas a la polinización por los insectos y por el viento.

- 57** Diferencia los casos de epizoocoria y endozoocoria, ¿puedes poner ejemplos de ambos tipos de dispersión?, ¿crees posible que plantas del continente americano hayan podido llegar al continente europeo mediante algún mecanismo anterior?

- 58** Copia los siguientes esquemas, indica qué representa cada uno y establece las diferencias entre ellos.



- 59** Fijándote en los ciclos biológicos de musgos y helechos, indica las similitudes y diferencias existentes entre ambos.

- 60** Relaciona los nombres de las dos columnas siguientes:
- | | |
|------------------------|---------------------------|
| a) Paredes del ovario | 1) Microsporangios |
| b) Prótalo | 2) Gametofito de helechos |
| c) Sacos polínicos | 3) Núcleo espermático |
| d) Gametofito femenino | 4) Megaesporangio |
| e) Estambres | 5) Fruto |
| f) Anteridio | 6) Oosfera |
| g) Grano de polen | 7) Anterozoide |
| h) Arquegonio | 8) Microesporófilos |

Orientaciones para un examen

Los fisiólogos Paal y Went a comienzos del siglo xx realizaron las siguientes experiencias con coleóptilos de avena, los primeros tallitos que crecen al germinar la semilla.

1. Cortaron el ápice del coleóptilo y vieron que siempre se interrumpía su crecimiento.
2. Si volvían a colocar el ápice en su lugar, se reanudaba el crecimiento del coleóptilo.
3. Cuando se ponía el ápice de un coleóptilo sobre una placa de agar, y esta se colocaba sobre el coleóptilo sin el ápice, el coleóptilo volvía a crecer.
4. Cortaron el ápice del coleóptilo y entre este y el resto intercalaron una lámina de mica. Entonces el coleóptilo no crecía.

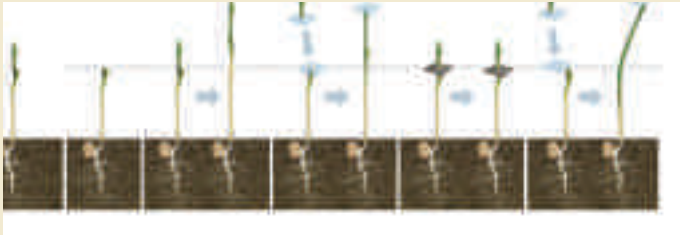
5. Al colocar lateralmente una placa de agar, que previamente había tenido en contacto el ápice cortado, el coleóptilo crecía curvado en sentido opuesto al punto donde colocaban la placa de agar.

- a) Realiza un dibujo con cada uno de los pasos seguidos en los experimentos.
- b) ¿Qué intentaban demostrar Paal y Went?, ¿cuál era la hipótesis de la que partían?
- c) ¿Qué función tenían en el experimento, los bloques de agar y la lámina de mica?, ¿qué características tienen en cuanto a su permeabilidad?
- d) Según sus experiencias, ¿a qué conclusiones crees que llegaron?

Experiencias sobre hormonas vegetales

- a) Para realizar el dibujo de cada paso tendrás que dibujar los coleóptilos que parten de las semillas de avena quitando o poniendo los ápices o las placas de agar en sus extremos, indicando si hay o no crecimiento. En el último caso debes poner el bloque de agar y hacia el lado contrario curvarás el coleóptilo.
- b) Paal y Went al utilizar coleóptilos en crecimiento querían demostrar qué es lo que produce el crecimiento en longitud de los tallos.

La hipótesis que se plantearon es que debía haber sustancias en el ápice de los coleóptilos responsables de dicho crecimiento, por ello cortaban el ápice.



- c) La función del agar y de la mica era interponer algún elemento entre la zona de formación de dichas sustancias y la zona de actuación. El agar al ser permeable, dejaba difundir las sustancias responsables del crecimiento hacia abajo. Pero la mica, impermeable a dichas sustancias, evitaba su paso.
- d) A la vista de los resultados de la experiencia, concluyeron que debía haber sustancias que se fabricaban en el ápice del coleóptilo y que difundían hacia abajo siendo las responsables del crecimiento de los tallos. Hecho que se ponía mejor de manifiesto en la última experiencia pues solo crecía la parte en contacto con agar, lo que ocasionaba una curvatura.

①

②

③

④

⑤

Practica

61 La tabla adjunta se ha obtenido al realizar experiencias en laboratorio a 21 °C, para calcular el porcentaje de semillas germinadas del género *Xanthium*, una planta herbácea anual, con diferentes cantidades de oxígeno en el aire.

- a) Realiza una gráfica con los datos aportados en la tabla.
- b) ¿Qué crees que se intenta investigar con estos experimentos?
- c) ¿Cuál es la variable dependiente, la independiente y cuál se mantiene constante?

Volumen de O ₂	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
Germinación (%)	0	40	58	80	90	100

Aerobiología y alergia al polen

La aerobiología es una disciplina, dentro de la biología, que se dedica al estudio de todas las partículas biológicas microscópicas, que se encuentran en el aire y que son transportadas pasivamente por el viento. El término fue empleado a partir de la década de 1930, y poco a poco ha ido cubriendo cada vez más campos y aplicaciones científicas. Es una ciencia con un enfoque multidisciplinar que necesita la cooperación de diversas áreas de conocimiento, como la botánica, la microbiología, la física, la ecología, la medicina, la agronomía, etc.



En sentido más restringido, la aerobiología se ha aplicado a los estudios del contenido atmosférico en granos de polen de vegetales y esporas de hongos, su diversidad, y las concentraciones con que se presentan en las distintas épocas del año, constituyendo una rama de la aerobiología que se llama **aeropalinología**.

Una de las aplicaciones más importantes son los estudios sobre la alergia al polen (polinosis), un tipo de alergia muy frecuente, que produce síntomas de tipo respiratorio (conjuntivitis, rinitis, asma, etc.). Alrededor de seis millones de personas en España sufren alergia al polen (22 % de la población), y se prevé que en los próximos veinte años la cifra de alérgicos aumente a la mitad de la población, debido fundamentalmente a la interacción entre el polen y ciertas partículas contaminantes.

No todas las plantas producen granos de polen alérgenos, entre las más comunes en España están las gramíneas de los géneros *Trisetum* y *Dactylis*, que son la primera causa de polinosis en el norte y centro de la Península; *Parietaria judaica*, una maleza, lo es en el litoral mediterráneo, y el olivo principalmente en el sur. Otras especies de plantas que producen alergias son algunas herbáceas, como las de los géneros: *Plantago*, *Artemisia*, *Salsola* y *Chenopodium*. Entre los árboles cabe destacar las cupresáceas, como arizónicas y cipreses que producen alergias entre enero y febrero, y el plátano de sombra (*Platanus* sp.), entre marzo y abril.

En España existe la Red Española de Aerobiología (REA), creada en 1992 a partir de grupos que trabajaban en esta disciplina desde comienzos de la década de 1980. Sus objetivos son: la detección de aeroalérgenos a nivel nacional, la creación de un banco de datos, y la difusión de información sobre el estado de los alérgenos más comunes y su previsión.

La REA cuenta con 40 estaciones de control en toda la Península Ibérica que llevan a cabo proyectos

de investigación coordinados. La base de datos nacional está ubicada en la Universidad de Córdoba, y se intenta que las diferentes unidades biogeográficas y bioclimáticas de España cuenten con unidades de monitorizaje aerobiológico.

El estudio y difusión de los datos que aportan estas unidades se hace en los medios de comunicación, en los centros especializados y por internet. Su divulgación es muy útil para los especialistas en alergias, así como para los mismos enfermos, ya que a la vista de los niveles de polen pueden optimizar mejor los tratamientos, y tomar precauciones con una serie de medidas que prevengan la exposición a los distintos tipos de polen alérgenos.



No te lo pierdas

Libros y películas

- ▶ PEP CUERDA SANTANA. *Atlas de Botánica*. Parramón Ediciones, S. A.
- ▶ *La vida privada de las plantas*. Divisa Home Video. Director: David Attenborough.

En la red

- ▶ www.jardinbotanicodecordoba.com/
- ▶ www.institutbotanic.bcn.es/
Información botánica de interés.