

A detailed light micrograph of a plant stem cross-section, stained with a blue dye. The image shows several vascular bundles arranged in a ring. Each bundle contains a primary xylem on the inner side and a primary phloem on the outer side. A central pith is visible in the center of the stem. The text is overlaid on the image.

Atlas de Histología Vegetal y Animal

Órganos vegetales FLOR

Manuel Megías, Pilar Molist, Manuel A. Pombal

Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud.

Facultad de Biología. Universidad de Vigo

(Versión: Abril 2018)

Este documento es una edición en pdf del sitio
<http://mmegias.webs2.uvigo.es/inicio.html>.

Todo el contenido de este documento se distribuye bajo
la licencia Creative Commons del tipo BY-NC-SA
(Esta licencia permite modificar, ampliar, distribuir y usar
sin restricción siempre que no se use para fines comerciales,
que el resultado tenga la misma licencia y que se nombre
a los autores)

La edición de este documento se ha realizado con el software \LaTeX
(<http://www.latex-project.org/>), usando Texstudio
(www.texstudio.org/) como editor.

Contenidos

1	Introducción	1
2	La flor	3
3	Flor: docotiledónea	8
4	Pétalos, sépalos	9
5	Estambres	10
6	Ovario	11

1 Introducción

En esta sección del Atlas vamos a describir los órganos de las plantas vasculares, y cómo se organizan los tejidos en cada uno de ellos. Se estima que hay más de 250 mil especies de plantas vasculares. Sus ancestros son probablemente las algas verdes, puesto ambos, plantas vasculares y algas verdes, tienen clorofila a y b, almacenan almidón verdadero en los cloroplastos, tienen células con flagelos móviles, tienen fragmoplasto y forman una placa celular durante la división celular. Las algas más próximas evolutivamente parecen ser las de la familia Charophyceae. Sin embargo, las plantas vasculares han creado por sí solas un cuerpo muy complejo, resultado de una larga evolución, que presenta órganos muy especializados y adaptados a la vida terrestre.

Estos órganos son la raíz, que además de fijar la planta al suelo, toma de éste el agua y las sales minerales disueltas, el tallo, que sirve de soporte a las hojas, flores y frutos, y conduce el agua y las sales minerales desde la raíz a las hojas y las sustancias elaboradas en las hojas a las zonas de crecimiento y a las raíces. Las hojas son órganos especializados en captar energía solar, producir sustancias orgánicas por medio de la fotosíntesis y liberar vapor de agua mediante la transpiración, además de estar diseñadas para ofrecer poca resistencia al viento.

En la fase reproductiva de algunas plantas aparecen las flores o inflorescencias, las cuales son consideradas como órganos o, según algunos autores, como un conjunto de órganos que se dividen en parte estéril y en parte fértil. En las flores se forman las macroesporas o gametos femeninos y las microesporas o gametos masculinos. En ellas tiene lugar la fecundación que da lugar a un embrión, el cual quedará latente hasta la germinación. La semilla, también originada en la flor, está formada por el embrión y por tejido nutritivo. La semilla está rodeada por tejidos, carnosos o no, que forman conjuntamente el fruto. La germinación, desarrollo del embrión de la semilla, dará lugar a una nueva planta.

Prácticamente todos los órganos están formados por tres sistemas de tejidos:

El sistema de **protección**, formado por epidermis y peridermis, se sitúa en la parte superficial de los órganos.

El sistema **fundamental**, formado por parénquima y por los tejidos de sostén, se dispone debajo del sistema de protección, y en tallos y raíces se extiende hasta la médula.

El sistema **vascular**, formado por los tejidos conductores xilema y floema, se dispone en diferentes partes y con diferentes organizaciones según el órgano y tipo de planta.

Estos sistemas se distribuyen de manera característica según el órgano, la fase del desarrollo de la planta y según el grupo de plantas a la que pertenezca dicho órgano.

La organización interna de estos sistemas de tejidos en tallos y raíces es variable dependiendo de si el crecimiento es primario o secundario. El crecimiento primario se da en monocotiledóneas y dicotiledóneas herbáceas, además de en los tallos jóvenes de dicotiledóneas leñosas y gimnospermas. El crecimiento secundario se da en dicotiledóneas leñosas y gimnospermas. Las diferencias entre un tipo de crecimiento y otro se basan en la organización de los haces vasculares y de los meristemos. En el crecimiento primario se produce sobre todo crecimiento en longitud mientras que en el secundario se produce sobre todo crecimiento en grosor. Aunque el crecimiento secundario está restringido a plantas actuales con semillas, los fósiles indican que los helechos y los licopodios, plantas sin semillas, tuvieron crecimiento secundario, no dejando ningún descendiente. Las plantas con semillas parece que descubrieron el crecimiento secundario hace unos 400 millones de años.

Vamos a describir las diferencias entre órganos de gimnospermas y angiospermas, y dentro de estas últimas distinguiremos entre monocotiledóneas y dicotiledóneas.

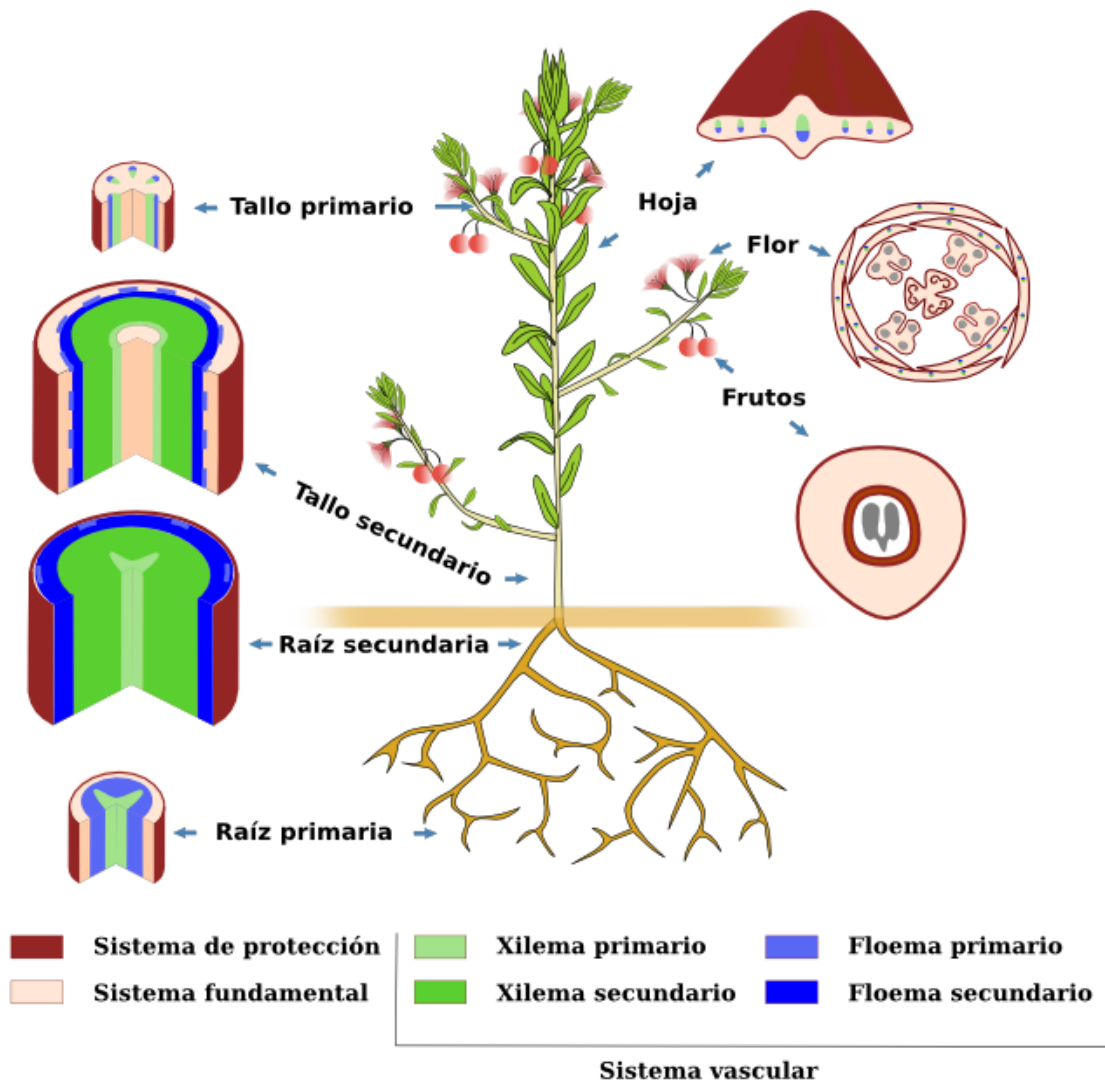


Figura 1: Esquema de los principales órganos de una planta vascular dicotiledónea..

2 La flor

La flor es el órgano reproductivo de la mayor parte de las plantas. El grupo de las espermatofitas, es decir, las plantas con semilla, está representado por gimnospermas y angiospermas. Ambos grupos de plantas tienen flores pero en el caso de las gimnospermas las flores son en realidad inflorescencias que no van a dar lugar a un fruto. Por el contrario las angiospermas presentan flores típicas que tras la fecundación formarán semillas encerradas en frutos. En esta página analizaremos la estructura de la flor de angiospermas por representar al grupo de plantas más abundantes y diversas, y las más fáciles de observar.

Las flores aparecen durante la época reproductiva de las plantas mediante un proceso denominado floración. Como todos los órganos de la planta, se originan a partir de la actividad meristemática. El meristemo apical caulinar sufre transformaciones en tamaño, organización y actividad mitótica, y se convierte en un ápice para la reproducción. En realidad una flor podría considerarse como una porción de tallo altamente modificada donde las hojas sufren cambios drásticos para convertirse en las diferentes partes de la flor. Dependiendo de las especies el meristemo apical se transforma en un meristemo floral directamente produciendo una flor o en un meristemo de inflorescencia a partir del cual se formarán los diferentes meristemas florales que darán lugar a las flores de la inflorescencia. Todas las células de los meristemas de inflorescencia o florales se diferenciarán en células maduras y el meristemo como tal desaparecerá.

La parte que une la flor al tallo se denomina pedúnculo, y las flores que carecen de él se denominan sésiles. Cuando el pedúnculo sostiene a un grupo de flores, como si fuera un ramo, a la estructura que une a cada flor con el pedúnculo se le denomina pedicelo. El pedúnculo o el pedicelo forman una estructura terminal denominada receptáculo desde donde parten las otras estructuras de la flor.

Una flor típica consta de cuatro partes: pétalos, sépalos, estambres y carpelos. La parte que no produce gametos, parte estéril de la flor, tiene una función protectora o favorecedora de la fecundación. A esta parte se le denomina periantio, y está com-

puesta por el cáliz (conjunto de sépalos) y por la corola (conjunto de pétalos). La parte reproductora está formada por el androceo (los estambres), que constituye la parte masculina de la flor, y por el gineceo (el pistilo / carpelos), que es la parte femenina.

La organización histológica de pétalos y sépalos nos recuerda a la de la hoja, aunque mucho más sencilla. Los pétalos se caracterizan por su variedad morfológica y cromática, y los sépalos por su contenido en cloroplastos y clorofilas que les confieren el típico color verde. Los sépalos son principalmente estructuras protectoras de la flor.

Al conjunto de estambres se le denomina androceo. Un estambre típico consta de un filamento en cuyo extremo distal se encuentra la antera. Ésta última es un cuerpo alargado con una invaginación medial que la divide en dos lóbulos o tecas, conteniendo cada una de ellas dos sacos polínicos. En estos sacos ocurre la microesporogénesis o formación de microsporas que se convierten en el gametofito masculino o grano de polen.

El gineceo está formado por uno o por un conjunto de pistilos, cada uno de los cuales está formado por una o varias hojas modificadas denominadas carpelos, que se doblan sobre sí mismas formando esa estructura típica en botella. La base dilatada del pistilo es el ovario, que contiene a los rudimentos seminales. Éstos son estructuras más o menos ovoides que se originan sobre la placenta o sobre una hoja carpelar del ovario, a las cuales queda conectado por un filamento o pedicelo denominado funículo. El rudimento seminal está formado por la nucela, el saco embrionario y por uno o más tegumentos exteriores. Los tegumentos rodean por completo la estructura excepto en el ápice, donde queda un orificio o canal denominado micropilo. En los rudimentos seminales se encuentran los óvulos, se producirá la fecundación y a partir de ellos se desarrollarán las semillas. Dentro de los rudimentos seminales se encuentran los gametofitos femeninos.

El tubo del pistilo se denomina estilo. La parte superior y pegajosa del pistilo se denomina estigma. En el gineceo se da la macrosporogénesis o formación de la macrospora que dará lugar al gametofito femenino. Aquí se dará la fecundación y la formación del em-

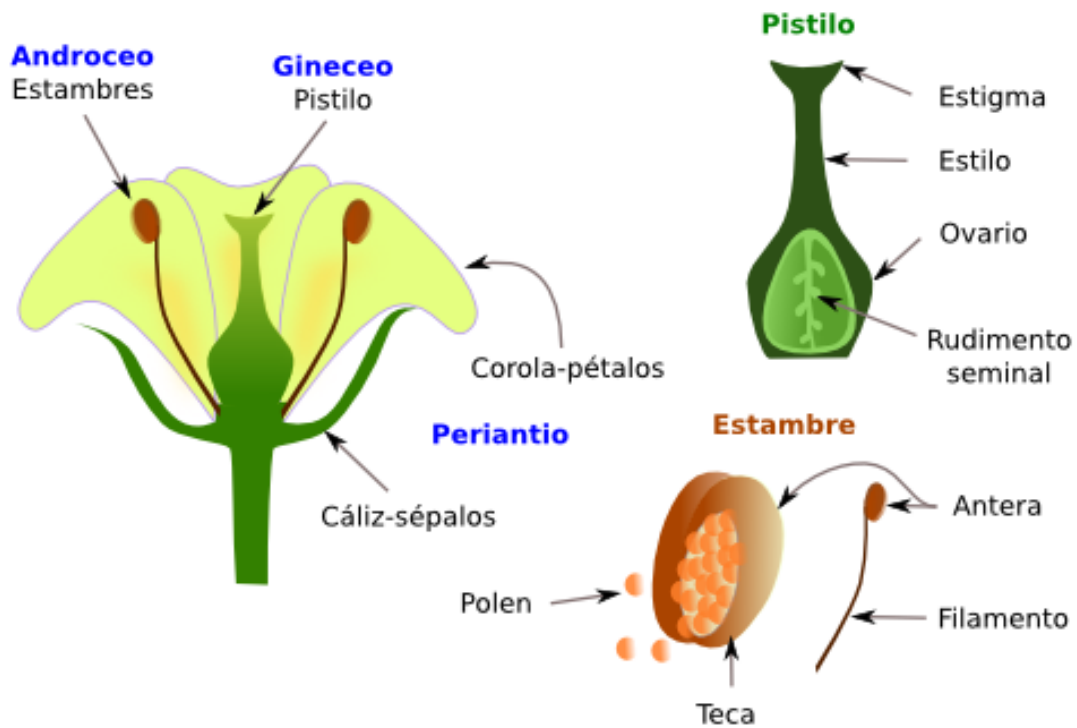


Figura 2: Partes de una flor típica.

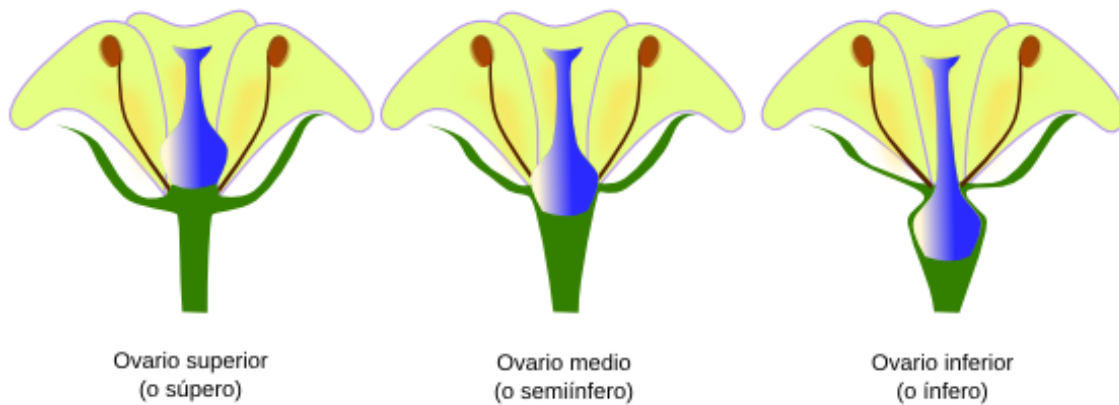


Figura 3: Según la posición del ovario respecto al lugar de inserción de pétalos, sépalos y estambres se denominan ovarios súperos, semiínferos e ínferos.

brión que formará parte de la semilla.

El receptáculo es donde se insertan los estambres, pétalos y sépalos de la flor. La posición del ovario respecto al receptáculo resulta en tres tipos de flores denominadas: con ovario súpero cuando el ovario descansa sobre el receptáculo, ínfero cuando el receptáculo queda al nivel más alto del ovario y medio

(o semiínfero) cuando el receptáculo queda a la altura de la zona media del ovario.

A la cámara donde se encuentran los rudimentos seminales, que contienen los óvulos, se le denomina loculus, y puede haber desde uno a muchos.

Reproducción

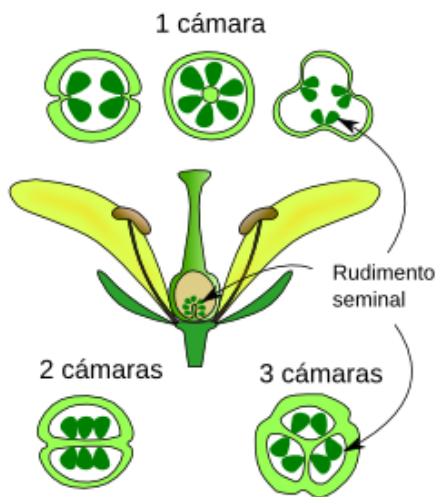


Figura 4: Organización en una o varias cámaras donde se encuentran los rudimentos seminales.

Las plantas tienen dos fases en su ciclo de vida: esporofito y gametofito. El esporofito es la fase multicelular de células diploides, es decir, lo que vemos normalmente de una planta, y contiene el tallo, hojas, raíces y demás órganos de la planta. El gametofito es un conjunto de células haploides que se encuentran en las flores, y su misión es la formación de gametos.

La reproducción sexual empieza con la esporogénesis, cuando células diploides especializadas del esporofito, y localizadas en el ovario de las flores, sufren meiosis y dan lugar a células haploides denominadas esporas. Las esporas se transforman por gametogénesis, que es un proceso de proliferación y diferenciación que dará lugar a una estructura pluricelular (gametofito) de la que surgirán los gametos. La fecundación es la fusión de un gameto masculino con uno femenino, que resultará en la formación del cigoto, célula diploide, a partir de la cual se formará el embrión. Con el cigoto comienza una nueva etapa de esporofito.

Los gametofitos de las angiospermas están formados por unas pocas células. Tienen dos tipos de gametofitos, femenino y masculino. Las esporas que producen se llaman macroesporas (femeninas) y microesporas (masculinas).

El gametofito femenino se desarrolla en el ovario de la planta y consta de: 3 células antípodas, una

central, dos sinérgidas, y un óvulo. La formación del gametofito femenino ocurre en dos etapas: macroesporogénesis y macrogametogénesis. La macroesporogénesis se inicia con una proyección de células a modo de dedo desde la placenta del ovario. Dentro de esa proyección una célula se va diferenciando en un tipo celular llamado arquespora, la cual se diferencia en la célula madre de la macroespora. En muchas plantas esta diferenciación es directa y no hay diferencia funcional entre arquespora y célula madre de la macroespora. La célula madre de la macroespora crece en tamaño, su citoplasma se vuelve más denso, y su núcleo crece en tamaño. Estas características la diferencian del resto de células que son somáticas. Justo antes de la meiosis, esta célula crece más en tamaño y se alarga. Entonces sufre meiosis dando 4 macroesporas haploides, de las cuales 3 morirán, quedando sólo una macroespora, normalmente la más próxima a la chalaza.

La gametogénesis consta de tres etapas en la mayoría de los casos: mitosis sin citocinesis, celularización y diferenciación celular. El proceso más común es que la megaespora crece en tamaño y sufre dos divisiones sin citocinesis. Tenemos entonces dos parejas de núcleos que se sitúan en polos opuestos de la célula. Durante la tercera división se forma el fragmoplasto y paredes celulares entre los núcleos hermanos y no hermanos. A esto se llama fase de celularización. Durante este proceso un núcleo de cada polo (núcleos polares) viaja hasta la zona central y se fusiona con el otro del otro polo, formándose una célula central que es homodiploide (puesto que los dos núcleos tienen exactamente la misma información genética, pero duplicada). El resto de núcleos son haploides. Las células se diferencian en diferentes tipos: 3 células antípodas en un polo, dos sinérgidas y el óvulo en el otro polo, y una central próxima a este último polo. Esto es la situación del gametofito femenino maduro. La célula central y el ovocito sitúan sus núcleos muy próximos y no tienen pared celular que separe sus membranas celulares. Esto facilita la fecundación ya que estos dos núcleos serán los fecundados por el núcleo del grano de polen. Aunque esta es la organización más común del gametofito femenino de las angiospermas, hay otros tipos donde varía las células que contribuyen a su formación durante la esporogénesis

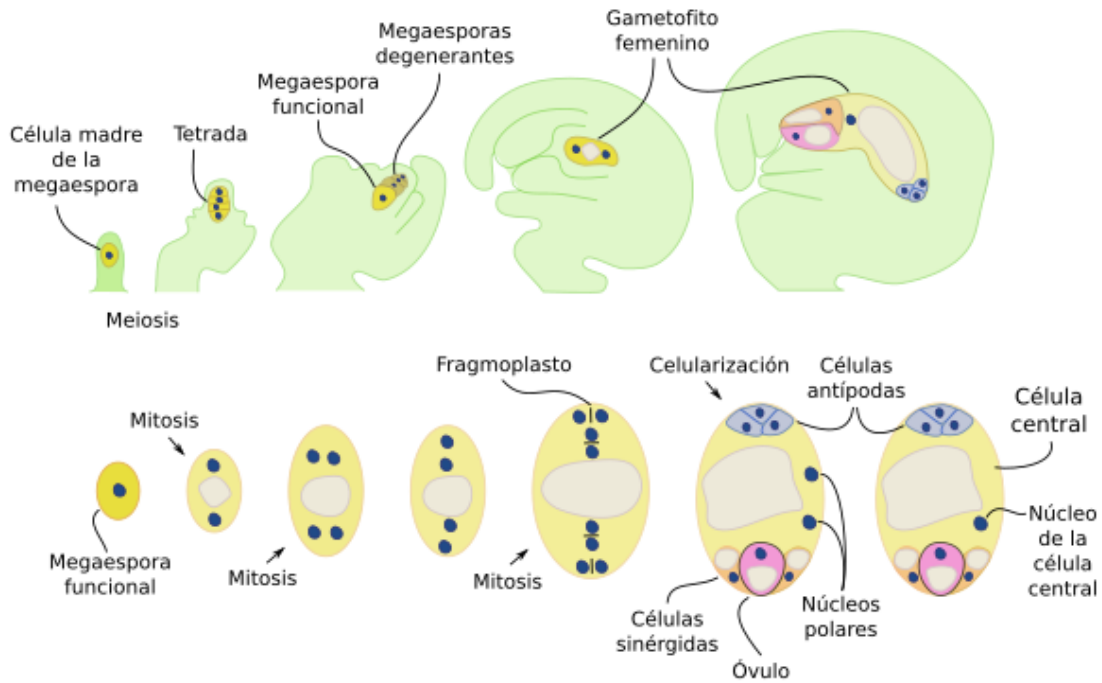


Figura 5: Formación del gametofito femenino. Macrosporangogénesis (arriba) y macrogametogénesis (abajo) en *Arabidopsis* (dicotiledónea). (Modificado de Drews y Koltonow, 2011).

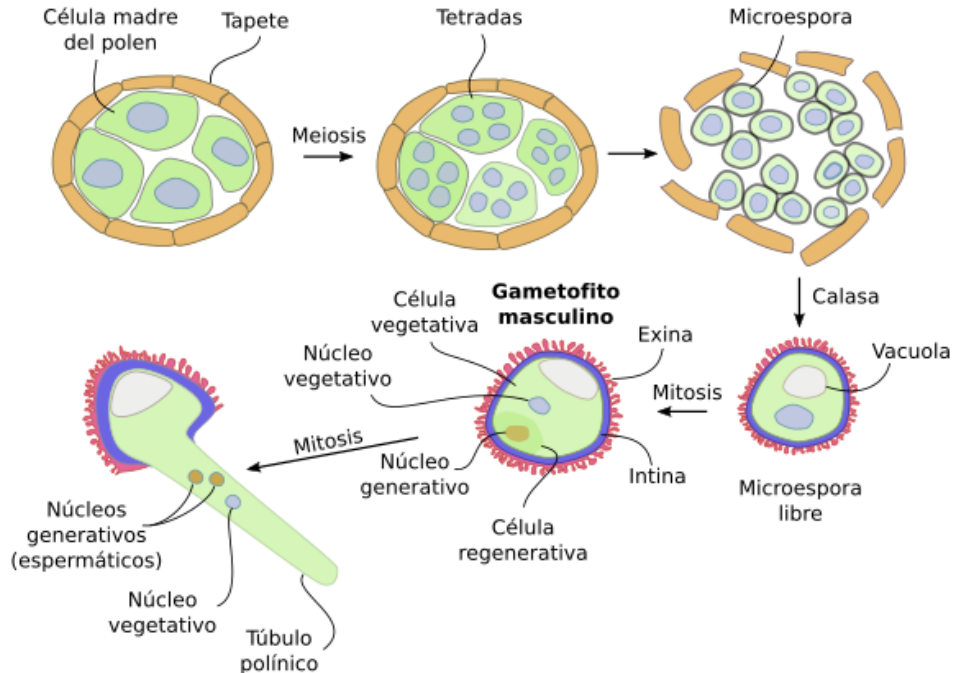


Figura 6: Formación del gametofito masculino. La calasa es la enzima que separa las tetradas. (McCormick 2004)

o la disposición y número de células que establecen la organización final.

El gametofito masculino se localiza en las anteras de los estambres y se denomina también grano

de polen. Consta de dos células espermáticas, las cuales están rodeadas por células vegetativas. El gametofito masculino también se forma por microesporogénesis, seguida de microgametogénesis. La microesporogénesis se produce cuando una célula llamada células inicial esporogénica o célula madre del polen sufre meiosis para formar cuatro células haploides. En la antera hay muchas células iniciales por lo que se formarán muchas tetradas de células haploides. Cada tetrada está aislada de las demás por una pared de calosa. Cada una de las células de la tetrada se denomina microespora. Posteriormente las células de cada tetrada se independiza de la otra gracias a una enzima liberada desde el tapete de la antera denominada calasa. Microgametogénesis comienza con el crecimiento de cada microespora. Una vez alcanzado un tamaño determinado se dividen de manera asimétrica, es decir, una de las células hijas será más grande que la otra. Este es el gametofio masculino, encerrado en un grano de polen. La célula grande se denomina célula vegetativa, y será la responsable de la formación del tubo polínico durante la fecundación. La pequeña se conoce como célula generativa, la cual será englobada por el citoplasma de la célula vegetativa. La célula generativa se dividirá para formar dos células generativas nuevas, de las cuales, una de ellas

realizará la fecundación. La división de la célula generativa se lleva a cabo generalmente en el interior del tubo polínico en desarrollo. En la mayoría de los casos tanto el gametofito masculino, o grano de polen, como el gametofito femenino, o saco embrionario, se producen en la misma flor. Son hermafroditas. Sin embargo, en algunas especies la producción de los gametofitos masculinos y femeninos ocurren en flores diferentes situadas en la misma planta (monoicas) o en plantas distintas (especies dioicas).

En algunas ocasiones se puede producir embriones sin fecundación por un proceso denominado apomixis. En estas especies de plantas la esporogénesis no supone meiosis, de modo que tendríamos un “gametofito” diploide que no necesita células espermáticas para producir un embrión diploide.

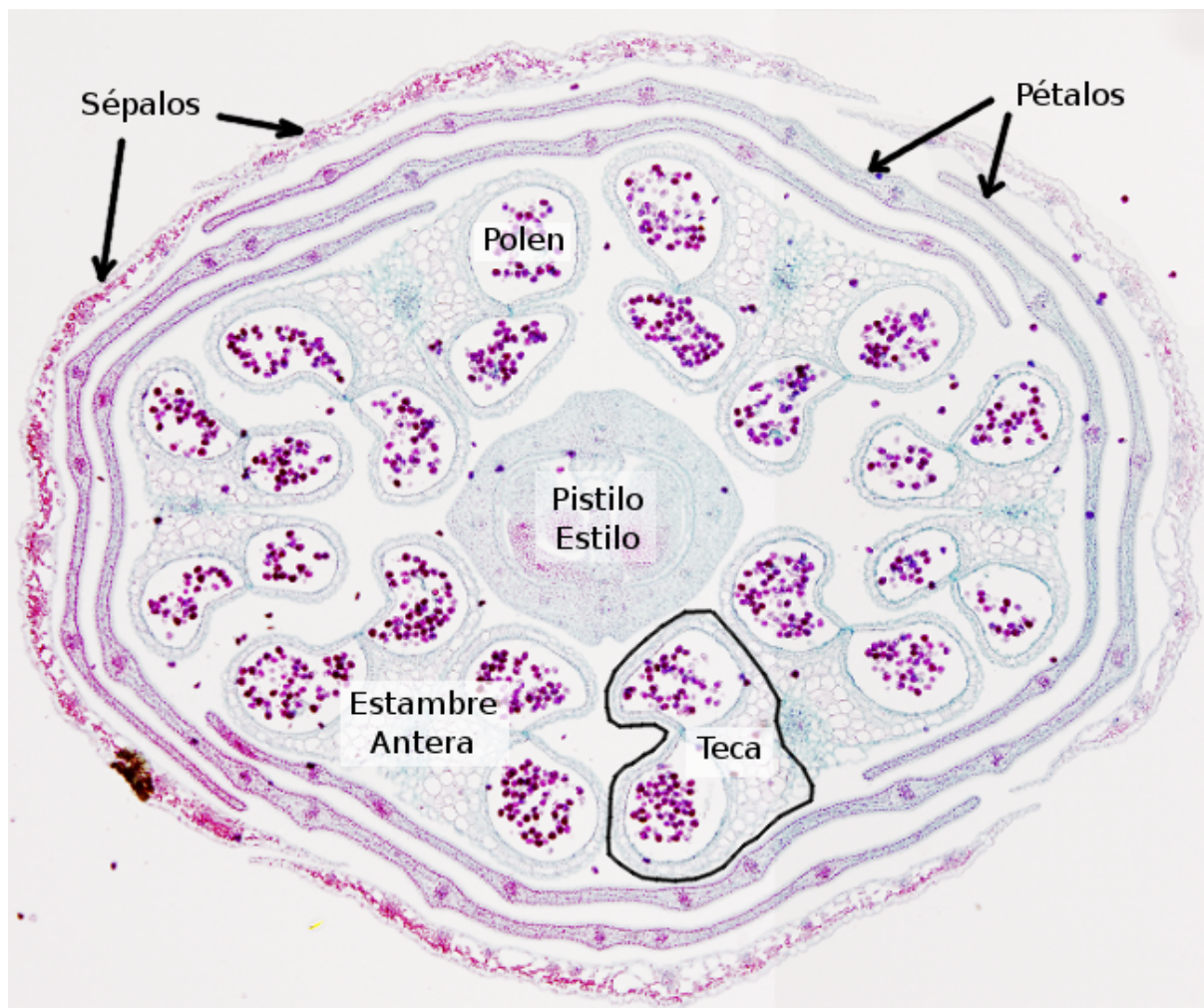
Bibliografía

Drews GN, Koltunow AMG. 2011. The female gametophyte. *The Arabidopsis book*. e0155:423-428.

McCormick S. 1993. Male gametophyte development. *The plant cell*. 5: 1265-1275.

McCormick S. 2004. Control of male gametophyte development. *The plant cell*. 16: S142-S153.

3 Flor: dicotiledónea



Órgano: flor de dicotiledónea

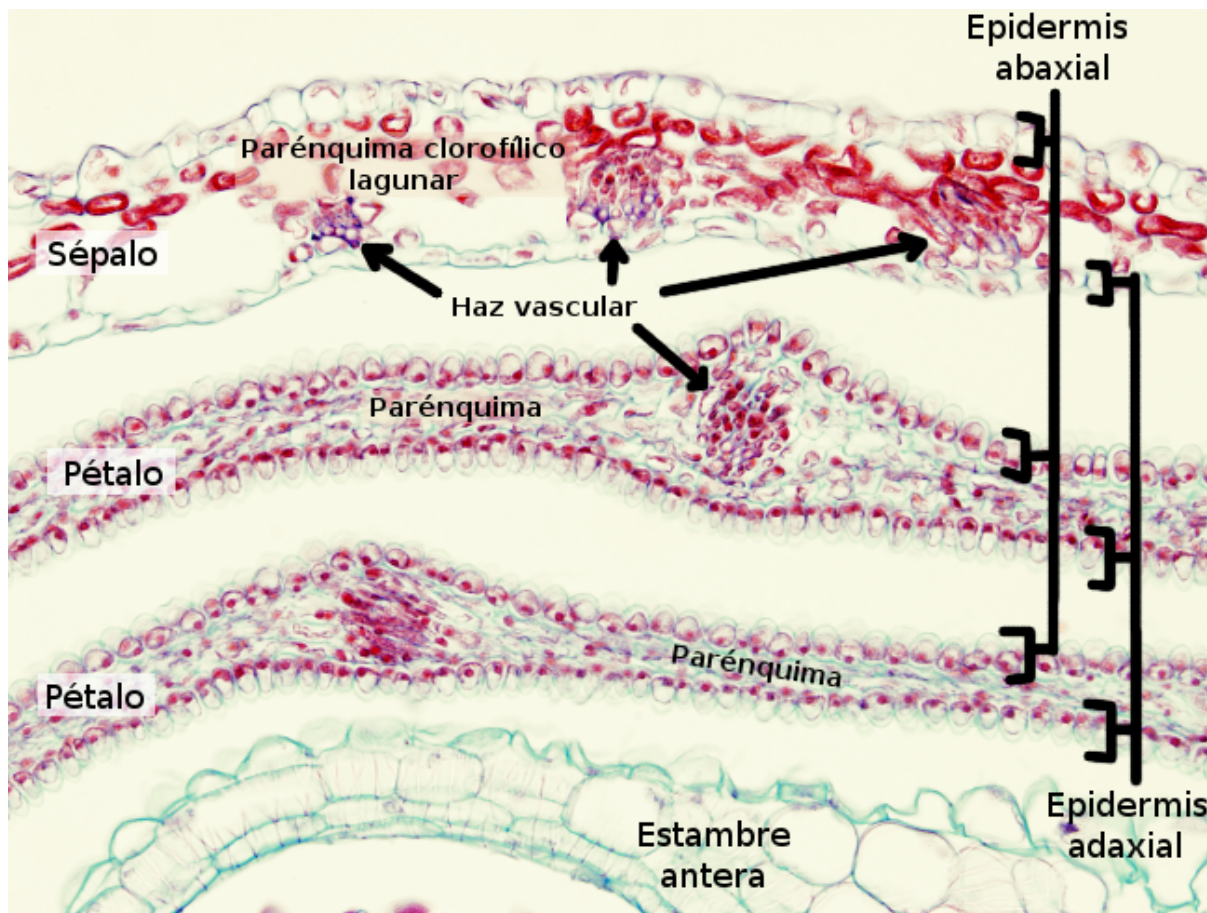
Especie:

Técnica: safranina/azul alcian.

Se muestra la sección de una flor cortada al nivel de las anteras de las estambres. En la parte externa se observan los sépalos, con una organización tisular

parecida a la de la hoja. Internamente nos encontramos con los pétalos y a continuación las anteras de los estambres, donde se aprecian claramente las dos tecas en cada una de ellas. El polen, los granos más violáceos, se encuentran dentro de cada una de las tecas. En el centro se observa una sección del estilo del pistilo.

4 Pétalos, sépalos



Órgano: flor, pétalos y sépalos.

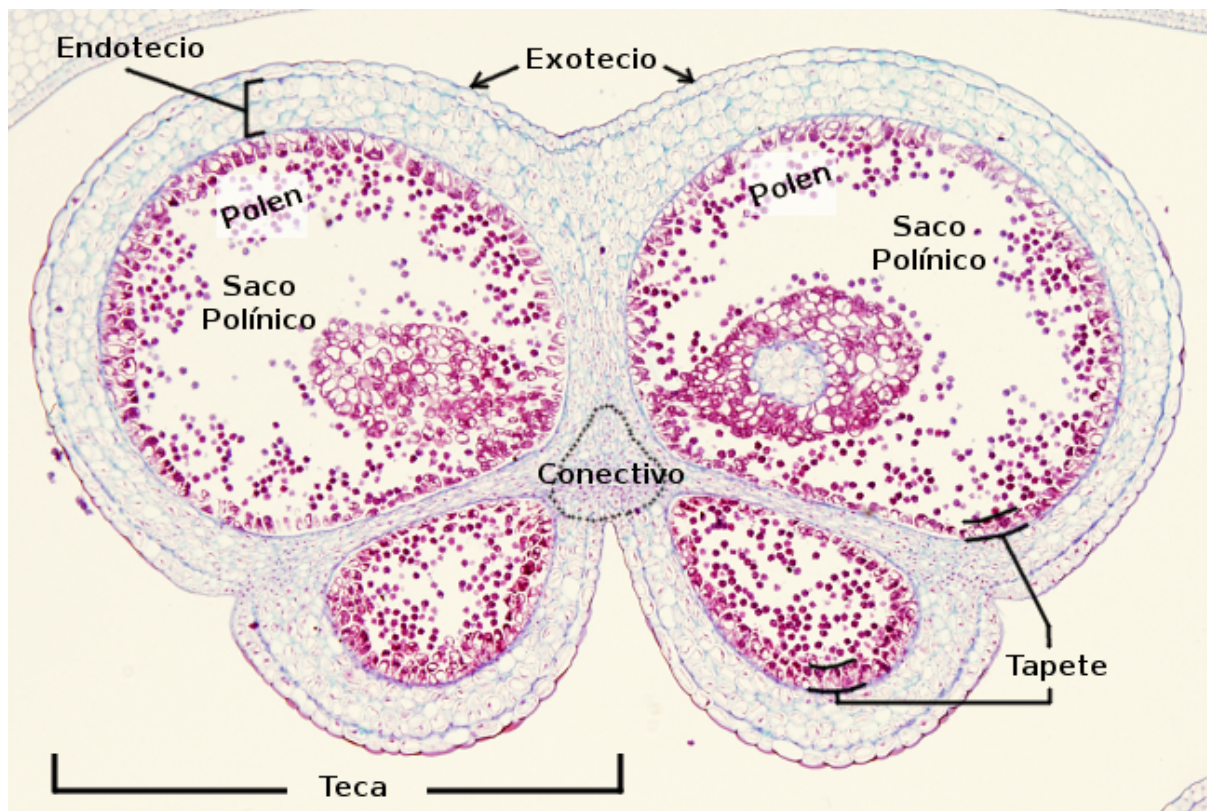
Especie:

Técnica: safranina/azul alcian.

Los pétalos están formados por una epidermis adaxial (correspondiente al haz de la hoja, hacia el interior de la flor) y otra abaxial (correspondiente al envés de la hoja, hacia el exterior de la flor) de poco espesor y poco cutinizadas. Entre las células epidérmicas podemos encontrar osmóforos o glándulas secretoras de aceites volátiles. También en los pétalos son frecuen-

tes los cromoplastos, responsables de los colores, gracias a que poseen pigmentos como los carotenoides, que junto a otros pigmentos, se encuentran solubles en el citoplasma celular. Un parénquima de tipo lagunar se extiende entre las dos epidermis. En el caso de los sépalos las células contienen cloroplastos y su organización tisular se asemeja más a la de una hoja. Tanto en los pétalos como en los sépalos hay haces vasculares poco desarrollados y sin esclerénquima que se distribuyen más o menos de forma ramificada.

5 Estambres



Órgano: flor, estambres.

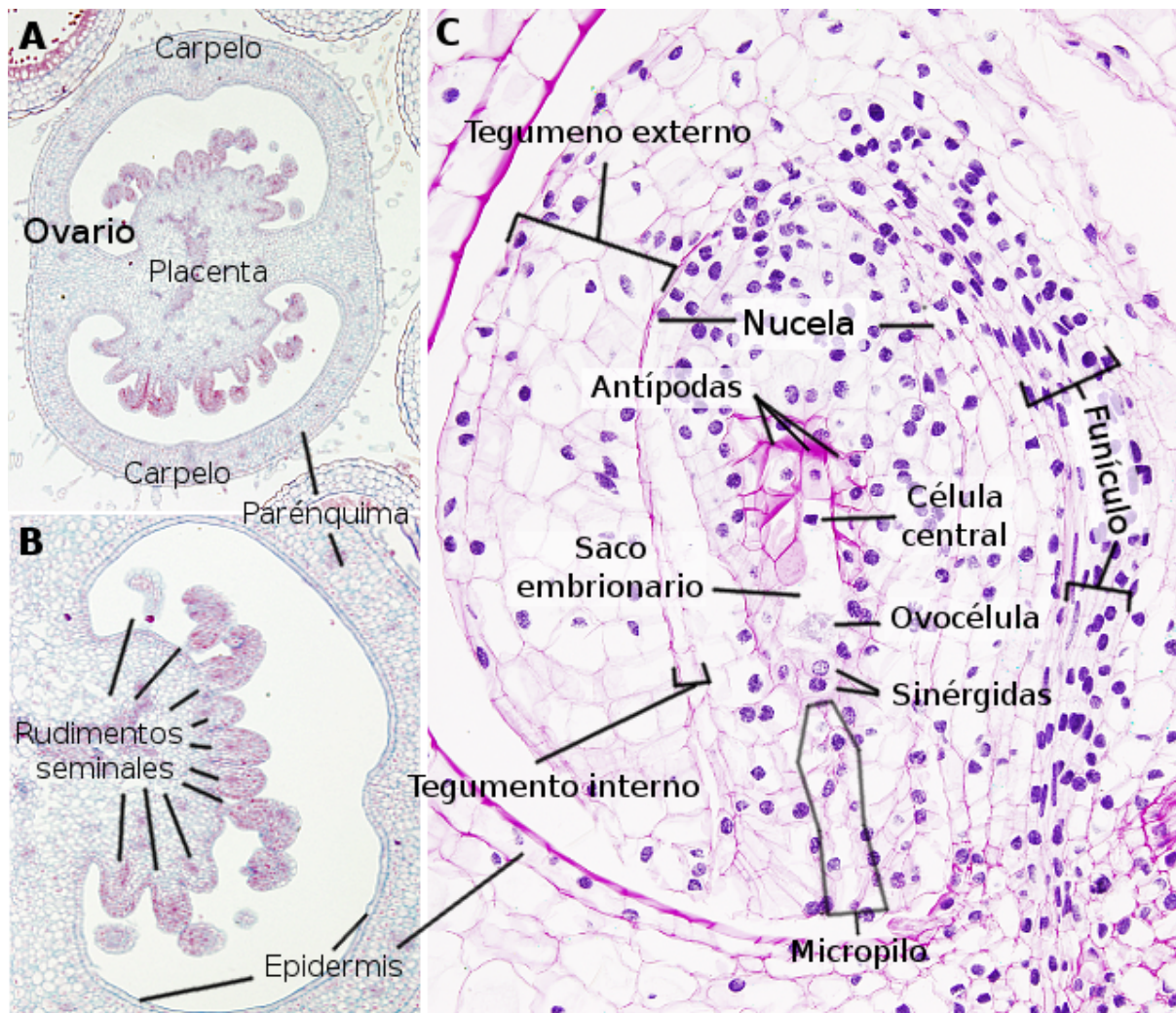
Especie: dedalera (*Digitalis purpurea*).

Técnica: safranina/azul alcian.

Macroscópicamente podemos observar como una gran invaginación central que divide a la antera en dos tecas. Cada una de las cuales contiene dos sacos polínicos también separados externamente por una pequeña invaginación. Histológicamente la antera presenta una epidermis denominada exotecio. Debajo de la cual aparece una capa de células grandes y prismáticas, denominada endotecio, que interviene en la dehiscencia de las tecas. Cuatro sacos polínicos contienen las microsporas que se convierten, como en

el caso de esta imagen, en granos de polen. Cada saco está revestido por el tapete, capa de células plurinucleares que sirve para nutrir a la microspora en formación. Entre las anteras parece un tejido que se continúa con el del filamento, denominado conectivo. El filamento (no aparece en la imagen) une la flor al tallo y presenta una epidermis cutinizada con estomas y tricomas. En el interior del filamento se encuentra un parénquima de células muy vacuolizadas que deja paso en el centro a un haz vascular.

6 Ovario



Órgano: flor; estilo, ovario.

Especie: A y B): dedalera (*Digitalis purpurea*).
C): lirio (*Iris sp.*).

Técnica: safranina/azul alción.

En las dos imágenes de la izquierda (A y B) se muestra el gineceo formado por dos carpelos que presentan estructura de hoja con epidermis englobando al parénquima. Los bordes del carpelo se unen para formar una estructura parenquimática denominada placenta, sobre la que se insertan los rudimentos seminales, en los cuales se formaran los gametofitos femeninos. C) En el rudimento seminal la macrospora

se desarrolla finalmente en una estructura octonucleada que se convierte en el saco embrionario o gametofito femenino. En este caso aun no se han formado los gametofitos y en su lugar hay un tejido parenquimático denominado nucela que presenta dos tegumentos de protección, el tegumento externo o primina y el tegumento interno o secundina. Internamente se encuentra la nucela, donde se localiza el saco embrionario. Dentro de éste se distinguen una serie de tipos celulares como las sinérgidas, que están próximas a la ovocélula, y las antípodas, localizadas en el lado opuesto del saco embrionario. El funículo será el elemento de unión de la semilla a la placenta. El micropilo permitirá a la microspora ponerse en contacto con la ovocélula.