

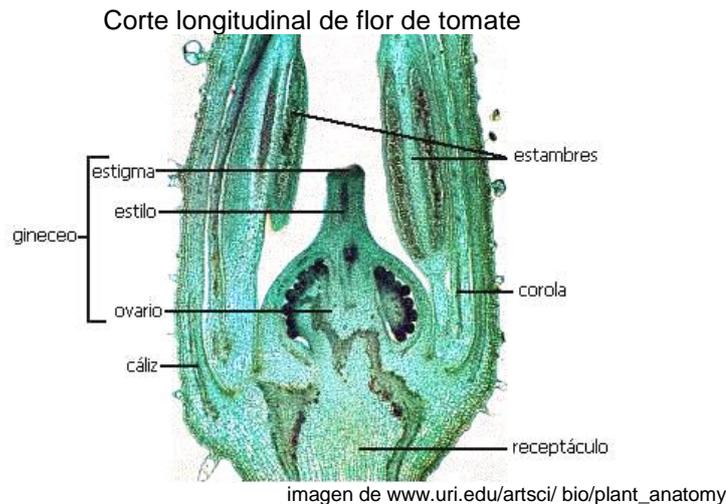
# Morfología de Plantas Vasculares

## Tema 22: Anatomía Floral

### 22.1. Cáliz y Corola

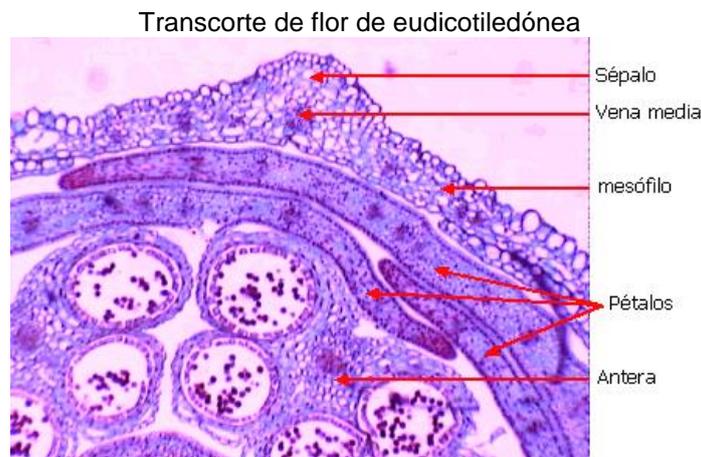
Los antófilos son las hojas florales que se insertan, generalmente en verticilos, sobre el receptáculo, un eje caulinar muy breve.

La anatomía de los antófilos presenta diferencias con la de los nomófilos, veremos cuáles son las características de cada una, comenzando por el cáliz, que es el verticilo más externo.



### Cáliz

Los sépalos son los antófilos que componen el cáliz. Frecuentemente son verdes, y su estructura es la que más recuerda la de los nomófilos. El mesófilo está formado generalmente por parénquima clorofiliano homogéneo. Generalmente en cada especie, cada sépalo está innervado por el mismo número de trazas foliares que presentan los nomófilos.



### Corola

Cuando no hay diferencia morfológica entre los dos verticilos de protección de la flor, las piezas reciben el nombre de tépalos. Cuando hay diferencia morfológica, los antófilos que forman la corola son los pétalos. La estructura de tépalos y pétalos es similar a la de los sépalos. Las

paredes de las células epidérmicas frecuentemente son convexas o papilosas, especialmente en la cara adaxial.

*Erythronium americanum*: flor y tépalos en corte



<http://biology.smsu.edu/>

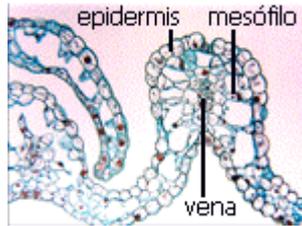


Imagen de Mauseth weblab

*Piriqueta racemosa*: flor y pétalo en transcorte

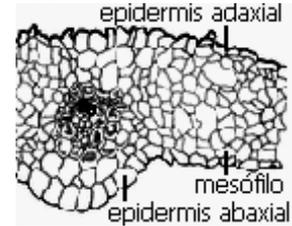


Imagen de Gonzalez 1993

En muchos pétalos, como los de *Brassica napus*, las papilas son cónicas, con un engrosamiento cuticular marcado en el ápice, y estrías radiales hacia la base. Se ha sugerido que estos engrosamientos permiten una difusión pareja de la luz emergente, de manera que el brillo de los pétalos es uniforme en cualquier ángulo de iluminación (Polowick, 1986).

*Brassica napus*, flores - epidermis

Flores

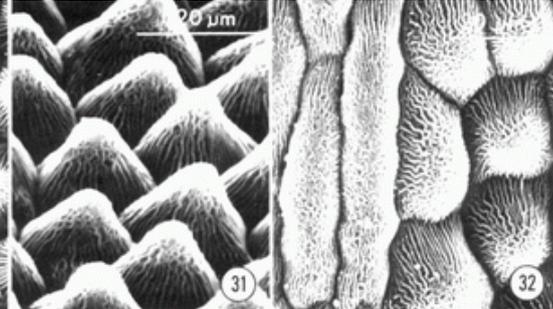


[biologie.uni-halle.de/](http://biologie.uni-halle.de/)

Papilas, vista superficial



Papilas en vista lateral, con estrías radiales

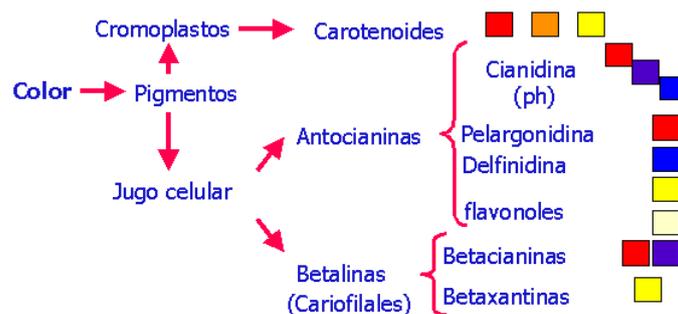


Imágenes de Polowick & Sawhney 1986

Algunas células epidérmicas de los pétalos son osmóforos, contienen aceites esenciales que imparten la fragancia característica a las flores.

El mesófilo generalmente no presenta parénquima clorofiliano, sino parénquima fundamental. El color de los pétalos resulta de la presencia de pigmentos. En muchas flores las células presentan cromoplastos con pigmentos carotenoides (rojos, anaranjados, amarillos). Los pigmentos más importantes son los flavonoides, principalmente antocianinas, que se encuentran disueltos en el jugo celular; los pigmentos básicos son pelargonidina (rojo), cianidina (violeta), y delphinidina (azul), los flavonoles (amarillos o color marfil). El color de los pigmentos antociánicos depende del pH del jugo celular: en *Brunfelsia australis* (azucena del monte) las flores son violáceas, al envejecer se vuelven blancas por un cambio en el pH.

Las betacianinas, un grupo de pigmentos de estructura más compleja, se encuentran sólo en un grupo de eudicotiledóneas: las Chenopodiales (Centrospermas), al cual pertenecen los géneros *Beta* (remolacha) y *Bougainvillea* (Santa Rita).



El color blanco de muchas flores, como por ejemplo *Magnolia grandiflora*, se debe al fenómeno de reflexión total de la luz. Los pétalos pueden presentar espacios de aire en posición subepidérmica o una capa de células con abundantes granos de almidón, y en ambos casos la luz se refleja. Los colores oscuros, se deben a una absorción total de la luz operada por pigmentos complementarios. En *Tulipa gesneriana* (tulipán negro) hay antocianina azul en las células epidérmicas y caroteno amarillo en las subepidérmicas.

*Brunfelsia australis*, cambio de color de flor por variación del pH



*Magnolia grandiflora*, pétalos blancos: reflexión total de la luz



*Tulipa gesneriana*, tépalos oscuros: absorción total de la luz



Imagen: [www.themagnolias.co.uk/](http://www.themagnolias.co.uk/)

Imagen: <http://home.att.net/~kosmas/>

En algunas especies las partes basales de los pétalos contienen un flavonoglucósido llamado chalcona, que absorbe la luz ultravioleta, convirtiéndolas en "guías de néctar" para los insectos polinizadores. Este color particular, visible sólo para los insectos, se denomina "púrpura de abejas".

*Caltha palustris*, púrpura de abejas en flores fotografiadas con luz natural y luz ultravioleta



Imágenes de Raven

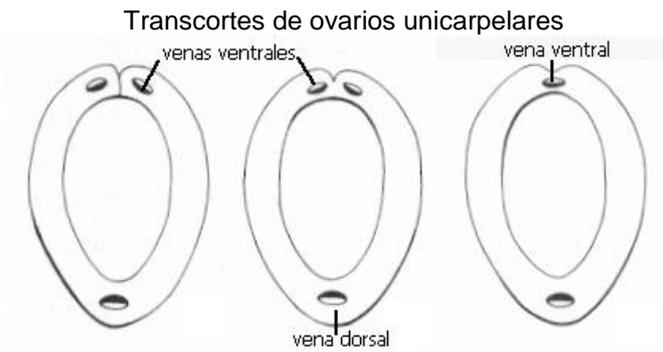
## 22.2. Vascularización de los carpelos

La vascularización se ha utilizado vastamente para interpretar la especialización evolutiva de la flor, porque el sistema vascular parece ser más lento, más conservador para cambiar, que los órganos que inerva.

A veces, analizando la vascularización, se pueden descubrir los límites previos de las piezas florales, o también números y categorías de órganos en las flores donde ha ocurrido reducción de piezas, concrecencia de las mismas o adnación de piezas de distintos verticilos.

Estos fenómenos dificultan la interpretación de la identidad y las interrelaciones de los órganos en su morfología externa. La presencia de hacecillos conductores vestigiales en ciertas posiciones suele interpretarse como prueba de la degeneración de órganos que en la flor primitiva habrían ocupado esa posición.

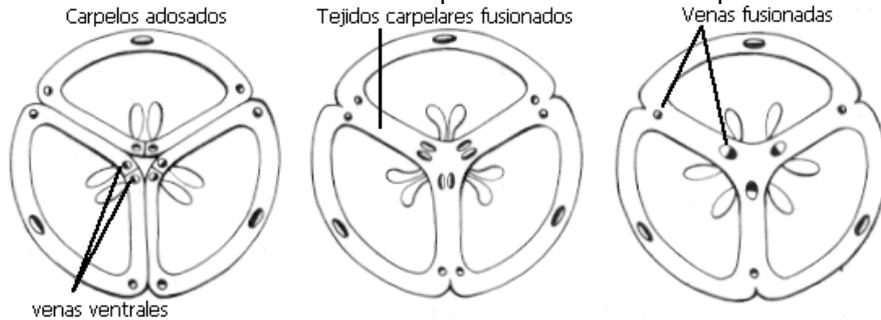
La interpretación de la placentación está apoyada en el estudio de la vascularización de los carpelos. Cada carpelo tiene comúnmente 3 venas, una dorsal o central (la vena media) y dos ventrales, de las que suelen derivar los haces para los óvulos. Las venas ventrales se pueden fusionar en una sola.



Imágenes de Foster & Gifford, 1959

En un ovario con placentación axilar los haces laterales aparecen en el centro del ovario, o sea en posición ventral, con xilema hacia afuera y floema hacia adentro. Los haces ventrales del mismo carpelo o de dos vecinos pueden fusionarse.

**Efectos de la cohesión entre los tres carpelos de un ovario con placentación axilar**



Imágenes de Foster & Gifford, 1959

En las flores períginas y epíginas la vascularización es importante para reconocer la naturaleza del tejido que envuelve al ovario. Muchas veces las bases de cáliz, corola y androceo, soldadas de modo congénito, toman parte también en la constitución de la estructura que rodea al ovario, de manera que resulta casi imposible delimitar que porción corresponde al receptáculo y cuál corresponde a las hojas florales. Por eso es preferible utilizar la expresión tubo floral (Tahktajan, 1991) para designar esta estructura.

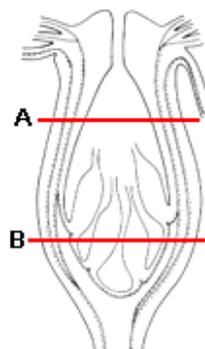
Corte longitudinal de flor



Imagen modificada de <http://www.inhs.uiuc.edu/>

*Rosa sp.*

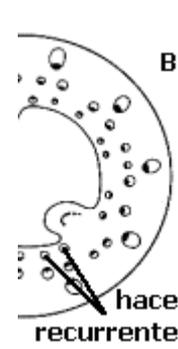
Esquema de la vascularización del tubo floral



Adnación de cáliz, corola y androceo



Receptáculo cóncavo

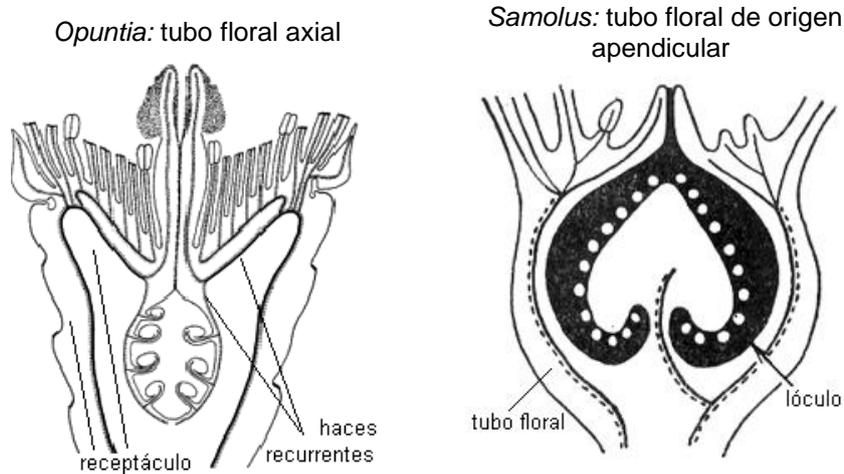


Imágenes de Fahn 1990

Cuando las flores presentan en corte longitudinal haces con orientación invertida de xilema y floema, llamados **haces recurrentes**, se considera que el ovario está incluido en tejido axial, es

decir que el tubo floral está formado por el receptáculo, como ocurre en *Darbya* y *Opuntia dillenii* (Tahktajan, 1991).

La ausencia de haces recurrentes se toma como evidencia de que el tejido extracarpelar es de naturaleza apendicular, o sea formado por la adnación de cáliz, corola y androceo, anteriormente designado como hipanto apendicular.



Imágenes de Esau 1982 y 1972

La ontogenia floral muestra que el "tubo floral" se forma tardíamente por crecimiento de la región periférica del receptáculo en *Castanospermum* y *Myroxyllum* (Tucker, 1993). En este caso la copa parece axial, pero probablemente no tenga haces recurrentes.

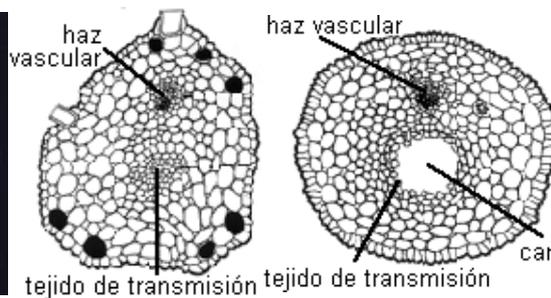
### 22.3. Anatomía del estilo

Cuando el estilo es macizo, presenta una o más bandas de tejido transmisor embebidas en el tejido fundamental o asociadas a los haces vasculares; el tejido transmisor está formado por células poco coherentes, con material intercelular péctico, de consistencia mucilaginoso, en el cual se desarrollará el tubo polínico. A veces las paredes son gruesas, ricas en pectinas a través de las cuales crece el tubo polínico.

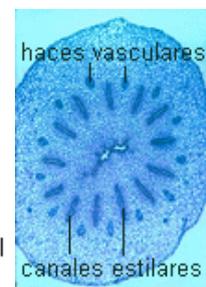
*Turnera orientalis*, flor con tres estilos y estigmas -  
Corte transversal de estilo



Estilo hueco de *Piriqueta racemosa*, transcurso

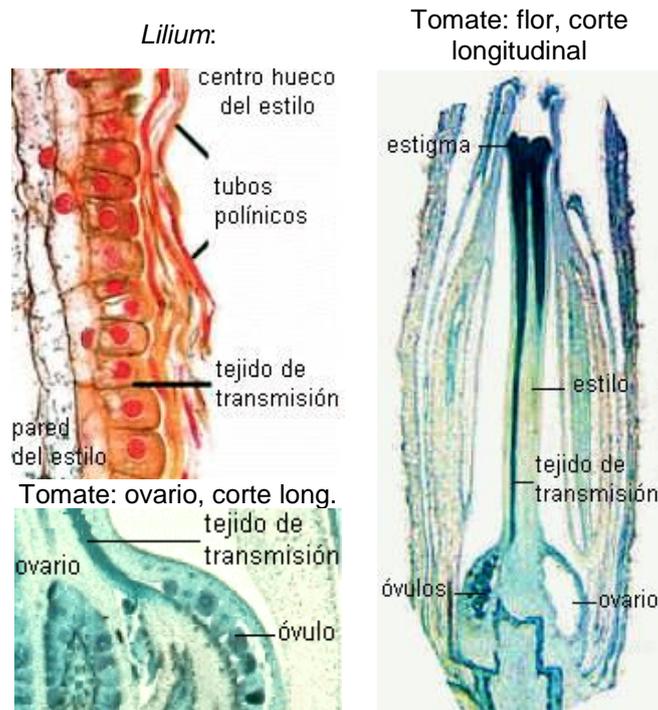


*Citrus*, estilo con canales



Imágenes de Gonzalez 2000 y 1993

Si el estilo es hueco está recorrido en toda su longitud por un canal que relaciona el estigma con el ovario, tapizado por tejido transmisor de naturaleza glandular. Cuando el gineceo es pluricarpelar y se forma un solo estilo, éste puede presentar varios canales, uno por cada carpelo, como sucede en las especies de *Citrus* y en *Melia azedarach* (paraíso).



imágenes de [www.botany.hawaii.edu/faculty/webb/](http://www.botany.hawaii.edu/faculty/webb/)

Hay autores que consideran que el tejido de transmisión tiene tres porciones, con características parecidas o diferentes: 1) estigmática, 2) estilar y 3) ovárica. Con esta interpretación, el tejido glandular del estigma formaría parte del tejido de transmisión.

En los gineceos sincárpicos y con más de un lóculo, se encuentra una abertura en el septo que separa dos lóculos, o un lugar donde los tejidos transmisores de cada carpelo se unen: el cómpito. Permite que los tubos polínicos germinados en el estigma de un carpelo puedan llegar a la placenta de otro carpelo. Si no hay cómpito, el gineceo se comporta como apocárpico; en ese caso recibe el nombre de pseudosincárpico.

*Daucus carota* (zanahoria), inflorescencias y esquemas de corte longitudinal y transversal del gineceo a la altura del cómpito

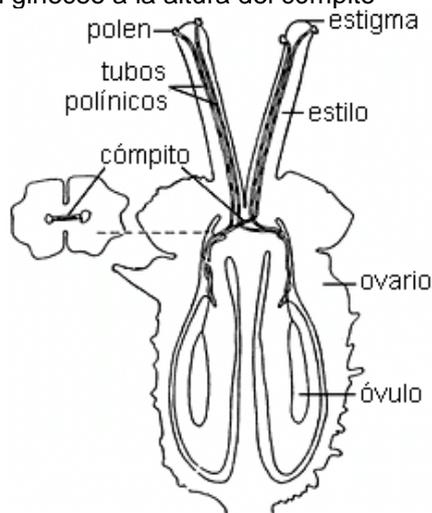


Imagen de Esau 1972

*Illicium floridanum* (Illiciaceae) es una angiosperma primitiva apocárpica, en la cual el centro del eje floral está modificado en una protuberancia estigmatiforme llamada "residuo apical". Los carpelos están plegados, los bordes no están soldados entre sí y forman una cresta estigmática. Los tubos polínicos pueden crecer por dentro o por fuera, y al llegar al residuo apical desvían penetrando en otro carpelo. Esta planta presenta sincarpia funcional por el crecimiento

intercarpelar de los tubos polínicos, el residuo apical actúa como un **cómpito extracarpelar** (Williams *et al.* 1993).

*Illicium floridanum*: flor y esquema de carpelo en corte longitudinal



Imagen de [www.floridata.com/](http://www.floridata.com/)

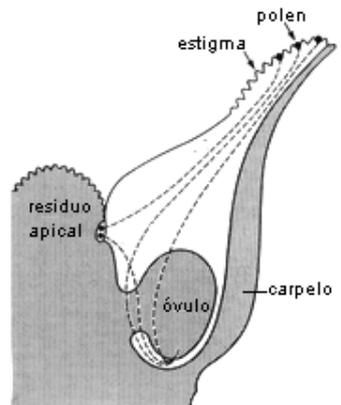


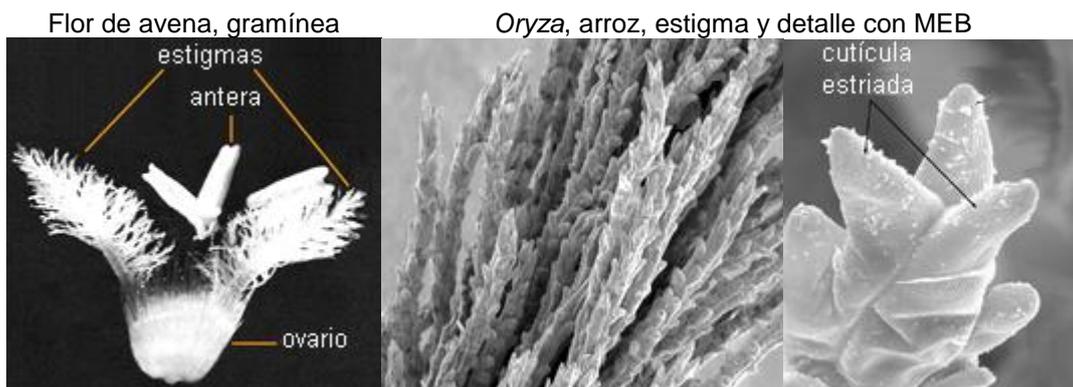
Imagen de Williams *et al.* 1993

## 22.4. Anatomía del estigma

El estigma presenta una superficie glandular, la zona de recepción del polen, formada por la epidermis de células con citoplasma denso, con cutícula o también por tejido subepidérmico. Se ha comprobado que el estigma tiene proteínas hidrofílicas en la pared externa; son probablemente las que actúan en el reconocimiento del polen adecuado y en las reacciones de incompatibilidad, en cuyo caso a veces se deposita calosa para detener la germinación del polen extraño.

En Angiospermas los estigmas pueden dividirse en dos grandes grupos: **secos o húmedos**, según como sea la superficie a la madurez.

Los estigmas **secos** no producen secreción, tienen una capa extracuticular hidratada, proteinácea. Entre los secos están los **estigmas plumosos** de las gramíneas, polinizadas por el viento, con células receptoras dispersas sobre pelos pluricelulares multiseriados (Lindorf *et al.* 1991)



Los estigmas **húmedos** producen una secreción durante el período receptivo, las monocotiledóneas de estilo abierto liberan generalmente un exudado esencialmente polisacárido, en tanto que las eudicotiledóneas de estilo compacto (gamopétalas en particular) liberan un exudado esencialmente lipofílico. Ciertas familias como Orchidaceae, Scrophulariaceae y Solanaceae secretan un líquido lipopolisacárido.

*Citrus*, flores - estigma húmedo en corte longitudinal



imagen: www.botany.utoronto.ca/

Los estigmas secos generalmente se presentan en especies con polen trinucleado, aunque hay ejemplos de polen binucleado. Los estigmas húmedos generalmente están asociados con polen binucleado.

La superficie del estigma puede ser claramente **papilosa**, con la secreción acumulándose entre las papilas (muchas Leguminosas) o debajo de la cutícula (membrana estigmática en muchas Leguminosae Papilionoideae) que se rompe con la visita de los polinizadores (Yeo 1993: 51). Cuando la superficie del estigma **no es papilosa**, las células receptoras suelen estar concentradas en zonas determinadas (surcos o cimas); las células frecuentemente son necróticas a la madurez (*Citrus*, Umbelliferae) (Heslop Harrison & Shivanna, 1977)

*Piriqueta*: estigma sin papilas



Imagen MEB de Gonzalez 1993

*Brassica*, estigma papiloso - detalle MEB

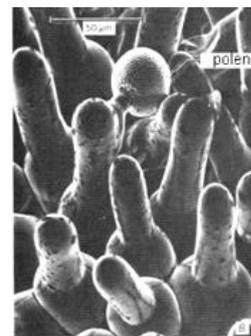
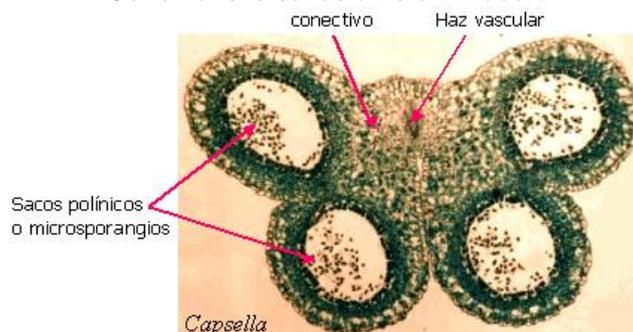


Imagen de Esau 1982

## 22.5. Anatomía de antera

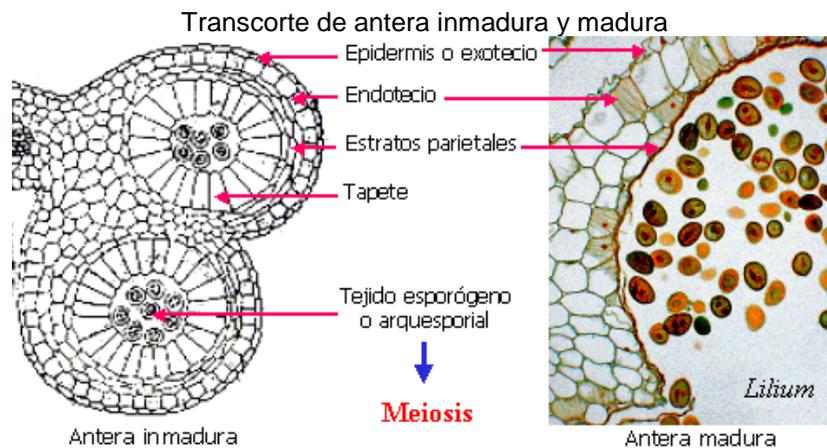
Los estambres son antófilos compuestos por filamento y antera. Cada antera está formada por cuatro sacos polínicos o microsporangios.

Corte transversal de antera inmadura

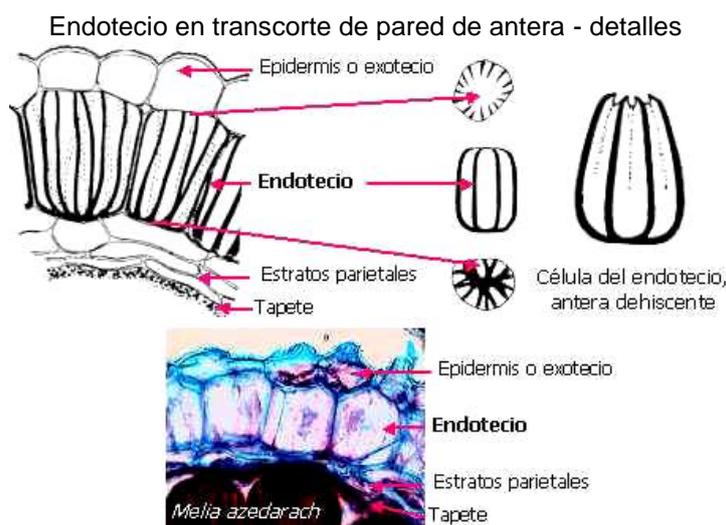


En corte transversal de antera joven se observan desde afuera hacia adentro las siguientes capas:

- 1) **epidermis o exotecio**, delgada y continua. A veces puede romperse o colapsarse o interrumpirse.
- 2) tejido mecánico o **endotecio**, capa fibrosa sobre los bordes externos de los sacos polínicos. A veces se continúa en el conectivo.
- 3) 2-4 **estratos parietales** de células parenquimáticas, que pronto desaparecen aplastadas o degeneran rápido.
- 4) **tapete** o tejido nutricional
- 5) **tejido esporógeno** o arqueosporio, constituye cada saco polínico. Las células del tejido esporógeno forman por divisiones mitóticas las células madres del polen o microsporocitos, células bastante grandes, con núcleo voluminoso.

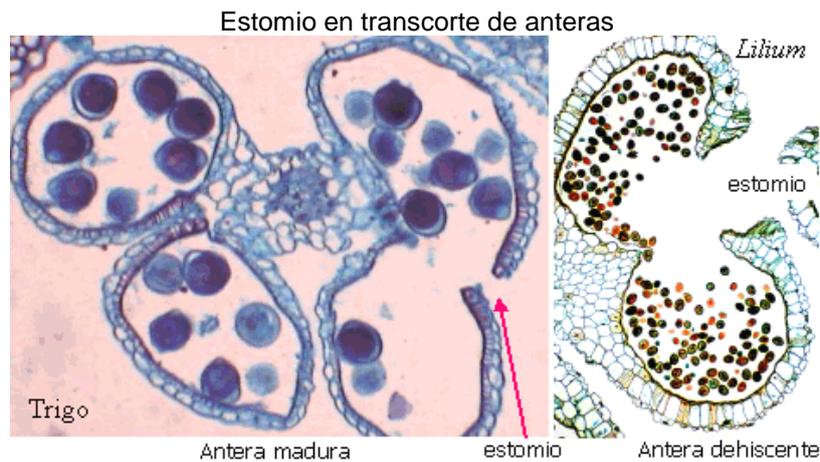


La dehiscencia se produce gracias al **endotecio**. Sus células presentan paredes desigualmente engrosadas, con filetes lignificados más anchos hacia la cara interna de la célula, donde se unen entre sí; en cambio se adelgazan hacia la cara externa. Por esta razón, al producirse la deshidratación de las células, éstas se acortan tangencialmente, originando tensiones que conducen a la apertura de la antera.



Dibujos de Strasburger

En el lugar donde se produce la rotura: el **estomio**, la antera tiene células epidérmicas de paredes delgadas. Los dos sacos polínicos de cada teca se fusionan entre sí por ruptura o atrofia de las capas parenquimáticas entre ellos, de manera que con una abertura en cada teca, se libera el polen de los cuatro sacos polínicos.

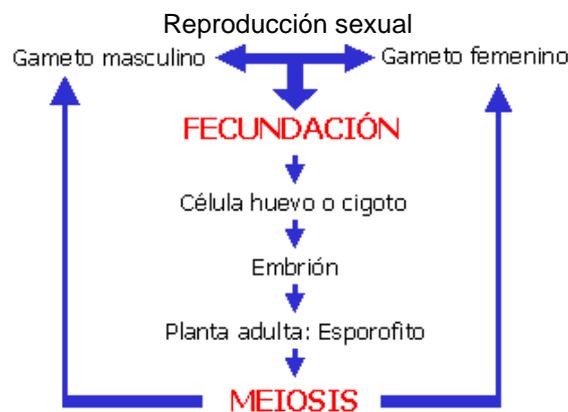


## 22.6. Reproducción Sexual

Reproducción es la capacidad de todos los seres vivos de engendrar, en algún momento, otros seres semejantes a ellos. La *reproducción asexual* ocurre exclusivamente con la intervención de divisiones mitóticas, sin fusión de gametos.

La *reproducción sexual* implica la singamia o fecundación o sea la fusión de **gametos** masculinos y femeninos para producir un **cigoto**, que al desarrollarse formará en las Embriófitas un **embrión** y éste a su vez una nueva planta. Su importancia se debe a que en el cigoto se combinan caracteres paternos y maternos, resultando diferente genéticamente a cada uno de los padres.

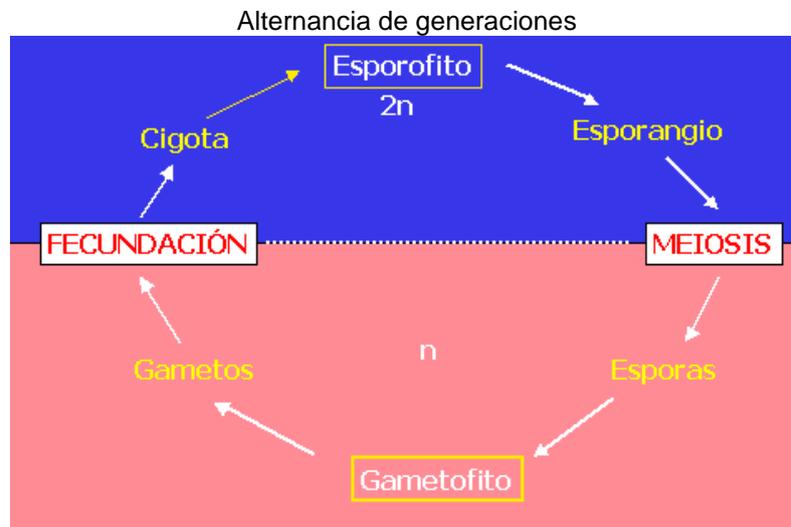
Este tipo de reproducción permite la variación por recombinación de caracteres, lo que facilita la selección natural.



Para que a partir de las células somáticas se originen gametos tiene que ocurrir en algún momento del ciclo vital una división reductiva llamada **MEIOSIS** que produce a partir de cada célula madre **cuatro células hijas** con el **número cromosómico reducido a la mitad** (número gamético). Si esto no sucediera, y los gametos tuvieran el mismo número de cromosomas que las células somáticas o vegetativas, el número de cromosomas se iría duplicando con cada fecundación.

## Alternancia de generaciones

Los ciclos vitales de las plantas vasculares presentan alternancia de dos generaciones. La generación que produce las esporas se denomina **esporófito**, son las plantas que hemos estado describiendo y estudiando hasta ahora, cuyas células presentan número cromosómico **2n**. La generación que produce los gametos se denomina **gametófito**, y son plantas reducidas, cuyas células presentan número cromosómico **n**.

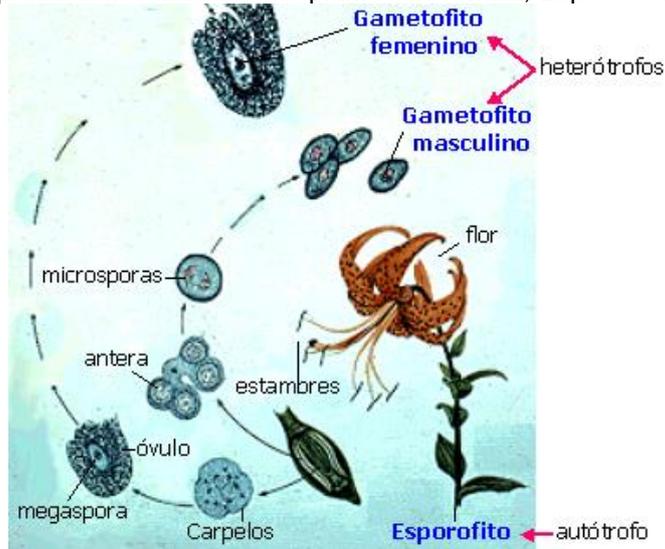


En el caso de las Pteridofitas, el esporófito es la planta con hojas, los esporangios, órganos donde se producen las esporas están ubicados en el envés de las hojas. El gametófito es verde y autótrofo pero efímero, mide unos pocos centímetros y se llama prótalo. En su cara inferior se encuentran los arquegonios y anteridios, órganos donde se forman los gametos femeninos y masculinos respectivamente.



En las Espermatófitas los esporófitos son las plantas verdes, con hojas. En las flores, constituidas por hojas modificadas, producen dos tipos de esporas: micrósporas y megásporas. Los gametófitos no son verdes, no tienen vida independiente, son plantas parásitas, heterótrofas, que viven a expensas del esporofito. Según que tipo de gametos produzcan, hay gametófitos masculinos y femeninos.

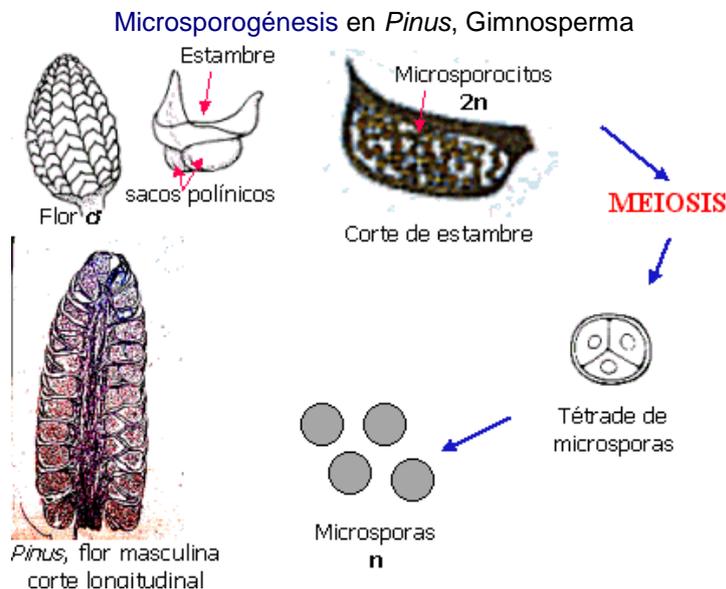
Reproducción sexual en una planta con semilla, Espermatófitas



22.7. Microsporogénesis

Gimnospermas

En *Pinus* el esporófito presenta flores masculinas desnudas formadas exclusivamente por los estambres (microsporófilos), cada uno de los cuales lleva dos sacos polínicos (esporangios) en la cara inferior o envés. En su interior están los microsporocitos o células madres del polen que por **meiosis** forman c/1 cuatro micrósporas o granos de polen uninucleados.



En *Pinus* el grano de polen maduro es alado (vesiculado), y contiene cuatro células formadas por divisiones mitóticas de la micróspora: dos células protálicas, una célula anteridial o generativa y una célula del tubo polínico. En este estado es liberado de las anteras y se produce la polinización.

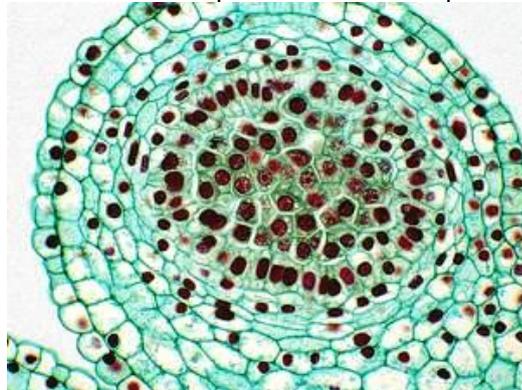


## Angiospermas

En los sacos polínicos de las anteras se encuentran los **microsporocitos** o **células madres del polen**.

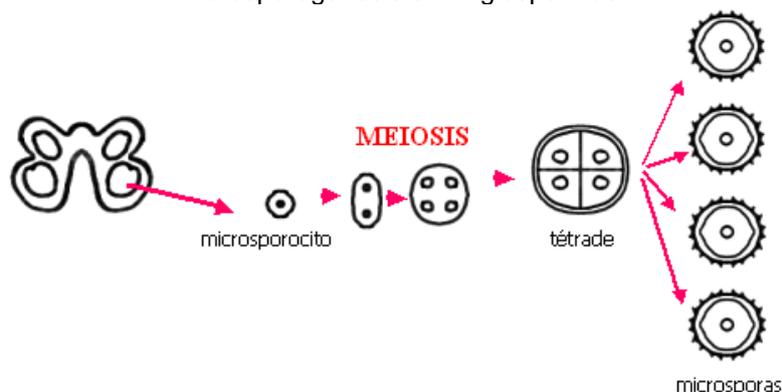
Cada célula madre sufre una meiosis que da por resultado 4 células hijas que constituyen una tétrade, es decir un conjunto de cuatro microsporas.

Transcorte de saco polínico con microsporocitos



Al comienzo de la meiosis los microsporocitos se conectan entre sí por anchos puentes citoplasmáticos que se forman por expansión de los plasmodesmos, convirtiendo toda la masa de microsporocitos de un microsporangio en un cenocito, con rápido transporte y distribución de nutrientes. Esta continuidad es responsable de la meiosis sea sincrónica dentro del microsporangio.

Microsporogénesis en Angiospermas

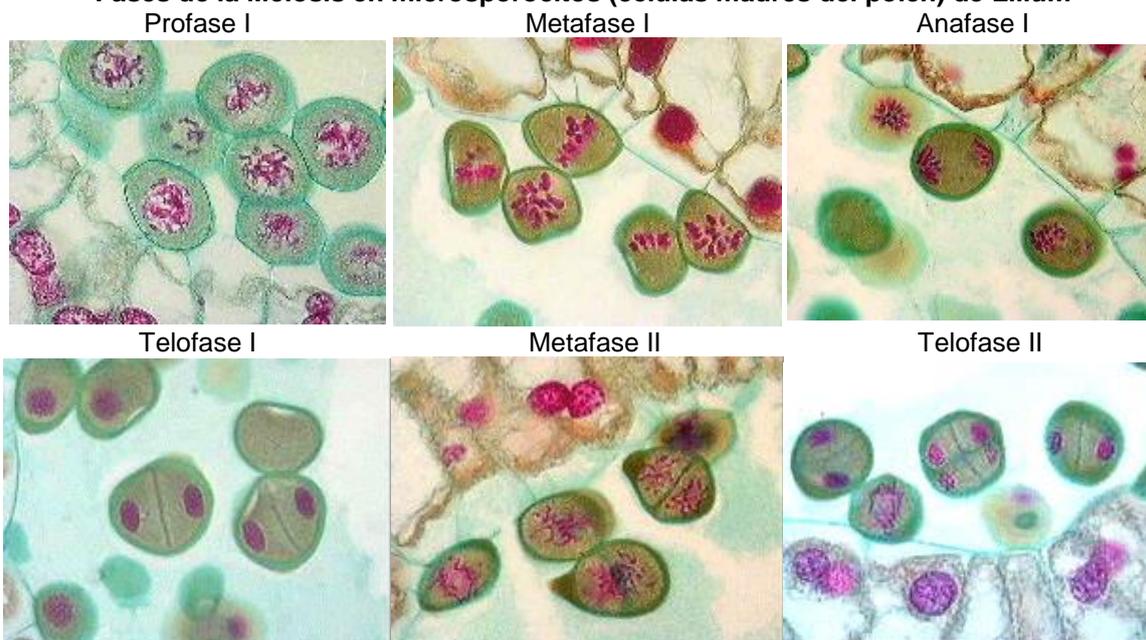


## Meiosis

Es una división celular especial, consistente en dos divisiones sucesivas con una sola duplicación de cromosomas. La primera división o **Meiosis I**, es reduccional; la segunda o **Meiosis II**, es ecuacional. Para facilitar su descripción, se describen 4 fases en cada división.

- \* **Profase I:** es la etapa más larga y compleja, puede durar semanas o meses en algunas especies. Los cromosomas homólogos se aparean longitudinalmente (sinapsis), y efectúan un intercambio de segmentos de cromátidas llamado *crossing-over*. Luego los cromosomas homólogos comienzan a separarse, permaneciendo unidos por los quiasmas, puntos donde hubo intercambio. A medida que los cromosomas se separan se produce la terminalización de los quiasmas, o sea su desplazamiento hasta los extremos de los cromosomas. Al final de la profase los cromosomas están notablemente contraídos, y la envoltura nuclear desaparece.
- \* **Metafase I:** se visualiza el huso acromático, los centrómeros de cada cromosoma homólogo se unen a las fibras del huso. Los pares de cromosomas homólogos (bivalentes) se ordenan en el plano ecuatorial de la célula.
- \* **Anafase I:** los cromosomas homólogos se separan, dirigiéndose hacia los polos.
- \* **Telofase I:** los cromosomas agrupados en los polos sufren una ligera distensión, y puede formarse una tenue envoltura nuclear.
- \* **Intercinesis:** período muy breve, a veces inexistente
- \* **Profase II:** los cromosomas se contraen nuevamente.
- \* **Metafase II:** cada grupo de cromosomas se ubica en un mismo plano
- \* **Anafase II:** se separan las cromátidas de cada cromosoma pasando a formar los cromosomas hijos.
- \* **Telofase II:** se forman 4 núcleos hijos, con la mitad de los cromosomas de la célula madre.

**Fases de la Meiosis en microsporocitos (células madres del polen) de *Lilium***



Imágenes de <http://images.iaspr.org/lily/male.shtml>

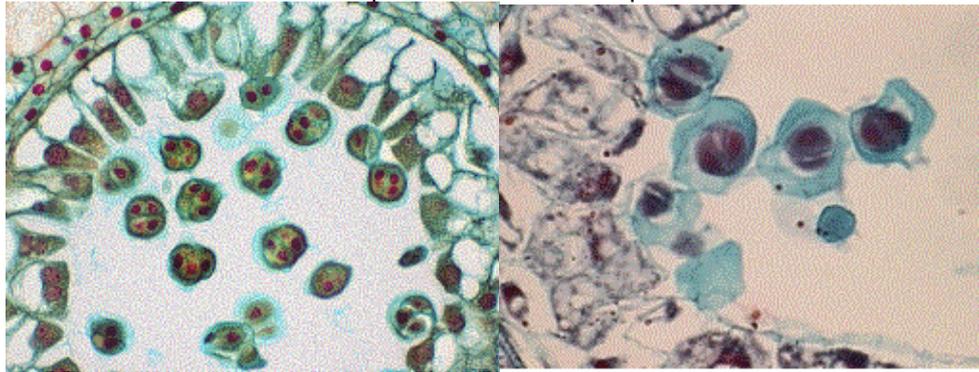
Los puentes citoplasmáticos desaparecen al promediar la división, y cada microsporocito queda aislado de los otros, rodeado por una gruesa capa de calosa. La tétrade resultante también queda rodeada de calosa.

Al terminar la meiosis, cada microspora se rodea de una pared de calosa, sin plasmodesmos que las conecten con las vecinas. Cisternas del RE se aplican a las regiones donde eventualmente se formarán las aperturas. Donde no hay RE debajo del plasmalema se deposita una pared de celulosa llamada primexina.

El aumento de tamaño y el depósito de la pared celular ocurren mientras las micrósporas están aún incluidas en calosa, y continúa luego que la calosa se disuelve.

*Lilium*: tétrades de microsporas

Microsporas rodeadas de calosa



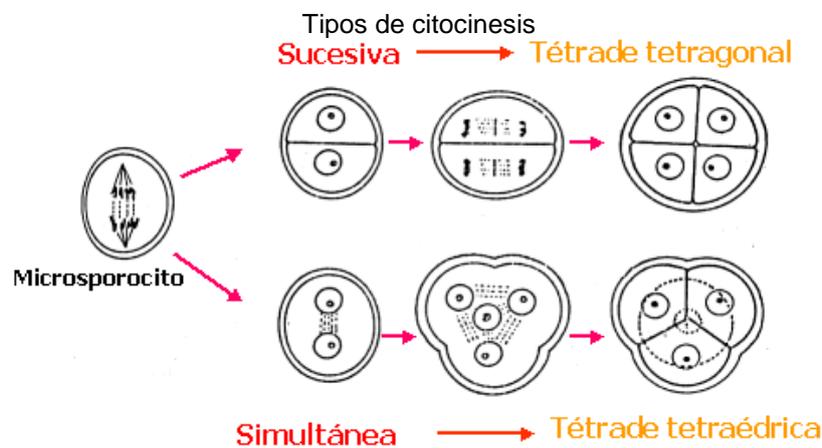
Imágenes de <http://images.iaspr.org/lily/male.shtml>

## Citocinesis

Es la división del citoplasma que sucede al terminar la meiosis. Según el momento en que se formen las paredes y como se orienten los husos acromáticos, las cuatro células resultantes de la meiosis, que forman un conjunto llamado tétrade, pueden disponerse de distinta forma.

En la **citocinesis sucesiva** cada división es sucedida por una división de citoplasma. Ocurre en las **Monocotiledóneas** y las microsporas quedan dispuestas en un mismo plano. Las tétrades pueden ser tetragonales, romboidales, lineares o en forma de T.

En la **citocinesis simultánea** las paredes se forman recién al terminar la meiosis. Es típica de **Eudicotiledóneas**, y las microsporas quedan dispuestas en varios planos. Las tétrades pueden ser tetraédricas o decusadas. En los granos de polen resultantes se establece un eje polar, con el polo proximal hacia el centro de la tétrade, y el polo distal hacia la periferia.

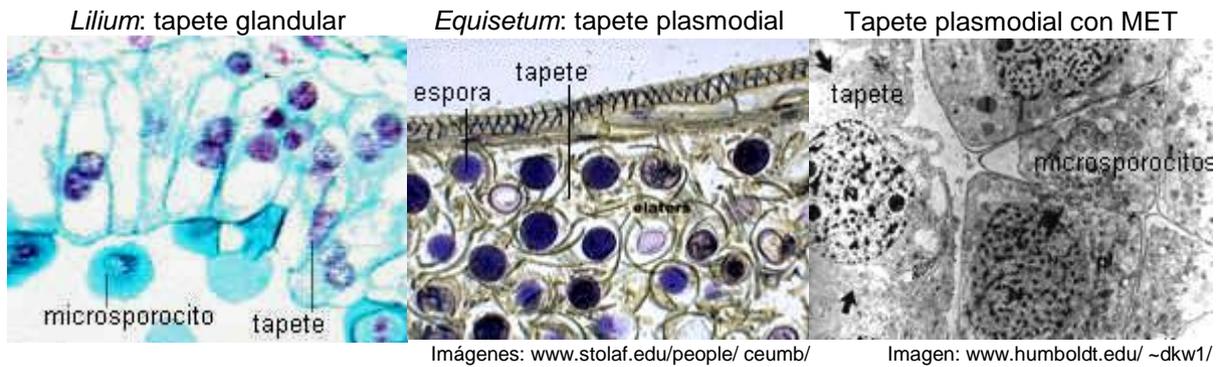


## Actividad del tapete durante la meiosis

El **tapete** es el tejido encargado de la nutrición de las microsporas, la formación de parte de la exina, y la síntesis y liberación de sustancias que formarán la trifina y el cemento polínico. Sus células tienen citoplasma muy denso, son típicamente 2-4 nucleadas o con núcleo poliploide. Hay dos clases de tapete según su funcionamiento: tapete secretor o glandular, y tapete invasor o ameboide.

El **tapete secretor** desarrolla actividad secretora, luego el contenido celular progresivamente se desorganiza y finalmente sufre autólisis. Se presenta en la mayor parte de las angiospermas.

El **tapete plasmodial o ameboide** fusiona sus células formando una masa de protoplasma llamada periplasmodio, que invade el lóculo y envuelve los microsporocitos para nutrirlos. Se presenta en algunas Pteridofitas, y en algunas angiospermas como *Tradescantia*. Raramente, como sucede en *Canna* (achira) las células del tapete invaden el lóculo individualmente, sin formar el periplasmodio (Tiwari & Gunning, 1986)



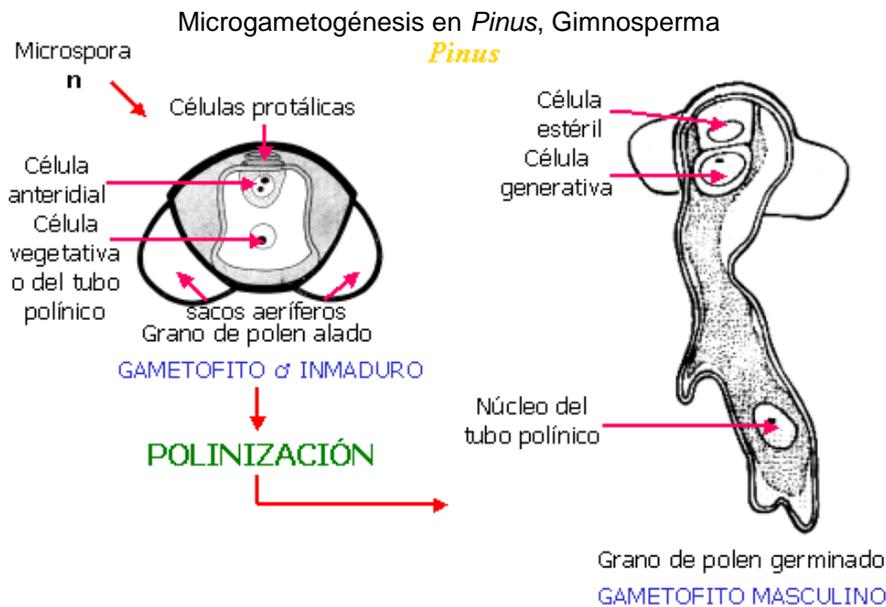
Después de la maduración de los granos de polen y durante la deshidratación de la antera, el periplasmodio se seca, y sus restos se depositan sobre los granos de polen como trifina o cemento polínico o "pollen kit". Son lipoides viscosos amarillos o rojos que tienen importancia en la polinización.

## 22.8. Microgametogénesis

### Gimnospermas

En *Pinus*, unos meses después de la polinización, el grano de polen germina, y el tubo polínico se abre paso a través de la nucela hasta el gametófito femenino. En su interior se produce la **microgametogénesis**: la célula anteridial se divide dando dos células, una célula estéril (pedicular) y una célula generativa o gametogénica, que se divide a su vez para dar dos gametos masculinos.

El gametófito masculino maduro consta pues de varias células.



En *Ginkgo* y en Cycadales el grano de polen no es alado, llega a la cámara polínica, en la nucela, donde germina.



Imágenes de Camefort & Boué 1969

Gameto masculino / anterozoide de *Ginkgo biloba*

El tubo polínico cumple solamente función de fijación. En su interior se originan los gametos masculinos llamados **anterozoides** porque son ciliados. La cámara polínica se llena de líquido, y allí son liberados los gametos. Éstos nadan hasta el gametófito femenino, que al madurar queda en contacto con la cámara polínica.

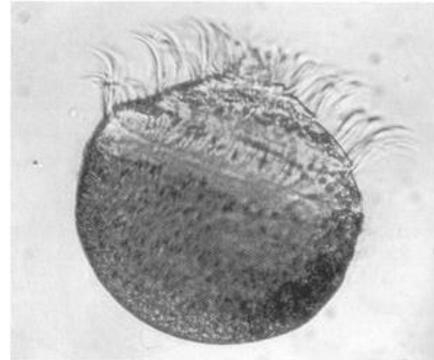


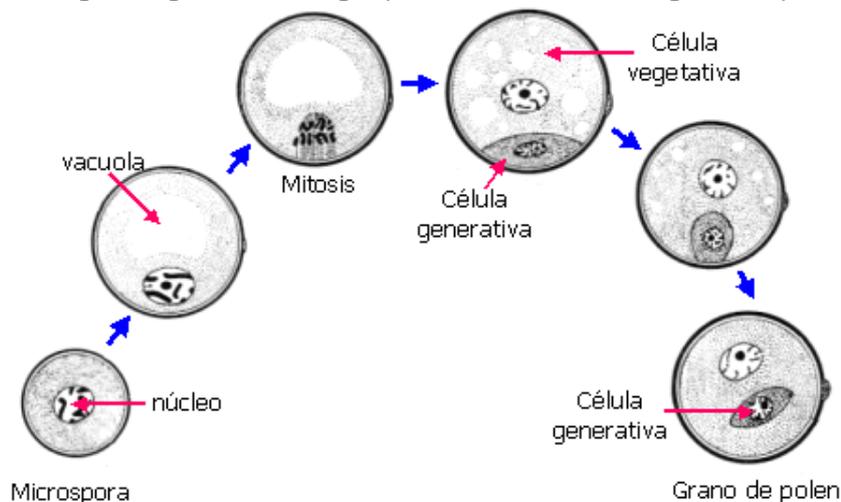
Imagen de Strasburger

## Angiospermas

Mientras los granos de polen están aún dentro del saco polínico, dentro de ellos comienza la microgametogénesis o formación de gametos masculinos.

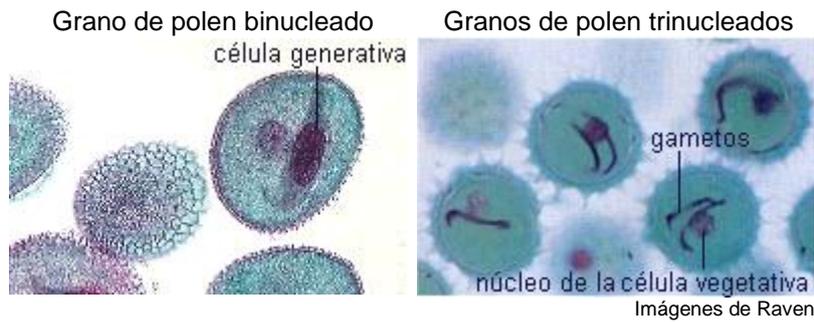
Cada micróspora o grano de polen unicelular sufre una división mitótica cuyo resultado es la formación de 2 células desiguales: una muy grande, la célula vegetativa o célula del tubo polínico que llena el grano casi por completo, y una pequeña célula lenticular, la célula generativa o gametogénica, aplicada contra la pared de la micróspora. Luego queda incluida en la célula vegetativa, en suspensión en su citoplasma, rodeada por su membrana plasmática.

Microgametogénesis en Angiospermas - formación del grano de polen

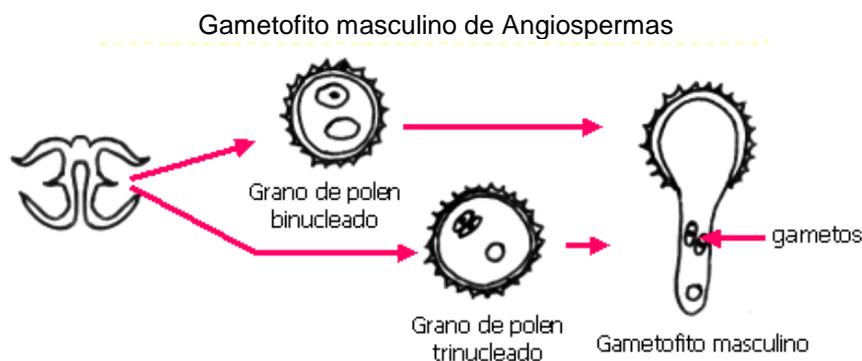


Luego la célula generativa sufre una división (la segunda mitosis que ocurre) y produce 2 células: los gametos masculinos, que son desnudos, no forman pared celular. Esta división puede producirse aún dentro del saco polínico o recién después que el grano de polen germina, dentro del tubo polínico. Es decir que cuando un grano de polen es liberado, puede ser bicelular (célula

vegetativa + célula generativa) o tricelular (célula vegetativa + 2 gametos), condición característica de familias avanzadas como las gramíneas.



Cada grano de polen maduro es el **gametófito masculino**, es decir la planta que produce gametos, reducida a solamente dos células.



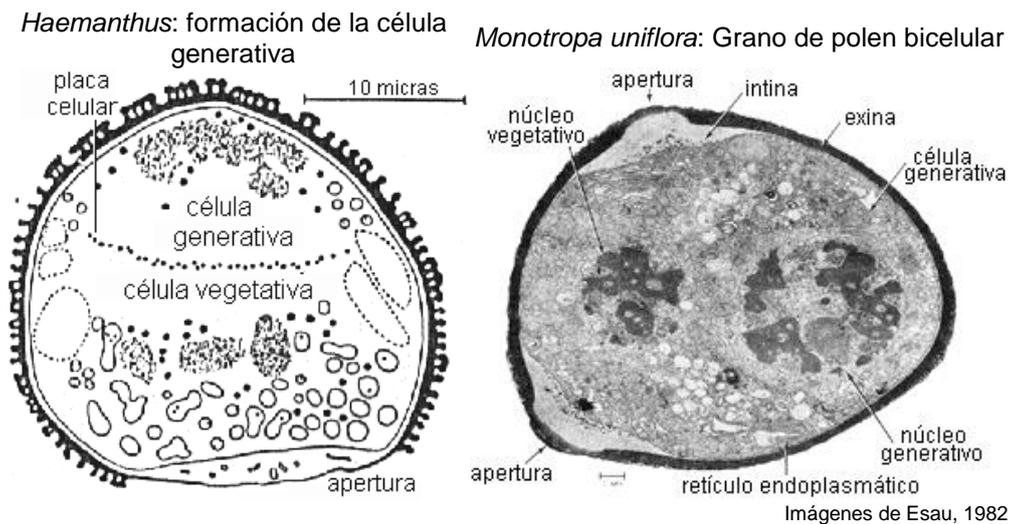
El citoesqueleto de los gametos masculinos no está formado por microfilamentos sino por microtúbulos dispuestos en una estructura en forma de canasta, conectados entre sí por medio de proyecciones laterales semejantes a las que se observan en los cilios o flagelos. Esta estructura facilitaría el cambio de forma de los gametos durante su desplazamiento a lo largo del tubo polínico (Tiezzi *et al.* 1988)

## 22.9. Granos de Polen

La disciplina que estudia el polen y las esporas se denomina **palinología**.

En el citoplasma de la célula vegetativa del polen hay abundantes orgánulos y reservas: RE (retículo endoplasmático), dictiosomas, plástidos con almidón que se gasta en la formación del tubo polínico, lípidos, proteínas, vitaminas. Los granos de polen de especies que deben formar tubos polínicos muy largos generalmente tienen lípidos como sustancia de reserva; los que son polinizados por animales tienen azúcares o aceites; los que son llevados por el viento tienen frecuentemente almidón.

El citoplasma de la célula generativa y los gametos tiene muchos menos orgánulos.

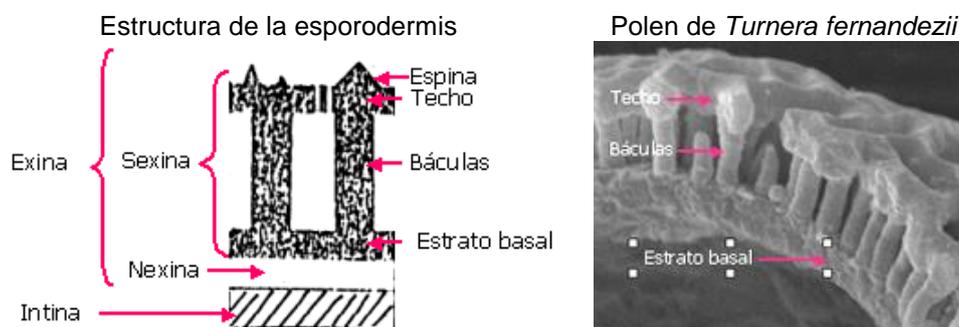


Los granos de polen, una vez liberados de las anteras, están expuestos a una serie de condiciones extremas y a menudo durante largo tiempo. La protección de su contenido está asegurada por la presencia de una pared muy resistente, también llamada esporodermis. Esta pared contiene proteínas y enzimas, responsables de las reacciones de incompatibilidad que ocurren entre el polen y el estigma. De afuera hacia dentro se pueden distinguir la exina y la intina.

La **intina** envuelve al protoplasma, es delicada, poco resistente, constituida de celulosa y pectina, es más gruesa generalmente a la altura de las aperturas.

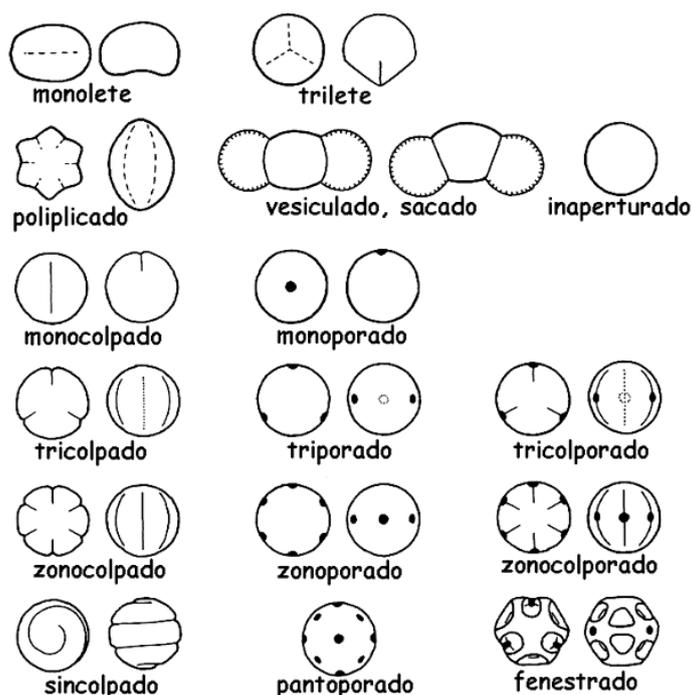
La **exina** está constituida por esporopolenina, sustancia químicamente muy resistente y solo degradable por oxidación. Es un polímero de carotenos y sus ésteres, y se conserva muy bien en fósiles. Estudios realizados en *Liriodendron* indican que los precursores de la esporopolenina son sintetizados en el RE de las microsporas y de las células del tapete. (Gavarayeba, 1996).

La exina muestra un mayor grado de diferenciación estructural en Angiospermas. En las especies más primitivas puede ser amorfa. En las demás se pueden distinguir 2 partes: la nexina, interna, homogénea, y la sexina externa, que es la porción esculpurada. Consta de bastones o báculas que pueden unirse entre sí por los extremos formando el tectum. En *Heliconia* y otras monocotiledóneas la exina está muy reducida y la intina tiene en cambio gran desarrollo (Fahn, 1982).



En la exina hay aperturas a través de las cuales germina el tubo polínico. El polen que no tiene aperturas es inaperturado; el que las tiene es aperturado. Hay un sistema artificial, llamado NPC para clasificar y ordenar los granos de polen teniendo en cuenta el **número, posición y clase** de aperturas, caracteres que con frecuencia poseen valor taxonómico. Por ejemplo todas las especies de la familia Turneraceae presentan el mismo NPC = 345, lo que significa que todos los granos de polen poseen 3 colporos de posición ecuatorial.

## Tipos de granos de polen según el tipo y posición de las aperturas



Imágenes de Faegri & Iversen, 1964

Las aperturas tienen distinto nombre según los grupos de plantas y según su posición y forma:

■ **Pteridofitas.** Las esporas presentan una apertura proximal. Según su forma, las esporas se denominan monoletes o triletes.

■ **Gimnospermas.** Los granos de polen presentan una apertura distal. Los granos de *Pinus* y otras coníferas, son vesiculados o sacados, los de *Ephedra* son poliplicados.

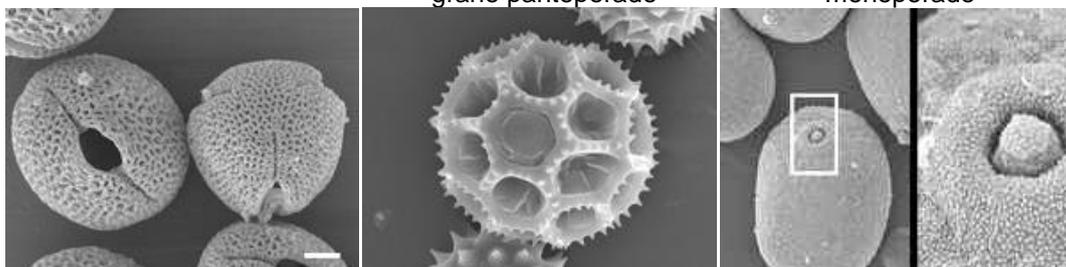
■ **Eudicotiledóneas.** Los granos de polen presentan 3 o + aperturas situadas en el ecuador, o en toda la superficie. Las aberturas según su forma se designan como: colpo, poro, colporo.

■ **Monocotiledóneas.** Los granos de polen presentan una apertura distal, que según su forma se designa como poro o sulco.

*Turnera* (Eudicotiledónea):  
granos tricolporados

*Amaranthaceae*  
(Eudicotiledónea):  
grano pantoporado

*Oryza*, arroz  
(Monocotiledónea): grano  
monoporado

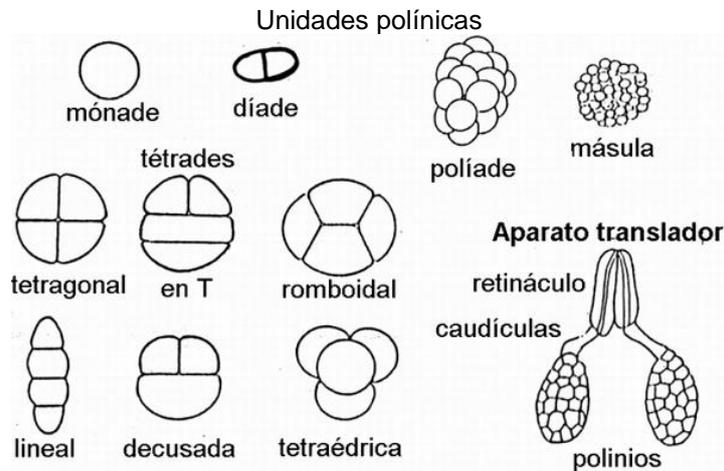


## Unidades polínicas

Son las distintas formas en que se libera el polen. Los granos solitarios se llaman mónades; si están unidos de a 2: díades; de a 4: tétrades; (Ericaceae; algunas especies de *Ludwigia*); más de 4, hasta 32: políades (Leguminosas, Anonáceas); si el número de elementos no es discernible, másulas (Orchidaceae); por último los polinios son una masa de polen de 1 o más lóculos de la antera constituyendo una unidad (Asclepiadaceae, Orchidaceae).

A veces los polinios están acompañados por estructuras producidas por el androceo o el gineceo, que constituyen el **aparato transmisor**. En las **Asclepiadaceae** dos polinios están unidos

mediante las caudículas a una pieza llamada retináculo, que presenta un surco longitudinal; el insecto polinizador engancha el retináculo y desprende y transporta los dos polinios. En las **Orchidaceae**, dos o cuatro polinios pueden unirse entre sí formando un polinario; el retináculo es un cuerpo pegajoso llamado viscidio, que se adhiere al insecto polinizador.



## Glosario

**Aceites esenciales:** Los aceites esenciales, o, simplemente, esencias son mezclas líquidas, volátiles (a diferencia de los aceites grasos, no dejan manchas sobre el papel), de propiedades aromáticas, secretados por las plantas. Se encuentran casi exclusivamente en las angiospermas y en especial en algunas familias: Rosáceas, Labiadas, Umbelíferas, Lauráceas. etc.

**Amorfa:** Que no tiene forma determinada.

**Antípodas:** Cada una de las tres células que en el saco embrionario de las angiospermas se hallan en el extremo opuesto al que ocupan las sinérgidas y ovocélula.

**Aparato ovular:** Conjunto del óvulo y las dos sinérgidas, que se hallan en la parte superior del saco embrionario, del lado del micrópilo.

**Aparato ovular:** Conjunto de la ovocélula y las dos sinérgidas, que se hallan en la parte superior del saco embrionario, del lado del micrópilo.

**Aperturado:** Con aberturas.

**Aperturas:** Cada una de las aberturas que presenta el grano de polen para permitir la salida del tubo polínico.

**Báculas:** Porciones de la pared externa de las esporas o granos de polen, con forma de bastón.

**Bicelular:** Formado por dos células.

**Calosa:** Polisacárido formado por moléculas de glucosa, diferente a la celulosa y a la pectina, que bordea las comunicaciones intercelulares de los elementos cribosos del floema. También impregna temporalmente algunas paredes celulares de otros tejidos.

**Célula del canal del vientre:** En el arquegonio, la célula que se halla sobre la oósfera, entre ésta y la célula inferior del canal del cuello.

**Célula del tubo polínico:** Célula vegetativa del grano de polen.

**Célula madre de las megásporas:** Célula que posee un núcleo diploide que, por meiosis, da cuatro núcleos haploides.

- Célula vegetativa:** En los granos de polen, la célula que ocupa gran parte del mismo, destinada a formar el tubo polínico
- Cemento polínico:** material pegajoso existente en la superficie de los granos de polen de especies con polinización zoófila.
- Cenocito:** Masa protoplasmática multinucleada formada como consecuencia de divisiones nucleares no seguidas de citocinesis.
- Citocinesis:** En la mitosis y en la meiosis, división del citoplasma celular para formar las células hijas.
- Colpo:** En palinología, abertura alargada, fusiforme.
- Colporo:** Apertura compuesta consistiendo de un colpo (externo) y un poro (interno). El término más usado es la forma adjetivada **colporado-da**.
- Cómpito:** Lugar del pistilo de los gineceos sincárpicos donde los canales estilares se comunican entre sí, permitiendo que los tubos polínicos puedan cambiar su dirección de crecimiento, de un carpelo a otro.
- Díades:** Unidades polínicas formadas por dos micrósporas.
- Endexina:** En los granos de polen, estrato interno de la exina más o menos diferenciado.
- Endosperma primario:** Tejido reservante de las semillas de gimnospermas, es el prótalo cargado de sustancias de reserva, formado a partir de divisiones mitóticas de la macróspora.
- Esporangio:** Dícese de cualquier estructura que contenga esporas.
- Esporodermis:** Pared que rodea y protege la espora.
- Esporopolenina:** Compuesto químico complejo que forma la esporodermis.
- Exina:** Pared externa del grano de polen, gruesa y a menudo con grabaduras o relieves de formas muy diversas, tales como surcos, alvéolos, verrugas, acículas, etc.
- Fecundación:** Unión de dos gametos haploides para constituir la cigota o célula huevo diploide. Es uno de los procesos esenciales del ciclo vital de la planta.
- Gameto:** Célula sexual madura, capaz de unirse a la del sexo contrario para formar la cigota.
- Gametófito:** Conjunto de células haploides, la generación que termina produciendo células reproductoras sexuales, las gametas.
- Hilum:** Apertura o zona clara irregular, vagamente delimitada a circular en esporas.
- Hipanto:** Estructura tubular o en forma de copa que rodea los ovarios íferos o semiínferos. Puede estar constituido por el receptáculo ahondado, o por la adnación de cáliz, corola y androceo (hipanto apendicular).
- Inaperturado:** Dícese del grano de polen que carece de aberturas.
- Intina:** Dícese de la pared interna del grano de polen, muy delgada, hialina, incolora y de naturaleza celulósica o péctica.
- Másula:** Unidad polínica constituida por numerosos granos de polen.
- Megasporangio:** Estructura donde se forman las megásporas, representada por la nucela de los óvulos en las espermatófitas.
- Megasporocito:** Célula madre de las megásporas.
- Meiosis:** División celular que consta de dos divisiones nucleares sucesivas en las cuales el número de cromosomas se reduce a la mitad, produciéndose además la recombinación y segregación de genes. Como consecuencia de la meiosis se pueden formar gametos o esporas.
- Microsporangio:** Estructura donde se forman las micrósporas, representada por los sacos polínicos de las anteras en las espermatófitas.

**Mónades:** Unidad polínica constituida por una espora o grano de polen.

**Nexina:** Porción interna, no esculturada, de la pared de las esporas o granos de polen.

**Nucela:** Parte interna del óvulo, rodeada por el o los tegumentos, desprovista de hacecillos conductores, en la cual se desarrolla el saco embrionario o gametófito femenino.

**Oófera:** Gameto femenino, célula sexual femenina.

**Ovocélula:** Sinónimo de oófera, célula sexual femenina.

**Óvulos:** Rudimentos seminales de Gimnospermas y Angiospermas.

**Periplasmodio:** Masa protoplasmática formada por la fusión de las células del tapete plasmodial invasor.

**Políadas:** Conjunto de 8-16-32 granos de polen procedentes de varias células madres, que se liberan unidos entre sí.

**Polinio:** Masa que comprende la totalidad de los granos de polen de un saco polínico o de una teca.

**Poro:** Abertura de la exina o parte adelgazada de la misma por donde brota el tubo polínico.

**Primexina:** Pared primordial de la espora o grano de polen.

**Protalo:** Gametófito formado a partir de la espora, de tipo taloide, sin tallos ni hojas diferenciados.

**Pseudosincárpico:** Aplícase a los pistilos sincárpicos sin cómpito.

**Saco embrionario:** Conjunto de siete células y ocho núcleos que constituye una de las generaciones del ciclo vital de las angiospermas (gametofito femenino).

**Saco polínico:** En los antófitos, recipiente en el que se contienen los granos de polen.

**Sexina:** Porción externa, esculturada, de la exina de los granos de polen y esporas.

**Sincrónica:** Que ocurre al mismo tiempo.

**Sinérgidas:** Cada una de las dos células laterales que acompañan a la ovocélula en el aparato ovular del saco embrionario

**Singamia:** Fecundación, proceso por el cual dos gametos haploides se fusionan para formar un cigoto diploide.

**Surco:** En general, cavidad superficial angosta y prolongada.

**Tectum:** Porción continua de la exina de ciertos granos de polen, formada por encima de las báculas.

**Tejido transmisor:** Tejido propio del estilo, a través del cual crecen los tubos polínicos, entre el estigma y el ovario.

**Tétrade:** Conjunto constituido por las cuatro células resultantes de la meiosis de la célula madre de las esporas.

**Tricelular:** Formado por tres células.

**Trifina:** Material depositado sobre la superficie del grano de polen por ruptura del tapete. Se diferencia del polenkit en que contiene componentes membranosos derivados de las organelas.

**Tubo floral:** Estructura tubular que rodea el pistilo en flores períginas y epíginas, puede estar constituido por el receptáculo y/o por la adnación de los otros verticilos florales.

**Tubo polínico:** En los antófitos, tubo que se forma a expensas de la célula vegetativa del grano de polen cuando éste germina en la cámara polínica del óvulo de las gimnospermas o en el estigma de las angiospermas.

## Bibliografía

- Esau K. 1982.** Anatomía de las plantas con semilla. 2a. ed. Hemisferio Sur. Bs.As.
- Fægri K. & Iversen J. 1964.** Textbook of pollen analysis. Hafner Pub. New York.
- Fahn A. 1990.** Plant Anatomy. 4a. ed. Pergamon Press.
- Foster A.S. & Gifford E.M. 1959.** Comparative Morphology of Vascular Plants. 2a. ed. Freeman, San Francisco.
- Gavarayeba N. 1996.** Sporoderm development in *Liriodendron chinense* (Magnoliaceae): a probable role of the endoplasmic reticulum. *Nordic J.Bot.* 16:307-323.
- Gonzalez A.M. 1993.** Anatomía y vascularización floral de *Piriqueta racemosa*, *Turnera hassleriana* y *Turnera joelii* (Turneraceae). *Bonplandia* 7: 143-184.
- Gonzalez A.M. 2000.** Tesis doctoral: Estudios Anatómicos en los géneros *Piriqueta* y *Turnera* (Turneraceae). Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
- Heslop Harrison J. & Shivanna K.R. 1977.** The receptive surface of the Angiosperm stigma. *Ann.Bot.* 41: 1233-1258.
- Lindorf H., de Parisca L. & Rodriguez P. 1991.** Botánica. 2a.ed. Univ.Centr.Venezuela. Caracas.
- Polowick P.L. & Sawhney V.K. 1986.** A scanning electron microscopic study on the initiation and development of floral organs of *Brassica napus* (cv. Westar). *Amer.J.Bot.* 73: 254-263.
- Raven P.H., Evert R.F. & Eichhorn S.E. 2003.** Biology of Plants. 6a. ed. Freeman/Worth.
- Strasburger, Tratado de Botánica. 2004.** 9a. ed. castellana. Ed.Omega, Barcelona.
- Tahktajan A. 1991.** Evolutionary trends in flowering plants. Columbia University Press. New York.
- Tiezzi et al. 1988**
- Tiwari S.C. & Gunning B.E.S. 1986.** Development of tapetum and microspores in *Canna* L.: an example of an invasive but non-synccytial tapetum. *Ann.Bot.*57:557-563.
- Tiwari S.C. & Gunning B.E.S. 1986.** Cytoskeleton, cell surface and the development of invasive plasmodial tapetum in *Tradescantia virginiana* L. *Protoplasma* 133:89-99.
- Tucker S.C. 1993.** Floral ontogeny in Sophoreae (Leguminosae - Papilionoideae). 1. *Myroxylon* and *Castanospermum*. *Amer.J.Bot.* 80: 65-75.
- Williams E.G., Sage T.L., Thien L.B. 1993.** Functional syncarpy by Intercarpellary Growth of Pollen Tubes in a Primitive Apocarpous Angiosperm, *Illicium floridanum* (Illiciaceae). *Amer.J.Bot.* 80: 137-142