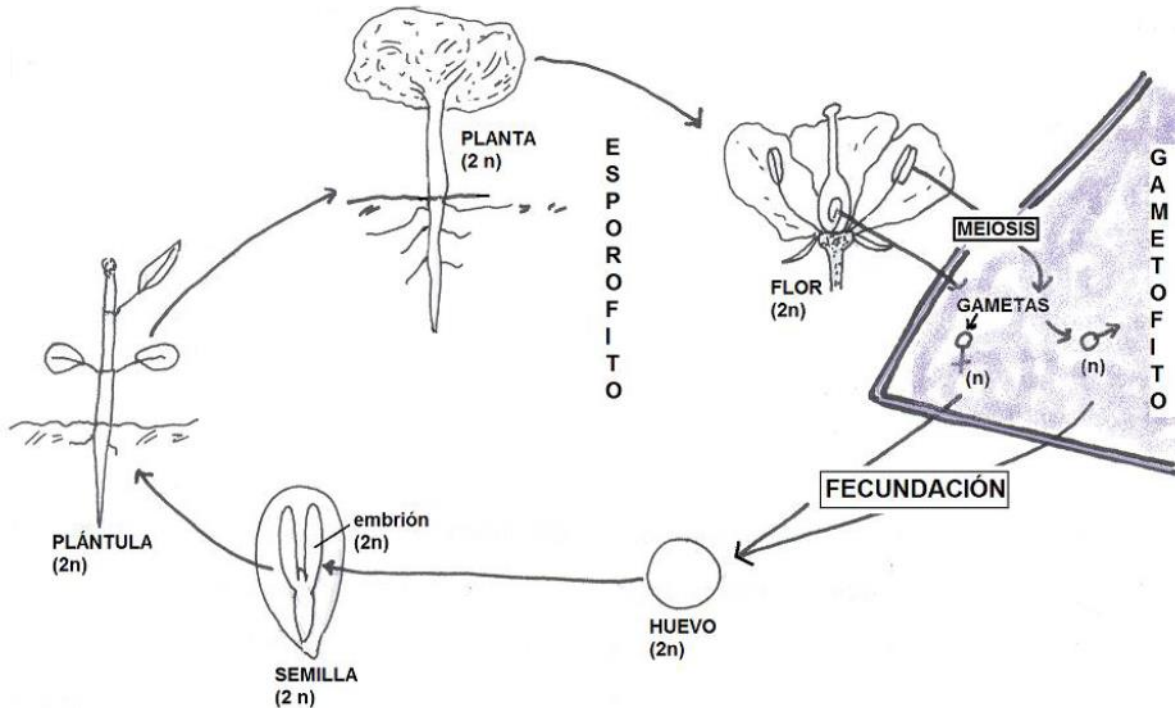


CICLO BIOLÓGICO DE LAS ESPERMATÓFITAS



En el ciclo biológico de las espermatófitas hay un largo período esporofítico (o esporofito), es decir, con células diploides y un corto período gametofítico (o gametofito) con células haploides, entre ellas las gametas.

Como ya hemos visto, las células que forman el cuerpo de la planta son las células **somáticas** que normalmente son **diploides**, es decir que tienen dos series de cromosomas, lo cual se representa mediante el símbolo **2n**. Por ejemplo: las células diploides del maíz son $2n = 20$. Para producirse la reproducción sexual se tienen que formar las **células sexuales (anterozoide y oófera)**. Estas células son **haploides**, lo cual se representa con el símbolo **n** y son las **gametas** que llevan la mitad del número de cromosomas de la especie, por ejemplo: las células haploides del maíz son $n = 10$. Para reducir el número cromosómico a la mitad se produce la división por **MEIOSIS**. Esta es una división reductiva y además permite el intercambio genético.

El número de cromosomas es constante para cada especie, en el ejemplo del maíz es $2n = 20$ y para poder mantener constante ese número, las gametas necesitan tener tan solo $n = 10$, de manera que cuando se unen en la fecundación un anterozoide ($n = 10$) con una oófera ($n = 10$) originan una célula diploide (huevo o cigota) con $2n = 20$. Luego, este huevo, por sucesivas divisiones por MITOSIS MULTIPLICATIVA formará el embrión, éste la plántula, la cual crecerá hasta ser una planta adulta con raíz, tallo y hojas y estructuras reproductoras (flores), donde dentro de los sacos polínicos y dentro del óvulo volverá a producirse la MEIOSIS REDUCTIVA para originar las gametas, reiniciando el ciclo con la fecundación. En la naturaleza es común encontrar plantas **tetraploides**, es decir con cuatro series de cromosomas ($4n$), las que se caracterizan por tener células y órganos de mayor tamaño. Cuando el número de series de cromosomas es mayor a cuatro se habla de **poliploides**.

MEIOSIS

La meiosis es un tipo de división celular que sólo tiene lugar en algunas células diploides ($2n$) especializadas y en determinados momentos del ciclo biológico de un organismo. En las plantas superiores, la meiosis tiene lugar en dos lugares de las estructuras reproductoras (gimnospermas) y en la flor (angiospermas): en las células madres de los granos de polen ubicados en el microsporofilo (gimnospermas) o en la antera (angiospermas) y en las células madres de las megasporas ubicadas en el óvulo (gimnospermas y angiospermas). Mediante la meiosis y la citocinesis, una célula diploide ($2n$) da lugar a cuatro células haploides (n). De éstas, todas o algunas de ellas, formarán el gametofito maduro que incluye las gametas de las plantas superiores.

La meiosis consiste en dos divisiones nucleares sucesivas llamadas: **MEIOSIS I** o reductiva, y **MEIOSIS II**, ecuacional o multiplicativa. Tanto la meiosis I como la II constan de las cuatro fases conocidas de la mitosis: profase, metafase, anafase y telofase, pero con algunas diferencias en relación a la mitosis. La profase de la meiosis I es una etapa compleja que consta de varias subfases.

Cromosomas homólogos: los cromosomas se encuentran de a pares en todas las células diploides de los organismos superiores y se los denomina cromosomas homólogos. Cada homólogo proviene de uno de los progenitores y tiene con el otro homólogo proveniente del otro progenitor igual estructura e igual disposición de su secuencia de ADN y por ello, de genes, lo cual no significa que lleven la misma información genética. Los cromosomas homólogos cumplen un rol muy importante en la meiosis.

Meiosis I:

a) Profase I: igual que en la mitosis, se desorganiza la envoltura nuclear y el nucléolo, los cromosomas son visibles y ya se ha duplicado su ADN durante la interfase. Por ello, cada cromosoma consta de dos cromátidas idénticas unidas por el centrómero. Los cromosomas homólogos se enfrentan e intercambian entre sí porciones de las cromátidas, en un proceso llamado entrecruzamiento o crossing-over. El entrecruzamiento genera cromátidas completas, pero con una combinación génica diferente de la original. Luego del intercambio, los homólogos se separan. **b) Metafase:** el huso mitótico se hace visible y los cromosomas se unen por los centrómeros a los microtúbulos en el plano ecuatorial de la célula. **c) Anafase:** a diferencia de la mitosis, las cromátidas de cada cromosoma no se separan, sino que se separan los cromosomas homólogos, un homólogo va a un polo de la célula y el otro homólogo va al otro polo. **d) Telofase:** los cromosomas se hacen indistinguibles, se reorganiza la membrana nuclear, se forma el nucléolo. Se pasa sin interfase a la meiosis II. Puede o no haber citocinesis.

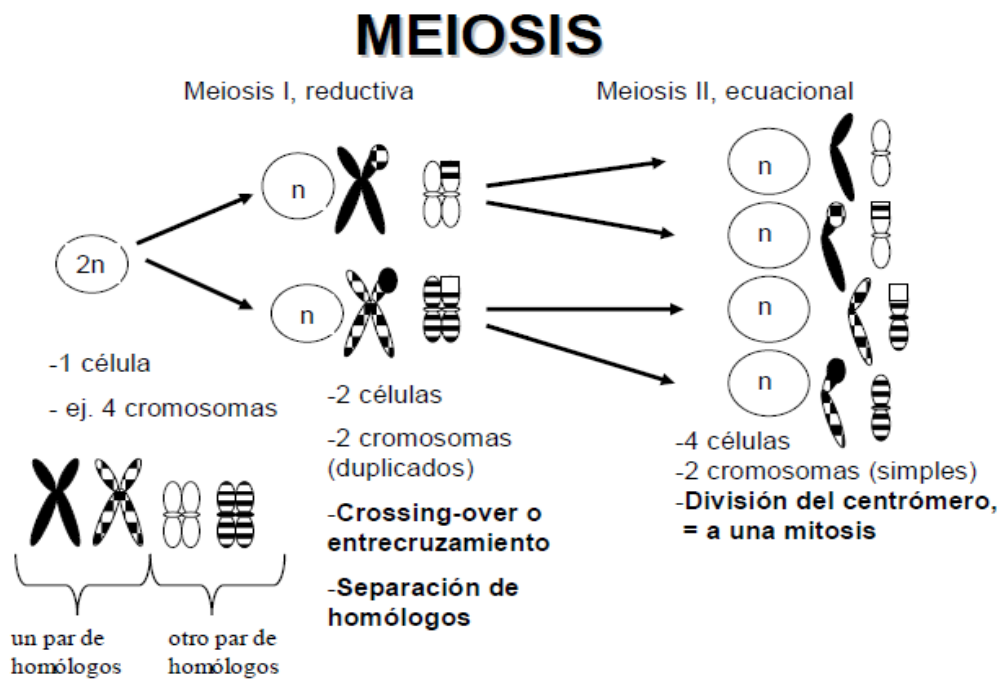
Meiosis II:

Es igual a una mitosis. **a) Profase II:** se desorganiza la envoltura nuclear y el nucléolo, los cromosomas se hacen visibles. Las células ya tienen la mitad del número cromosómico que la célula que las originó, pero su ADN aún está duplicado. **b) Metafase:** se hace visible el huso mitótico, los cromosomas constan de dos cromátidas (dado que éstas no se separaron

en la meiosis I) y se ubican en el plano ecuatorial. **c) Anafase:** los centrómeros se dividen y las cromátidas se alejan a los polos opuestos. **d) Telofase:** se organizan las cariotecas y los nucléolos, los cromosomas se hacen indistinguibles (retículo de cromatina). Se produce la citocinesis.

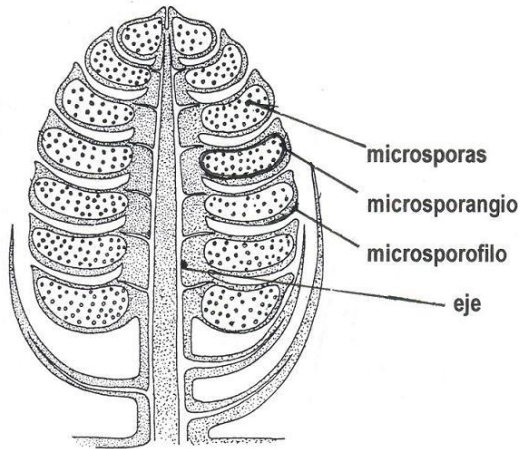
IMPORTANCIA DE LA MEIOSIS:

El resultado final de la meiosis es que el material genético (ADN) del núcleo diploide, que se ha duplicado una vez en la interfase, se divide dos veces. Por ello, cada una de las 4 células resultantes de la meiosis, tiene tan sólo la mitad del total de cromosomas del núcleo diploide que le dio origen. Ello permite que se mantenga estable el número cromosómico característico de cada especie cuando se produce la fecundación por la unión de las gametas (n). Además, debido al entrecruzamiento durante la Profase I, cada cromosoma tiene frecuentemente segmentos de ADN de ambos progenitores. En la meiosis entonces se producen núcleos diferentes al núcleo de la célula original, a diferencia de la mitosis que produce núcleos con una dotación cromosómica idéntica a la del núcleo de la célula original. Gracias a la meiosis, y a una eventual unión de las gametas, las poblaciones de organismos que se generan no son uniformes sino que están formadas por individuos que difieren entre sí en muchos caracteres.



1. ESTRUCTURAS REPRODUCTORAS DE GIMNOSPERMAS

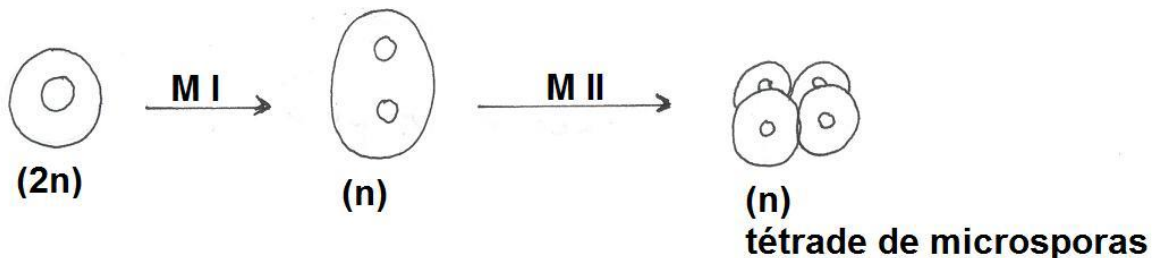
Estructura reproductora masculina



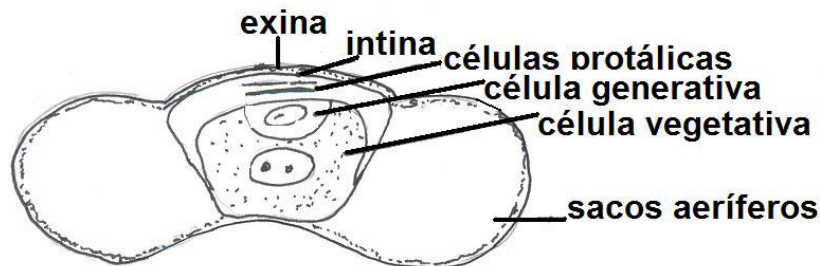
a) *El amento o cono masculino*: consta de un eje en donde nacen las hojas modificadas llamadas microsporofilos, que en el envés o cara abaxial llevan los microsporangios y dentro de estos, por MEIOSIS, se originan las microsporas o granos de polen.

FORMACIÓN DEL GAMETOFITO MASCULINO (microgametogénesis)

Dentro del microsporangio se diferencia una célula $2n$, llamada célula madre de las microsporas, la cual se divide por MEIOSIS y origina cuatro células haploides (n) que constituyen la llamada tétrade de microsporas o granos de polen.



b) La microspora o grano de polen de *Pinus sp.*

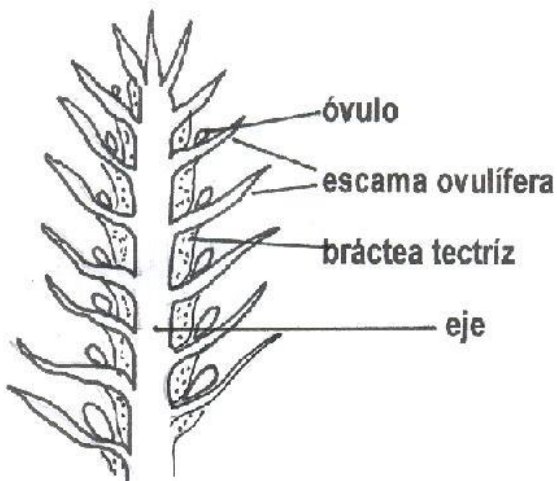


Presenta una cubierta externa, la **exina**, la cual se dilata formando dos **sacos aeríferos** y una cubierta interna, la **intina** y dos células: la **célula vegetativa**, que desarrolla el tubo polínico

cuando el grano de polen germina, y la **célula generativa**, cuya función final es dar origen a las gametas masculinas o anterozoides. La intina rodea a estas dos células y a **dos células protálicas**, estas últimas no funcionales.

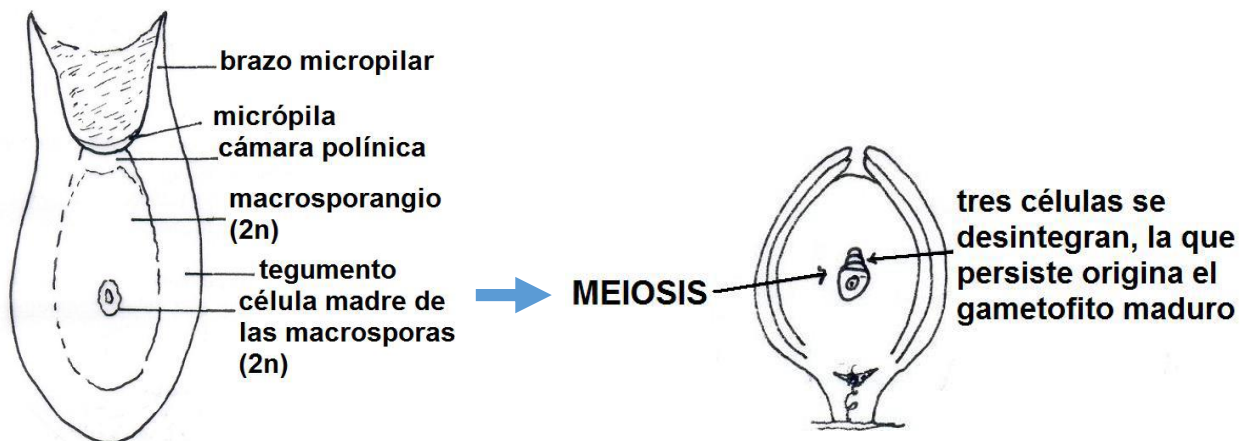
Estructura reproductora femenina

a) **Estróbilo femenino, cono, piña**: consta de un eje de donde nacen las brácteas tectrices, en la axila de cada bráctea tectriz crece una hoja carpelar o escama ovulífera en cuya cara adaxial lleva desde 1 a numerosos óvulos o rudimentos seminales.



FORMACIÓN DEL GAMETOFITO FEMENINO (megagametogénesis)

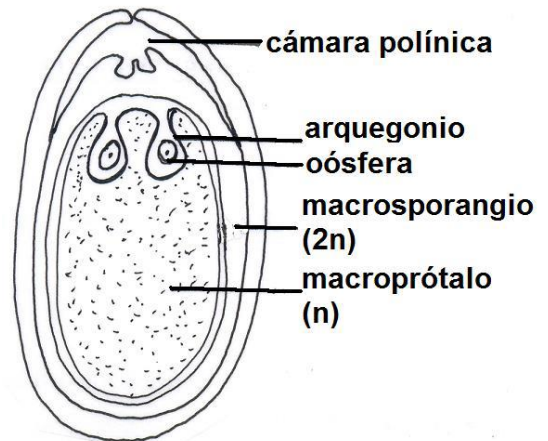
En el macrosporangio (tejido diploide) del óvulo se diferencia una célula diploide ($2n$), llamada célula madre de las megasporas o macrosporas, la cual se divide por **MEIOSIS** y origina cuatro células haploides (n) de las cuales tres se desintegran y solamente persiste una.



La célula haploide que queda se divide **numerosas veces** por Mitosis y forma el macroprótalo multicelular haploide (= saco embrionario multicelular haploide) donde se diferencian los arquegonios y en cada uno se ubica una gameta femenina (oósfera). El macrosporangio queda reducido en posición parietal. **Esto constituye el gametofito femenino maduro.**

b) El óvulo de las Gimnospermas

Consta de un corto **funículo**, una amplia **calaza** a donde llega el haz vascular que puede prolongarse hacia los tegumentos o no. Posee **un solo tegumento** que rodea al tejido fértil llamado **macrosporangio** o nucela (**diploide = 2n**) y se prolonga en dos brazos que encierran entre ellos la **cámara polínica** terminando en una pequeña abertura que es el poro micropilar o **micrópila** hasta donde llega el grano de polen.



Óvulo con el gametofito maduro

2. ESTRUCTURAS REPRODUCTORAS DE ANGIOSPERMAS

Estructura reproductora masculina

a) El androceo

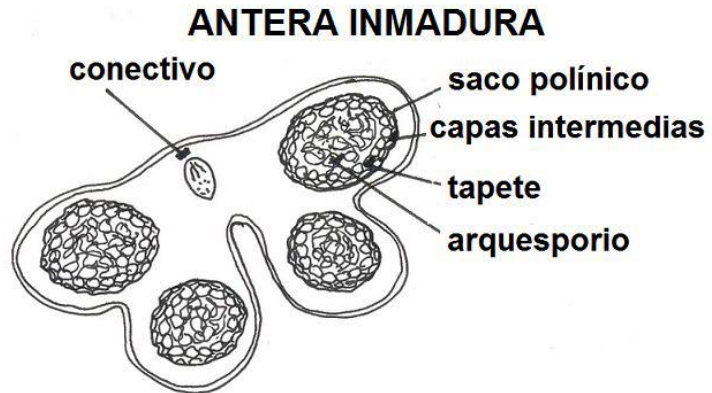
Está formado por estambres. Cada estambre está formado por el filamento estaminal y la antera (equivalente al microsporofilo de gimnospermas). La antera generalmente está formada por dos tecas unidas por el conectivo. Cada teca posee dos sacos polínicos (= microsporangios).

Estructura de la antera: en corte transversal se puede observar una capa de células protectora equivalente a una epidermis que se llama **epitecio**, que puede presentar pelos o estomas. Hacia el interior se encuentran varias capas de **endotecio** que tiene una acción mecánica al producir la apertura de la antera. Las células del endotecio están caracterizadas por presentar engrosamientos en todas las paredes excepto a la pared externa, de manera que cuando los granos de polen alcanzan la madurez y los sacos polínicos se unen entre sí, la antera comienza

a perder agua, es decir que sufre deshidratación, estas células del endotecio se contraen por las paredes sin engrosamientos y tiran hasta que las tecas se abren por el sector más débil, que se llama **estomio** y que según las especies puede ser longitudinal, por poros, etc., liberando los granos de polen los que serán llevados por el viento, los insectos, el agua o los animales hasta el estigma del gineceo.



antera y corte transversal de la misma



ANTERA INMADURA

conectivo

saco polínico

capas intermedias

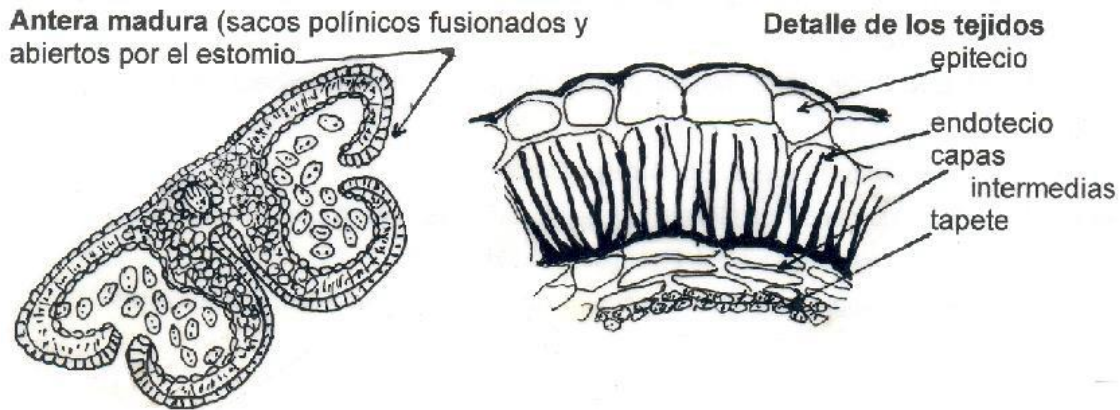
tapete

arquesporio



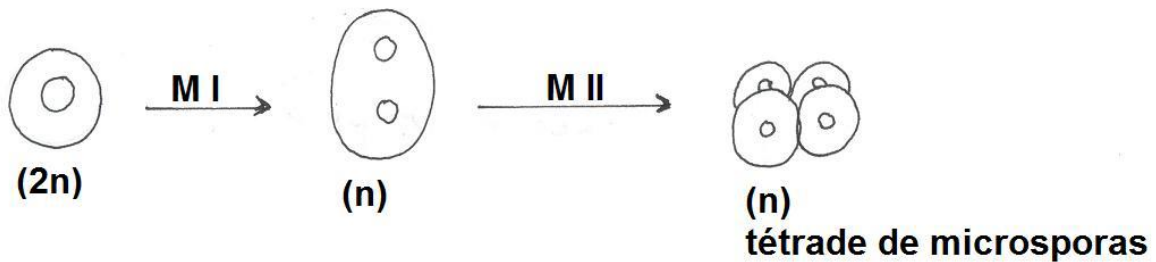
Célula del endotecio mostrando los filetes de engrosamiento

Varias capas de células internas al endotecio rodean cada uno de los sacos polínicos se llaman **capas intermedias**, de las cuales la más interna es el **tapete** que nutre las células madres de los granos de polen que se diferencian en el arquesporio. A la madurez de la antera las capas intermedias son aplastadas y desintegradas, el tapete permanece como tejido secretor o también se desintegra.



FORMACIÓN DEL GAMETOFITO MASCULINO (microgametogénesis)

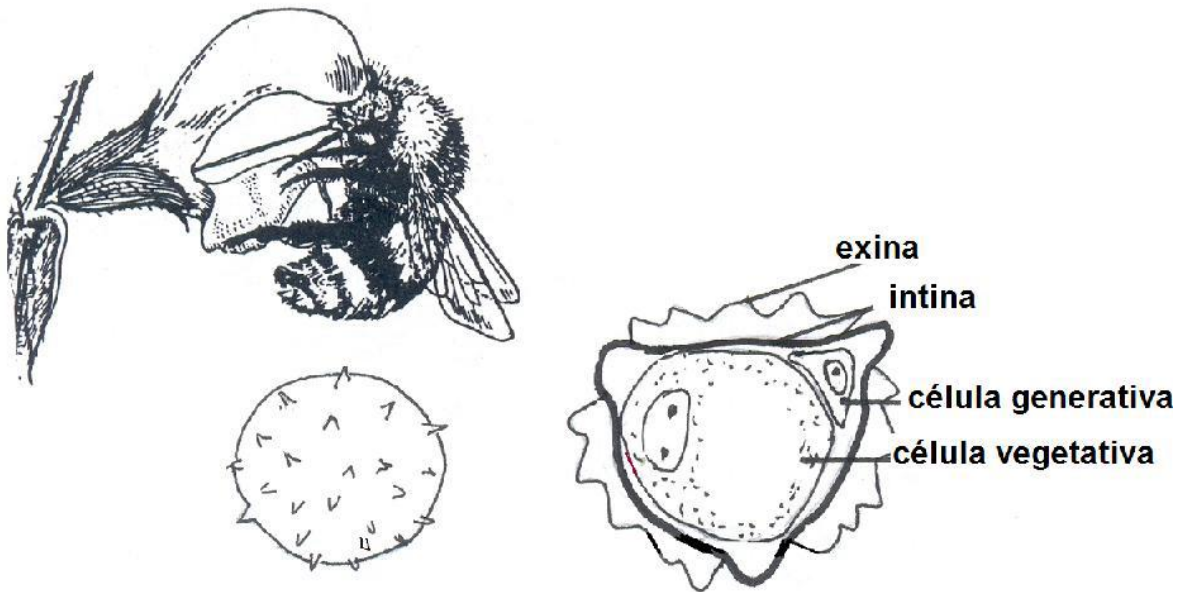
Dentro del microsporangio, a partir del tejido fértil **arquesporio** se diferencian las células madres de los granos de polen que al dividirse por **MEIOSIS** y origina cuatro células haploides (n) que constituyen la llamada tétrade de microsporas o granos de polen.



b) La microspora o grano de polen de las Angiospermas

También presenta dos cubiertas protectoras: la **exina** que puede ser lisa o rugosa y la **intina**, y a diferencia del pino, solamente dos células más: una célula **vegetativa** o del tubo y una célula **generativa**.

La exina lisa es indicadora de polinización anemófila donde el grano de polen es llevado por el viento y una exina rugosa es indicadora de la polinización entomófila donde el polen se adhiere al cuerpo de los insectos y estos lo trasladan hasta el estigma de otras flores.

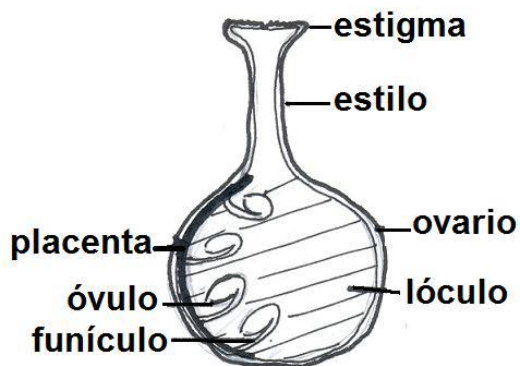


Estructura reproductora femenina

a) *El gineceo*

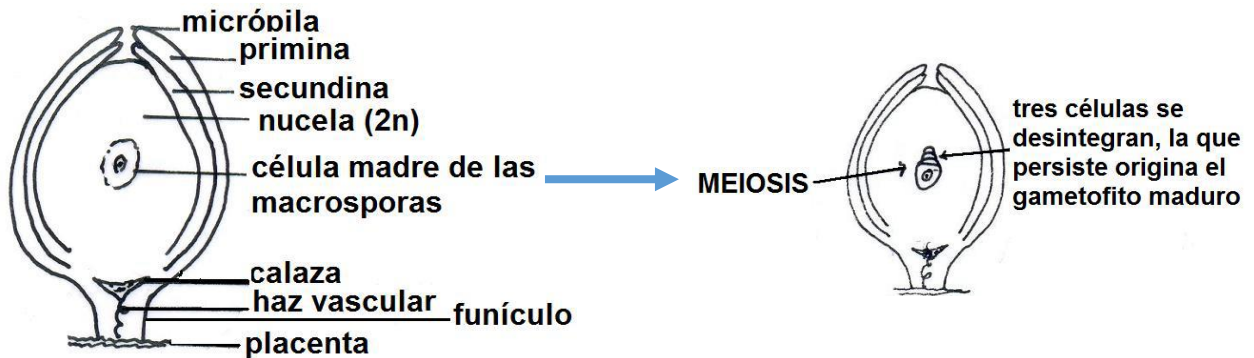
Está formado por hojas carpelares o carpelos que se han cerrado y diferencian en el ovario, el estilo y el estigma.

El **estigma** es la parte receptiva de los granos de polen, el **estilo** es la parte estéril por donde corre el tubo polínico hasta llegar al óvulo y el **ovario** encierra al tejido fértil llamado **placenta** donde nacen el/los **óvulos**.

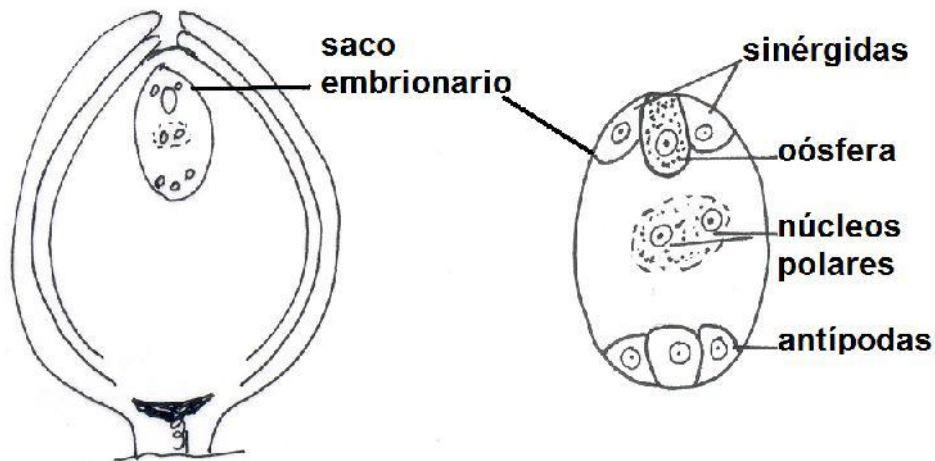


FORMACIÓN DEL GAMETOFITO FEMENINO (megagametogénesis)

En el macrosporangio (tejido diploide) del óvulo se diferencia una célula diploide ($2n$), llamada célula madre de las megasporas o macrosporas, la cual se divide por MEIOSIS y origina cuatro células haploides (n) de las cuales tres se desintegran y solamente persiste una.



La célula haploide que queda se divide **tres veces** por Mitosis y forma el saco embrionario con ocho núcleos haploides que son: la gameta femenina (oófera) dos sinérgidas, dos núcleos polares y tres antípodas que luego se transforman en siete células ya que los núcleos polares forman una célula binucleada. La nucela es abundante y rodea al saco embrionario. Esto constituye el gametofito maduro.



Óvulo con el gametofito maduro

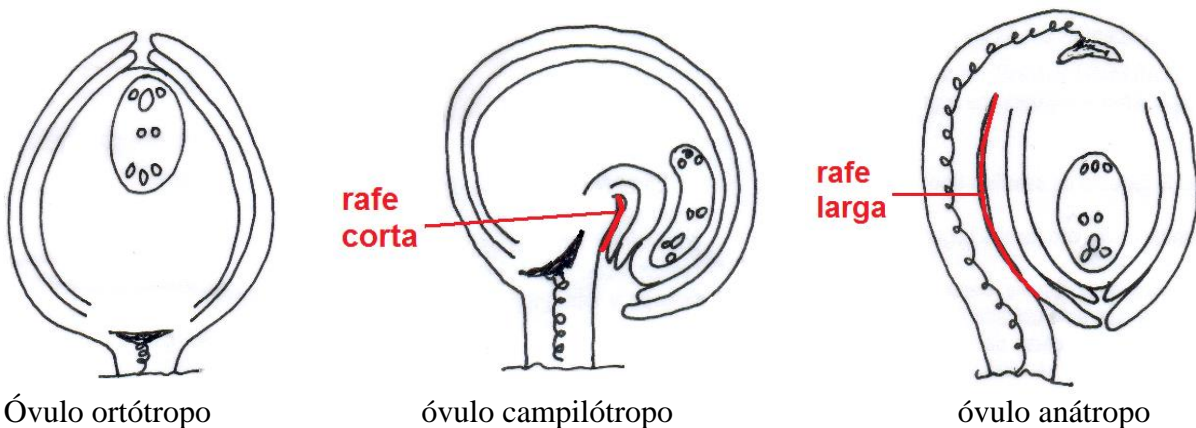
b) El óvulo de las Angiospermas

Consta de un **funículo** de longitud variable, donde corre el haz vascular que llega hasta la **calaza** donde se interrumpe o puede prolongarse hacia los tegumentos. Generalmente posee

dos tegumentos (primina y secundina) que rodean al tejido fértil llamado **nucela (diploide = $2n$)** y dejan una pequeña abertura que es el poro micropilar o **micrópila** hasta donde llega el tubo polínico del grano de polen que quedó atrapado en el estigma del gineceo.

TIPOS DE OVULOS

ORTÓTROPO: es un óvulo recto. **CAMPILÓTROPO**: posee crecimiento desigual de los tegumentos de un lado y se curva la nucela. **ANÁTROPO**: es un óvulo que gira 180° por el alargamiento del funículo.



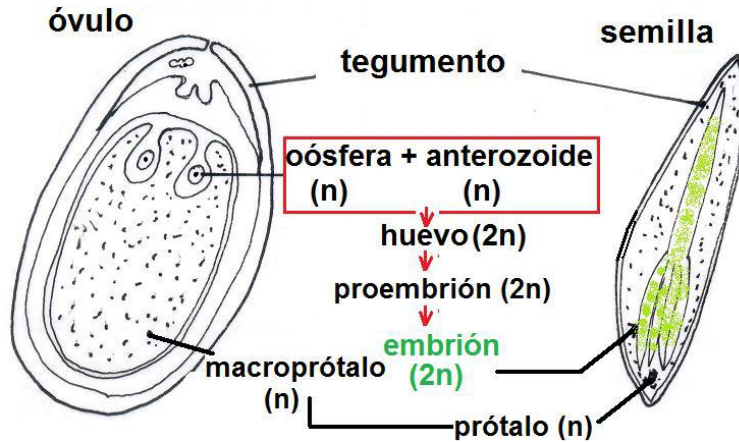
POLINIZACIÓN Y FECUNDACIÓN EN GIMNOSPERMAS (género Pinus)

En las gimnospermas, la polinización, es decir el traslado del polen desde la estructura masculina hasta la estructura femenina, se produce generalmente por el viento, esto se denomina polinización anemófila. De esa forma, la microspora (haploide) llega a la micrópila del óvulo, penetra y permanece en la cámara polínica hasta el momento de su germinación.

Cuando germina la célula vegetativa forma el tubo polínico que penetra en el arqueogonio, el tubo polínico lleva en su extremo el núcleo y la célula generativa se divide por mitosis y forma la célula del pedúnculo y la célula del cuerpo, de las cuales la célula del cuerpo se divide nuevamente por mitosis y forma dos gametas masculinas o anterozoides.

La fecundación en las Gimnospermas es **simple** porque se une solamente un anterozoide (n) con la oósfera (n) y forman el huevo o cigota ($2n$), la cual por mitosis forma el proembrión que formará el embrión con radícula-hipocótilo, plúmula y dos a numerosos cotiledones. Al

mismo tiempo se acumulan las reservas en el macroprótalo (n), estas semillas son por ello **protaladas** y el tegumento del óvulo se transforma en el tegumento de la semilla.

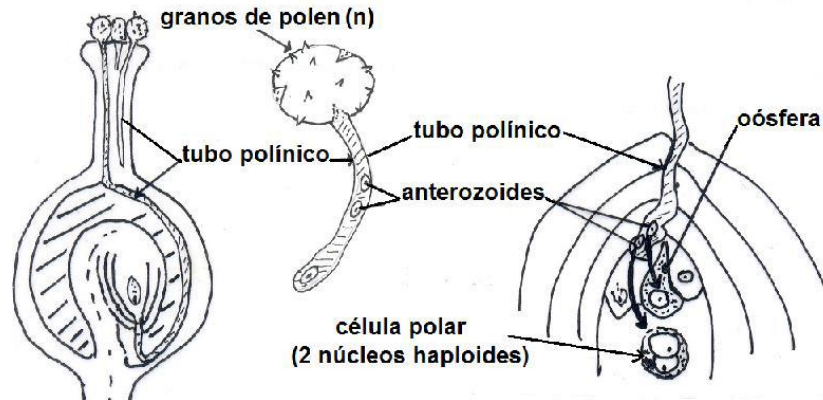


POLINIZACIÓN Y FECUNDACIÓN EN ANGIOSPERMAS

La polinización puede ser anemófila, entomófila, hidrófila, entre otras.

La microspora o grano de polen (haploide) llega al estigma del gineceo, allí germina y la célula vegetativa forma el tubo polínico que crece por el estilo, penetra al ovario y continúa hasta alcanzar la micrópila del óvulo, el tubo polínico lleva en su extremo el núcleo y la célula generativa se divide por mitosis y forma dos gametas masculinas (anterozoides). Al penetrar en el óvulo las sinérgidas ayudan en la apertura del tubo polínico para liberar los anterozoides.

La fecundación en las Angiospermas es **dobles** porque se une un anterozoide (n) con la oósfera (n) y forman el huevo o cigota (2n), la cual por mitosis forma el embrión con radícula-hipocótilo, plúmula y uno o dos cotiledones. Al mismo tiempo el otro anterozoide (n) se une con la célula polar binucleada (n + n) y forma un tejido triploide llamado endosperma.



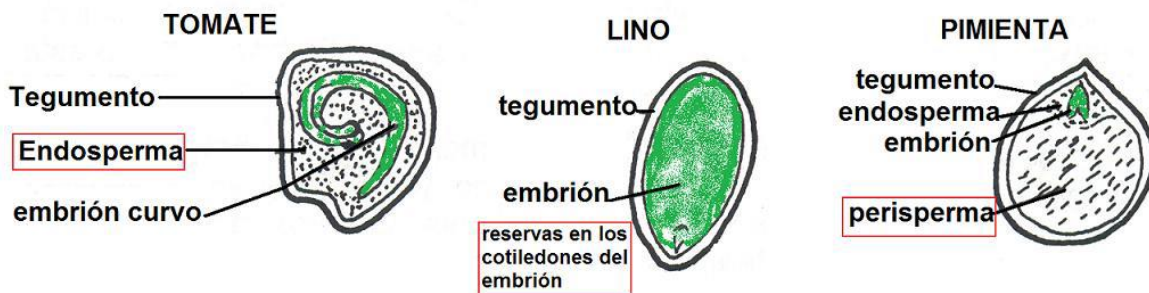
Producida la fecundación el óvulo se transforma en semilla

El o los tegumentos del óvulo forman la cubierta protectora de la semilla, tegumento o episperma. Del huevo por mitosis se forma el embrión y las sustancias de reserva para la germinación se acumulan en distintos tejidos dando origen a distintos tipos de semillas de acuerdo al lugar de acumulación.

Si las reservas se acumulan en el endosperma la semilla es endospermada ($3n$) por ejemplo: el tomate, gramíneas.

Si parte de las reservas o su totalidad pasan a los cotiledones del embrión la semilla es exendospermada o no endospermada ($2n$), por ejemplo lino, girasol.

Puede ocurrir que la mayor parte de las reservas se acumulen en la nucela y se llaman semillas perispermadas ($2n$) por ejemplo: la pimienta.



Poliembrionía: es la existencia de más de un embrión. Esto puede ocurrir en las Gimnospermas por la fecundación de más de una oófera o por división del proembrión en dos, por ejemplo en los pinos. En las Angiospermas pueden formarse embriones a partir de

los tegumentos del óvulo o de la nucela además del embrión normal, por ejemplo en los *Citrus* (naranja, limonero, etc.)

GERMINACIÓN Y PLÁNTULA

Al producirse la germinación, lo primero que desarrolla es la radícula que sale de la semilla en la proximidad de la micrópila. Como tiene geotropismo positivo se dirige hacia la profundidad de la tierra.

La germinación tiene dos formas: epígea e hipógea

Epígea significa que al germinar el hipocótilo se alarga y lleva los cotiledones sobre la tierra. Ejemplos: porotos, cebolla, alfalfa, ricino, palo borracho, jacaranda.

Hipógea significa que los cotiledones permanecen enterrados en la tierra luego de la germinación. Ejemplos: las gramíneas, arvejilla, vicias, robles.

PARTES DE UNA PLÁNTULA

Sistema radical: originado por la radícula del embrión, las raíces embrionales persisten en las Gimnospermas y Angiospermas-Dicotiledóneas (sistema alorrido), mientras que en las Angiospermas-Monocotiledóneas son de corta vida y las reemplazan las raíces adventicias (sistema homorrido).

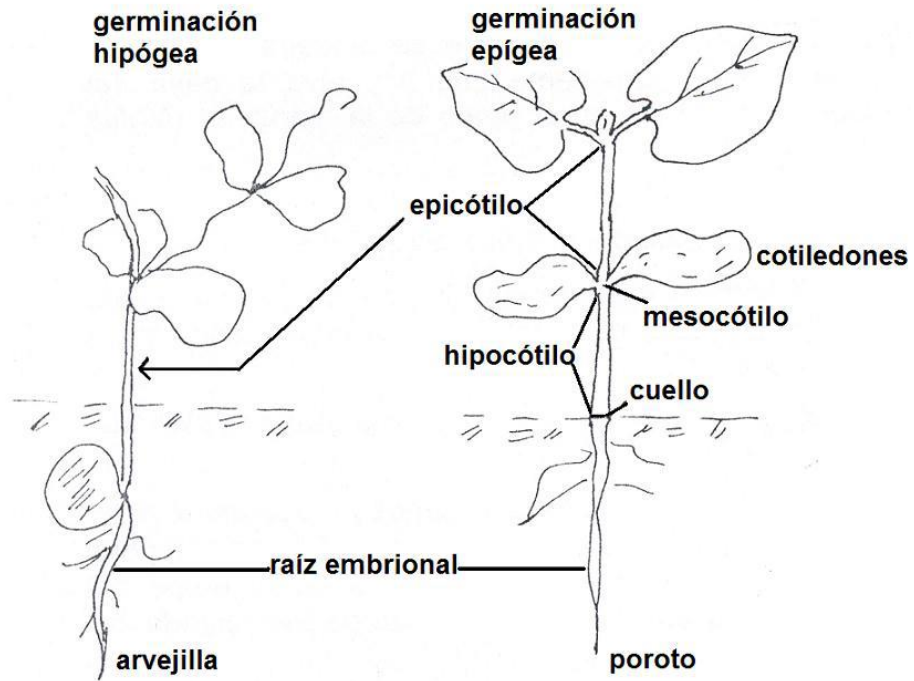
Cuello: sector de unión entre la raíz y el tallo.

Tallo: el primer entrenudo del tallo es el hipocótilo (hipo: debajo; cotilo: cotiledones), seguido del primer nudo que es el mesocótilo (meso: en el medio; cotilo: de los cotiledones) y el segundo entrenudo llamado epicótilo (epi: sobre; cotilo: cotiledones). El epicótilo lleva la yema apical que continuará dando nudos y entrenudos del tallo.

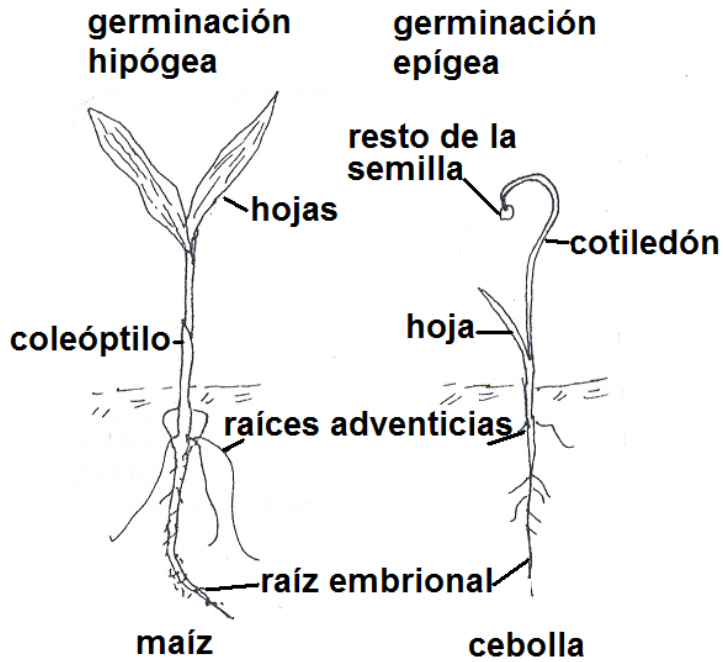
Germinación en las Gramíneas o Poaceae

La radícula desarrolla atravesando la coleoriza, forma el sistema radical embrional de corta vida, que rápidamente es reemplazado por el sistema radical adventicio en cabellera que comienza a aparecer a nivel del mesocótilo. La plúmula crece atravesando el coleóptilo para desplegar las primeras hojas.

DICOTILEDÓNEAS



MONOCOTILEDÓNEAS



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
CURSO DE MORFOLOGÍA VEGETAL

**NO OLVIDES CONSULTAR LA BIBLIOGRAFÍA CITADA y LOS ENLACES Y
ACTIVIDADES EN el sitio**

<http://www.mvegetal.weebly.com>

Dimitri, M.J. y E.N. Orfila. 1985. Tratado de Morfología y Sistemática Vegetal. ACME S.A.,
Bs.A.s

Font Quer, P. 1965. Diccionario de Botánica. Ed. Labor

Harris, JG y MW Harris. 1994. Plant identification terminology. An illustrated glossary.
Spring Lake Publishing, Utah.

Strasburger, E. 1994. Tratado de Botánica. 8va. Edición. Ed. Omega

Valla, JJ. 2004. Botánica. Morfología de las plantas superiores. Hemisferio Sur. Bs. As.