

CATIE  
ME-36

# Biología de semillas forestales



PROSEFOR

**CATIE**

Turrialba, Costa Rica  
Diciembre, 1996



DFSC



Serie Materiales de Enseñanza No. 36

**CATIE**



**PROSEFOR**



# Biología de Semillas Forestales

**Luis Fernando Jara N.**

Adaptación y edición técnica

**Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE**

Programa de Investigaciones  
Proyecto de Semillas Forestales - PROSEFOR  
Danida Forest Seed Centre

Turrialba, Costa Rica

1996

El CATIE es una institución de carácter científico y educacional, cuyo propósito fundamental es la investigación y enseñanza de posgrado en el campo de las ciencias agropecuarias y de los recursos naturales renovables aplicados al trópico americano, particularmente en los países de América Central y del Caribe.

El Proyecto Semillas Forestales - PROSEFOR, es un proyecto de capacitación y asistencia técnica a las instituciones forestales de América Central, Panamá y República Dominicana. Tiene por objetivo general mejorar la calidad física y genética y garantizar el suministro continuo de semillas forestales que se utilizan para los programas de reforestación en la región. Es financiado por el Gobierno de Dinamarca y ejecutado por el CATIE en coordinación con las autoridades forestales de cada país.

Esta publicación es financiada por el Gobierno de Dinamarca, mediante el Ministerio de Relaciones Exteriores y su Programa de Asistencia Técnica, Danida y el PROSEFOR del CATIE.

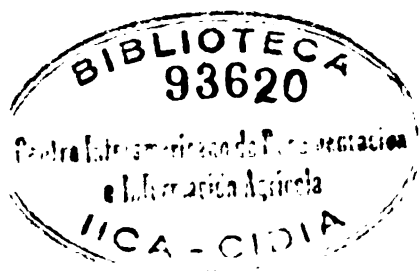
© 1996, Danida Forest Seed Centre, DFSC, Humlebaek, Dinamarca  
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza,  
CATIE, Turrialba, Costa Rica.

634.9562

B615 Biología de semillas forestales / Luis Fernando Jara N., adapt. y ed. tec.  
--Turrialba, C.R. : CATIE. Proyecto de Semillas Forestales :  
Danida Forest Seed Centre, 1966  
32 p. ; 27 cm. -- (Materiales de enseñanza / CATIE; no. 36)

ISBN 9977 - 57-264 - X

1. Semillas forestales - Biología I. Jara N., Luis Fernando, ed.  
II. CATIE III. Danida Forest Seed Centre IV. Título V. Serie



# BIOLOGIA DE SEMILLAS FORESTALES\*

## CONTENIDO

PROLOGO	v
INTRODUCCION A LA PROPAGACION DE PLANTAS	1
Propagación generativa o vegetativa	
Gimnospermas y angiospermas	
MORFOLOGIA FLORAL	1
Flores	
Flores de las angiospermas	
Flores de las gimnospermas	
CICLOS REPRODUCTIVOS	4
Edad de floración	
Condiciones para la formación de flores	
Frecuencia de floración	
Período entre la floración y la producción de semillas	
INDUCCION Y AUMENTO DE LA FLORACION	6
Inducción de la floración	
Aumento de la floración	
CRECIMIENTO, POLINIZACION Y FERTILIZACION	7
La célula de la planta	
Crecimiento de la planta	
Polinización	
Fertilización	
MORFOLOGIA DEL FRUTO Y SEMILLA	9
Frutos	
Semillas	
Condiciones para el desarrollo de los frutos y semillas	
FISIOLOGIA DEL DESARROLLO DE LA SEMILLA	15
La importancia de la fisiología de la semilla	
Desarrollo de la semilla después de la fertilización	
Madurez de la semilla, su ambiente y calidad	
Cambios en la semilla durante la maduración	

---

\* Traducción y adaptación del material compilado por E.B. Lauridsen "Seed Biology". Humlebaek, Denmark. Danida Forest Seed Centre. Lecture Note C-2. 1990. 28p.

<b>FASES DE MADURACION Y DISPERSION DE LA SEMILLA</b>	<b>17</b>
Epocas de fructificación	
Duración del período	
Indicadores de madurez	
Semilla inmadura	
Métodos de dispersión	
Abundancia de frutos	
Calidad de frutos y semillas	
<b>FISIOLOGIA DEL DETERIORO DE LA SEMILLA</b>	<b>19</b>
Perdida de la calidad de la semilla	
<b>FISIOLOGIA DE LA GERMINACION</b>	<b>29</b>
Continuidad del crecimiento	
Definiciones	
Latencia	
Factores de latencia	
Liberación de la latencia	
Germinación y absorción de agua	
La germinación y el estrés por falta de agua	
La germinación y el ambiente	
Control de los procesos de germinación	
Alimentos y otros requisitos para la germinación	
Tipos de germinación	
<b>LITERATURA SELECCIONADA</b>	<b>29</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>31</b>

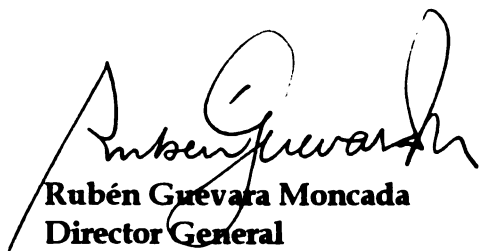
## PROLOGO

El presente material es el resultado de la traducción, adaptación y edición de la nota de clase Biología de las Semillas (Seed Biology) elaborado por E.B. Lauridsen, publicada por el Centro de Semillas Forestales del Danida (Danida Forest Seed Centre - DFSC) de Dinamarca y que a su vez se basó principalmente en "Un Contenido de Biología de Semillas arboreas" (An outline of Tree Seed Biology) por A.M.J. Robbins de Gran Bretaña. Este trabajo forma parte de una serie de materiales de consulta sobre fuentes semilleras, mejoramiento genético forestal y escalamiento de árboles que el Proyecto Semillas Forestales (PROSEFOR) del CATIE conjuntamente con el DFSC, han publicado durante los dos últimos años.

El propósito de esta publicación es que sirva de consulta a profesionales y técnicos cuyas actividades se relacionan con el manejo de semillas forestales, como también a personal docente de centros educativos de diferentes niveles académicos que imparten cursos sobre semillas forestales. Este material podría ser también de mucha utilidad para el personal que labora en los bancos de semillas forestales en los países de la región.

La publicación cubre un amplio espectro de temas desde la regeneración de las plantas, la biología reproductiva, los procesos de fertilización, la fisiología del desarrollo de la semilla, los mecanismos de dispersión de las diásporas, hasta la fisiología de la germinación. Está complementado con ilustraciones y ejemplos de especies forestales tropicales de amplia demanda, para plantaciones en el trópico americano.

El CATIE hace, por este medio, un reconocimiento especial al DFSC por haberle permitido la traducción, edición y difusión de este material, en español, para beneficio del personal profesional y técnico de hispanoamérica.



**Rubén Guevara Moncada**  
**Director General**



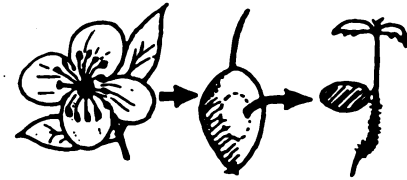


## INTRODUCCION A LA PROPAGACION DE PLANTAS

### Propagación generativa o vegetativa

La formación generativa ocurre cuando las especies arbóreas se reproducen por semillas, donde las características femeninas y masculinas se combinan y se transmiten a las nuevas plantas. Algunas especies se reproducen también mediante la formación de brotes provenientes de raíces, ramas u otros medios, donde las características de la planta madre se transmiten a la nueva planta. Este proceso se conoce como propagación vegetativa.

El desarrollo de este tema se referirá sólomente a la reproducción por medio de semillas.

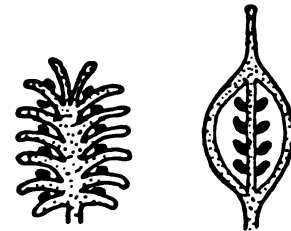


Rebotes



### Gimnospermas y angiospermas

Algunas especies tienen las semillas expuestas en la parte superior de las escamas de los conos, tal es el caso de las gimnospermas, como por ejemplo los pinos, abetos y cipreses. En otras especies las semillas están cubiertas y protegidas dentro de los frutos, como por ejemplo las angiospermas, a las que pertenecen los pastos, palmas, hierbas, arbustos y árboles de hoja ancha.



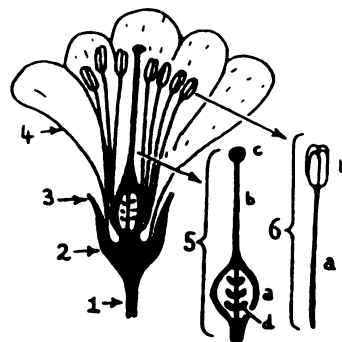
## MORFOLOGIA FLORAL

### Flores

Las semillas se forman en brotes especiales llamados brotes reproductivos o flores. Las flores son conjuntos de hojas modificadas colocadas en forma de un anillo en espiral sobre un eje. Se forman dentro de las yemas vegetativas normales en las axilas de las hojas.

## Flores de las angiospermas

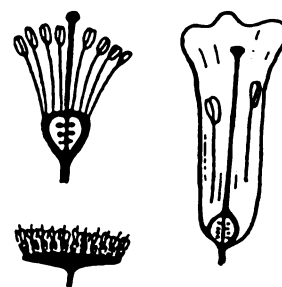
**Composición de las flores** Las flores de las angiospermas se presentan en muchas formas, pero consisten de todas o algunas de las siguientes partes: (1). pecíolo o pedúnculo; (2). base (receptáculo); (3). cáliz (sépalos y brácteas); (4). pétalos; (5). uno o más órganos femeninos (carpelos) constituidos por: (a) un contenedor hueco (el ovario), sobre este (b) una prolongación (el estilo), que termina en (c) una punta pegajosa (el estigma). Los carpelos se pueden adherir para formar un pistilo. Encerrado dentro del ovario están (d) las semillas potenciales; (6). los órganos masculinos (estambres), cada uno formado por: (a) un filamento delgado (filamento) que termina en (b) un grupo de dos o cuatro sacos (anteras) dentro de los cuales se encuentra un polvo amarillo (granos de polen).



A los estambres y carpelos también se les llama micro y mega esporofilos, respectivamente.

En la mayoría de los casos el ovario junto con otras partes de la flor, se desarrolla en un fruto falso o verdadero.

**Arreglo de las partes.** Las partes antes mencionadas están dispuestas de diferente manera, dependiendo de la especie. En ocasiones faltan algunas partes; el receptáculo puede ser pequeño y redondo o largo y en forma de disco; los pétalos pueden ser de cualquier color; el número de pétalos, carpelos, y anteras puede variar sustancialmente; algunas veces las partes pueden estar unidas; el ovario se puede encontrar abajo o en la parte alta de la flor. El arreglo de las partes es fijo para cada especie, y es tan distintiva que es útil para identificar especies.

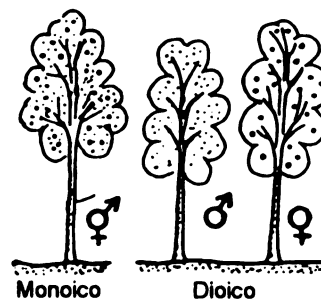


**Flores masculinas y femeninas.** Algunas especies tienen flores que contienen órganos masculinos y femeninos (flores perfectas).

Otras especies tienen flores masculinas y femeninas separadas. Es decir, en las masculinas solo se encuentran estambres y en las femeninas solo carpelos (flores imperfectas).



**Arboles masculinos y femeninos.** Algunas especies tienen flores masculinas y femeninas separadas en el mismo árbol (especies monoicas). Sin embargo, en algunas especies ocurre como en el ser humano, y hay árboles con solo un sexo. El árbol masculino produce solo flores de este sexo y el árbol femenino produce solo flores femeninas. Solo el árbol femenino producirá frutos y semillas (especies dioicas), por ejemplo algunas tunas, Araucarias, Dewsocarpus.



**Grupos de flores.** Las flores pueden desarrollarse individualmente o en grupos (inflorescencia). El tallo principal de un grupo de flores es el pedúnculo. La posición de las flores en el pedúnculo determinará la forma de la inflorescencia, por ejemplo, espiga, sombrilla o cono. Algunas flores no tienen pecíolos (flores sésiles) y están adheridas directamente al pedúnculo o a la rama (p.e. amento). Algunas inflorescencias son muy compactas y parecen una sola flor, pero en realidad consisten de muchas flores pequeñas.



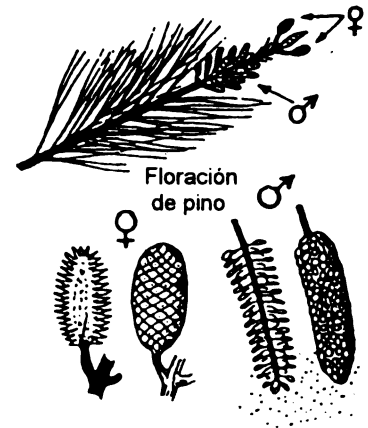
**Posición de las flores.** Las flores o grupos de flores se pueden desarrollar en el extremo de las ramas, o atrás en los brotes laterales o aún sobre las ramas o en el mismo tronco, por ejemplo las tunas. Las flores tienden a ser más prolíficas cuando se dan en la parte más alta del árbol. La posición y agrupamiento de las flores determina el arreglo de los frutos, y por lo tanto la manera más correcta en que estos pueden ser recolectados. Es importante conocer donde se forman las yemas florales, para evitarles daños a la semilla a la hora de las cosechas.



### Flores de las gimnospermas.

Las flores de las gimnospermas también se forman en las axilas de las hojas. Las coníferas tienen flores masculinas y femeninas separadas, las cuales son más simples que las flores de las angiospermas. Las flores masculinas (estrobilo) consisten de un tallo central del cual crecen muchas escamas. Cada escama también llamado

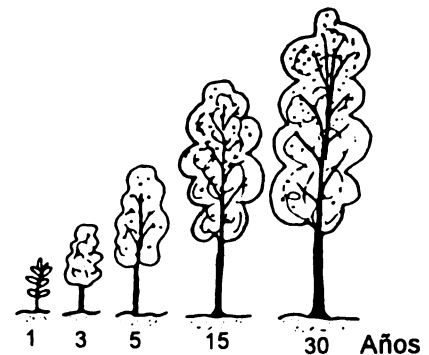
micro-esporófilo, tiene dos sacos polínicos. La flor completa se parece a un amento cuando está maduro. La flor femenina (cono) también consiste de un tallo central, al cual están unidas muchas escamas. Sobre la superficie de cada escama, también llamada mega-esporófilo, hay dos óvulos expuestos, ya que los mega-esporófilos no se enrollan o se unen para formar un ovario como en las angiospermas. Las coníferas pueden ser monoicas (p.e. los pinos), o díicas (p.e. *Juniperus* spp). Generalmente, en las coníferas las flores femeninas tienden a estar localizadas en la parte más alta de las ramas y en los brotes primarios y secundarios vigorosos. Las flores masculinas se localizan generalmente en la parte media y baja de la copa.



## CICLOS REPRODUCTIVOS

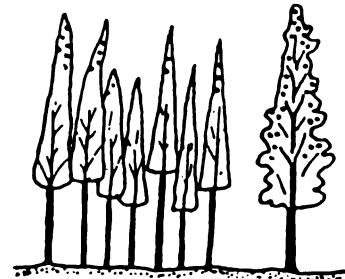
### Edad de floración

La mayoría de los árboles empiezan a producir flores después de la edad de 5 años o más. Algunos pueden producir unas cuantas flores a menor edad. Una vez que empieza la fase de floración, un árbol puede continuar produciendo flores de por vida, pero la cantidad se reduce en sus fases avanzadas de madurez.



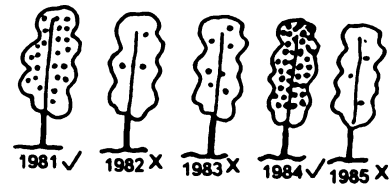
### Condiciones para la formación de flores

Una vez que el árbol está lo suficientemente maduro para producir flores, las condiciones ambientales determinarán si florece o no. En general, los árboles deben tener condiciones adecuadas de humedad, luz, temperatura y nutrientes para una floración regular y abundante. Los árboles que crecen muy juntos producirán menos flores que los que cuentan con mayor distanciamiento. Los árboles que crecen al borde de una plantación, producen más flores que los de adentro.



## Frecuencia de floración

Muchas especies florecen abundantemente todos los años. Sin embargo, algunas especies tienden a florecer profusamente por ciclos, cada 2 a 4 años o más (floración periódica), o puede ser irregular con años buenos o malos impredecibles, por ejemplo el pino. Algunas especies florecen una vez en la vida y luego mueren (algunos palmas y bambú).



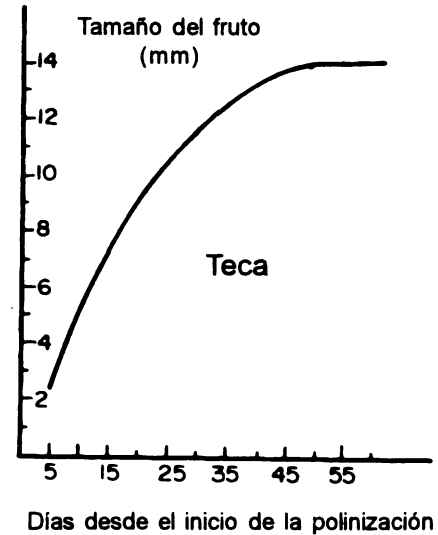
## Período entre la floración y la producción de semillas

El período entre la formación de yemas reproductivas (flores) y la liberación de las semillas maduras, varía desde unos cuantos meses hasta tres años.

Las yemas reproductivas de especies arbóreas de zonas templadas se inician en la estación de crecimiento anterior a la de la producción de las flores y la aparición de los conos. Las yemas permanecen en latencia durante el invierno y el desarrollo se completa durante la segunda, tercera a cuarta estación. Un ciclo de dos años es típico en las especies arbóreas de las angiospermas de zonas templadas, pero también se presenta entre las gimnospermas, como por ejemplo en *Picea glauca*. Aquí, las flores brotan y la polinización seguida inmediatamente por la fertilización, ocurre en la primavera de la segunda estación; el desarrollo de las semillas se completa en el otoño de la misma estación. Muchas especies de pino de zonas templadas tienen un ciclo de tres años, lo cual es también típico para varias especies de *Araucaria*, *Agathis* y *Podocarpus* y algunas especies de madera dura. En estas la polinización ocurre en la segunda estación, pero la fertilización no ocurre hasta la tercer estación, cuando también se completa el desarrollo de la semilla. Algunas especies de la familia de las Cupressaceae tienen un tipo de ciclo diferente de tres años, donde la polinización y fertilización ocurre en la segunda estación y solamente el desarrollo del embrión y de la semilla se completa en la tercera estación.

En muchas especies tropicales de madera dura, las yemas florales se desarrollan en un período corto. Por ejemplo, en *Tectona grandis* las yemas no se ven fácilmente sino hasta un poco antes de aparecer las flores. Una flor abre entre 7 y 9 de la mañana, el polen en las anteras empieza a aparecer entre 9 y 10 y el estigma esta receptivo entre 10 de la mañana hasta alrededor de las 2 de la tarde. Si no se da la polinización, la flor caerá en los próximos días. El desarrollo de los frutos tarda cuatro meses hasta que alcance su tamaño máximo. Para que las semillas maduren, se requiere de 1 a 2 meses más. En *Gmelina arborea* las yemas florales se distinguen 10 días antes de que las flores se abran y los frutos maduros se empiezan a ver alrededor de los dos meses.

Entre los pinos tropicales, el *Pinus caribaea* tiene un ciclo de 18 a 21 meses, dependiendo de la variedad. El *P. kesiya* en el norte de Tailandia, toma un poco más de dos años desde la floración hasta la madurez de la semilla, mientras que el *P. merkusii* necesita solamente 12 meses. Se desconoce el tiempo exacto de la fertilización y el comienzo del desarrollo del embrión. La latitud tiene un efecto en la duración total del ciclo en *P. caribaea*, y posiblemente en otras especies.



## INDUCCION Y AUMENTO DE LA FLORACION

### Inducción de la floración

El tiempo que hay que esperar después del establecimiento de un huerto semillero o rodal hasta que este comience a producir semillas, representa un atraso en el logro de posibles ganancias. Por lo tanto, sería de gran valor poder manipular las condiciones ambientales para inducir la floración y un desarrollo temprano de las semillas. Sin embargo, la información existente no nos permite extraer conclusiones y demuestra que no existe una metodología aplicable a todas las especies. Cada especie requiere combinaciones especiales de tratamientos que dependerán de las condiciones particulares del ambiente y del tiempo de aplicación. Hasta el momento no se ha desarrollado la metodología para la mayoría de las especies. Algunos reguladores específicos del crecimiento (ácidos giberélicos) han mostrado ser efectivos en las gimnospermas pero no en las angiospermas. Plantas en contenedores en combinación con otros tratamientos han mostrado resultados prometedores con gimnospermas

### Aumento de la floración

Por lo general, es difícil establecer los huertos o rodales semilleros en sitios con condiciones apropiadas para la producción de semillas. Por lo tanto, sería de gran utilidad poder manejar las condiciones ambientales para lograr que los árboles produzcan el máximo de semillas. En general, es más fácil aumentar la producción de flores y semillas en árboles maduros que en árboles jóvenes. Muchos tratamientos silviculturales simples o combinaciones de estos pueden aumentar la floración en árboles maduros. Sin embargo, solo existe un efecto a través de los años en donde el

árbol de todas formas florece naturalmente. Algunos de los tratamientos más exitosos son la aplicación de fertilizantes, anillamiento y estrangulación, poda de raíces, trasplante, cambios en el estrés de humedad y en el fotoperíodo (en invernaderos), manipulación de las ramas y el uso de reguladores del crecimiento (hormonas). Para la inducción de la floración, los tratamientos deben ser aplicados apropiadamente y en el tiempo preciso.

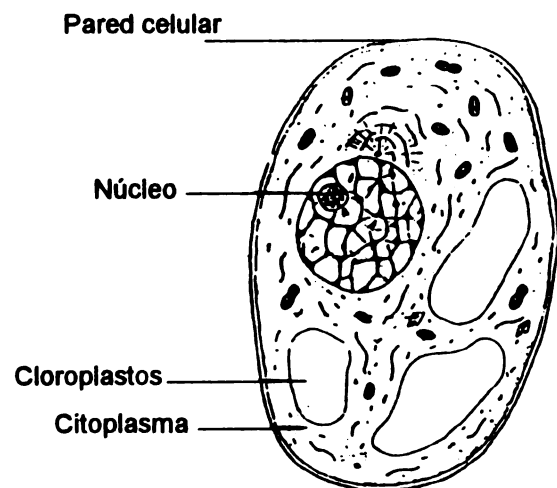
## CRECIMIENTO, POLINIZACION Y FERTILIZACION

### La célula de la planta

Para entender los principios de la propagación generativa se debe observar la célula y sus funciones.

La célula vegetal incluye la pared celular, el citoplasma y el núcleo en donde se encuentran los cromosomas.

La herencia está ligada al núcleo, específicamente a los cromosomas los cuales contienen los genes.

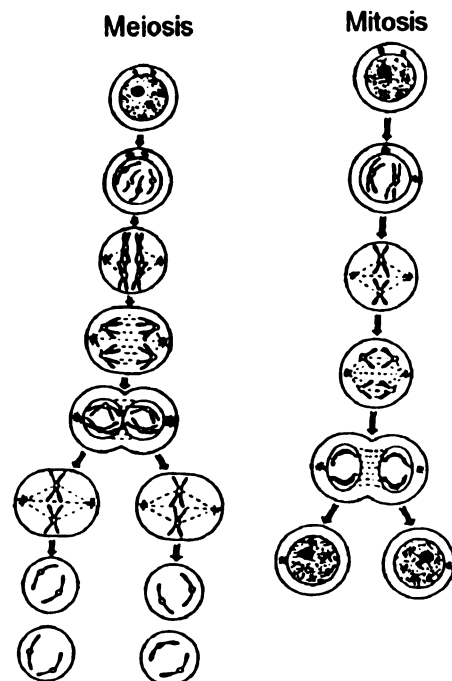


### Crecimiento de la planta

La regeneración y crecimiento de las plantas depende de las divisiones celulares.

En el proceso ordinario de crecimiento vegetativo, se divide primero los cromosomas luego el núcleo y por último la célula completa, en dos células idénticas a la célula original. Este proceso se conoce como **MITOSIS**.

En la propagación sexual, se tiene que combinar una célula masculina y una femenina (gametos). Estos gametos se forman durante el proceso de división celular llamado **MEIOSIS** y tienen solo la mitad del número de cromosomas de una célula corriente. El

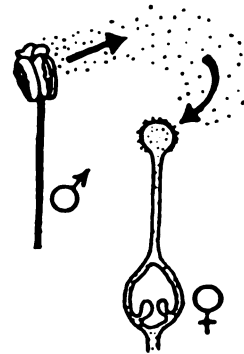


gameto masculino se encuentra en el polen, el cual está localizado en los sacos polínicos del microesporofilo, y el gameto femenino en los óvulos del megasporofilo

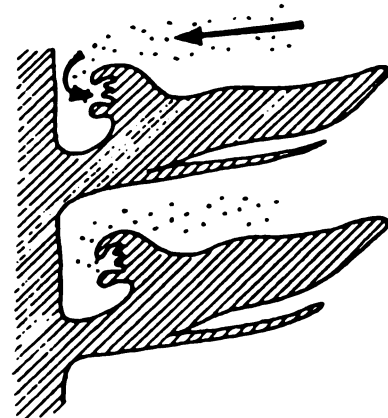
## Polinización

La polinización es la llegada del polen al estigma en el caso de las angiospermas, o al ovario en el caso de las gimnospermas y la germinación del polen y crecimiento del tubo polínico.

Cuando el polen esta maduro es liberado de los sacos polínicos y transportado por el viento u otro agente (por lo general insectos). En las angiospermas, el polen se adhiere a la superficie del estigma, pero en la mayoría de las gimnospermas el polen que llega al ovario cerca de una estructura especial llamada microfilo, será impregnado con una sustancia e introducido al ovario. Si las condiciones son apropiadas, el polen empieza a germinar y el tubo polínico, que es una estructura en forma de raices, crecerá hasta alcanzar la ovocélula.



**Polinización por el viento.** Las flores polinizadas por el viento son inconspicuas ya que no tienen necesidad de atraer animales. El viento simplemente distribuye el polen en el aire y algunos granos pueden alcanzar el estigma u ovarios. Las plantas cuyas flores son polinizadas por este medio, deben producir más polen que las especies polinizadas por insectos, ya que hay mucho desperdicio de polen. Todas las gimnospermas y algunas angiospermas son polinizadas por el viento, como por ejemplo los pastos, *Betula* y *Alnus*.



**Polinización por otros agentes.** Muchas angiospermas son polinizadas por insectos, pero otros animales como los pájaros y los murciélagos son también importantes polinizadores.

En flores polinizadas por insectos u otros animales, los pétalos son generalmente grandes, coloridos y aromáticos. Esto atrae





al insecto a una savia dulce dentro de la flor que le sirve de alimento. Mientras se alimentan entre las flores, los insectos recogen polen de las anteras y lo transfieren al estigma de otra flor al volar entre ellas.

## Fertilización

El proceso de polinización ocurre cuando el tubo polínico alcanza la ovocélula, el gameto masculino se desplaza por el tubo polínico y se une al gameto femenino.

## MORFOLOGIA DEL FRUTO Y SEMILLA

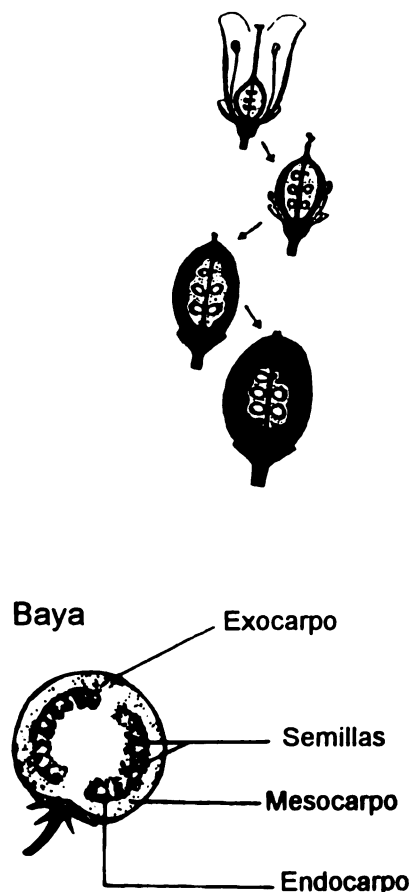
### Frutos

**Definición.** El fruto verdadero es un ovario floral maduro, el cual se ha desarrollado para conservar una o más semillas y toma el nombre de pericarpio. En los frutos falsos, otros componentes florales como el receptáculo forman parte de la cobertura. En este sentido, los conos de las gimnospermas no son frutos verdaderos.

**Frutos de las angiospermas.** Una vez que se ha dado la fertilización en un número suficiente de óvulos, se pueden empezar a desarrollar los frutos y semillas. Los gametos unidos (óvulo fertilizado) crecerán para formar el embrión, mientras que otras partes del óvulo se constituirán en el tejido nutritivo y la cubierta de la semilla. El ovario se desarrollará para formar el fruto que contiene las semillas.

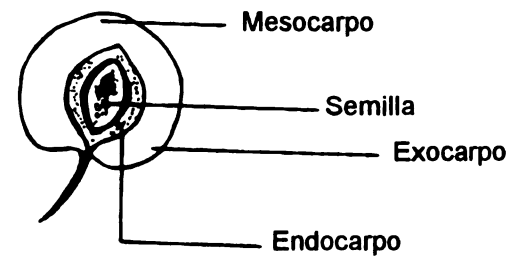
Los frutos de las especies de angiospermas toman diferentes formas y pueden conservar una o muchas semillas. Las siguientes son las principales formas:

- En la **baya**, el pericarpio constituye la mayor parte del fruto el cual alberga una o más semillas (pimienta, naranjas, pepino o tomate). Está formado por un exocarpo, que es una piel fina como en el tomate, o más gruesa como en la naranja; un suculento mesocarpo y un suculento o jugoso endocarpo que rodea las semillas.



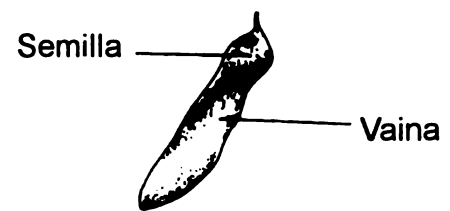
- En la **drupa**, el pericarpo incluye un delgado exocarpo, un jugoso mesocarpo como en *Prunus*, *Gmelina*, o uno seco y esponjoso como en *Tectona* y un endocarpo duro más profundo (piedra). El endocarpo no se puede separar de la cubierta de la semilla. En *Tectona* el exocarpo se separa del resto del fruto. Normalmente solo hay una semilla como en el género *Prunus*, pero pueden haber más como en *Sambucus*, *Gmelina* y *Tectona*.

Drupa

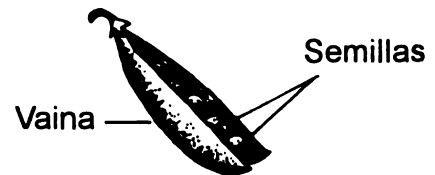


- **Frutos secos que no se abren** (indehiscentes).

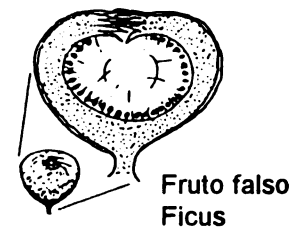
En la nuez el pericarpo junto con la cubierta de la semilla forman una concha dura alrededor del endospermo y del embrión. Unas hojas modificadas (bracteas) normalmente encierran el pericarpo en forma parcial o total. En los aquenios el pericarpo forma una concha dura alrededor de cada semilla, y esta se encuentra adherida de un solo punto a la pared del ovario. Las semillas de la fresa son aquenios. En las sámaras parte del pericarpo toma la forma de una ala.



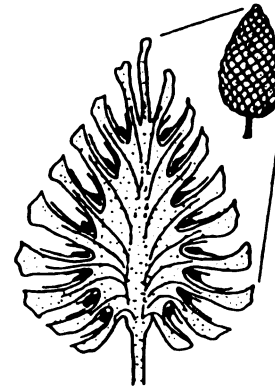
- **Frutos secos que se abren** (dehiscentes). El pericarpio que se forma de uno o más carpelos, se convierte en un recipiente delgado con una o más semillas prendidas de la pared. Cuando está maduro y seco se divide y abre. El folículo se divide y abre por un lado, la vaina por dos lados y la capsula por tres o más.



- **Frutos falsos**. En algunas especies el receptáculo de la flor se ensancha y los pequeños frutos pueden estar dentro o se adhieren a sus paredes exteriores. Las especies de *Rosa* tienen nueces dentro del receptáculo carnoso, y las especies de *Potentilla* (p.e. fresa) tienen aquenios sobre el receptáculo carnoso. Las especies de *Ficus* tienen pequeñas nueces dentro de un segmento carnoso del tallo. En otros géneros, el ovario junto con el receptáculo se ensanchan y forman la mayor parte que encierra las semillas, como la manzana.



**Gimnospermas.** Entre las gimnospermas la mayoría de las especies no forman frutos verdaderos según la definición usada anteriormente para las angiospermas. La mayoría de las coníferas tienen conos con un eje central sobre el cual están dispuestas las escamas leñosas (megaesporofilos). Sobre la superficie superior de las escamas se encuentran dos óvulos. Sin embargo, todos los conos de las coníferas tienen escamas sin óvulos en la base y algunas veces en la punta, en algunos pinos hasta el 90% de las escamas no tienen óvulos. En la familia Pinaceae se forman semillas aladas de las escamas. Sin embargo, en algunas familias las alas se forman de los óvulos. En el género *Juniperus* las escamas de los conos se unen después de la fertilización para formar una parte carnosa que encierra la semilla. Como la escama del cono es similar al carpelo en las angiospermas, se forma un fruto que de hecho es similar en origen y desarrollo a los frutos normales de las angiospermas. En el género *Taxus* una parte del óvulo forma un tejido carnoso que envuelve a casi toda la semilla. Esta estructura es por tanto diferente a los frutos normales de las angiospermas.



## Semillas

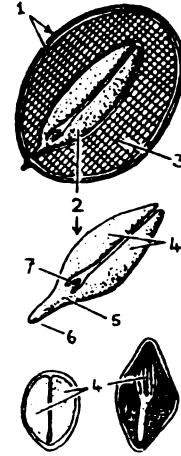
**Definiciones.** El término semilla se usa generalmente con un sentido funcional y significa una unidad de reproducción. Este término incluye tanto a las semillas verdaderas como a los frutos.

Una semilla verdadera es un óvulo fertilizado y maduro con una planta embrionaria. Tiene una cubierta protectora y almacena alimento.

**De los óvulos a las semillas.** Los óvulos se desarrollan y forman la semilla. Existen diferencias fundamentales entre las angiospermas y las gimnospermas en la manera en que se forman las semillas. Estas son de particular importancia para los estudios genéticos.

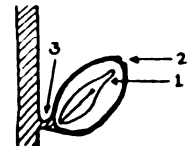
Una diferencia importante para la manipulación de las semillas es el desarrollo del embrión comparado con otras estructuras. En las angiospermas, el ovario es pequeño al momento de la polinización y fertilización. Después de una fertilización exitosa el embrión aún puede abortar, lo que por lo general resulta en detener el desarrollo del fruto. En las gimnospermas, los óvulos al momento de la fertilización son frecuentemente del tamaño de las semillas maduras, por lo tanto, el aborto del embrión no es siempre percibido de inmediato, lo que puede ser importante en la evaluación de las semillas.

**Partes de la semilla.** Las semillas maduras están generalmente formadas por: una cubierta protectora con dos capas, la cubierta externa (1) que tiene diferentes formas (testa) y la interna como de papel (tegumento). Dentro de la semilla estará la planta potencial (embrión) (2) formada por el óvulo fertilizado. En algunas especies de angiospermas el embrión puede ser pequeño y rodeado por un tejido nutritivo (endosperma) (3), o puede que no haya endosperma y en tal caso el embrión llena toda la semilla. En las semillas de las gimnospermas, el tejido nutritivo no se llama endosperma sino gametofito femenino, ya que el origen del tejido es diferente al del endosperma de las angiospermas.

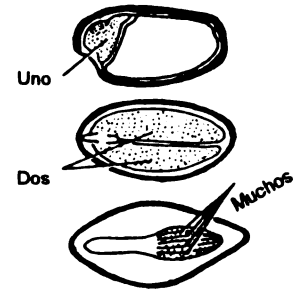


**Partes del embrión.** El embrión como tal consiste de los cotiledones (hojas - semilla) (4), que pueden ser uno, dos o más dependiendo de la división o clase de planta. Los cotiledones están unidos a un tallo corto que tiene dos partes: por arriba de los cotiledones se encuentra el epicótilo (7) que termina en la plúmula o punto de crecimiento de las futuras hojas, y por debajo de los cotiledones el hipocótilo (5) que termina en la radícula (6) (raíz potencial). En las semillas sin endosperma, los cotiledones son grandes y carnosos. El embrión puede ser recto de forma irregular. Todas las partes son por lo general de color blanco o crema, aunque algunos cotiledones son verduzcos.

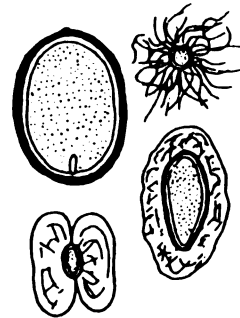
**Orientación de la semilla y del embrión.** La radícula (1) se encuentra al final de la semilla donde está la pequeña abertura microfilo (2), y a través del cual creció el tubo polínico. En las angiospermas, la semilla está unida a las paredes del ovario por un tallo corto (funículo) (3). Este tallo normalmente se une a la semilla cerca del microfilo y deja una cicatriz o protuberancia (hilo) en la semilla cuando esta se desprende. La radícula está por lo tanto cerca del extremo donde la semilla estaba unida al fruto. Sin embargo, en algunas especies el microfilo o radícula se encuentra lejos del tallo. En las nueces la semilla no se puede separar del ovario (pericarpo). En las semillas de las gimnospermas, la testa se separa de la escama en algún momento entre la polinización y la fertilización.



**Los cotiledones.** Los cotiledones funcionan como una reserva de nutrientes en las semillas sin endosperma. Aquí son gruesos y carnosos y constituyen la mayor parte del tejido dentro de la semilla. En semillas con endosperma, los cotiledones son pequeños y delgados y allí se realiza el proceso de fotosíntesis necesario, inmediatamente después de la germinación. En las angiospermas, las monocotiledoneas tienen un solo cotiledón (escutelo), y las dicotiledoneas tienen dos. Entre las gimnospermas, las coníferas tienen generalmente muchos cotiledones.



**La testa.** La testa toma varias formas. En algunas especies es relativamente delgada y fácilmente permeable al agua y al aire. En otras se vuelve muy dura e impermeable. Otras especies también tienen semillas donde la testa forma una capa jugosa y en otras puede formar brotes externos en forma de alas o filamentos en forma de algodón (p.e. *Ceiba*). Estas prolongaciones generalmente ayudan en la dispersión y posicionamiento efectivo de las semillas.



## Condiciones para el desarrollo de los frutos y semillas

**Polinización y fertilización.** En la mayoría de las especies de las angiospermas, los óvulos no polinizados son abortados, y la flor o el fruto en desarrollo se cae. Sin embargo, en algunas especies se pueden desarrollar semillas viables y completas sin necesidad de polinización, o después de la polinización sin que haya fertilización. Esto se conoce como apomixis.

Si el embrión se desarrolla de ovocélulas infértiles, la planta que se desarrolle producirá una progenie infertil. El embrión se puede desarrollar de otras estructuras y la planta resultante generará semillas fértiles.

En *Alnus* y *Betula* los óvulos no fertilizados se desarrollarán hasta formar la cubierta de la semilla completamente, pero no el embrión. El fruto continúa su desarrollo y permanece en el árbol hasta su madurez.

Algunas especies pueden desarrollar frutos sin semilla sin que se produzca la polinización (naranjas, uvas, bananos). Algunas desarrollan frutos después de la polinización pero sin fertilización. Finalmente, el desarrollo del fruto puede continuar después de abortado el embrión.

El desarrollo de semillas viables sin polinización se llama agamospermia.

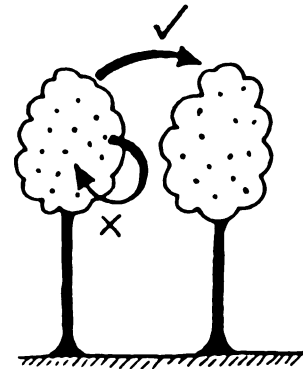
El desarrollo de frutos con semillas viables sin la presencia de polen se llama agamocarpia.

El desarrollo de frutos sin semillas se llama partenocarpia, y puede ser de tres tipos: 1. frutos desarrollados sin polinización, 2. desarrollo de frutos estimulado por la polinización pero sin fertilización, y 3 desarrollo de frutos después de la fertilización pero con el consecuente aborto del embrión.

Entre las gimnospermas, los conos de los *Pinus* abortarán dentro de los 30 días si no se da la polinización. Si más del 20% de los óvulos fértiles permanece sin ser polinizado, el cono podría morir en el transcurso del año. En *Larix* y *Picea* los conos se desarrollan pero se formarán semillas rudimentarias. En la mayoría de las otras coníferas los óvulos y conos se desarrollaran sin polinización y se forman semillas aparentemente normales. No se forman embriones y las semillas están vacías.

### Polinización cruzada y autopolinización

Los óvulos fertilizados con polen de diferentes árboles de la misma especie, generalmente forman semillas más saludables con embriones vigorosos (polinización cruzada). Los óvulos fertilizados con polen del mismo árbol (autopolinización), tienden a producir semillas más débiles y vacías (por factores genéticos). Por lo tanto, las flores en general disponen de los mecanismos de control para evitar la autopolinización. El control puede ser en la forma de químicos, variación en la madurez de partes masculinas y femeninas, formas especiales de la flor, y flores masculinas y femeninas en diferentes árboles (especies dioicas).



## **FISIOLOGIA DEL DESARROLLO DE LA SEMILLA**

### **La importancia de la fisiología de la semilla**

Es indispensable un buen entendimiento de los procesos que ocurren en la semilla para la aplicación de métodos adecuados al momento de la manipulación y ensayo de las semillas y en las actividades de vivero.

### **Desarrollo de la semilla después de la fertilización**

En muchas especies de angiospermas, los cotiledones del embrión se agrandan y se llenan con nutrientes, absorbiendo el endosperma en este proceso. En otras especies los cotiledones no crecen y el endosperma ocupa la mayor parte de la semilla (especies de *Diospyros*).

En las gimnospermas, la ovocélula fertilizada se amplía y junto con otras partes de la semilla se llena gradualmente con reservas alimenticias, principalmente almidones, pero también con grasas y proteínas. El embrión alcanza su máximo tamaño al madurar, en la mayoría de las especies.

Mientras que en las semillas de las angiospermas el embrión puede ser directamente afectado por las condiciones del árbol madre, el embrión en las coníferas se desarrolla independientemente de esas condiciones, ya que la semilla pierde su conexión vascular con la escama del cono después de que esta ha alcanzado su máximo crecimiento.

### **Madurez de la semilla, su ambiente y calidad**

Las condiciones ambientales pueden afectar la cantidad, o la calidad de la semilla en desarrollo con respecto a los valores nutricionales, o al contenido de ciertos elementos como los aceites y grasas. Por ejemplo, las deficiencias en los minerales del suelo, al menos que sean muy severas, van a afectar principalmente la cantidad y solo en una proporción reducida su composición. La variación en la precipitación y contenido de humedad en el suelo va a causar cambios en el contenido de nitrógeno en la semilla. Las variaciones en la precipitación durante el período de maduración de la semilla produce variaciones en su peso. El efecto de la temperatura es más controversial y afecta principalmente la tasa de crecimiento pero también el contenido de aceites en algunas especies.

Cualquier condición ambiental que afecta la acumulación de reservas nutritivas en las semillas puede afectar el vigor en la siguiente generación de plántulas.

Las deficiencias de elementos en el ambiente en que se desarrolla el árbol madre, tales como el manganeso, boro y calcio, afectan directamente a la planta embrionaria. Cuando la cama de germinación es rica en nutrientes no se producen efectos por el contenido de nutrientes, en la semilla. Si el medio de germinación es deficiente, el desarrollo de la plántula va a depender de los nutrientes presentes en la semilla.

El estado de madurez de la semilla al momento de recolección tiene un marcado efecto en su viabilidad. Casi siempre es posible controlar el momento de la recolección y por lo tanto el estado de madurez. Además, se pueden mejorar las deficiencias en la madurez de las semillas mediante una manipulación y almacenamiento apropiados.

### **Cambios en la semilla durante la maduración**

Las semillas de algunas especies se pueden secar sin que pierdan la viabilidad (semillas ortodoxas). Al madurar las semillas pierden humedad hasta llegar a un balance con la humedad del aire. A medida que se secan los cotiledones la tasa de respiración disminuye. Otros procesos también detienen sus funciones y se presenta cierta desorganización en las estructuras celulares, entonces las semillas pueden soportar la desecación y mantener su viabilidad por un tiempo considerable. Es en este momento del desarrollo en que el embrión alcanza su vigor total y capacidad para crecer y convertirse en una planta vigorosa.

Las semillas de algunas especies no se secan al madurar y pierden su viabilidad si esto sucede. Estas se llaman recalcitrantes. Estas semillas se producen en algunas especies de la familia Dipterocarpaceae y algunas especies de mangle, pero también en muchas especies de las angio y gimnospermas. Estas no se pueden conservar por mucho tiempo sin que pierdan parcial o totalmente su capacidad germinativa. Se ha encontrado que algunas especies han sido clasificadas como recalcitrantes porque se ha usado un método de secado inapropiado. Con más cuidado al secarlas, estas semillas que han sido equivocadamente clasificadas, pueden ser de hecho secadas y mantener su viabilidad como las semillas ortodoxas.



## **FASES DE MADURACION Y DISPERSION DE LA SEMILLA**

### **Epocas de fructificación**

Muchas especies tienen frutos que maduran justo antes de las lluvias; de esta manera en cuanto la semilla se dispersa encuentra las condiciones apropiadas para el crecimiento. Otras especies pueden madurar al comienzo de la estación seca, en tal caso, la semilla debe permanecer en latencia hasta que empiecen las lluvias. Algunas especies tienen frutos que maduran durante el monzón. Las especies con frutos secos que se abren, generalmente maduran durante la estación seca.

### **Duración del período**

Los frutos de un mismo árbol maduran con pocas semanas de diferencia entre ellos. Sin embargo, este período de maduración puede ser diferente entre árboles, el cual puede ser de unas pocas semanas a varios meses. Una vez que los frutos maduran, la dispersión de las semillas puede ser rápida o puede que los frutos y semillas permanezcan en el árbol por varios meses. El tiempo y la duración de la maduración de frutos depende de las condiciones climáticas. Los climas más cálidos por lo general aceleran el desarrollo; por lo tanto, los frutos maduran primero a menores altitudes.

### **Indicadores de madurez**

Los frutos secos que no se abren, generalmente están maduros cuando cambian de color verde a café y están a punto de caer. Los frutos secos que se abren, muestran un cambio de color parecido y usualmente están a punto de abrirse. Los frutos carnosos están normalmente maduros cuando la piel cambia de verde a otro color. La semilla interna de todos los frutos está madura generalmente cuando la cubierta se oscurece y el contenido se pone blanco y firme.

### **Semilla inmadura**

No todos los frutos maduros contienen semilla madura. Algunas especies tienen semillas que sólo maduran un tiempo después de que el fruto lo hace.

## Métodos de dispersión

Una vez madura, la semilla se debe dispersar a un lugar apropiado para su crecimiento. Los diferentes tipos de frutos están diseñados para asegurar su dispersión, y actuar de diferentes maneras. La mayoría de los frutos secos tienen semillas que se dispersan mediante una acción mecánica (por ejemplo vainas que se abren repentinamente); por el viento (semillas con alas o borlas vellosas); por los animales (frutos con ganchos, cerdas o espinas que se adhieren a la piel, o bellotas); por el agua (semillas que flotan). La mayoría de los frutos carnosos son comidos por los pájaros o mamíferos y la semilla se dispersa con las heces o arrojada lejos del árbol original durante la alimentación. Conocer los métodos de dispersión, nos puede ayudar en la forma de recolectar, procesar y tratar las semillas.

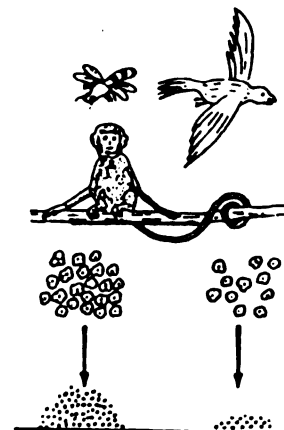


## Abundancia de frutos

Una cosecha de frutos puede ser abundante, si la floración también lo fué, pero generalmente es mucho menor. Aunque las flores pueden comenzar a desarrollar frutos muchos no se desarrollan y se caen por diversos factores. El clima puede ser una razón importante, ya que los frutos en desarrollo requieren mucha agua y si el clima es seco, los frutos se pueden caer; el granizo puede tumbarlos; y las heladas pueden matar los frutos jóvenes. Las plagas de insectos, pájaros y mamíferos se pueden comer los frutos y semillas y reducir la cosecha. Evidentemente el hombre es también un factor perjudicial, por ejemplo, puede destruir los frutos al cortar los árboles para forraje.

## Calidad de frutos y semillas

Por regla general, mientras más abundante sea la cosecha de frutos mejor será la producción de la semilla. Debido a una polinización mejorada se contará con más semilla viable por fruto, menos semillas vanas y proporcionalmente menor daño por plagas. Por lo tanto es mejor siempre concentrar la recolección en buenos cultivos, para que la semilla sea mejor y más barata.



## **FISIOLOGIA DEL DETERIORO DE LA SEMILLA**

### **Pérdida de la calidad de la semilla**

La semilla pierde su capacidad gérminativa después de períodos cortos o largos, dependiendo de la especie. La semilla alcanza su máxima calidad cuando está madura, después comienza a disminuir su calidad.

Las llamadas verdaderas semillas **recalcitrantes** tienen una vida corta y solo se pueden almacenar si hay un contenido de humedad relativamente alto; sin embargo, la semilla de algunas especies nunca se puede almacenar. Es además característico que estas semillas tengan a la cosecha, un contenido de humedad más alto que las semillas ortodoxas, que puede ser de 40% a 60% comparado con un 9% a 25%, respectivamente. También se mueren si su contenido de humedad es inferior al 20%. Las semillas de algunas especies de mangle germinan mientras están en el árbol.

Las semillas **ortodoxas** también se deterioran, pero a una tasa inferior que las semillas recalcitrantes. Algunos procesos se mantienen en las semillas aun con un contenido de humedad del 8% o menor. Los procesos son muy lentos en la ausencia de agua. Los cambios en las reservas de alimento almacenado parecen no afectar la viabilidad o vigor de la semilla. A pesar de que las reservas de alimentos en las semillas almacenadas no sufren grandes cambios, ésta no permanece viable por siempre y se deteriora por alguna otra razón. La tasa de deterioro depende de la especie, raza, procedencia, las condiciones reinantes durante el desarrollo de la semilla, de los métodos de cosecha y procesamiento, y las condiciones de almacenamiento. Durante un período largo de almacenamiento, además de cualquier pérdida de viabilidad, se puede dar cambios en la estructura genética, lo que podría ser serio por posibles efectos en las futuras generaciones, producto de esta semilla.

## **FISIOLOGIA DE LA GERMINACION**

### **Continuidad del crecimiento**

Las semillas son un medio para asegurar la continuidad de la existencia, la adaptación y evolución de las especies. Por lo tanto, la germinación y el crecimiento de semillas embrionarias son procesos fundamentalmente importantes.

Al alcanzar la madurez, las semillas prácticamente han detenido su proceso de crecimiento, el cual se reanuda solo bajo ciertas condiciones.

Las semillas no necesariamente germinan de inmediato ya que pueden permanecer en latencia, o tener baja viabilidad o las condiciones para la germinación no son las apropiadas. Es difícil distinguir cual de estos factores es el que está afectando en ese momento.

## **Definiciones**

En las semillas que no están en latencia, la **germinación** es el proceso que termina con la emergencia y crecimiento de la raíz embrionaria (radícula). Una vez que empieza este proceso no se puede revertir; por ejemplo la semilla no puede entrar de nuevo en estado de latencia.

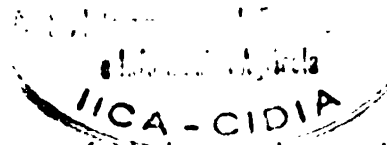
La **latencia** es una condición que evita que las semillas viables germinen aunque estén en condiciones apropiadas de humedad, temperatura, gases e iluminación. Esta condición es reversible sometiendo la semilla a tratamientos con factores no esenciales para la germinación. Los procesos metabólicos ocurren en semillas en latencia, pero a una tasa muy lenta.

Para una población o lote de semillas, la **viabilidad** es la fracción de semillas que están vivas, por ejemplo, aquellas en las que se dan los procesos metabólicos, aunque en forma lenta. Algunas veces la viabilidad se emplea como sinónimo de vigor para indicar la habilidad del embrión para germinar y continuar el desarrollo, pero esto se debe evitar.

El **vigor** está relacionado con el rango de condiciones ambientales bajo las cuales germinaría una semilla que no está en latencia. Una semilla con poco vigor germinaría y la plántula se podría establecer solamente dentro de un rango reducido de condiciones ambientales o bajo condiciones especiales favorables. Esto puede ser un rango limitado de temperaturas o de luz total. También se puede referir al medio de germinación. Una semilla puede germinar bien, pero carecer de fuerza suficiente para penetrar en el suelo o a través de capas duras, o en el caso de que la radícula emerja hacia arriba y no tenga la capacidad para crecer dentro del suelo. Algunas veces la latencia es considerada como poco vigor. Una semilla de mucho vigor germinará en un amplio rango de condiciones y en las situaciones más desfavorables.

## **Latencia**

**Comienzo y persistencia de la latencia.** La intensidad de la latencia en la semilla varía no solo entre especies, sino también entre árboles de la misma especie. Algunas veces es causada por las condiciones ambientales prevalecientes durante el desarrollo de la semilla. Por ejemplo, árboles que crecen a mayor altitud y a temperaturas más bajas pueden mostrar latencia, mientras que árboles de la



misma especie pero que crecen en zonas más bajas no la manifiestan. Un manejo inapropiado puede hacer que entre en este estado. Ciertas especies tienen semillas que germinan inmediatamente después de estar totalmente desarrolladas y maduras. Sin embargo, entran en latencia al estar en contacto con el oxígeno y condiciones más secas, ya que desarrollan una cubierta dura que evita la entrada de agua y por consiguiente la germinación (p.e. la semilla de varias especies de leguminosas). Si las semillas se secan al vacío o en una atmósfera con nitrógeno, la cubierta permanece verde y permeable al agua y germinarán inmediatamente.

La latencia probablemente evolucionó en respuesta a condiciones ambientales variables después de la maduración y como un mecanismo de asegurar la más alta probabilidad de germinación y sobrevivencia exitosa de la semilla y de la plántula. El efecto está en que todas las semillas que caen de una planta, no germinan de inmediato aunque estén maduras, sino en un período más largo, incluso de años.

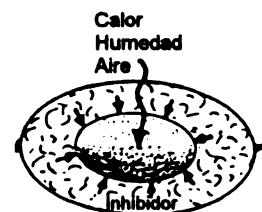
La latencia no es un estado permanente. Una semilla puede estar en este estado, salir y volver a entrar en latencia varias veces, pero tarde o temprano tiene que parar para hacerse efectiva.

## Factores de latencia

**Semillas con cubierta dura.** Muchas especies tienen semillas con cubierta dura e impermeables al agua. Sin embargo, después de permanecer suficiente tiempo en el suelo con temperaturas cálidas, humedad y la acción de organismos del suelo, la cubierta se hace permeable y el agua penetra y se inicia la germinación. Estas semillas son típicas en las leguminosas. La cubierta dura asegura que germine cuando hayan comenzado completamente las lluvias, y no después de una lluvia ocasional en el período seco.



**Inhibidores químicos.** Algunas especies tienen químicos en las partes del fruto o la cubierta de la semilla que previenen el inicio de la germinación, a pesar de contar con las condiciones básicas. Los químicos aseguran que la semilla germine sólo cuando las condiciones sean apropiadas para el crecimiento de la plántula.

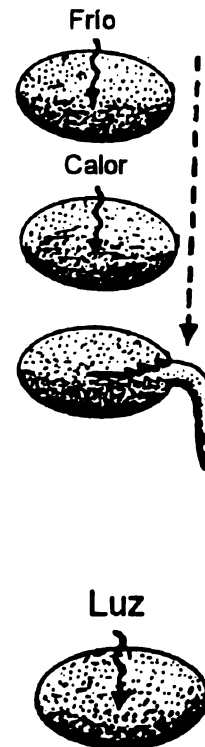


BIOLOGIA

2011

Por ejemplo, en algunas especies de zonas secas estas sustancias sirven como indicador de la presencia de humedad en el suelo y deben ser removidas antes de que la germinación pueda empezar. Son removidos o destruidos de diferentes maneras: pudrición del fruto carnoso; lavado por la lluvia; pasando a través del intestino de un animal; o siendo calentada por el sol o por fuego.

**Embriones inmaduros.** Algunas especies tienen semillas con embriones inmaduros al momento de la dispersión. En la mayoría de los casos, estas semillas deben pasar por un período frío y húmedo, antes de que el embrión madure. Una vez que ha pasado un período frío suficientemente largo, la semilla podrá germinar al llegar el período caliente. De esta manera, se evita que la semilla germine en un corto período caliente durante el invierno. Algunas especies requieren de una secuencia de temperaturas calientes y frías para germinar. Otras simplemente necesitan que la semilla se seque por un período suficientemente largo para que se madure el embrión.



**Otras causas.** La luz es importante a veces para activar la germinación, especialmente en semillas pequeñas. En la naturaleza, esto probablemente asegura que la semilla solo germine cuando hay suficiente luz para mantener el crecimiento. Esto es típico en especies pioneras del bosque lluvioso.

### **Liberación de la latencia**

Los procesos de germinación no se pueden iniciar y continuar en semillas que están en latencia, por lo tanto se debe primero romper este estado.

**Latencia exógena.** La escarificación de la cubierta impenetrable de una semilla se puede hacer en forma mecánica eliminando una pequeña porción de la cubierta con cuchilla u otro instrumento con filo, raspando la superficie, o aplicando químicos como por ejemplo sumergiéndola en ácido sulfúrico o en agua caliente.

En la latencia producida por químicos presentes en la cubierta de la semilla, los factores inhibidores pueden ser removidos colocando la semilla bajo suficiente agua corriente. El agua debe ser cambiada con frecuencia para asegurarse que no aumente la concentración de inhibidores, o también se pueden agregar agentes neutralizantes (Willan, 1992).

**Latencia endógena.** Con respecto a la latencia endógena o del embrión, es importante verificar que la semilla este madura y el embrión apropiadamente desarrollado antes de intentar romper la latencia.

Los siguientes factores, solos o en combinación, pueden ser efectivos en remover la latencia del embrión: iluminación, temperatura y envejecimiento.

**Liberación de la latencia por medio de la luz.** La luz tiene un efecto importante sobre la latencia de la semilla de algunas especies, tales como las pioneras del bosque húmedo, mientras que la semilla de otras especies aparentemente no son afectadas por la luz tales como las del bosque húmedo maduro. La intensidad y tipo de luz que llega a la semilla sobre la superficie o bajo el suelo determinará el grado de germinación. La luz es generalmente efectiva sólo cuando la semilla ha sido embebida (hidratada). Como una excepción, la latencia en la semilla seca de varias especies de pinos se puede romper por la luz. Las semillas que no estén en latencia pueden entonces ser hidratadas y germinadas en la oscuridad.

El efecto de la luz a menudo interactúa intensamente con el efecto de la temperatura. Hay semillas que en la ausencia de luz están en latencia dentro de un amplio rango de temperaturas, por ejemplo las semillas del tabaco. Cuando la irradiación con luz rompe la latencia, la germinación es entonces, influenciada por la temperatura. También, en interacción con la temperatura, la luz influye en las variaciones estacionales del rompimiento de la latencia.

Al estudiar las condiciones naturales bajo las cuales se desarrolla y termina la latencia y bajo las cuales ocurre la germinación, puede ayudar a determinar el manejo de una clase específica de semilla. Además de la humedad y la temperatura, la luz podría afectar la germinación. La intensidad y tipo de luz depende de la densidad y tipo de vegetación que da sombra al suelo y del tipo y profundidad del mantillo y suelo que cubre la semilla.

**Liberación de la latencia por medio de la temperatura.** El control de la latencia por la temperatura puede ocurrir tanto en semillas hidratadas como secas. En las semillas hidratadas la latencia se puede romper: i) alternando la temperatura, ii) a temperaturas bajas, o iii) a temperaturas altas.

Alternar la temperatura es muy complejo y posee 9 factores: i) el valor de la baja temperatura: ii) el valor de la temperatura alta, iii) la diferencia entre los dos valores, iv) la duración de la temperatura baja, v) la duración de la temperatura alta, vi) el grado de calentamiento, vii) el grado de enfriamiento, viii) el número de ciclos, y ix) el tiempo después de la hidratación para iniciar los tratamientos.

El tratamiento de **baja temperatura** (0-15 °C), conocido como **estratificación fría**, es efectivo en romper la latencia, pero es más relevante en las especies de climas donde los inviernos helados previenen el establecimiento y crecimiento de las plántulas. Este tratamiento tiene dos condiciones que son: el nivel óptimo de temperatura y el tiempo de exposición. Parece que la estratificación afecta el balance de las sustancias de crecimiento. Se ha encontrado que la aplicación de hormonas, como el ácido giberélico en algunos casos puede sustituir el tratamiento de estratificación.

El tratamiento de **temperaturas altas** es relevante para las especies de climas donde el período helado no apropiado para el crecimiento de las plantas, se alterna con períodos cálidos. La semilla de ciertas especies como las del *Fraxinus*, requieren primero de un tratamiento caliente seguido por una estratificación fría, ambos por períodos prolongados. Los embriones inmaduros de estas especies se desarrollan y maduran durante el tratamiento caliente.

En las semillas de algunas especies del desierto tropical, las altas temperaturas han sido efectivas en romper la latencia. La germinación se ha estimulado en semillas almacenadas a 50°C, mientras que a 20°C requieren varios meses antes de su germinación normal.

**Envejecimiento.** Para la mayoría de especies con semillas ortodoxas, hay una constante disminución del estado de latencia con el tiempo, fenómeno llamado postmaduración y que se encuentra solamente en las semillas secas. Este fenómeno ocurre tanto en su estado natural como en almacenamiento.

La postmaduración elimina total o parcialmente la latencia en un lote de semilla, o puede que no requiera de otros tratamientos como el enfriamiento. Por lo tanto, conocer cómo ha sido el manejo y almacenamiento de lotes de semilla es importante para saber su período de latencia.

El proceso de postmaduración se aceleran considerablemente con las altas temperaturas, y se aumenta aun más en una atmósfera rica en oxígeno.

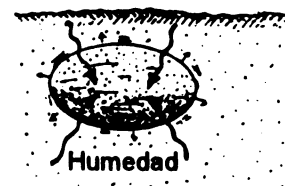
**Interacción de factores que afectan la liberación de la latencia.** La latencia puede acabar por el efecto de uno de los factores anteriormente mencionados, o por una combinación de ellos; un factor puede aumentar el efecto de otro. Por ejemplo, en la planta de tabaco, la latencia se puede romper por la luz o alternando la temperatura. Muchas especies leñosas pueden necesitar estratificación antes de que se vuelvan sensibles a la luz, o a la alternación de temperaturas. Esto se aplica a una población de semillas pero los requerimientos pueden variar entre semillas de un mismo lote.



## Germinación y absorción de agua

**Absorción inicial de agua.** El primer paso en la germinación es la provisión del agua necesaria para humedecer las enzimas y estructuras de las semillas secas (imbibición).

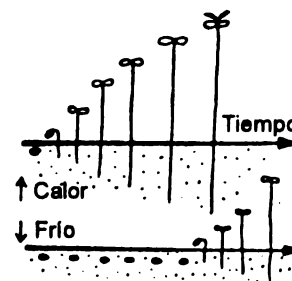
La cantidad de agua ingerida durante la imbibición depende de la naturaleza de la semilla; esta es relativamente poca y puede que no exceda 2 a 3 veces el peso seco de la semilla. Muchos tipos de semillas aumentan en tamaño, algunas veces duplicándolo.



La absorción de agua durante la imbibición está acompañada de la liberación de grandes cantidades de gas además de dióxido de carbono. También existe una fuga de cantidades sustanciales de solutos, por ejemplo azúcares y varios ácidos orgánicos. Esta fuga es mayor en semillas con testa dañada que en semilla intacta. La fuga se suspende después de un corto período, en pocos minutos o unas cuantas horas como máximo en semillas vivas y saludables, probablemente debido a la reparación de membranas dañadas. La fuga continúa en semillas muertas o no saludables. En las semillas que no se secan durante la maduración no se producen fugas. Si las semillas imbibidas se secan, pierden solutos de nuevo cuando se vuelven a imbibir. Las sustancias perdidas forman la base para el crecimiento activo de hongos, como el damping-off. Las semillas que exudan más solutos son más susceptibles al damping-off que las que exudan poco.

Los esfuerzos para remover la cubierta impuesta (latencia física) al producir fisuras en la testa hace que el agua entre demasiado rápido causándole un daño irreparable a las membranas de la semilla. Esto puede resultar en un crecimiento retrasado de la plántula. Sin embargo, parece que el atraso no es permanente.

El régimen de temperatura durante la imbibición puede ser importante para las especies tropicales. La imbibición a bajas temperaturas parece producir daño en las membranas de algunos tipos de semilla. Esto causa un aumento en la fuga de solutos y también un atraso del crecimiento. Este efecto es contrario en muchas especies de zonas templadas que requieren de una estratificación a temperaturas bajas (3 a 15°C) antes de que se inicie la germinación.



**Después de la imbibición.** Después de la imbibición sigue una segunda fase donde el metabolismo en el embrión ocurre a una tasa superior tan pronto como las enzimas necesarias son humedecidas. En esta etapa la absorción de agua se disminuye significativamente.

Luego continua una tercera fase con la expansión de las células de la radícula pero sin que haya aun, división celular típica. Durante esta fase se aumenta la absorción de agua.

**Condiciones para la absorción de agua.** La absorción de agua del medio que rodea a la semilla hacia adentro y entre esta, depende de las características de la semilla y del medio de germinación. Las características del agua presente en el medio de germinación incluye la concentración de solutos en el suelo, la habilidad de este para permitir el flujo de agua y su dureza.

Los factores más importantes parecen ser el flujo y el contacto de la semilla con el suelo. El contenido de solutos parece ser importante solo en los suelos salinos. El contacto de la semilla con éste depende no solo de su estructura, sino del tamaño, forma y naturaleza de la cubierta de la semilla. Un buen contacto es más importante donde el suelo no está saturado de agua. La absorción de agua es mayor en suelos y en medios saturados de agua. Se ha intentado mejorar el contacto de la semilla con el suelo cubriéndola con materiales que absorben la humedad y luego la liberan, llamados mucílagos. Un problema relacionado con esto es que el mucílago puede impedir el intercambio de gases necesarios para que la germinación continúe.

La absorción de agua también depende de la relación entre la evaporación de la semilla a la atmósfera y con la tasa de flujo de agua en el suelo. Si la evaporación es mayor que el flujo de agua, la semilla se secará.

## **La germinación y el estrés por falta de agua**

El agua es generalmente un factor limitante durante la germinación. Hay una gran diferencia entre especies y procedencias en la respuesta a las condiciones de sequía. El vigor inicial de un lote de semilla es también importante, los lotes con poco vigor sufriran más daño que los más vigorosos. La habilidad para germinar en condiciones secas es una ventaja en la competencia entre especies.

El secado de semillas que germinan donde las células comienzan a crecer, pero aun no se han dividido, parece no tener un efecto negativo permanente. Los procesos metabólicos iniciados durante la imbibición solamente se disminuyen o se detienen al secarse las semillas, pero vuelven a continuarse cuando se rehidratan. De hecho el secado de semillas puede ser una ventaja, por ejemplo en condiciones de sequía, ya

que se ha avanzado en el proceso de germinación y se puede completar más rápidamente que en semillas en condiciones secas y que no han sido embebidas. Por lo tanto, humedecer la semilla por períodos cortos se puede utilizar para el establecimiento de plántulas. El proceso se utiliza para adelantar la semilla.

Las semillas avanzadas germinan primero y más rápido y resultan en plántulas más uniformes. Una forma especial de avanzar la semilla es el llamado preparación u osmopreparación, donde se les permite ser imbibidas en soluciones de cierto potencial osmótico. Las soluciones pueden ser sales inorgánicas, azúcares, o el más comúnmente usado glycol-polyethylene. La capacidad osmótica se ajusta de tal manera que las semillas continúen los varios procesos metabólicos hasta poco antes de la propia emergencia de la radícula. Luego se seca la superficie de la semilla. Cuando se siembran y hay agua, la radícula emerge rápidamente. La capacidad osmótica de la solución y el tiempo de imbibición la solución, así como la temperatura varía mucho entre especies y procedencias.

Cuando las células en la radícula comienzan a dividirse, la semilla se vuelve cada vez más sensible a la sequía. En semillas germinadas que han sido desecadas y luego rehidratadas se pierden varias sustancias, y hay una correlación negativa entre el grado de pérdida de las sustancias con la tasa de crecimiento del embrión. La pérdida de vigor solamente ocurre si la desecación desciende a cierto contenido de humedad. De nuevo el nivel del contenido de humedad difiere entre especies. Por debajo del nivel crítico de humedad, el daño al embrión/plántula puede ser irreparable.

### **La germinación y el ambiente**

La germinación como tal, comienza y progresa en la semilla que no está en latencia cuando el embrión ha sido humedecido, siempre que haya suficiente agua y oxígeno, y las condiciones de temperatura sean satisfactorias. Para ciertas especies se requiere de suficiente luz del día, superior a la necesaria para romper la latencia, como en las especies pioneras del bosque lluvioso. Si algunos de los factores no están en cantidades suficientes, la germinación se detiene y la semilla se vuelve quiescente, o se induce una segunda latencia. En el caso de severo estrés por deficiencia de agua, el embrión se puede desecar y morir.

La composición química del suelo o medio, no afecta el proceso de germinación, aunque sí puede afectar el desarrollo de la plántula. Una excepción es en suelos muy ácidos, alcalinos o salinos, donde la germinación por lo general se inhibe.

### **Control de los procesos de germinación**

El conocimiento de los mecanismos de control que actúan durante la germinación es todavía incompleto para las semillas de especies dicotiledoneas. Por otro lado,

existe buen conocimiento de las especies de cereales. Aquí el embrión produce hormonas (giberelinas), que también estimulan la producción de enzimas movilizadoras de alimentos y que pueden actuar sobre las reservas nutritivas. La producción de la hormona empieza solamente cuando el embrión tiene suficiente humedad.

### **Alimentos y otros requerimientos para la germinación**

El crecimiento de las semillas durante la fase de imbibición se debe a su potencial osmótico y no requiere consumir sus propias reservas de alimentos.

Sin embargo, tan pronto como el embrión comienza a crecer se requiere de energía. Inicialmente esta energía la provee la misma semilla, la cual obtiene en el proceso de respiración, durante el cual se consume la reserva de alimentos. La respiración puede ocurrir sin o con limitados suministros de oxígeno, pero este se requiere para obtener un mayor aprovechamiento de los alimentos. La semilla de ciertas plantas acuáticas y del arroz pueden germinar con baja concentración de oxígeno. En muchas semillas terrestres se da un gran aumento en el consumo de oxígeno un poco después de la hidratación. Una disminución de la germinación durante esta etapa se puede deber a una deficiencia de oxígeno. Por lo tanto, las semillas no necesitan de ningún suministro externo de alimentos aparte de agua y oxígeno para comenzar la germinación.

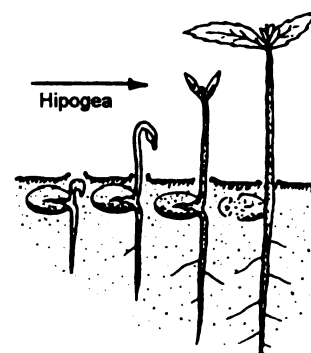
Para muchas especies, las reservas alimenticias se pueden agotar después de 7 días, y cualquier desarrollo posterior de la plántula, dependerá de la fotosíntesis. Durante la movilización de estas reservas, los productos resultantes se trasladan rápidamente entre las partes en crecimiento del embrión y allí se usa en la generación de enzimas y tejido. En la mayoría de las semillas con generación endosperma, gran parte de las reservas de alimento provienen de este. En muchos casos, un embrión que ha sido cortado puede germinar sin las reservas de nutrientes del endosperma, pero su desarrollo posterior requiere inicio temprano del proceso de fotosíntesis.

### **Tipos de germinación**

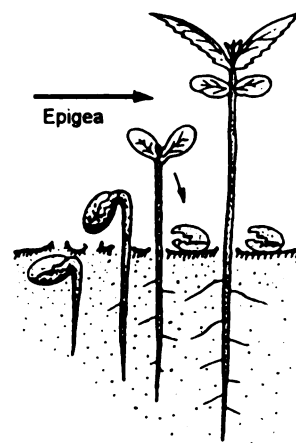
**Crecimiento de la radícula.** Al iniciar la germinación, el embrión y el resto de la semilla empiezan a ampliarse. La cubierta de la semilla empieza a dividirse desde un punto cercano a la radícula.

La radícula emergerá y se doblará hacia abajo en respuesta a la luz y a la gravedad. Si el ambiente es adecuado, la radícula se establecerá con las funciones de anclar la planta y absorber agua y nutrientes. El crecimiento posterior puede seguir cualquiera de las formas descritas a continuación.

**Germinación hipogea.** En la mayoría de las especies, los cotiledones permanecen sobre o bajo el suelo. El punto de crecimiento (epicótilo) que está sobre los cotiledones comienza a crecer rápidamente formando un brote que termina en hojas rudimentarias (plúmula). La plúmula se dobla hacia atrás mientras que el brote sale del suelo, pero eventualmente se vuelve hacia la luz, y forma las primeras hojas de la plántula. Durante este período, los nutrientes de los cotiledones son absorbidos hasta secarse. Luego la plántula se nutre por sí sola mediante la raíz y las hojas verdes con capacidad de fotosíntesis.



**Germinación epigea.** En otras especies, el hipocótilo comienza a crecer rápidamente una vez que la radícula está suficientemente desarrollada. Esto generalmente hace que brote un arco fuera del suelo. El hipocótilo se hace más fuerte y los cotiledones se expanden, se vuelven verdes y comienzan a funcionar como hojas. Durante este tiempo la cubierta de la semilla se cae. Poco después el epicótilo comienza a crecer y la plúmula se desarrollará para producir las primeras hojas verdaderas. Si la semilla tiene un endosperma, este es absorbido por los cotiledones durante el crecimiento inicial.

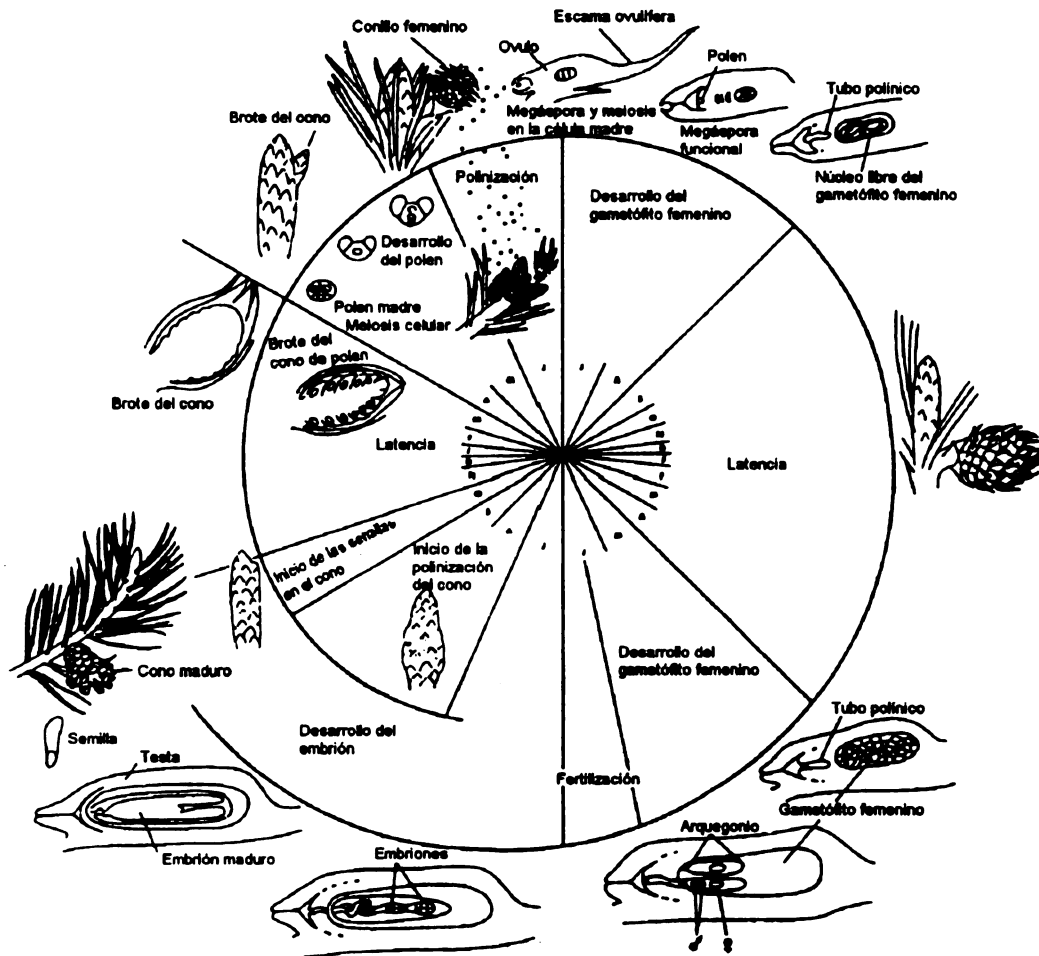


## LITERATURA SELECCIONADA

- Bewley, J.D.; Black, M.** 1982. *Physiology and biochemistry of seeds.* Heidelberg. Springer - Verlag, Berling.
- Chin, H.F.; Hor, Y.L.; Mohd Lassim, M.D.** 1984. Identification of recalcitrant seeds. *Seed Sci. & Technol.*, 12(2).
- Danida Forest Seed Centre.** 1989. *Planning seed collections.* Humlebaek, Denmark. Comp. by Willan, R.L. Lecture notes C-10, 19p.

- Danida Forest Seed Centre.** 1992. Seed pretreatment. Humlebaek, Denmark. Comp. by Stubsgaard, F.; Baadsgaard, J. Lecture notes C-3, 19p.
- Kozlowski, T.T.** 1972. Seed Biology. New York, Academic Press.
- Matthews, J.D.** 1963. Factors affecting the production of seed by forest trees. For. Abstr. Leading Article Ser. No. 32. For. Abstr. Vol. 24/1.
- Owens, J.N.; Molder, M.** 1984. The reproductive cycle of lodgepole pine (*Pinus contorta*). BC. Min. Forest Inf. Serv. Br., Victoria.
- Owens, J.N.; Blake, M.D.** 1985. Forest tree seed production. Information report PL-X-53. Petawawa National Forestry Institute, Canada.
- Robbins, A.M.J.** 1986. An outline of tree seed biology. Tech. Leaflet no. 5, HMG/N/EEC/ODA National. Tree Seed Project, Kathmandu, Nepal.
- Roberts, E.H.** 1972. Viability of seeds. N.Y., Syracuse University Press.
- Schopmeyer, C.S.** 1974. Seeds of woody plants in the United States. Washington D.C., USDA. Agric. Handbook no. 450.
- Sugden, A.** 1984. Longman illustrated dictionary of botany. London, England. Longman group,
- Vazques-Yanes, C.; Smith H.** 1982. Phytochrome control of seed germination in the tropical rain forest pioneer trees *Cecropia obtusifolia* and *Piper auritum* and its ecological significance. The new phytologist, 92: 477-485.
- Wang, B.S.P.; Pitel, J.A.; Webb, D.P.** 1982. Environmental and genetic factors affecting tree and shrub seeds. *In* Advances in research and technology of seeds, Part 7. Wageningen, Centre for Agric. Publ. and Docum.

## ANEXO

Ciclo Reproductivo del *Pinus contorta*









**Danida Forest Seed Centre, DFSC**  
**Krogerupvej 21, DK-3050 Humlebaek, Dinamarca**  
**Tel. + 4549190500 Fax + 45 19 16 02 58**  
**e-mail: [dfscdk@kpost4.tele.dk](mailto:dfscdk@kpost4.tele.dk)**

**Proyecto Semillas Forestales - PROSEFOR**  
**7170-137, CATIE, Turrialba, Costa Rica**  
**Tel. + (506) 556 1933 Fax + (506) 556 7766**