

# I. Floración, polinización y maduración de semilla

## A. Introducción

El conocimiento de la biología de las semillas de una especie de árbol es fundamental para la producción exitosa y manejo de las semillas. Debe conocerse el ciclo de vida sexual para planificar la mejora genética, la producción, la recopilación, el acondicionamiento, el almacenamiento y la siembra de semillas.

## B. Objetivos

1. Definir los términos comunes que se usan para describir los ciclos de vida de las plantas.
2. Describir el ciclo sexual general, la estructura de las flores, la estructura de las semillas y el origen del fruto de las gimnospermas.
3. Describir el ciclo sexual general, la estructura de las flores, la estructura de las semillas y el origen del fruto de las angiospermas.
4. Identificar las principales diferencias entre los ciclos sexuales de las angiospermas y las gimnospermas.
5. Describir el desarrollo general de los frutos y las semillas.

## C. Puntos clave

Los siguientes puntos son fundamentales para entender la floración, la polinización y la maduración de la semilla:

1. El ciclo de vida de una planta es el tiempo necesario para crecer de cigoto a producir semilla; existen dos ciclos de desarrollo – un ciclo sexual y un ciclo asexual.
2. El conocimiento del ciclo sexual es necesario para:
  - a. Programas de cultivo de árboles.
  - b. Manejo del huerto de semillas.
  - c. Recolección de semilla.
  - d. Acondicionamiento y almacenamiento de semilla.
  - e. Manejo de viveros.
3. El ciclo de vida de las gimnospermas sigue este orden:
  - a. Semilla desnuda.
  - b. Plántula.
  - c. Esporófito maduro.
  - d. Estróbilo (coníferas).
  - e. Células madre de la microspora y megaspora.
  - f. Meiosis.
  - g. Microspora y megaspora.
  - h. Gametofitos masculinos y femeninos.
  - i. Polinización.
  - j. Fecundación singular.
  - k. Cigoto y tejido gametofítico.

l. Embrión.

m. Semilla desnuda en la escama del cono femenino.

4. El ciclo de vida de las angiospermas difiere del ciclo de vida de las gimnospermas en que tiene:
  - a. Semillas encerradas en el fruto (ovario maduro).
  - b. Flores verdaderas en lugar de estróbilo.
  - c. Doble fecundación.
  - d. Tejido triploide en el endospermo en lugar de tejido gametofítico femenino haploide en la semilla.

## D. Definición de términos

1. **Ciclo de vida**—tiempo necesario para desarrollarse de cigoto a producir semilla.
2. **Genotipo**—la composición genética del núcleo de una célula o de un individuo.
3. **Fenotipo**—la apariencia externa de un organismo.
4. **Mitosis**—división celular nuclear (y por lo general celular) en la que los cromosomas se duplican y dividen para producir dos núcleos idénticos al original.
5. **Meiosis**—dos divisiones nucleares consecutivas en la que el número de cromosomas se divide en dos y se produce la segregación genética.
6. **Polinización**—transferencia de granos de polen de la antera o el microsporofilo al estigma u óvulo.
7. **Fecundación**—fusión del esperma y el óvulo (también del esperma con dos núcleos polares para formar el endospermo en las angiospermas).
8. **Diploide (2N)**—dos juegos de cromosomas en el núcleo de la célula.
9. **Haploide (1N)**—un juego de cromosomas en el núcleo de la célula.
10. **Fruto**—ovario maduro, a veces incluye parte de las flores que rodea a la semilla en las angiospermas.
11. **Semilla**—óvulo maduro que consiste de un embrión, su almacén de suministro de alimento y recubrimiento protector.
12. **Semilla madura**—semilla que puede desprenderse de un árbol sin dañar su germinación.

## E. Ciclos de vida

Es necesario un entendimiento del ciclo de vida debido a que

1. Los sistemas sexuales y asexuales reproducen poblaciones genéticamente diferentes.
2. El conocimiento del ciclo asexual es necesario antes de que pueda utilizarse la propagación vegetativa.

3. El conocimiento del ciclo sexual es necesario para cultivar árboles y producir semillas exitosamente.

F. Ciclos sexuales de las angiospermas y gimnospermas

1. **Todas las especies de árboles** son plantas productoras de semillas (división, Espermatofita) y pertenecen a la clase Gymnospermae o Angiospermae.

- a. Las semillas de las angiospermas están encerradas en carpelos.
- b. Las semillas de las gimnospermas se dan desnudas en las escamas.
- c. Las semillas de las gimnospermas no coníferas se generan individualmente.

2. **Ciclo de vida de las gimnospermas** (Fig. 1).

- a. Esprofitita.

- (1) Brote reproductivo corto.
- (2) Cono estaminado (masculino).
- (3) Cono ovulado (femenino).
- (4) Las gimnospermas pueden ser monoicas (estróbilo femenino y masculino en el mismo árbol) o dioicas (el árbol sólo tiene un sexo).

c. Meiosis y gametofitos.

d. Fecundación.

e. Semilla (Fig. 2).

- (1) Se desarrolla a partir del óvulo fecundado.
- (2) Contiene un embrión (cotiledón, hipocótilo, radícula), cubierta, tejido de almacenamiento y en ocasiones, una ala.

f. Fruto.

- (1) Las gimnospermas no tienen “frutos”

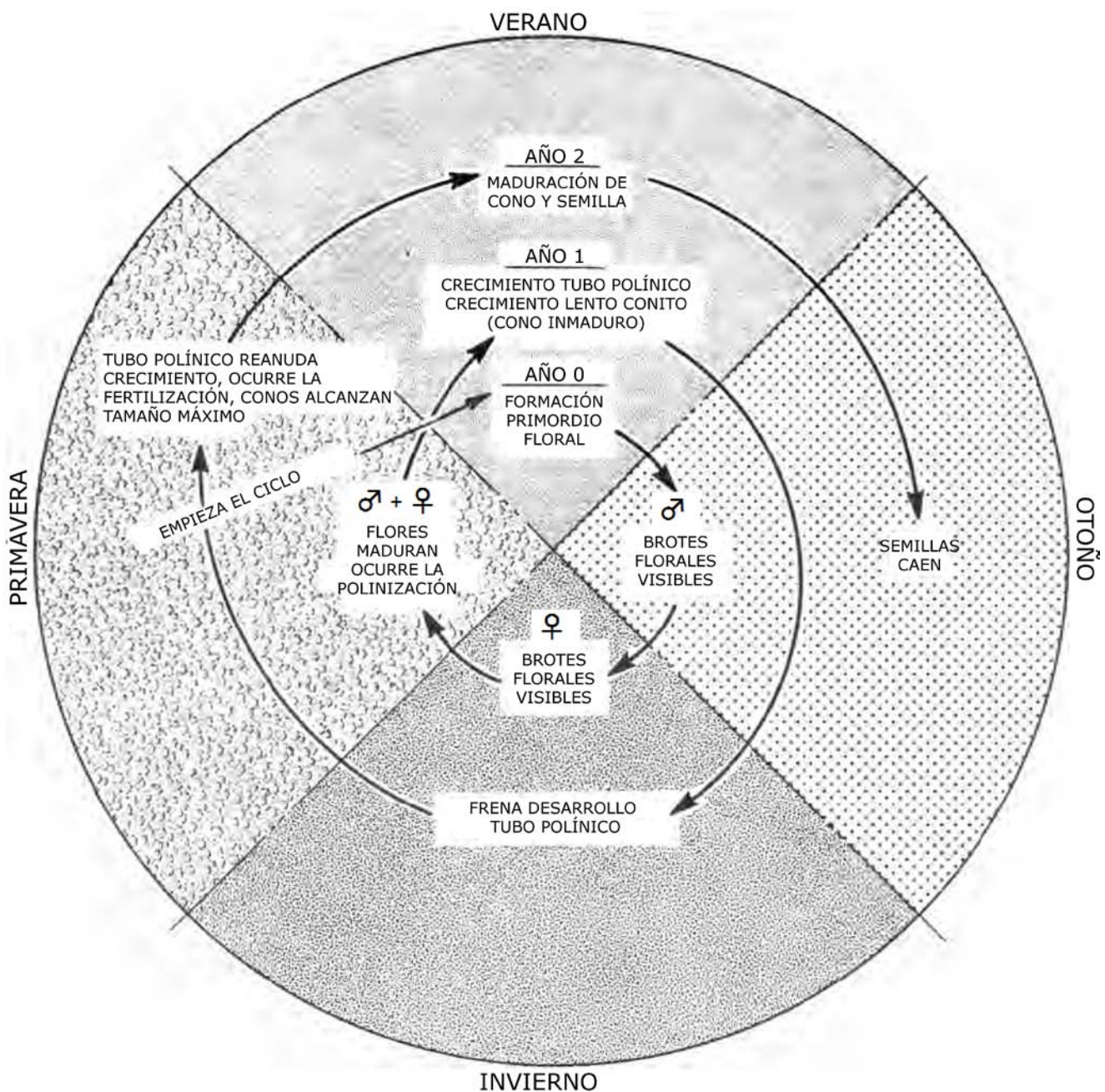


Figura 1. — Ciclo de vida de una gimnosperma (*Pinus sp.*) (Bonner 1991b).

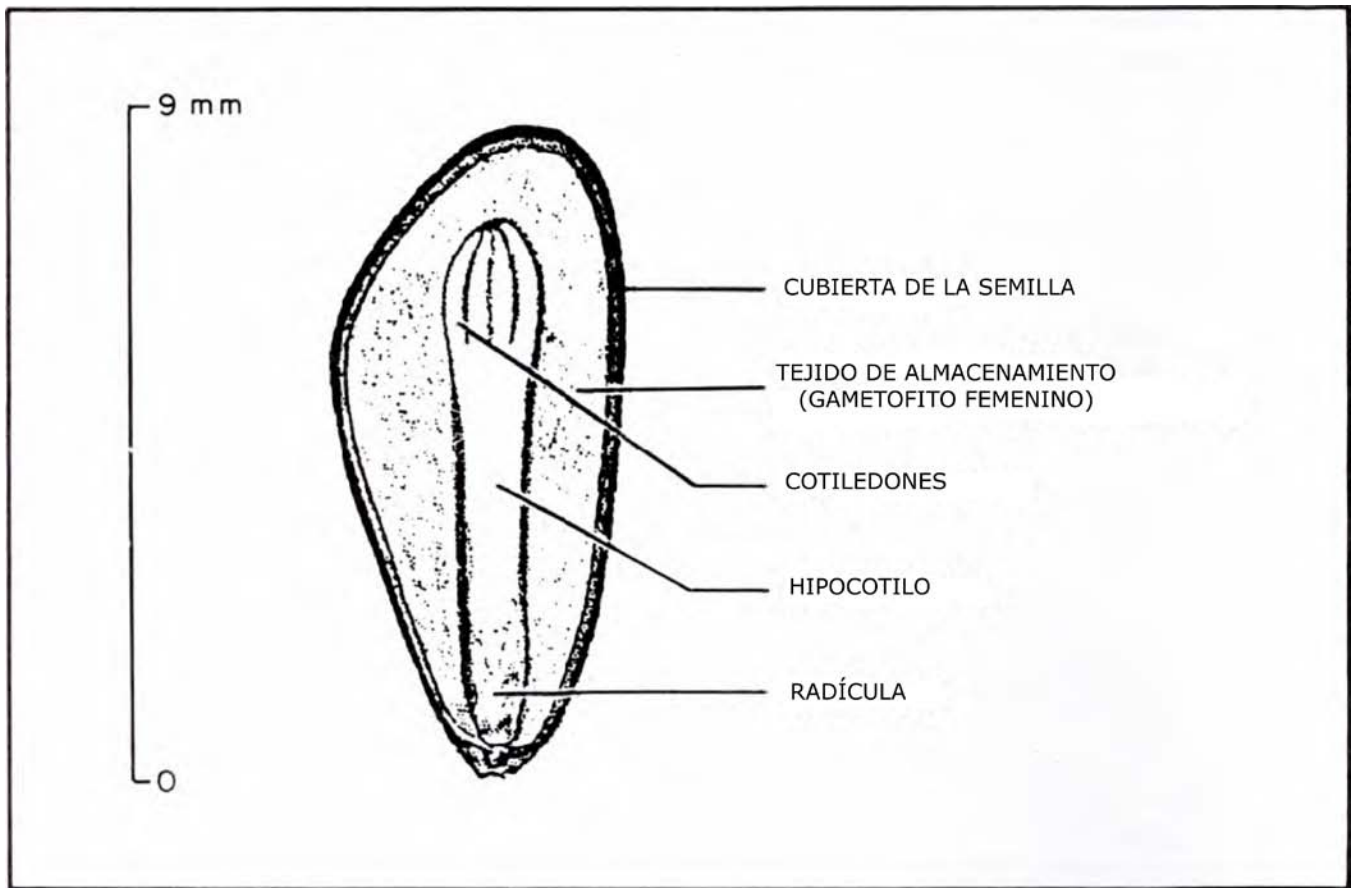


Figura 2. — Corte transversal de una semilla típica madura de gimnosperma (*Pinus ponderosa*) (adaptada de Krugman y Jenkinson 1974).

(2) Las semillas de las gimnospermas están rodeadas de las siguientes estructuras:

- (a) Conos ovulados secos (p. ej., *Abies*, *Araucaria*, *Cupressus*, *Pinus* y *Tsuga*).
- (b) Estructuras carnosas ariladas (p. ej., *Ginkgo*, *Taxus* y *Torreya*).
- (c) Conos ovulados parecidos a una baya (p. ej., *Juniperus*).

### 3. Ciclo de vida de las angiospermas.

a. Esporofita.

b. Flor—brote corto con hojas estériles y reproductivas.

(1) Las hojas estériles incluyen:

- (a) Sépalos.
- (b) Pétalos.
- (c) Perianto.

(2) Las hojas reproductivas incluyen:

- (a) Estambre (masculino).
- (b) Carpelo (femenino).
- (c) Pistilo, un término colectivo que describe las estructuras femeninas visibles.

(3) Receptáculo.

(4) Existen flores perfectas, flores imperfectas y flores polígamas.

c. Meiosis y gametofitos.

d. Fecundación.

e. Semillas.

(1) Se desarrollan a partir de los óvulos doblemente fecundados.

(2) Contienen un embrión (cotiledón, hipocótilo, radícula), tejido de almacenamiento, cubierta, y en ocasiones otras capas.

(3) Puede ser endospermicas o no endospermicas.

f. Fruto.

(1) Se desarrolla a partir del ovario maduro.

(2) Encierra a la semilla (óvulo maduro).

(3) Difícil de separar de las semillas.

4. **Ciclos sexuales**—Los ciclos sexuales de las gimnospermas y las angiospermas se diferencian de cuatro formas:

a. En las gimnospermas, las semillas no se encuentran encerradas en el ovario, las flores son unisexuales; en las angiospermas, las semillas se generan en un ovario cerrado, las flores son perfectas o imperfectas.

b. Las angiospermas tienen flores verdaderas, pero las gimnospermas tienen estróbilos (conos).

c. La doble fecundación se lleva a cabo en las

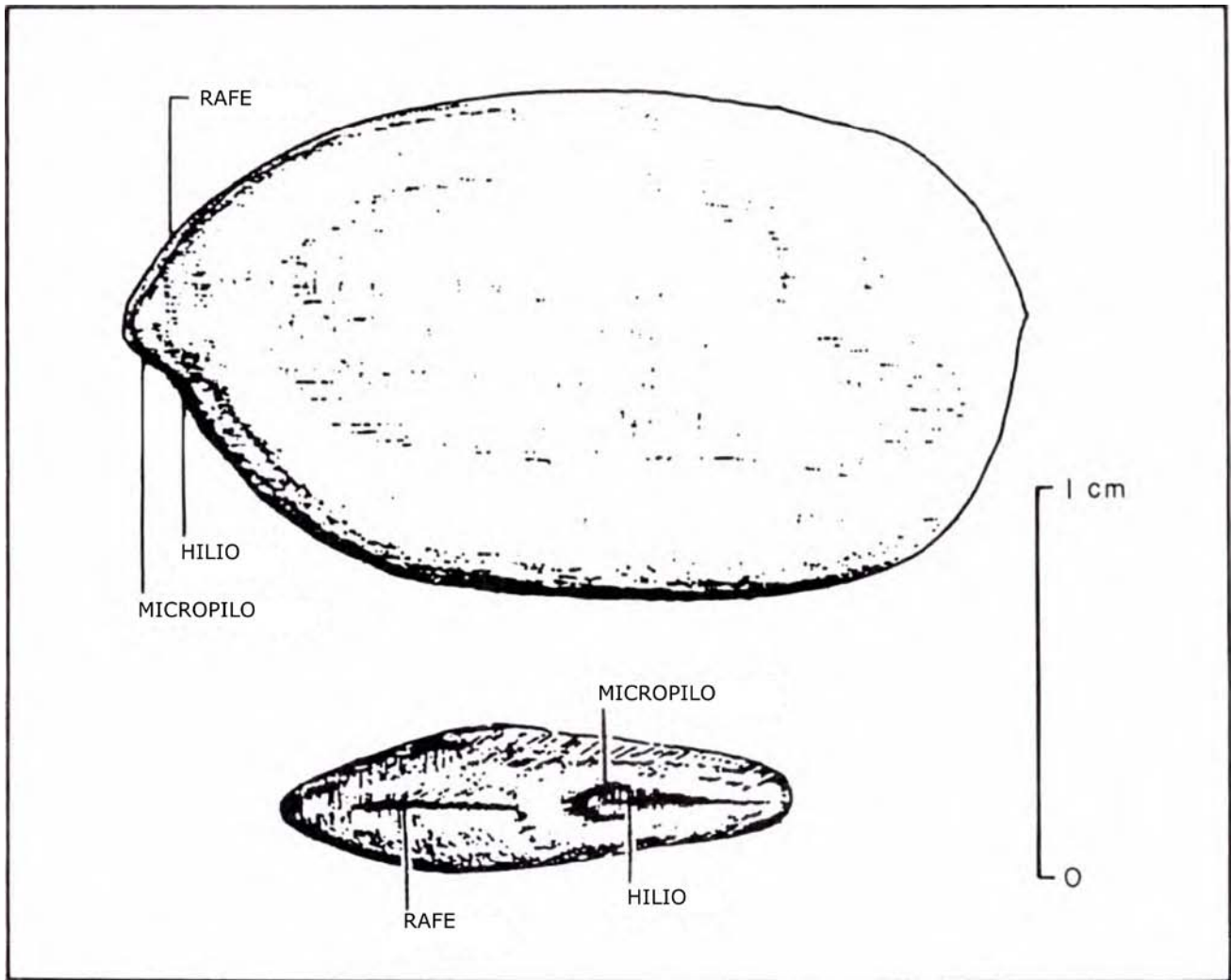


Figura 3. — *Morfología externa de una semilla típica de leguminosa de Schizolobium parahybiun (adaptada de Triviño y otros 1990).*

angiospermas; la fecundación individual en las gimnospermas.

d. En las gimnospermas, el embrión en desarrollo se nutre por el gametofito femenino haploide; en las angiospermas, se nutre de los cotiledones diploides, del hipocótilo del embrión, del endospermo triploide o de la nucela diploide.

## G. Desarrollo de la semilla y del fruto

### 1. Desarrollo físico

#### a. Angiospermas

- (1) La polinización y la fecundación provocan:
  - (a) La formación del embrión y del endospermo.
  - (b) La división y aumento de las células.
- (2) Las legumbres tienen:
  - (a) Un pistilo sencillo con un ovario superior con una cavidad (lóculo) (Fig. 3).
  - (b) Cubiertas compuestas de una cutícula histológicamente densa, células en columna radial, células del esclerénquima, lignina, y células osteoesclereidas.

(3) Los términos estructurales con relación a la cubierta se definen de la siguiente manera (Fig. 4):

- (a) **Cutícula**—Capa cerosa en las paredes exteriores de las células de la epidermis.
- (b) **Lignina**—Componente orgánico de células asociado con la celulosa.
- (c) **Línea clara**—Capa delgada continua de glóbulos de cera.
- (d) **Osteoesclereidas**—Esclerénquima en forma de hueso.
- (e) **Células en empalizada**—Células alargadas perpendiculares a la superficie de la cubierta.
- (f) **Parénquima**—No diferenciado, células vivas.
- (g) **Esclerénquima**—Células gruesas lignificadas.

b. Gimnospermas—Muchas coníferas florecen y maduran semillas en una temporada de crecimiento, algunas necesitan dos y pocas tres.



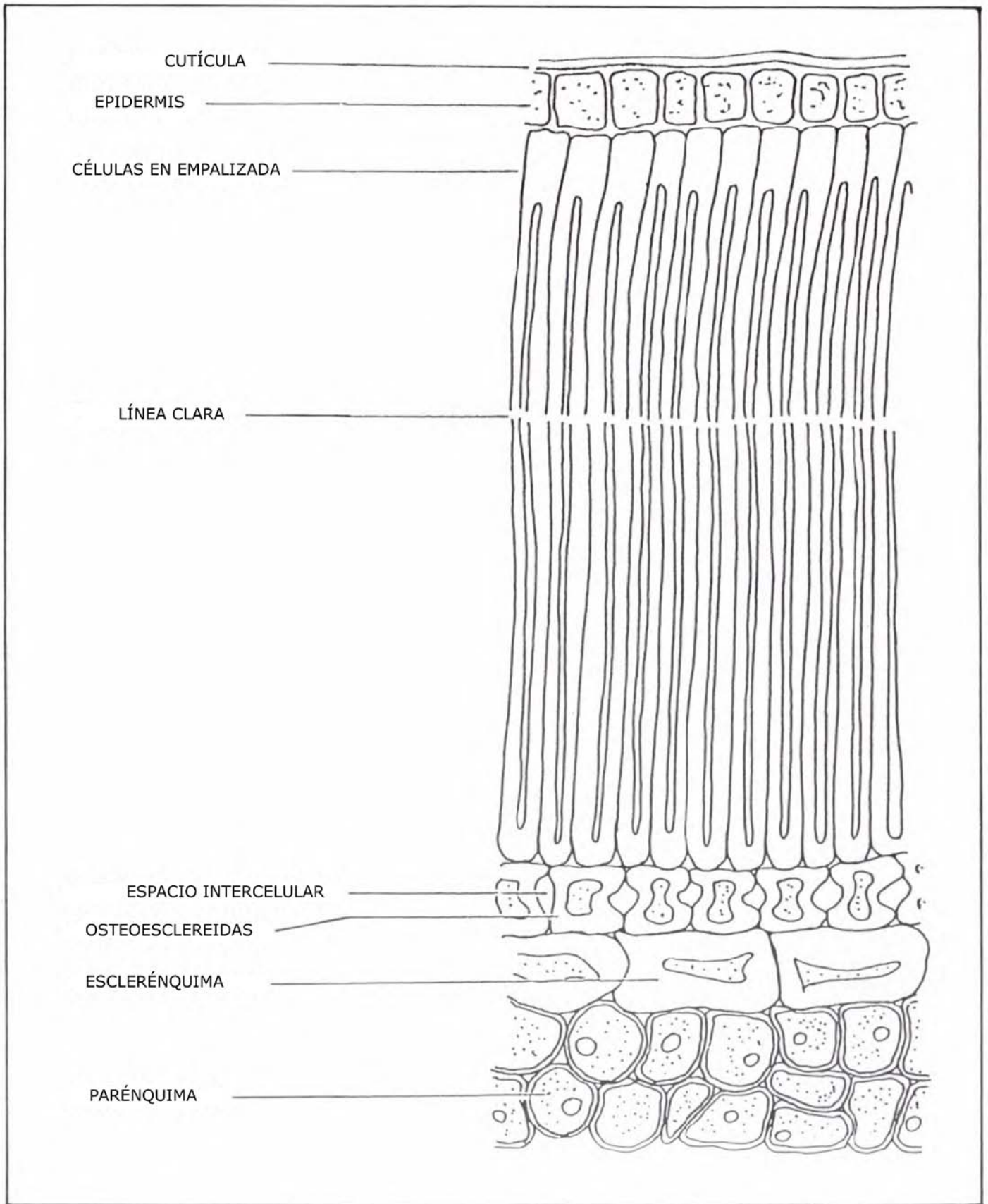


Figura 4. — Sección parcial a través de la cubierta de una semilla dura (leguminosa).

## 2. Desarrollo fisiológico

- El contenido de humedad aumenta rápidamente después de la fecundación y disminuye en la madurez.
- Los contenidos hormonales son más altos donde hay una mayor actividad meristemática.
- Los cambios metabólicos son muchos; azúcares simples, ácidos grasos y aminoácidos se convierten en proteínas, aceites y lípidos.

## 3. Clasificación de los frutos maduros (Tabla 1.).

### H. Fuentes

Para información adicional, ver Dogra 1983; Hardin 1960; Hartmann y otros 1983, cap. 3, pág. 59-65; Krugman y otros 1974; Willan 1985, pág. 7-10, 13-15.

## II. Latencia de la semilla

### A. Introducción

Una vez que las semillas maduran, la supervivencia de las especies requiere que germinen en un momento y espacio favorable para el crecimiento y la supervivencia de las plántulas. El mecanismo que

impide la germinación en momentos no deseados se denomina latencia. Antes de poder desarrollar prácticas para superar la latencia, debe conocerse la mecánica de la latencia de las semillas a fin de garantizar la germinación oportuna y el crecimiento uniforme de las plántulas.

### B. Objetivos

- Describir los diferentes tipos de latencia de la semilla.
- Analizar los métodos para superar la latencia de las semillas, tanto para pruebas de germinación como para las actividades del vivero.

### C. Puntos clave

Los siguientes puntos son fundamentales para comprender la latencia de las semillas:

- En gran medida, la latencia se encuentra bajo control genético.
- Las condiciones ambientales durante la madurez de la semilla pueden influenciar el grado de latencia.
- Las semillas pueden tener más de un tipo de mecanismo de latencia.

Tabla 1. — *Tipos de frutos comunes de árboles leñosos (adaptado de Hardin 1960).*

Descripción	Tipo	Ejemplo
<b>Fruto sencillo</b> (producto de un solo pistilo)		
Dehiscente (se abre naturalmente)		
Producto de un carpelo		
Dehiscente por una sutura	Folículo	<i>Zanthoxylum</i>
Dehiscente por dos suturas	Legumbre	<i>Acacia, Prosopis, Robinia</i>
Producto de dos o más carpelos	Cápsula	<i>Eucalyptus, Populus</i>
Indehiscente (no se abre naturalmente)		
Epicarpio carnoso o áspero		
Pericarpio completamente carnoso	Baya	<i>Vaccinium, Diospyros</i>
Pericarpio heterogéneo		
Epicarpio con corteza áspera	Hesperidio	<i>Citrus</i>
Epicarpio carnoso		
Endocarpio como "piedra"	Drupa	<i>Prunus, Vitex, Tectona</i>
Endocarpio cartilaginoso	Pomo	<i>Malus, Crataegus</i>
Epicarpio seco (como papel, leñoso o fibroso)		
Fruto con alas	Sámara	<i>Triplochiton, Terminalia, Acer</i>
Fruto sin alas		
Ovario de un lóculo; membrana delgada, semilla pequeña	Aquenio	<i>Platanus, Cordia</i>
Ovario de varios lóculos; membrana gruesa, semilla grande	Nuez	<i>Quercus</i>
<b>Fruto compuesto</b> (producto de múltiples pistilos)		
Pistilos de una sola flor	Conjunto	<i>Magnolia</i>
Pistilos de flores diferentes (inflorescencia)	Múltiple	<i>Platanus</i>

4. El medio ambiente posterior a la cosecha puede generar una latencia secundaria.
  5. La diferencia entre “latencia” y “germinación retardada” no siempre es evidente.
  6. Para evitar dañar las semillas, primero debe probarse el tratamiento menos riguroso para superar la latencia.
- D. Definición de los términos (Bonner 1984a)
1. **Sobremaduración**—Proceso fisiológico en las semillas después de la cosecha o corte que ocurre antes, y a menudo necesario para la germinación o reanudación del crecimiento bajo condiciones ambientales favorables.
  2. **Latencia**—Estado fisiológico en el que la semilla predispuesta a germinar no lo hace, aún bajo condiciones ambientales favorables.
  3. **Enfriamiento**—Exposición de las semillas al frío y a la humedad para inducir la sobremaduración.
  4. **Preenfriamiento**—Tratamiento frío y húmedo aplicado a las semillas para acelerar la sobremaduración o superar la latencia antes de sembrarlas o germinarlas en el laboratorio.
  5. **Pretratamiento**—Cualquier tipo de tratamiento aplicado a las semillas para superar la latencia y acelerar la germinación.
  6. **Escarificación**—debilitación de la cubierta, generalmente por abrasión mecánica o bien a breve remojo en ácidos fuertes, a fin de aumentar su permeabilidad al agua y los gases o para disminuir su resistencia mecánica a los embriones hinchados.
  7. **Estratificación**—Colocación de las semillas en un medio húmedo, a menudo en capas alternadas, para acelerar la sobremaduración o para superar la latencia; se aplica comúnmente a cualquier técnica que mantenga a las semillas en un ambiente frío y húmedo.
  8. **Germinación retardada**—Término general aplicado a las semillas que no germinan inmediatamente pero que no son lo suficientemente lentas para considerarse latentes.
- E. Tipos de latencia
1. **Latencia de la cubierta de la semilla (o externa).**
    - a. Impermeabilidad a la humedad o los gases; p. ej., *Acacia*, *Prosopis*, *Robinia* y otras leguminosas.
    - b. Resistencia mecánica a los embriones hinchados; p. ej., *Pinus* y *Quercus*.
  2. **Latencia del embrión (o interna).**
    - a. Sustancias inhibitorias; p. ej., *Fraxinus*, *Ilex* y *Magnolia*.
    - b. Inmadurez fisiológica; p. ej., *Juniperus virginiana*.
  3. **Latencia morfológica** es la que resulta cuando el embrión no se desarrolla completamente; p. ej., *Ilex opaca*, algunas especies de *Fraxinus* y *Pinus*.
4. **Latencia secundaria** es la que resulta de la acción, del tratamiento o daño a las semillas; p. ej., la exposición de *Pinus taeda* a altas temperaturas o a la humedad durante el almacenamiento.
  5. **Latencia combinada** es la que resulta de dos o más factores primarios, como la latencia de la cubierta de la semilla y la latencia del embrión, p. ej., *Tilia*.
  6. **Latencia doble** es la que resulta de la latencia del embrión en la radícula y en el epicótilo; p. ej., *Prunus*.
- F. Superar la latencia
1. **Latencia de la cubierta**—El tratamiento debe aumentar la absorción de humedad y el intercambio de gases y facilitar la emergencia de la radícula.
    - a. Remojo en agua fría—Remojar las semillas en agua a temperatura ambiente de 24 a 48 horas.
    - b. Remojo en agua caliente—Hervir agua, añadir las semillas, retirar del calor y dejar remojar hasta que el agua se enfríe.
    - c. Alambre caliente—Utilizar una aguja caliente o un cautín para quemar un pequeño orificio a través de la cubierta.
    - d. Tratamiento con ácido—Verter ácido mineral fuerte sobre las semillas y mezclar (de preferencia ácido sulfúrico). Retirar las semillas después de un tiempo determinado por pruebas y muestras, por lo general de 15 a 60 minutos, y lavarlas perfectamente para eliminar el ácido.
    - e. Escarificación física—Rajar o romper la cubierta dura.
      - (1) Usando métodos manuales (hendidura).
      - (2) Usando métodos mecánicos para operaciones de gran escala.
  2. **Latencia del embrión**—El tratamiento debe superar las barreras fisiológicas de las semillas.
    - a. Estratificación (enfriamiento, preenfriamiento)—Refrigerar las semillas completamente empapadas de 1 a 5 °C de 1 a 6 meses (Tabla 2.).
      - (1) Se concluye la inhibición.
      - (2) Se activan los sistemas enzimáticos.
      - (3) Los alimentos almacenados cambian a formas solubles.
      - (4) El inhibidor/promotor equilibra el cambio.
    - b. Incubación/estratificación—Para algunas especies, proporcionar una incubación corta, cálida (15 a 20 °C), seguida por una estratificación fría.
    - c. Tratamiento químico.

Tabla 2. — *Periodos recomendados de preenfriamiento para siembra en vivero de algunos pinos del sur de los Estados Unidos (Bonner 1991b).*

Especie de pino	Siembra normal*		Siembra temprana	Condiciones de la semilla	
	Semilla fresca	Semilla almacenada		Latencia profunda	Vigor bajo
			Preenfriamiento (Días)	-----	
<i>Pinus strobus</i>	30-60	60	60-90	60-90	30
<i>P. taeda</i>	30-60	30-60	60	60-90	20-30
<i>P. palustris</i>	0	0		0-15	0
<i>P. rigida</i>	0	0-30			...
<i>P. serotina</i>	0	0-30			
<i>P. clausa</i>					
var. <i>immuginata</i>	0-15	0-21			
var. <i>clausa</i>	0	0			
<i>P. echinata</i>	0-15	0-30	15-30	30-60	0
<i>P. ellioti</i>					
var. <i>elliotti</i>	0	0-30		15-30	0
var. <i>densa</i>	30	0-30			
<i>P. glabra</i>	30	30			
<i>P. virginiana</i>	0-30	30	30		

\* Siembra en la primavera cuando la temperatura promedio del suelo a profundidad de la semilla es al menos 10 °C.

' Siembra temprana cuando las temperaturas del suelo a profundidad de la semilla pueden estar por debajo de 10 °C.

Latencia demostrada con pares de pruebas o desempeño anterior del lote de semillas.

Condiciones que no se encontraron con estas especies.

(1) Peróxido de hidrógeno—Remojar durante 48 horas en solución de 1 por ciento (p. ej., *Pseudotsuga menziesii*).

(2) Ácido cítrico—Remojar durante 48 horas en solución de 1 por ciento, seguido por una estratificación de 90 días (p. ej., *Juniperus*, *Taxodium distichum*).

(3) Giberelinas.

(4) Etileno.

d. Luz—La latencia se supera con un mecanismo de luz roja/roja lejana.

#### G. Importancia

1. **Estrategia de supervivencia**—La latencia permite la germinación en condiciones ambientales favorables.
2. **Factor genético**—En muchas semillas la latencia corresponde a un control genético.
3. **Múltiples causas**—Probablemente muchas especies han evolucionado con más de un mecanismo de latencia.
4. **Influencia ambiental**—Las condiciones del clima durante la madurez pueden aumentar el grado de latencia.

#### H. Fuentes

Para mayor información, ver Khan 1984; Krugman y otros 1974; Murray 1984b; Nikolaeva 1967; Willan 1985, p. 17-19, cap. 8.

### III. Germinación

#### A. Introducción

Las metas de la tecnología de las semillas son la germinación exitosa y el establecimiento de la plántula. Las dos principales consideraciones son la fisiología de la semilla y la condición del medio ambiente. En las dos secciones anteriores, se consideraron la madurez y la latencia de la semilla. En esta sección se estudiarán los factores ambientales y cómo controlan la germinación a través de sus interacciones con la biología de la semilla.

#### B. Objetivos

1. Describir los dos tipos de germinación y su importancia en plantas leñosas.
2. Revisar los requisitos ambientales para la germinación.
3. Revisar los cambios fisiológicos de las semillas que conducen a la germinación.



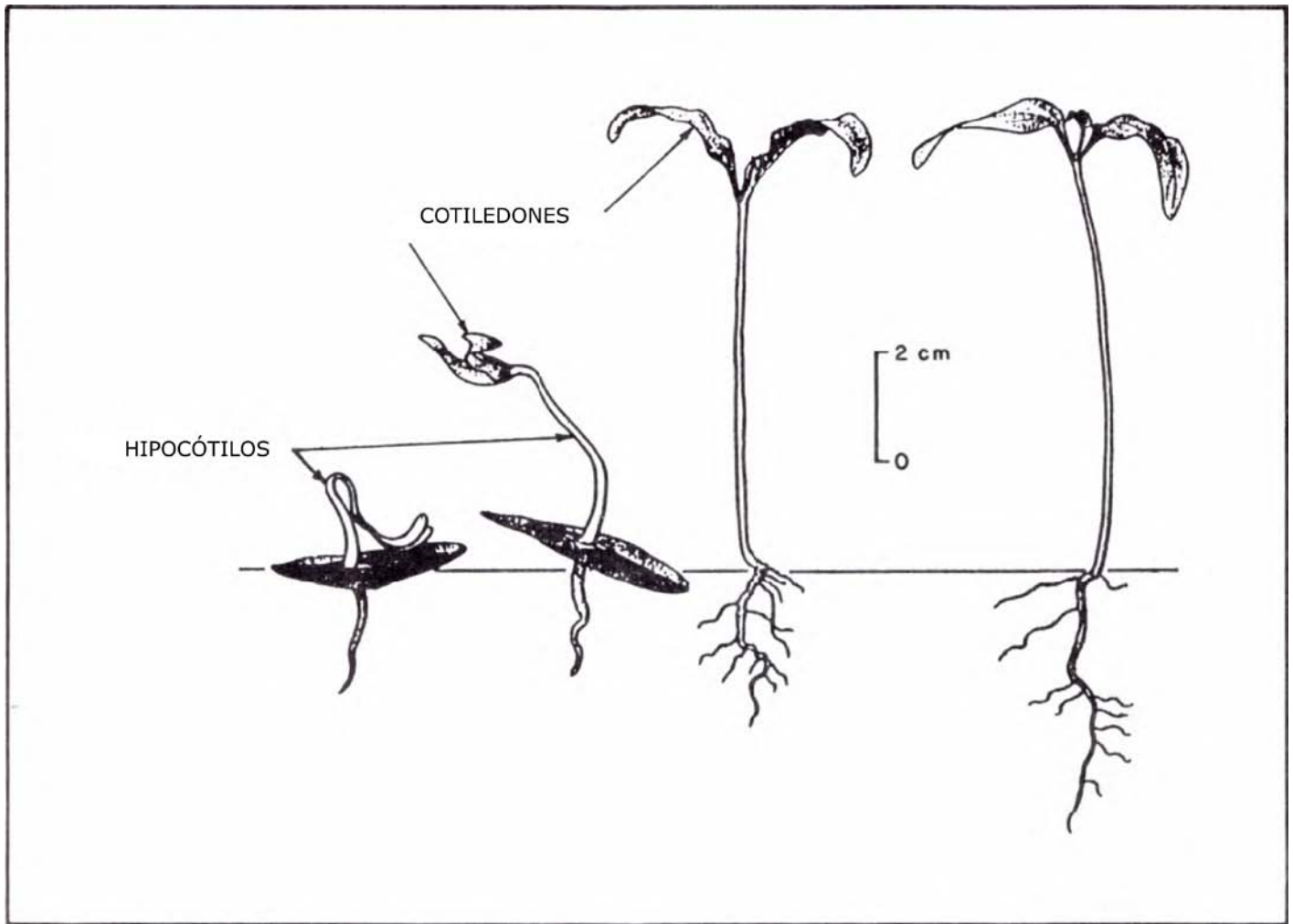


Figura 5. — *Secuencia de la germinación epigea de Fraxinus sp. (adaptada de Bonner 1974).*

4. Discutir la manera en que la fisiología de las semillas y los factores ambientales interactúan con la germinación.

#### C. Puntos clave

Los siguientes puntos son fundamentales para entender la germinación.

1. Los dos tipos de germinación son epigea e hipogea.
2. La disponibilidad de humedad es el principal factor que controla la germinación.
3. Los efectos de temperatura y luz sobre la germinación están estrechamente relacionados.
4. Los regímenes de temperatura constante y alterna pueden conducir a una germinación total parecida, pero la germinación por lo general es más rápida bajo regímenes alternos.
5. Cuando la germinación empieza, la clave para los procesos internos es el cambio de metabolitos insolubles a solubles. Los detalles de dicho metabolismo van más allá del alcance de este curso.

#### D. Tipos de germinación

1. **Epigea** es la germinación que se produce cuando

los cotiledones se fuerzan sobre el suelo por el alargamiento del hipocótilo (Fig. 5); p. ej., *Pinus*, *Acacia*, *Fraxinus* y *Populus*.

2. **Hipogea** es la germinación que se produce cuando los cotiledones permanecen bajo el suelo mientras se alarga el epicótilo (Fig. 6); p. ej., *Juglans*, *Quercus* y *Shorea*.
3. En *Prunus*, pueden ocurrir ambos tipos de germinación.

#### E. Requisitos ambientales para la germinación

Los cuatro requisitos ambientales para la germinación son humedad, temperatura, luz y gases.

##### 1. **Humedad**

- a. Por lo general la imbibición se considera el primer paso en la germinación; por lo tanto, el primer requisito para la germinación es la disponibilidad de humedad.
- b. La respuesta típicamente ocurre en las siguientes tres fases:
  - (1) Fase inicial rápida, principalmente física.
  - (2) Segunda fase extremadamente lenta.
  - (3) Tercera fase rápida que ocurre cuando el metabolismo se vuelve muy activo.

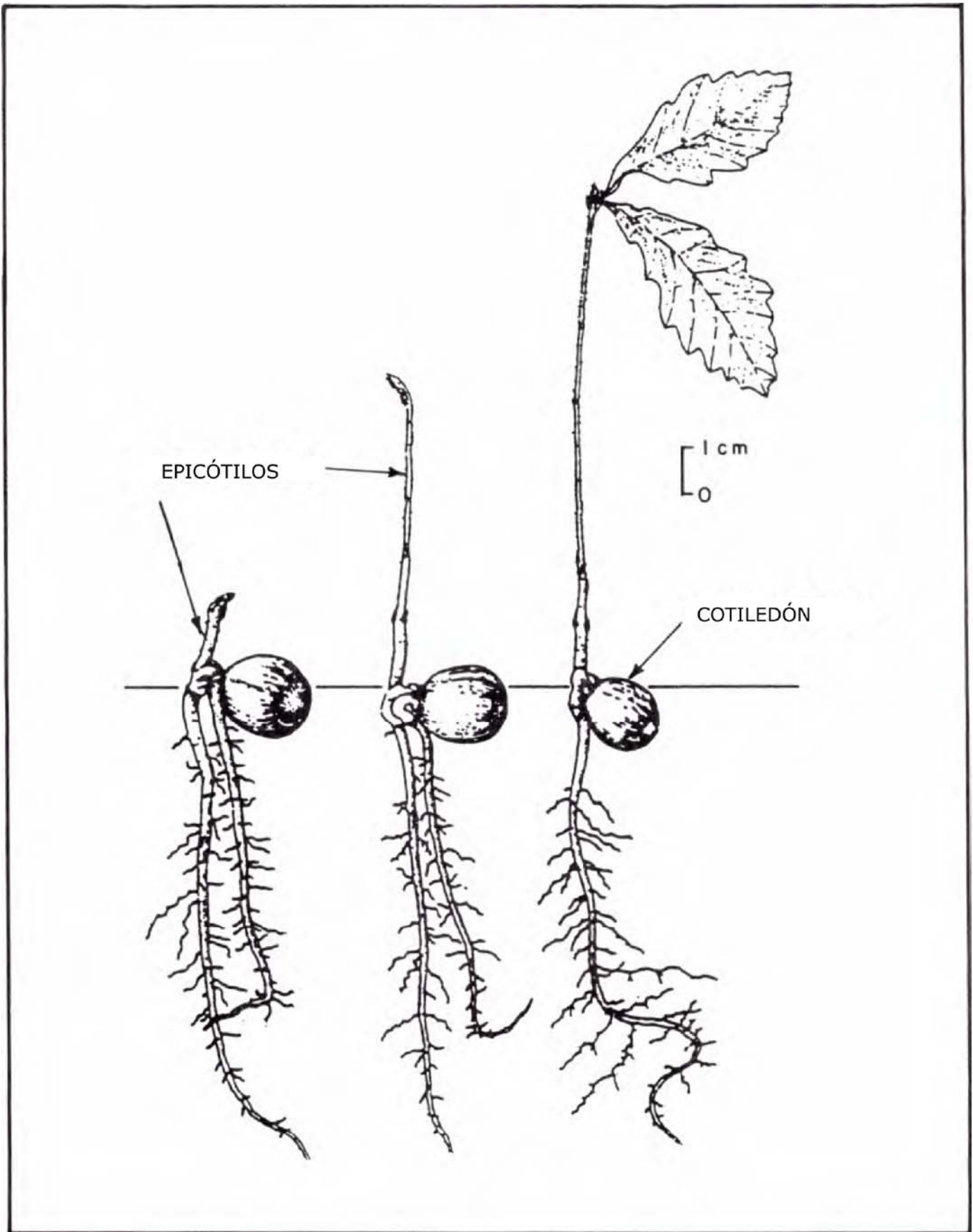


Figura 6. — *Secuencia de la germinación hipogea de Quercus sp. (adaptada de Olson 1974).*

c. La primera fase es imbibicional.

- d. Se necesita un estado mínimo de hidratación.
- e. Con frecuencia se estudian los requisitos mínimos para la germinación con soluciones osmóticas de manitol y polietilenglicol.
  - (1) La mejor germinación puede producirse a una ligera provocación de humedad (0.005 a 0.500 bar).
  - (2) Incluso los potenciales de agua ligeramente menores reducirán, pero no detendrán, la germinación.
  - (3) Los niveles críticos de potencial de agua varían según la especie.

## 2. Temperatura

- a. Es difícil separar los efectos de la temperatura de los de la luz y la humedad.
- b. Para las plantas leñosas, la germinación por lo general se produce a una amplia gama de temperaturas.
- c. El límite superior de temperatura es de aproximadamente 45 °C.
- d. El límite inferior es de 3 a 5 °C debido a que el proceso de germinación se produce a casi bajo cero.
- e. Las temperaturas óptimas varían poco:
  - (1) Para las especies de zonas templadas, alternar regímenes de 20 °C (noche) y 30 °C (día) está comprobado ser lo mejor para muchas especies.
  - (2) Para las especies tropicales, aunque existen pocos estudios críticos, para algunas es mejor la temperatura constante; p. ej., *Azadirachta indica*, 25 °C; *Bombax ceiba*, 25 °C; *Eucalyptus camaldulensis*, 30 °C; *Leucaena leucocephala*, 30 °C. A otras especies les va bien o incluso mejor a temperaturas alternas; p. ej., *Acacia* spp., *Cedrela* spp. Y pinos tropicales.

## 3. Luz

- a. La luz estimula la germinación de muchas semillas de árboles pero es necesaria para pocas.
- b. El fitocromo es un pigmento que participa en el fotocontrol de la germinación.
- c. Los niveles de luz mínima en las pruebas de germinación deben ser de 750 a 1,250 lux.

## 4. Gases

- a. La respiración requiere cierto suministro de oxígeno y el dióxido de carbono producido debe eliminarse.
- b. Algunas especies germinan bien en condiciones anaeróbicas.
- c. Los patrones de consumo de oxígeno en las semillas son similares a los de la humedad.
- d. Necesitan estudiarse muchos aspectos de la influencia de los gases en la germinación.

## F. Cambios fisiológicos internos

1. **Cambios estructurales**—La imbibición es un precursor para el metabolismo necesario.
2. **Enzimas**—Algunos sistemas están presentes en semillas secas; otras se sintetizan conforme la imbibición continúa.
3. **Movilización de la reserva alimenticia**—Por lo general las formas insolubles (carbohidratos, lípidos y proteínas) se convierten a formas solubles (en cierta forma a la inversa de las tendencias de madurez).
4. **Ácidos nucleicos**—Estos compuestos son esenciales para la formación de nuevas enzimas.
5. **Translocación**—El movimiento de materiales dentro del embrión es crucial.

## G. Fuentes

Para mayor información, ver Bonner 1972, Mayer y Poljakoff-Mayber 1975, Murray 1984b, Stanwood y McDonald 1989, Willan 1985.