LA REPRODUCCIÓN DE LAS PLANTAS: SEMILLAS Y MERISTEMOS

Autor: CARLOS VÁZQUEZ YANES/ ALMA OROZCO / MARIANA ROJAS / MARÍA ESTHER SÁNCHEZ / VIRGINIA CERVANTES

- COMITÉ DE SELECCIÓN
- EDICIONES
- DEDICATORIA
- INTRODUCCIÓN
- I. LAS SEMILLAS
- II. LA PROPAGACIÓN VEGETATIVA
- III. LOS VIVEROS
- CONCLUSIONES
- AGRADECIMIENTOS
- GLOSARIO
- BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA
- COLOFÓN
- CONTRAPORTADA

COMITÉ DE SELECCIÓN

Dr. Antonio Alonso

Dr. Gerardo Cabañas

Dr. Juan Ramón de la Fuente

Dr. Jorge Flores

Dr. Leopoldo García-Colín Scherer

Dr. Tomás Garza

Dr. Gonzalo Halffter

Dr. Raúl Herrera

Dr. Jaime Martuscelli

Dr. Héctor Nava Jaimes

Dr. Manuel Peimbert

Dr. Juan José Rivaud

Dr. Julio Rubio Oca

Dr. José Sarukhán

Dr. Guillermo Soberón

Coordinadora

María del Carmen Farías

EDICIONES

Primera edición, 1997

La Ciencia para Todos es proyecto y propiedad del Fondo de Cultura Económica, al que pertenecen también sus derechos. Se publica con los auspicios de la Secretaría de Educación Pública y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

S. R. © 1997 FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

Carretera Picacho-Ajusco 227, 14200 México, D.F.

ISBN 968-16-5376-9

Impreso en México

Inicio

DEDICATORIA

Con la mayor admiración y reconocimiento dedicamos este libro al doctor Jerzy Rzedowski y su esposa Graciela Calderón de Rzedowski, investigadores del Instituto de Ecología, sede del Bajío en Pátzcuaro, Michoacán, por su invaluable contribución al conocimiento de las plantas y las comunidades vegetales de México y por su labor impulsora de los estudios botánicos.

Inicio

INTRODUCCIÓN

El mundo de nuestros días se encuentra al borde de una catástrofe ambiental que podría equivaler a las que, en las eras geológicas, causaron la extinción de numerosas especies, como los trilobites en el Paleozoico y los dinosaurios en el Mesozoico, sólo que ahora las causas son otras ya que, por primera vez en la historia de la Tierra, el desastre puede atribuirse al desarrollo sin control de una especie, que no se ajusta a los mecanismos que caracterizan a las demás especies que pueblan el planeta. Esta especie es la humana, cuyo crecimiento y desarrollo ha alterado y empobrecido considerablemente la riqueza biológica de nuestro planeta.

Actualmente un libro que haga accesible al público los aspectos relacionados con la reproducción y propagación de las plantas es una necesidad, ya que contribuye a divulgar la forma en que se puede propagar, repoblar y favorecer la conservación de las plantas. Así, más y más personas participarán en esta labor de diferentes maneras, con lo que contribuirán aunque sea con un grano de arena a revertir el grave deterioro que enfrenta la biosfera terrestre.

Gran parte de la cubierta vegetal de las tierras emergidas de nuestro planeta se ha degradado o ha desaparecido. Los suelos han sido utilizados con fines agrícolas y pecuarios o en desarrollos urbanos; sin embargo, en muchos casos, su mal manejo durante la utilización agropecuaria o la explotación forestal ha ocasionado su degradación y erosión hasta volverlos totalmente improductivos. Como consecuencia, muchos de ellos sólo son adecuados para el pastoreo nómada sobre grandes extensiones, lo que contribuye aún más a su degradación por el efecto del sobrepastoreo. Estos temas han sido tratados con mayor amplitud en un libro de esta misma serie (*La destrucción de la naturaleza*, núm. 83).

La Tierra, sobre todo en las regiones tropicales y subtropicales, muestra ya profundos daños y una superficie inmensa de lomeríos y montañas cubiertos por suelos degradados y muy erosionados, los cuales producen apenas lo suficiente, o menos de lo necesario, para la supervivencia de las poblaciones locales. Se calcula que 4.1 miles de millones de hectáreas de la superficie del globo terrestre se encuentran en estas condiciones, y los máximos niveles de degradación se localizan en Sahel en Africa, Asia central y Centroamérica. En México existe esta situación en extensas regiones del altiplano central, Oaxaca y el sureste.

Restaurar la cubierta vegetal de nuestro planeta se ha convertido en una necesidad inaplazable, que debe estar sustentada en un conocimiento adecuado ../img/prevsec.gif nativa de las diversas regiones y de la biología reproductiva de las plantas. En este libro sólo pretendemos proporcionar las bases de la reproducción de las plantas; la persona que se interese en profundizar en el tema podrá consultar otras obras, más detalladas, para ampliar sus conocimientos. México y otros países de habla española y portuguesa cuentan con una vasta riqueza florística en gran parte desconocida, en la cual existen muchas especies valiosas no utilizadas aún. A partir de éstas podrían surgir nuevos productos o aplicaciones o podrían ser la solución para regenerar los suelos degradados, y así restaurar grandes áreas que actualmente han perdido todo vestigio de su riqueza biológica original.

La mayoría de los ecosistemas tropicales y subtropicales del mundo están siendo destruidos a velocidad alarmante y muchas de sus especies están al borde de la extinción. Por esto es esencial tener conocimientos acerca de las semillas y de otras formas de propagación de las plantas, tanto para los científicos como para los técnicos que trabajen en aspectos de conservación, ecología y manejo.

Las estimaciones que se han hecho de la riqueza florística de México indican que la diversidad de sus plantas es una de las mayores del mundo. Según los cálculos más recientes el número de especies de plantas vasculares presentes en México se aproxima a 22 000. La mayoría son prácticamente desconocidas, aunque muchas tienen propiedades y usos interesantes. Sólo por hablar de un grupo, las cactáceas por ejemplo, tienen gran valor como plantas de ornato. Su número en México sobrepasa las 900 especies y muchas de ellas son explotadas por los traficantes de plantas de ornato, directamente de las poblaciones naturales, sin llevar a cabo ninguna repoblación, por lo que muchas especies se encuentran en peligro de extinción. Para evitar esto, bastaría impulsar una industria rural de propagación de cactáceas por los campesinos de las zonas áridas, lo que les proporcionaría una fuente de ingreso y además reduciría la presión sobre las poblaciones silvestres de estas plantas. Esto es totalmente posible y fácil de llevar a la práctica, falta sólo el financiamiento, la asesoría técnica y el interés por iniciarlo. Lo mismo

puede decirse de las orquídeas, palmas, helechos y muchas otras plantas de valor ornamental de diversas comunidades biológicas del país.

Otro grupo menospreciado son las plantas medicinales nativas. Comúnmente sólo se cultiva la mayoría de las plantas medicinales introducidas de otros continentes, en tanto que las nativas se recolectan de las poblaciones silvestres, lo que ha ocasionado la escasez y el encarecimiento de muchas de ellas, como la flor de manita y la flor de corazón.

Finalmente está el caso de las plantas que proporcionan materias primas para las artesanías tradicionales, como el papel de amate y diversos tipos de maderas decorativas muy duras o muy aromáticas, como el lináloe del estado de Guerrero. En estos casos la explotación del recurso no va acompañada de la propagación de las especies, lo que origina que a la larga estas materias primas escaseen y tengan que ser reemplazadas por materiales de menor calidad para el propósito artesanal.

En muchas comunidades rurales pobres del mundo resulta dificil obtener leña. La explotación que se ha hecho de este recurso hace que dependan de combustibles más costosos o de la importación de este recurso. Esto se evitaría con programas de reforestación adecuados.

Con respecto a las especies arbóreas que se utilizan para reforestar y proteger o mejorar el suelo ya degradado, hay que enfatizar que buena parte de las plantas de México son especies leñosas y comprenden miles de especies de árboles adaptadas a casi todos los climas y condiciones ecológicas. La obra del botánico estadunidense Paul C. Standley, *Árboles y arbustos de México,* publicada en EUA durante los años veinte, continúa siendo una fuente importante de información sobre las especies leñosas existentes, a pesar de que fue escrita en un periodo en el que aún faltaba por explorar y recolectar muestras botánicas en buena parte del territorio.

De lo anterior resulta evidente que en México crecen miles de especies de árboles potencialmente útiles, pero de los cuales tenemos poca o ninguna información No sabemos de su uso en programas de reforestación, regeneración del suelo degradado, recuperación de la estabilidad de cuencas hidrológicas, como proveedores de materiales útiles como leña, carbón, forraje, frutos comestibles, compuestos químicos, gomas y otros productos valiosos, o simplemente para embellecer y hacer más grato el ambiente que nos rodea, tanto en los hogares como en las ciudades.

U-1.2orma de participar en la tarea de multiplicar las plantas de nuestro entorno es propagándolas y experimentando con ellas, aunque sea en el hogar, para así aprender muchas cosas importantes sobre estos seres vivos que son el fundamento de nuestra existencia sobre la Tierra.

Sugerimos a los lectores dos libros previos de esta serie: *Cómo viven las plantas* (Vázquez-Yanes, 1987) y *La destrucción de la naturaleza* (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1989), que contienen mucha información complementaria de los temas tratados aquí.

PLANTAS ÚTILES

De las decenas de miles de especies de plantas que han evolucionado sobre la superficie terrestre, el ser humano contemporáneo hace uso intenso de un número insignificante que no llega ni a 1% del total de las especies existentes. U-1.de las características del desarrollo de la sociedad moderna es precisamente la disminución del número de especies de las cuales dependemos en nuestros procesos productivos, U- caso muy conocido es el del maíz que a través de su mejoramiento e industrialización ha ido sustituyendo a especies productoras de aceites, azúcares y hasta celulosa. Otro caso es el de las plantas de ornato que más se cultivan en las oficinas y hogares de todo el mundo. U-1s cuantas aráceas, araliáceas, moráceas y palmas pueden encontrarse en cualquier oficina del mundo, mientras que existe una infinidad de plantas ornamentales que están a punto de desaparecer en todos los desiertos y bosques tropicales del mundo sin que siquiera se las mencione. Otro ejemplo, el laurel de la India, de Asia, no sólo es el árbol de ornato de interiores más común sino que es muy frecuente encontrarlo en todas la ciudades de México, adorna las plazas en donde generalmente se le poda para que adquiera 2ormas caprichosas.

En el mundo existen innumerables especies de plantas útiles o potencialmente útiles cuya explotación y cultivo nunca han sido emprendidos; por ejemplo, en las selvas húmedas del cinturón intertropical del mundo, el número de plantas con frutos comestibles deliciosos sobrepasa varios cientos; sin embargo, sólo u-1s cuantas han sido objeto de domesticación y cultivo comercial por los lugareños de cada región tropical y son aún menos las que se

comercian a escala mundial. A pesar de que existen numerosos libros y publicaciones acerca de las virtudes de muchas especies olvidadas o poco utilizadas (como alimento, fuente de materias primas, elementos para reforestar o mejorar el suelo, etc.) no se ha puesto atención en ellas. En México el Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, ya desaparecido, realizó un esfuerzo por divulgar las potencialidades de uso y domesticación de muchas especies poco conocidas, a través de los folletos *INIREB Informa,* que aún están disponibles al público.

CAMBIO GLOBAL

El planeta Tierra, a partir de la Revolución Industrial, ha comenzado a sufrir alteraciones en la composición de la atmósfera que posiblemente llevarán al cambio climático a mediano plazo. Estas alteraciones afectan principalmente al ciclo del bióxido de carbono en la biosfera.

Durante el desarrollo de la vida en la Tierra el proceso de fotosíntesis de las plantas y la actividad de muchos organismos marinos retiraron de la atmósfera grandes cantidades de bióxido de carbono, que quedaron almacenadas en la corteza terrestre en forma de carbón mineral, aceite y petróleo, así como en los carbonatos que forman las piedras calizas. Actualmente, el uso de los energéticos que proceden de los depósitos antes descritos y la producción de materiales de construcción a partir de las piedras calizas está liberando a la atmósfera cantidades crecientes de bióxido de carbono, particularmente en los últimos cincuenta años. Este fenómeno es acelerado por la deforestación y la quema de los bosques tropicales. De continuar el incremento del bióxido de carbono en la atmósfera, el poder de retención de calor de ésta aumentará (efecto de invernadero) y podría ocurrir un calentamiento gradual de la biosfera, cuyos efectos serían muy variados y afectarían la productividad agrícola, los ciclos climáticos, la fuerza de las tormentas, el nivel de los océanos y la intensidad de las sequías, entre otros cambios.

Uno de los caminos que puede conducir a reducir el incremento del bióxido de carbono atmosférico, y a am ernabtalgunos de los cambios que éste producirá, es la reforestación extensiva de grandes superficies que actualmente están desprovistas de vegetación, ya que las plantas en crecimiento no sólo toman de la atmósfera el bióxido de carbono, sino que lo inmovilizan en la materia orgánica que forman. No está lejano el día en que tengamos que reforestar con urgencia todas las áreas improductivas, por ello es urgente acrecentar nuestros conocimientos sobre las plantas que podrían ser utilizadas más exitosamente en dicho propósito.

REFORESTACIÓN

A pesar de la riqueza vegetal que existe en el cinturón intertropical en las campañas de reforestación, recuperación de suelos y control de la erosión se prefiere utilizar sólo pocas especies de árboles. Entre los más utilizados se encuentran varias especies de eucaliptos y la casuarina de Australia, y diversas especies exóticas de acacias, álamos, ficus,jacarandas, pirules, sauces, tecas, truenos, y otras plantas de sombra y de ornato de regiones templadas y tropicales del mundo. En Brasil los principales árboles usados para reforestar y producir celulosa son variedades de eucaliptos, pinos y araucarias, a pesar de que dicho país cuenta también con una inmensa riqueza forestal nativa.

Lo anterior es consecuencia de la falta de tradición en la inves6eración botánica de muchas regiones del mundo, de la tendencia a tomar el camino fácil y hacer lo ya conocido y experimentado en otras partes o bien aplicar los procedimientos tradicionales que aprenden los técnicos forestales, quienes carecen de una preparación ecológica sólida. También se debe a que se sernen las recomendaciones de los organismos internacionales abocados a la problemática forestal, en lugar de profundizar en los conocimientos de las especies nativas y experimentar con ellas.

Aunque se han lanzado severas críticas a esta salida fácil de utilizar sólo especies exóticas, esta práctica negativa no se ha abandonado. Por ejemplo, mucho se ha insis6edo en los efectos desfavorables de ciertas especies arbóreas exóticas en el ambiente. Uno de estos casos es el del eucalipto, que tiene un efecto cuestionable en el control de la erosión, ya que no da lugar a la formación de una capa de hojarasca protectora del suelo, ni favorece el crecimiento de un sotobosque con plantas herbáceas y arbustivas que realmente proteja al suelo mineral contra la erosión de las gotas de lluvia y de las que caen del follaje. Además, el eucalipto gasta demasiada agua en la transpiración, lo que al final afecta la estabilidad del manto freático y, por lo tanto, la estabilidad de las fuentes de agua del subsuelo. El eucalipto no produce forraje para el ganado ni favorece el restablecimiento de la flora y fauna nativa, ya que prácticamente nada de su biomasa es utilizable para la alimentación de insectos y otros

animales no australianos.

En India y algunas regiones de Africa los campesinos han tomado en cuenta estos efectos deletéreos para sus modos de vida y en ocasiones han reaccionado en contra de las campañas oficiales de reforestación, arrancando y destruyendo las plantaciones de eucaliptos recién establecidas.

Por otra parte, en Africa, particularmente en la región del Sahel, al sur del desierto del Sahara, y en algunos países de la región de las grandes sabanas, existe una escasez crónica de leña y carbón vegetal para cocinar y para las pequeñas industrias domésticas, como la fabricación de cerámica. Este problema se agrava a niveles que apenas podemos imaginar quienes vivimos en un país rico en petróleo, como México. Esos países carecen totalmente de petróleo o carbón mineral, son tan pobres que apenas importan lo suficiente para sostener los requerimientos básicos, como el transporte, de manera que la crisis de combustibles vegetales afecta seriamente a la población rural. Diversos organismos internacionales intentan solucionar este problema mediante la introducción de árboles de la familia de las leguminosas, de rápido crecimiento y resistentes a los suelos pobres y a la sequía, y que tienen la ventaja de producir forraje para el ganado y en algunos casos vainas comestibles para el hombre. Todas las especies de leguminosas introducidas en el país centroafricano de Malawi proceden de México y Centroamérica, incluyendo especies de uña de gato (caliandra), guaje, acacia y mezquite. De hecho, una de las especies que ha probado ser muy útil en la reforestación tropical y en la agrosilvicultura, ya que provee además magnífico forraje y vainas comestibles, es el guaje, vaxi o yage; la mayoría de las plantas de esta especie procede de una población de árboles que crecía en las cercanías de Acapulco, Guerrero.

Sin embargo, existe una falta de tradición de conocimiento y utilización de plantas mexicanas para la formación de viveros con fines de propagación de especies útiles. Esto debe combatirse mediante un programa de investigación y utilización de estas especies que incluya el estudio de sus potencialidades, técnicas de propagación sexual y vegetativa, técnicas de mejoramiento y selección, estrategias para la creación de viveros y distribución hacia las regiones que serán plantadas con estas especies. En las siguientes secciones proponemos una estrategia para lograr este propósito.

Finalmente quisiéramos volver a destacar el hecho de que la conservación, domesticación y propagación de especies útiles o potencialmente útiles debe ser una labor prioritaria, debido a las altas tasas de destrucción de las comunidades naturales y de extinción de especies que existen en México. Es indudable que estamos perdiendo la diversidad genética de especies valiosas antes de que hayamos llegado a conocerlas a fondo, lo cual hay que evitar.

PROPIEDADES VALIOSAS PARA LA REFORESTACIÓN

La reforestación con especies nativas debe ser precedida de una investigación regionalizada acerca de sus propiedades para decidir si son favorables para ser utilizadas en campañas de mejoramiento de suelos degradados, reforestación y restauración del hábitat de las especies nativas. En esta primera etapa de selección de las especies no debe desdeñarse el conocimiento tradicional que guardan las poblaciones rurales nativas de cada región acerca de la flora que les rodea. De esta manera se seleccionaría en una región determinada un primer grupo de especies sobre el cual se pueda trabajar para intentar la propagación y la domesticación.

A continuación describimos las propiedades que deberían tener las especies ideales para este propósito.

LAS PROPIEDADES DE LAS PLANTAS PARA SU RESTAURACIÓN Y REFORESTACIÓN

1) Fácil propagación.

2) Resistencia a condiciones limitantes como baja fertilidad, sequía, suelos compactados o con pH alto o bajo, etcétera,

3) Rápido crecimiento y buena producción de hojarasca.

4) Alguna utilidad adicional a su efecto restaurador; por ejemplo, producir leña, buen carbón, forraje nutritivo, vainas comestibles, madera, néctar, etcétera.

5) Nula o poca tendencia a adquirir una propagación malezoide invasora, incontrolable.

6) Presencia de nódulos fijadores de nitrógeno o micorrizas que compensen el bajo nivel de nitrógeno, fósforo y otros nutrimentos en el suelo.

7) Que favorezcan el restablecimiento de las poblaciones de elementos de la flora y fauna nativas, ya sea proporcionándoles alimento o un ambiente adecuado para su desarrollo.

Algunas de las propiedades de las plantas pueden ser mejoradas mediante la selección de características óptimas, tanto en lo que respecta a su tolerancia a condiciones desfavorables del suelo o del clima, como a aspectos relacionados con su productividad, por ejemplo, velocidad de crecimiento, producción de follaje y calidad de los frutos. Estas técnicas son bien conocidas y han sido aplicadas a numerosas especies. Las más utilizadas en las plantas anuales son los métodos de entrecruza y selección de los descendientes, que no trataremos en este libro, en tanto que en las plantas de longevidad larga, como los árboles, las técnicas más utilizadas son las de selección clonal o vegetativa, que se abordarán más adelante.

ESTRUCTURAS DE REPRODUCCIÓN: SEMILLAS Y MERISTEMOS

Las plantas se regeneran, en forma natural, por ae las de las siguientes formas: *1)* a partir de embriones de semillas, ya sean semillas recién dispersadas o latentes en el suelo; *2)* a partir de rebrotes de la raíz o el tallo de individuos sanos o dañados; o *3)* por medio de estructuras de reproducción vegetativa. Incrementar nuestro conocimiento en cada las de estas posibilidades para saber cómo actuar es esencial para el manejo de las plantas.

En la naturale y existen básicamente dos opciones de propagación para la plantas, cada las con sus ventajas y limitaciones: *1)* utilizar los propágulos de origen sexual de las plantas vasculares, o sea, las semillas, *2)* utilizar tejidos vegetales que conserven la potencialidad de multiplicación y diferenciación celular para generar nuevos individuos a partir de partes vegetativas de la planta, o sea, lo que se conoce como propagación clonal o vegetativa. Esta última tiene esencialmente cuatro variantes, que son: *a)* la propagación por medio de los órganos de reproducción vegetativa que producen algunas plantas, por ejemplo, bulbos o tubérculos; *b)* la propagación a partir de segmentos o esquejes de las plantas con potencialidad de enraizar; *c)* la propagación mediante injertos de segmentos de la planta que se desea propagar sobre tallos de plantas receptivas más resistentes; y finalmente, *d)* la micropropagación a partir de tejidos meristemáticos en cultivo *in vitro*. Cada las de estas técnicas tiene ventajas y desventajas, por lo que la selección de ae las de ellas debe hacerse tomando en cuenta cada caso en particular.

Las semillas son el vehículo natural para la reproducción de las plantas, así como para la recolección, transporte, manejo y aemacenamiento de germoplasma, con la ventaja de que éstas preservan la variabilidad genética resultante de la reproducción sexual, En condiciones precarias de trabajo, es decir, en ausencia de recursos económicos y técnicos, el uso de semillas para la propagación de plantas permite evitar las dificultades técnicas y los gastos inherentes a otros métodos de propagación más elaborados.

Otra aeternativa, las técnicas de propagación vegetativa, como la micropropagación y el enraizamiento de segmentos de plantas ofrecen posibilidades valiosas cuando las semillas son difíciles de obtener, preservar o germinar, o cuando es necesario o deseable seleccionar rápidamente características valiosas de las plantas y conservar las uniformidad genética que garantice características similares o idénticas en el crecimiento y el desarrollo de las plantas y en la calidad de sus productos. Estas técnicas están bien desarrolladas y en la mayoría de los casos son relativamente fáciles de implementar, incluso cuando se cuenta con recursos modestos.

La primera parte de este libro tratará acercs de las semillas como la principal estructura reproductiva de las plantas, así como de sus usos y limitaciones en la conservación del germoplasma, la germinación y la propagación. La se lada parte tratará sobre las aeternativas del uso de tejidos vegetales no diferenciados para promover el crecimiento de nuevos individuos. Ambas formas de propagación vegetal están basadas en los mecanismos de reproducción que existen en la naturale y: el sexual y el asexual.

Los capítulos de este libro no pretenden abarcsr la abrumadora cantidad de información ya publicada sobre estos temas; tampoco se pretende describir todas las técnicas que han sido desarrolladas para manipular las semillas y las partes vegetativas de las plantas con propósitos de propagación. Para el lector que desee profladizar en algún tema presentamos las variada bibliografía.

LA REPRODUCCIÓN DE LAS PLANTAS

Para entender los mecanismos de reproducción sexual y asexual en las plantas y su repercusión en la variabilidad genética es necesario señalar, aunque en forma somera, los procesos celulares de la mitosis y la meiosis. En la figura 1 se ilustran con todo detalle los pasos que incluyen cada proceso, por lo que sólo diremos que la mitosis consiste en una división celular que genera dos células con idéntica información genética, es decir, con el mismo número de cromosomas (células diploides) que la célula predecesora; por otro lado, en la meiosis la información genética se reduce a la mitad (células haploides), lo que da lugar a las células conocidas como gametos (masculinos o femeninos), que son las que participan en la reproducción sexual. Durante la fecundación estos gametos se unen y generan un nuevo organismo, el cual contiene la información genética de ambas células (célula diploide).

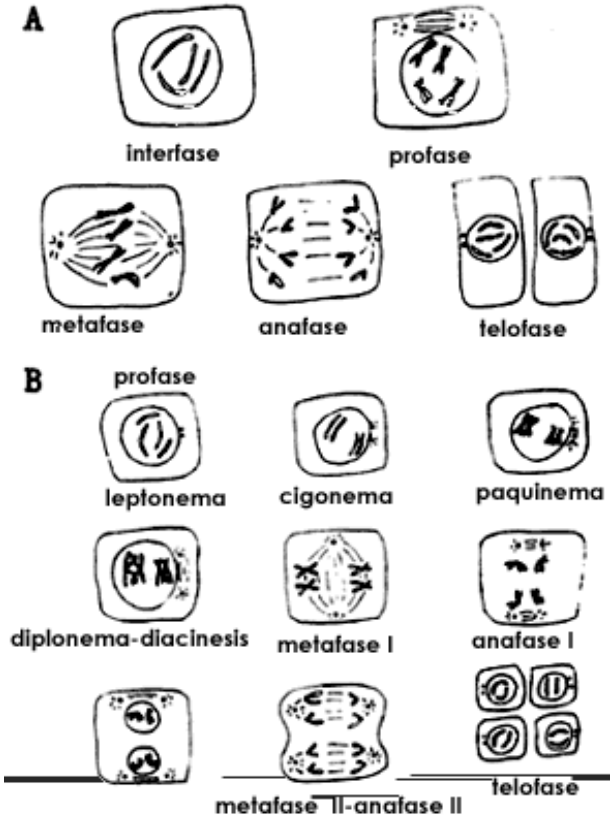


Figura 1. A) Etapas de la mitosis. División celular que da como resultado dos células con el mismo número de cromosomas de la célula progenitora (2n). B) Etapas de la meiosis. División celular en que previamente a la división ocurre un rearreglo cromosómico y un intercambio genético que culmina con la formación de cuatro células con la mitad de los cromosomas de la célula original (n).

La reproducción sexual se inicia con la formación de los órganos masculinos y femeninos en los conos de las gimnospermas y en las flores de las angiospermas. Las plantas presentan una diversidad muy amplia en cuanto a la distribución de los sexos entre los individuos y a lo largo del tiempo. La anatomía de estas estructuras ha sido descrita con mucho detalle en innumerables publicaciones. Una síntesis de dichas estructuras se presenta en la figura 2.

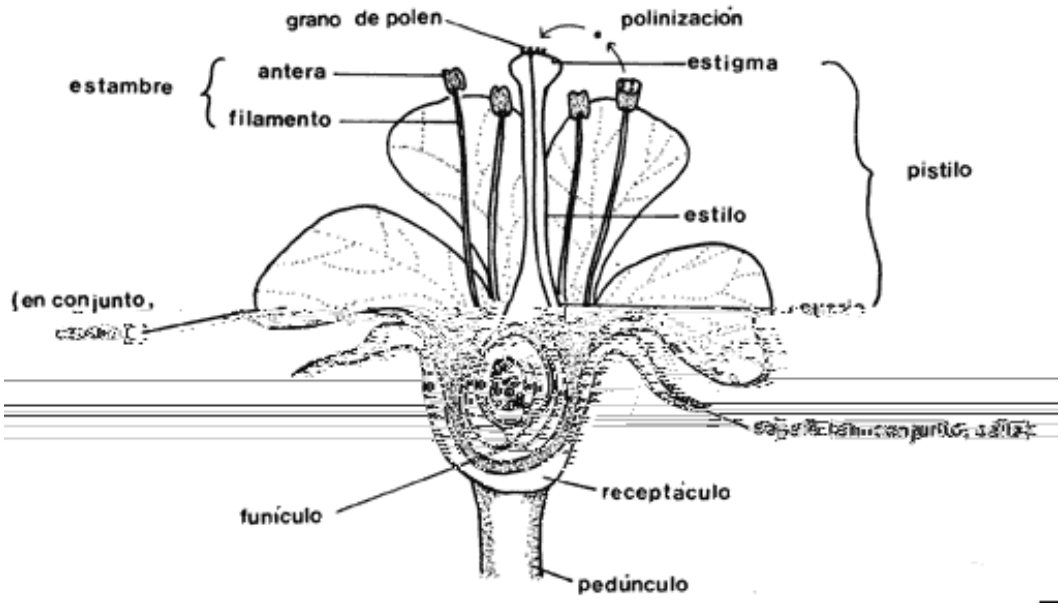


Figura 2. Estructuras reproductoras masculinas y femeninas de la flor. Se aprecian los diferentes verticulos florales y sus nombres.

El proceso de fecundación, que va a dar origen al embrión, ocurre mediante la polinización. Sin embargo, no es necesario que siempre ocurra la polinización para que tenga lugar el desarrollo de la semilla; éste puede iniciarse espontáneamente, a partir de una pseudofertilización o de una auténtica fertilización del óvulo por el polen de la misma planta (autopolinización) o de otra planta genéticamente distinta (polinización cruzada), esta última permite la combinación de genomas distintos. Todo esto hace que la información genética contenida en las semillas sea muy variable.

En ocasiones el genoma del nuevo individuo es idéntico al de la planta madre, tal como ocurre en algunos de los

I. LAS SEMILLAS

LA SEMILLA es el principal órgano reproductivo de la gran mayoría de las plantas superiores terrestres y acuáticas. Ésta desempeña una función fundamental en la renovación, persistencia y dispersión de las poblaciones de plantas, la regeneración de los bosques y la sucesión ecológica. En la naturaleza la semilla es una fuente de alimento básico para muchos animales. También, mediante la producción agrícola, la semilla es esencial para el ser humano, cuyo alimento principal está constituido por semillas, directa o indirectamente, que sirven también de alimento para varios animales domésticos.

La semilla es uno de los principales recursos para el manejo agrícola y silvícola de las poblaciones de plantas, para la reforestación, para la conservación del germoplasma vegetal y para la recuperación de especies valiosas sobreexplotadas. Las semillas pueden almacenarse vivas por largos periodos, asegurándose así la preservación de especies y variedades de plantas valiosas.

La ciencia de las semillas se ha desarrollado a lo largo de muchos años, acumulándose hasta la fecha un importante volumen de conocimientos acerca de muchos aspectos de su biología y manejo. Existen numerosas publicaciones científicas y técnicas en este campo y se conocen con detalle varias características de la biología de las semillas de las plantas cultivadas más importantes, y de algunos árboles de valor forestal; sin embargo, las semillas de las plantas tropicales y subtropicales no han corrido con igual suerte y su estudio se ha quedado muy rezagado.

Como parte del estudio de las plantas es necesario intensificar la investigación de las semillas, sus características fisiológicas, sus mecanismos de latencia y germinación, su longevidad (ecológica y potencial) y su posible uso para la propagación y conservación de las plantas.

ORIGEN DE LA SEMILLA

La semilla es una unidad reproductiva compleja, característica de las plantas vasculares superiores, que se forma a partir del óvulo vegetal, generalmente después de la fertilización. Se encuentra en las plantas con flores (angiospermas) y en las gimnospermas. En las angiospermas los óvulos se desarrollan dentro de un ovario; en tanto que en las gimnospermas la estructura que los contiene es muy diferente, pues no constituye una verdadera flor; sin embargo, la estructura de las semillas de estas plantas es básicamente similar a la de las plantas con flores.

Para entender la ontogenia de la semilla, es decir, su formación y desarrollo, se requiere cierto conocimiento de la estructura de las flores y de los órganos reproductivos masculinos y femeninos, En términos generales, las flores consisten de varias capas de hojas modificadas que constituyen, de afuera hacia adentro, los sépalos, los pétalos, los estambres y el ovario. Hay grandes variaciones entre especies en la forma, tamaño y disposición de estas estructuras. Hay también plantas que producen flores con sexos separados, ya sea masculinas con estambres o femeninas con ovarios. Los estambres producen granos de polen que contienen los gametos masculinos, y el ovario contiene los óvulos que producirán a las semillas (figura 2). Los óvulos de las plantas superiores son estructuras pluricelulares, relativamente complejas. En su interior, el óvulo contiene al saco embrionario y éste a su vez contiene varias células haploides, no claramente delimitadas, cuyo número varía entre los diferentes grupos taxonómicos.

Al arribar el polen al pistilo, que es el órgano femenino, se produce la polinización, con la consecuente formación del tubo polínico, que desciende por el estilo hacia el óvulo. El tubo polínico lleva dos núcleos haploides: el gameto masculino que se fusionará con el núcleo del saco embrionario que funciona como cigoto o huevo, para originar un nuevo organismo diploide, y otro que se fusionará con los dos núcleos polares del saco embrionario para formar un tejido triploide, el endospermo. Este proceso se conoce como doble fecundación. Tanto la estructura de estos órganos como la doble fecundación, que caracteriza a las plantas, son complejas y escapa a los objetivos de este libro; sin embargo, están descritas con mucho detalle en los textos de botánica. En la figura 3 se precisan las principales estructuras participantes y resultantes de la fecundación.

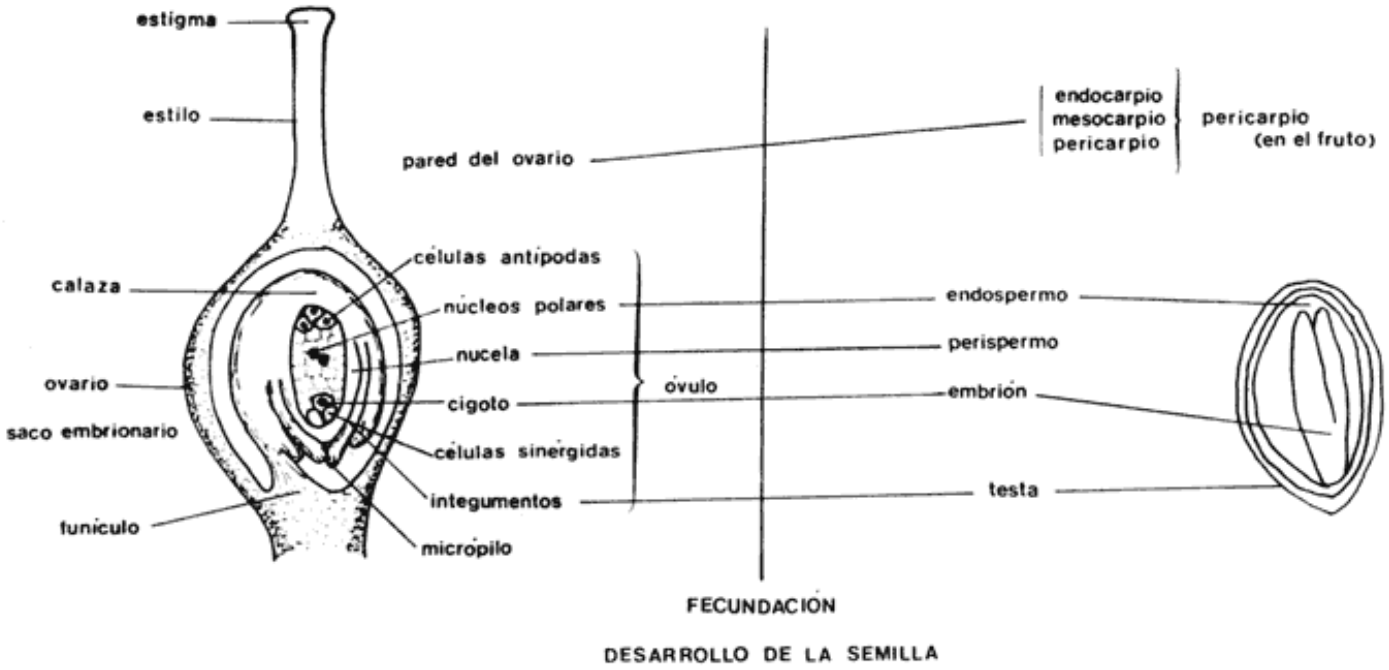


Figura 3.Estructura del ovario de una flor. Se muestran las diferentes capas que lo componen y cómo se transforma después de la fecundación cada estructura en los diversos componentes morfológicos de la semilla.

Al momento de la fertilización un óvulo típico de angiospermas está compuesto por una o dos capas protectoras y por el saco embrionario que contiene al núcleo que funciona como gameto. El óvulo está unido a la pared del ovario por el funículo. Después de la fertilización el huevo comienza a dividirse hasta formar el embrión de una nueva planta: las cubiertas exteriores o tegumentos originarán la cubierta de la semilla, como hemos visto, las otras células del tejido central en algunos casos originarán el endospermo, que contiene las reservas de la semilla que serán utilizadas en el desarrollo inicial de la nueva planta. En muchas especies el endospermo no se forma y es el embrión el que acumula las sustancias de reserva, generalmente en los cotiledones u hojas embrionarias, que pueden llenar todo el interior de una semilla. En la naturaleza se encuentran infinidad de variantes en la estructura de las semillas; por ejemplo, en las semillas pequeñas el embrión puede poseer un cúmulo de pocas células o tener ya la forma de una pequena planta en la que se distinguen claramente la radícula, los cotiledones u hojas embrionarias, la plúmula de la cual se desarrollará el tallo y el hipocótilo, conectando entre sí todas las estructuras (figura 4).

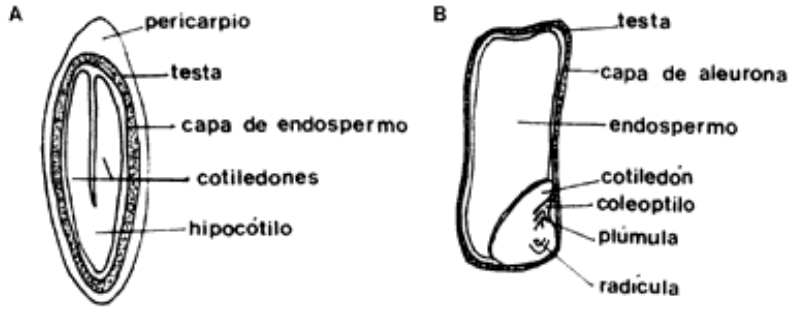


Figura 4. Anatomía de la semilla de una dicotiledónea y de una monocotiledónea.

Las reservas energéticas de la semilla son: grasas, carbohidratos y a veces proteínas que sostendrán a la futura

planta durante sus primeras etapas de vida. Estas reservas, como hemos dicho, pueden encontrarse en diferentes tejidos o en el embrión mismo, y todo esto está relacionado con la germinación y el desarrollo de un nuevo individuo.

Existe cierto paralelismo en el desarrollo de las semillas en las plantas superiores y el desarrollo de los fetos en los mamíferos. En ambos casos existe una conexión de tipo placentario que transfiere recursos para el desarrollo del embrión, que aumenta sus probabilidades de sobrevivencia después de la separación de la madre, durante la germinación y las primeras etapas del establecimiento. La diferencia principal estriba en que esta separación, en el caso de los animales, se lleva a cabo por el propio movimiento de la descendencia, en tanto que en las plantas, el alejamiento de los descendientes de la planta madre ocurre en forma pasiva y con frecuencia auxiliada por agentes externos como el viento, el agua y los animales que se encargan de diseminar las semillas. En esta función el ovario tiene un papel importante, ya que con frecuencia se transforma en la estructura que va a permitir la dispersión de la semilla, bien sea formando un fruto carnoso, una estructura en forma de alas o pelos, o un fruto seco que al deshidratarse se abre bruscamente expulsando las semillas. En algunos casos, partes del fruto pueden llegar a formar parte de las cubiertas de la semilla, como en las gramíneas y algunas frutas como el durazno. En resumen, una semilla madura contiene tejidos originados directamente de la planta madre y tejidos formados por la nueva combinación genética producida por la fertilización.

La gran diversidad de formas de los frutos de las angiospermas está muy relacionada con los mecanismos de dispersión. El crecimiento y desarrollo de las plantas jóvenes bajo el árbol que las engendró es muchas veces difícil debido a la falta de luz, a la competencia de las raíces por nutrientes y a la presencia de una gran densidad de parásitos y depredadores específicos en esa área; la dispersión sobre una área más amplia asegura que algunas semillas encuentren condiciones adecuadas para germinar y crecer. Sin embargo, en las comunidades naturales la gran mayoría de ellas perece por los efectos de un ambiente inadecuado para establecerse, por la competencia con otras plantas, por depredación por animales o parásitos y por enfermedades.

En la naturaleza existen infinidad de variantes con respecto a la estructura de los frutos y los mecanismos de dispersión de las semillas, que han sido objeto de numerosos estudios. En el cuadro 1 se resumen los diferentes mecanismos de dispersión existentes, y su relación con los agentes que transportan las semillas.

CUADRO 1. Mecanismos de dispersión y su relación con las características de las diásporas

Nombre con que se le conoce	*Agentes dispersores*	*Características de la diáspora*	*Alcance de la dispersión*	*Ejemplos*
Anemócora	Aire	Tamaño pequeño Alta relación superficie/volumen Aplanamiento Apéndices plumosos o alados	Amplia	orquídeas diente de león madera balsa ceiba o pochote
Hidrócora	Agua	Flotabilidad Resistencia a la inmersión Cubiertas impermeables	Amplia	mangles lotos coco
Epizoocora (exterior)	Animales	Cubiertas adhesivas, apéndices o ganchos	Amplia, media y corta	cardillo pegarropa
Endozoocora (interior)		Comestibles Cubiertas gruesas o mucilaginosas		pirul tomate tejocote
Dispersión mecánica	Mecanismos explosivos	Pequeñas y ligeras	Corta y media	hongos helechos palo de agua agritos algunos geraneos y malezas
Antropozoocora	Hombre	Comestible para él y para sus animales	Amplia	leguminosas

TAMAÑO DE LAS SEMILLAS

El tamaño de las semillas entre diferentes especies de plantas varía en una forma impresionante, a pesar de que se trata de un órgano vegetal cuyo origen ontogenético es constante y que tiene una función bien definida. Hay aproximadamente 11 órdenes de magnitud de diferencia en tamaño entre las semillas más pequeñas y las más grandes que existen en la naturaleza. Las semillas de una orquídea pueden pesar 0.1 mg, en tanto que la palma de coco doble del Pacífico produce semillas de 10 kg de peso. En una comunidad natural el rango de variación es menor pero es aún muy amplio; por ejemplo, en la selva tropical, éste es de aproximadamente seis órdenes de magnitud.

Los recursos de una planta para producir semillas son limitados, así que cierta cantidad de energía disponible para producirlas puede traducirse en un gran número de semillas pequeñas o en un número menor de semillas grandes. El número producido y su tamaño afectarán la capacidad de sobrevivencia y perpetuación de las especies. Las plantas que producen muchas semillas pequeñas se diseminan más ampliamente y tienen mayores oportunidades de encontrar un sitio favorable para germinar y crecer; sin embargo, su tamaño pequeño aporta poco al crecimiento de la nueva planta y ésta depende muy pronto de los recursos disponibles en su medio, por lo que su riesgo de morir es muy alto. También tienen menor resistencia a los efectos de la defoliación por herbívoros y pueden ser aplastadas fácilmente por la hojarasca que cae al suelo. Aunque esto se compensa de alguna manera por el gran número, sólo una pequeña fracción sobrevive a todos esos accidentes.

determinan un tamaño inicial de semilla en el grupo, sobre el cual la selección natural puede o no haber actuado.

PRODUCCIÓN DE LAS SEMILLAS

Fenología

Las plantas presentan frecuencias de floración y de subsecuente fructificación que van desde la producción continua de frutos a lo largo del año, como ocurre en algunos pioneros, a la producción sincrónica de frutos dentro de una generación de plantas a intervalos de más de un siglo, como ocurre en algunas especies de bambú. Entre estos extremos existen varios patrones de producción de semillas. Uno muy frecuente es la fructificación anual de duración relativamente fija; sin embargo, el tamaño de la cosecha de semillas de la población de una especie, o de ésta, entre plantas individuales, puede variar. El periodo de fructificación cambia entre diferentes localidades, incluso dentro de una misma región. Esta variabilidad se debe a variaciones en la disponibilidad de recursos para la reproducción o a los ciclos endógenos que diferencian distintos niveles de esfuerzo reproductivo entre años.

Algunas regiones caracterizadas por un clima muy homogéneo y poco estacional contienen poblaciones de plantas que presentan fructificación masiva cada pocos años seguidas por años de baja o nula producción de propágulos sexuales; mientras que en áreas climáticamente más estacionales son característicos los periodos bien definidos de fructificación. En el cuadro 2 se resumen los principales ciclos periódicos en la floración.

La regulación fisiológica de los diferentes patrones de reproducción y los sensores que los regulan son pobremente conocidos, no obstante, las presiones del ambiente han inducido la selección de los diferentes comportamientos fenológicos, los cuales han sido ampliamente analizados por muchos autores. La mayoría de ellos está de acuerdo en que los patrones fenológicos representan adaptaciones a presiones de tipo abiótico y biótico. Entre los factores abióticos, el fundamental parece ser la estacionalidad en la disponibilidad de recursos, por ejemplo la estación húmeda y la seca, además de condiciones ambientales apropiadas para la reproducción, como la disponibilidad de agua para la floración y fructificación y temperaturas favorables para la actividad de los polinizadores. Las presiones bióticas han sido objeto de mucha discusión y han generado diversas opiniones; sin embargo, la principal hipótesis acerca del origen de las diferentes periodicidades de floración y fructificación está basada en la idea de que éstas reducen la competencia de las plantas por polinizadores y dispersores.

CUADRO 2. Periodicidad de la floración en zonas tropicales de acuerdo con los criterios de Alvim en 1974

a) Plantas de floración continua. Producen flores todo el año si las lluvias son favorables. Por ejemplo: la papaya.
b) Plantas de floración no estacional. En general florecen todo el año, aunque la misma planta no lo hace en forma continua. Se observan variaciones de una planta a otra, incluso entre ramas de la misma planta. Por ejemplo: la caña fístula y la ceiba.
c) Plantas de floración estacional. Son las que crecen en zonas donde ocurren sequías periódicas o donde el fotoperiodo varía notablemente. Algunas especies no estacionales pueden comportarse como estacionales cuando crecen en condiciones de sequías periódicas. Por ejemplo: la ceiba, el colorín, la jacaranda.
d) Plantas de floración gregaria. También son plantas de floración estacional dependiendo de las condiciones climáticas, se caracterizan por la simultaneidad de la floración de todos sus individuos en un área determinada. La floración ocurre por periodos cortos. Por ejemplo: el café.

Las especies de plantas compiten entre ellas para atraer polinizadores de flores y dispersores de semillas, por lo cual han desarrollado comportamientos que minimizan la sobreposición fenológica con otras plantas que dependen del mismo vector animal en cada comunidad vegetal.

Cosecha de semillas

La fotosíntesis genera compuestos orgánicos que son invertidos en gasto respiratorio, crecimiento, reposición de partes, tejidos y órganos, y finalmente en la reproducción, por lo que la cantidad de semillas producidas por cada planta individual, en proporción a su biomasa total y al rendimiento fotosintético anual, es muy variable entre especies y poblaciones. Las plantas anuales colocan gran parte de su productividad fotosintética anual en biomasa reproductiva porque tienen una sola oportunidad en la vida de dejar descendientes, pero la mayoría de las plantas leñosas producen propágulos muchas veces durante su vida, por lo que esta producción se logra normalmente utilizando una menor proporción de la productividad fotosintética anual. Otro factor importante relacionado con el volumen de la cosecha es la frecuencia de la fructificación. Se ha visto que las plantas que fructifican frecuentemente producen menos propágulos que aquellas que lo hacen esporádicamente, y que las de fructificación estacional ocupan una posición intermedia. En el sureste de Asia existe el fenómeno conocido como fructificación "mast", el cual consiste en la producción masiva de frutos cada cierto número de años, seguida de una producción escasa en años intermedios.

Con gran frecuencia se observan años buenos y años malos en la producción de frutos en muchas plantas tropicales. Durante los años buenos las semillas son abundantes, sanas y con alta viabilidad, en tanto que en los años malos éstas son escasas, mal desarrolladas y de baja viabilidad. Esta variación está ligada a la calidad de la estación favorable para la productividad fotosintética y a factores bióticos, como la abundancia de polinizadores o parásitos de flores y frutos.

GERMINACIÓN

La germinación de las semillas comprende tres etapas sucesivas que se superponen parcialmente: *1)* la absorción de agua por imbibición, causando su hinchamiento y la ruptura final de la testa (figura 5); *2)* el inicio de la actividad enzimática y del metabolismo respiratorio, translocación y asimilación de las reservas alimentarias en las regiones en crecimiento del embrión, y *3)* el crecimiento y la división celular que provoca la emergencia de la radícula y posteriormente de la plúmula. En la mayoría de las semillas el agua penetra inicialmente por el micrópilo y la primera manifestación de la germinación exitosa es la emergencia de la radícula (figura 6).

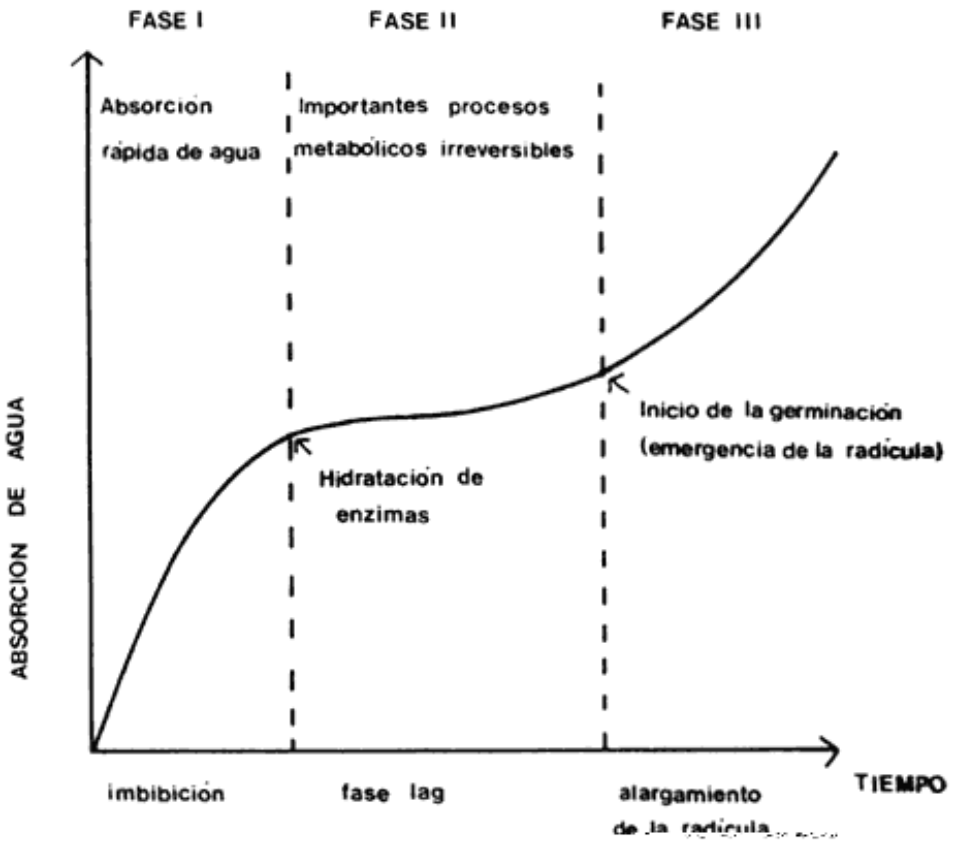


Figura 5. Etapas de la germinación que conducen a la emergencia de la radícula. Se inician con la absorción de agua y la activación metabólica del embrión.

Figura 6. Semilla germinada que muestra la ubicación y apariencia de la radícula.

Existen varias etapas de desarrollo de la plántula cuyas características varían, dependiendo del tipo de germinación que presenta cada especie. Hay básicamente dos tipos de germinación (que a veces presentan algunas variantes), la germinación epigea y la hipogea. En la germinación epigea el hipocótilo se alarga y aleja a los cotiledones del suelo; en tanto que en la germinación hipogea el hipocótilo no se desarrolla y los cotiledones permanecen bajo el suelo o ligeramente sobre éste. En este caso las hojas cotiledonarias tienen sólo una función almacenadora de nutrientes, en tanto que en la germinación epigea estas hojas también tienen con frecuencia color verde y realizan funciones fotosintéticas durante el crecimiento temprano de la plántula. La testa de la semilla puede permanecer cubriendo los cotiledones en el caso de la germinación hipogea, en tanto que en la epigea se desprende, lo cual permite la expansión de las hojas cotiledonarias (figura 7).

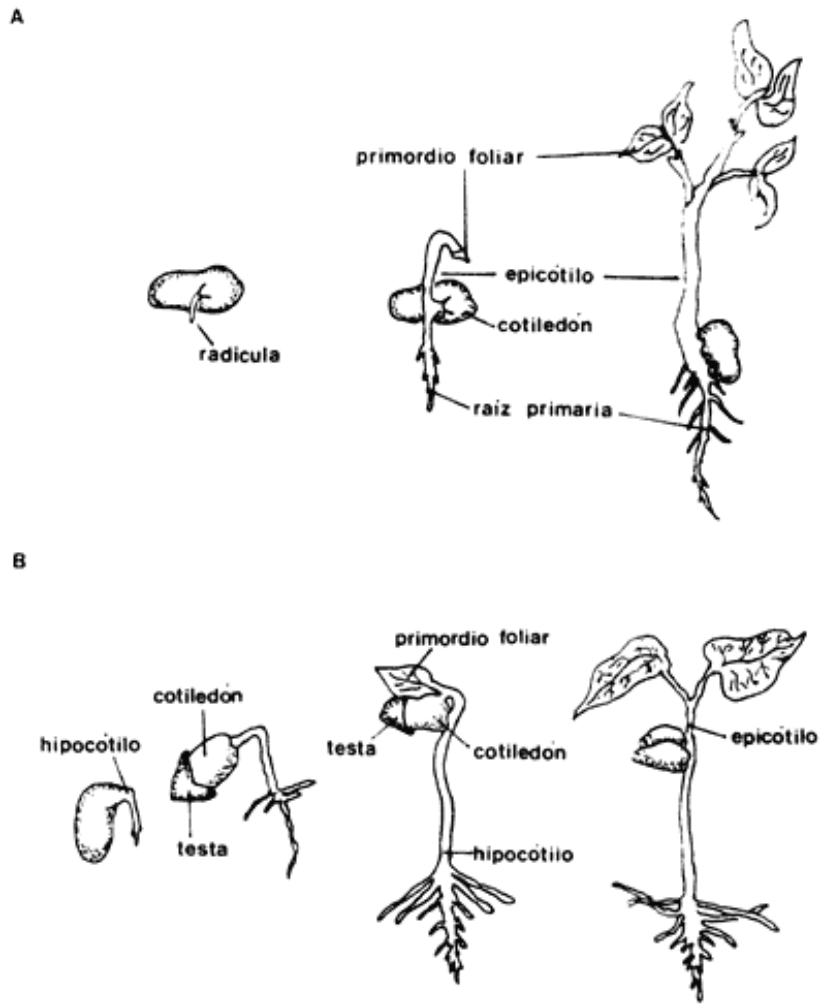


Figura 7. A) Germinación hipogea en haba. B) Germinación epigea en frijol.

En el trópico las semillas presentan tipos de germinación intermedios entre los dos descritos. Por ejemplo, en algunos casos los cotiledones son expuestos y fotosintéticos pero permanecen al nivel del suelo, y en otros casos se elevan sobre el suelo, sin embargo, permanecen plegados dentro de la cubierta de las semillas. Cada una de estas variantes ha recibido nombres que varían según los autores; la nomenclatura asignada a estas variantes hace hincapié en su carácter de presentación intermedia de los mecanismos de germinación.

Germinación de las semillas en el suelo

La gran diversidad de las plantas se refleja en la multitud de posibilidades del desarrollo y la temporalidad de la germinación de las semillas de diferentes especies. Existen plantas que diseminan sus semillas cuando ya han germinado en el fruto; en el otro extremo, algunas semillas que son dispersadas están provistas de una dura testa impermeable que sólo permite la germinación después de muchos meses de desgaste.

Cuando llegan las semillas al suelo, el recurso clave para iniciar los cambios fisiológicos que conducen a la germinación es el agua, que resulta indispensable para activar el metabolismo y el crecimiento de las células vivas de los tejidos de las semillas. La cantidad de agua que absorbe una semilla y la velocidad a la que lo hace no sólo dependen de las características de la semilla, como la permeabilidad de sus cubiertas, la composición química de sus reservas, su tamaño y su contenido de humedad, sino que también están determinadas por condiciones ambientales como la humedad del suelo, la humedad del aire y la temperatura.

Muchos árboles del bosque tropical producen semillas con alto contenido de humedad, cuya germinación se ve favorecida en ambientes húmedos y sombreados dentro del bosque. Es frecuente que estas semillas no puedan germinar bien en suelos desnudos que reciben insolación directa, pues la pérdida de agua de la superficie de la

semilla a la atmósfera supera la cantidad absorbida en la interfase semilla-suelo, por lo que raramente alcanzan altas tasas de germinación en suelos en los que la evaporación es muy alta. Estas semillas, al igual que muchas otras de los bosques tropicales, tienden a germinar casi de inmediato que llegan al suelo, cuando las condiciones de humedad son adecuadas. Con frecuencia, en pocos días la radícula emerge de las cubiertas de la semilla y en pocas semanas ocurre la total germinación de las semillas viables. El periodo que transcurre entre la liberación de las semillas de los frutos y su llegada al suelo no se caracteriza por una latencia profunda, ya que el único factor que determina la germinación es la disponibilidad de agua.

Por otra parte, algunas semillas pueden tolerar cierto grado de sequía cuando se encuentran en el suelo, perdiendo humedad y entrando en un estado quiescente (de reposo) hasta que se incrementa la humedad del suelo, al inicio de la estación de lluvias. Las semillas del cedro y la caoba de América tropical son dos ejemplos de semillas que son dispersadas por el viento en la estación seca, que son liberadas con bajo contenido de humedad y que permanecen quiescentes en el suelo hasta que las primeras lluvias permiten su germinación. La aparición de multitud de plántulas de árboles en el suelo de los bosques tropicales al principio de la estación lluviosa se explica por la presencia de muchas semillas quiescentes que se diseminaron durante la estación seca.

La germinación de las semillas con frecuencia tiene lugar en la superficie del suelo, por lo que el equilibrio entre la ganancia de humedad del suelo y su pérdida por transpiración a la atmósfera determina el momento en que la semilla se satura de humedad y comienza a germinar. Algunas veces este equilibrio mejora cuando las semillas están parcialmente enterradas en la hojarasca.

LATENCIA

Una vez que la semilla ha completado su desarrollo se inician los cambios que darán lugar al establecimiento del reposo en las semillas (cuadro 3). Este reposo o reducción del metabolismo se denomina quiescencia cuando la causa de que no ocurra la germinación es fundamentalmente la falta de agua, como es el caso de las semillas almacenadas en condiciones artificiales, por ejemplo un frasco con frijoles en la alacena o las semillas que permanecen en los frutos unidos a la planta madre por largo tiempo. En cambio, el reposo de las semillas se denomina latencía cuando la semilla no germina a pesar de encontrarse en un lugar óptimo en cuanto a la temperatura y la humedad. Las causas por las que no germinan pueden deberse a la existencia de un periodo cronológicamente regulado de interrupción del crecimiento y de disminución del metabolismo durante el ciclo vital. Ésta es una estrategia adaptativa de supervivencia frente a condiciones ambientales desfavorables que se presenta en algunos seres vivientes. En las plantas superiores puede existir latencia o interrupción del crecimiento en el tejido meristemático, por ejemplo en las yemas de crecimiento de las ramas, así como en las semillas. El establecimiento de la latencia está regulado por factores hereditarios que determinan los mecanismos fisiológicos endógenos de las plantas, los cuales interactúan con factores del ambiente en el que las plantas crecen; esto da lugar, a la larga, a cambios evolutivos en las plantas. Entre las condiciones más importantes del ambiente se encuentran las variaciones climáticas de temperatura y humedad, las variaciones microclimáticas derivadas de aspectos fisiográficos y bióticos, como la calidad espectral de la luz y el termoperiodo, así como las características específicas del lugar a las que las plantas se han adaptado para establecerse y crecer. Las variaciones micro y macroclimáticas, así como las condiciones hormonales y nutricionales de la planta progenitora tienen gran influencia en el establecimiento de la latencia de sus semillas durante su desarrollo, por lo cual pueden existir variaciones entre cosechas de semillas de una especie, según la época y el lugar de producción.

CUADRO 3. Pasos en el desarrollo del reposo en las semillas

1) Pérdida de agua (deshidratación)
2) Diferenciación de la cubierta de la semilla
3) Interrupción de la transcripción genética y de la síntesis de proteínas.
4) Reducción de la respiración y de otras actividades del metabolismo intermediario.

Se han definido varios tipos de latencia que en síntesis se presentan en el cuadro 4. Nos ajustaremos aquí a la

clasificación que el ecólogo británico John Harper presentó en 1957, que toma en cuenta principalmente el comportamiento de este mecanismo fisiológico en la naturaleza. Existen clasificaciones más modernas, o con otro enfoque, que pueden consultarse en diversas obras.

CUADRO 4. Clasificación de los tipos de latencia de acuerdo con diferentes autores citados por Koslowski en 1972

[illegible] 1912)	[illegible] (1950)	[illegible] (1962)	[illegible] (1957)	[illegible] (1950)	*Nikolaeva 1969)* [illegible] (1950)
Primaria	Natural	Inherente	Innata	Constitutiva	Endóge-na
	Inducida	Ambiental	Forzada u Obligada	Exógena	Exógena
Secundaria			Inducida		

Latencia innata o endógena

Se presenta en el momento en el que el embrión cesa de crecer (cuando la semilla aún está en la planta madre) y continúa hasta que el impedimento endógeno cesa, en ese momento las semillas están en condiciones de germinar en cuanto se presentan las condiciones ambientales adecuadas. La presencia de inhibidores químicos de la germinación en el embrión o la inmadurez de éste son probablemente las causas principales de esta latencia. La duración de la latencia innata es muy variable según la especie, en algunos casos, incluso puede variar entre las semillas de un mismo individuo. Algunos experimentos parecen indicar que en ciertas semillas tropicales existen procesos comparables a la posmaduración, característica de muchos árboles de climas templados, cuyas semillas sólo germinan después de haber transcurrido el invierno, de haber sido expuestas a bajas temperaturas en el laboratorio o mediante la aplicación de hormonas vegetales, como el ácido giberélico o almacenándolas en frío.

Latencia inducida o secundaria

Este tipo de latencia se produce cuando las semillas están en condiciones fisiológicas para germinar y se encuentran en un medio que presenta alguna característica muy desfavorable, como poco oxígeno, concentraciones de CO_2 mayores a las de la atmósfera, temperatura alta, etc., lo que puede producir alteraciones fisiológicas reversibles en las semillas. En estos casos, las semillas pueden caer en un estado de latencia secundaria en el que ya no pueden germinar a pesar de continuar vivas. En algunos casos este tipo de latencia se rompe por medio de un estímulo hormonal. Algunas veces la latencia inducida también puede sumarse a otros tipos de latencia o sustituirlos.

Latencia impuesta o exógena

En la naturaleza esta latencia se presenta en semillas aptas para germinar en condiciones adecuadas de humedad y temperatura media, es decir, adecuadas al hábitat que ocupan, pero que continúan latentes por falta de luz, requerimientos especiales de temperatura, oxígeno o de otro factor. Esta latencia está controlada por las condiciones físicas del ambiente que rodea a la semilla, y se presentan en aquellas que se encuentran en el suelo y que germinan sólo después de una perturbación que modifique el régimen lumínico o el contenido de oxigeno.

Germinación retardada por una testa impermeable

Muchas plantas producen semillas cuyo tegumento externo es duro impermeable al agua o a los gases, e incluso el micrópilo está provisto de una barrera que impide la penetración de agua al embrión. Esta característica es frecuente en varias familias de plantas, particularmente en las fabáceas o leguminosas, las malváceas y bombacáceas.

En el suelo del bosque la cubierta de la semilla gradualmente se vuelve permeable por intemperismo, degradación microbiana, factores del suelo como las saponinas o por el efecto de fluctuaciones de temperatura, y va germinando poco a poco. Este mecanismo de latencia pasiva es particularmente frecuente en los bosques tropicales secos, y puede haberse originado como un mecanismo de persistencia de las semillas en el suelo a lo largo de la estación desfavorable de crecimiento.

Frecuentemente se dice que el tránsito a través del tubo digestivo de animales es uno de los factores principales que rompen este tipo de latencia entre las semillas que son dispersadas por animales. Sin embargo, muchas de las especies que presentan testa dura no son ingeridas por animales; otras, aunque sí sean ingeridas, son destruidas o no muestran mucha diferencia en su germinación antes y después de haber sido ingeridas por animales.

Las altas temperaturas también pueden romper los tegumentos. Esto ocurre frecuentemente durante los incendios o las quemas en los terrenos de cultivo, sobre todo en los trópicos. Los tegumentos también pueden cambiar su estructura después de ser expuestos a la insolación directa por periodos prolongados.

Es probable que muchas de las semillas resistentes al calor presenten tegumentos impermeables al agua, ya que las semillas contienen enzimas, nucleoproteínas y otras sustancias que se desnaturalizan con facilidad con el calor; estos compuestos son menos lábiles cuando están deshidratados, por lo que una testa impermeable impide que la semilla se embeba y por lo tanto queda protegida durante las quemas.

GERMINACIÓN CONTROLADA POR EL AMBIENTE

Temperatura

Los cambios que ocurren durante la germinación comprenden procesos metabólicos que se producen en estrecha relación con la temperatura, y su efecto se expresa en la capacidad germinativa o en la velocidad de germinación. Las temperaturas cardinales de la germinación son óptima, máxima y mínima, y el intervalo térmico en el que las semillas germinan son características sujetas a la selección natural. Por esto, con frecuencia se presentan como adaptaciones muy claras a los hábitat en los que las plantas se desarrollan, y hay diferencia entre las especies, incluso entre distintas poblaciones de la misma especie de acuerdo con su distribución geográfica. En zonas templadas o frías, en muchos casos se ha visto que las semillas sólo germinan en los intervalos de temperaturas que caracterizan precisamente a las épocas del año más favorables o adecuadas para el establecimiento de las plantas.

Muchos fisiólogos han considerado que las temperaturas cardinales son parámetros fisiológicos muy útiles en el estudio de la germinación. Sin embargo, pueden presentarse dificultades al tratar de fijar en forma precisa las temperaturas cardinales de una especie, ya que con frecuencia éstas varían según el estado de maduración de las semillas o son dificiles de detectar debido a la lentitud de la germinación a ciertas temperaturas.

Además, en algunas plantas existen respuestas bimodales ante la temperatura, es decir, dos temperaturas óptimas separadas por temperaturas menos favorables. Normalmente la búsqueda de las temperaturas cardinales de las especies se ha realizado utilizando estufas o cámaras a temperatura constante. El uso de una placa de gradiente térmico también es muy útil para ese propósito, así como para conocer el intervalo térmico de germinación.

Termoperiodo

El estudio de las temperaturas cardinales o del intervalo térmico de germinación es insuficiente para conocer la respuesta germinativa de especies que producen semillas cuya germinación se ve favorecida por una alternancia de temperatura, como la que se produce por el calentamiento del suelo soleado durante el día. Las semillas que responden a este cambio ambiental pueden presentar diversos mecanismos para detectar este factor, por ejemplo, la presencia de una testa impermeable que se hace permeable al calentarse, o la existencia de un mecanismo químico endógeno que sólo puede activar el proceso de germinación cuando ocurren fluctuaciones de temperatura.

En el interior de los bosques la temperatura en la superficie del suelo se mantiene relativamente constante durante el día y la noche, en tanto que en los lugares abiertos ésta puede fluctuar hasta más de 10°C cada día. Esta forma de control de la germinación es frecuente en regiones tropicales de baja altitud, cubiertas por vegetación perennifolia densa, donde el suelo es prácticamente isotermal a lo largo del año; en tanto que las temperaturas de

los suelos desnudos de vegetación presentan una fluctuación diaria muy marcada en la capa superficial durante los días despejados. Seguramente en esos ambientes las temperaturas cardinales y el intervalo térmico de germinación no tienen las mismas presiones de selección que se observan en regiones templadas o frías, donde la estacionalidad de la temperatura es determinante para que ocurra la germinación; en regiones isotermales son más bien las condiciones microclimáticas las que determinan el establecimiento de las plantas. Obviamente, este tipo de selección también es posible en cualquier otra región, incluyendo las templadas.

Muchos fisiólogos han experimentado con termoperiodos en pruebas de germinación y en muchas especies se ha observado que una o varias alternancias de temperatura pueden favorecer o disparar la germinación. El efecto de la alternancia de temperatura parece tener relación con la hidratación de las semillas, pues la escarificación de éstas es suficiente para permitir la germinación a una temperatura constante. Los cambios fisicoquímicos producidos por el termoperiodo en las semillas, que conducen a la desaparición de la latencia, son de muy diversa naturaleza según la especie. En general se piensa que la fluctuación de temperatura permite la activación de ciertas enzimas y hace permeables a algunas membranas, lo que finalmente trae consigo el desencadenamiento de la germinación.

A pesar de que en condiciones naturales el termoperiodo que se produce en la superficie del suelo tiene influencia en la germinación de ciertas semillas que regulan su germinación gracias a él, no siempre es necesario para la germinación de otras especies, aun cuando pertenezcan a comunidades en las que regularmente existe un marcado termoperiodo a nivel del suelo.

Fuego

El fuego es un factor ambiental natural que el hombre ha favorecido, pues al parecer los fuegos naturales son menos frecuentes que los inducidos. Actualmente el fuego ha actuado y está actuando cada vez en mayor escala sobre el medio ambiente debido a las prácticas características de la agricultura nómada y a que los incendios forman parte del mantenimiento de pastizales y campos de cultivo colindantes con la vegetación natural.

Se ha observado que diversas especies vegetales poseen semillas capaces de tolerar altas temperaturas y aumentar su germinación bajo los efectos de éstas. Especies con estas características son frecuentes en las sabanas tropicales y los pastizales templados. En ciertos bosques de coníferas y otras zonas, en las que los fuegos son frecuentes, la existencia de incendios periódicos ha sido un importante factor de selección sobre ciertas características anatómicas y fisiológicas de las plantas, y contribuyen en gran medida a la estabilidad y mantenimiento de este tipo de comunidades.

Es muy probable que todas las semillas resistentes al calor presenten latencia de tipo tegumentario, debido que su tegumento es impermeable al agua, ya que las semillas hidratadas son más susceptibles a sufrir daños al calentarse. La estructura del tegumento cambia con el calentamiento húmedo o seco a temperaturas variables, según la especie, lo cual permite la entrada del agua o los gases al interior de la semilla. Este tipo de latencia es particularmente frecuente entre las fabáceas, malváceas, y otras plantas que germinan abundantemente en el suelo de bosques recientemente incendiados o de otras comunidades, como el chaparral de California, ciertos pinares y las sabanas tropicales. Los matorrales del Cabo, en Sudáfrica, llamados finbos, de los cuales proceden plantas de ornato tan conocidas como los geranios, están tan adaptados a los fuegos periódicos que incluso se vende comercialmente un compuesto preparado con el humo de la combustión de la materia orgánica de ese matorral para facilitar la germinación de esas semillas. a aquellas personas interesadas en propagar plantas de esa comunidad. También en el chaparral de California y Baja California Norte se ha visto que el humo puede estimular la germinación de algunas especies.

Luz

El estudio del efecto de la luz sobre la germinación se ha mantenido en el primer plano del interés de los fisiólogos y de los ecofisiólogos durante mucho tiempo. Actualmente, la cantidad de información disponible en este campo es muy grande. La fotoinducción o fotoinhibición de la germinación es uno de los casos más claros del control de un proceso fisiológico por un factor ambiental.

No se sabe cuántas especies de plantas superiores presentan semillas fotoblásticas (germinación regulada por la luz), ya que la fisiología de las semillas de la gran mayoría de las plantas no ha sido investigada; sin embargo, existen evidencias que indican que el porcentaje de especies con semillas fotoblásticas es particularmente alto

entre las plantas anuales.

Son tres las principales bandas del espectro lumínico que tienen acción sobre la germinación, y corresponden a la franja de 660 nanómetros (rojo), 730 nanómetros (rojo lejano) y la luz comprendida entre 400 y 500 nanómetros (azul), aunque con efectos mucho menos claros. Tanto el rojo como el rojo lejano son absorbidos por un compuesto denominado fitocromo, que es una cromoproteína que actúa como sensor. Este pigmento en su forma activa es inductor de la germinación e interviene en procesos de permeabilidad, activación de enzimas y expresión genética. La conversión del fitocromo inactivo (P_r) a fitocromo activo (P_{fr}) por lo general se lleva a cabo bajo el efecto de la luz roja, y la reacción opuesta ocurre bajo el efecto del rojo lejano. Estas dos formas del fitocromo corresponden a cada uno de sus picos de absorción de luz. Esta reacción de conversión en ambos sentidos está relacionada con la inducción y la inhibición de la germinación, y puede ser modificada o controlada por otros factores ambientales como la temperatura o el termoperiodo. La intensidad de la luz, el fotoperiodo y la cantidad de rojo en relación con el rojo lejano presente (denominada relación R:RL) modulan la respuesta de las semillas a la luz a través de este pigmento. La cantidad de fitocromo activo presente en una semilla en el momento de su liberación determina si ésta puede germinar en la oscuridad o si requerirá luz para iniciar el proceso.

En los lugares cubiertos de vegetación la luz que llega al suelo es pobre en rojo y rica en rojo lejano, mientras que en los lugares abiertos ambas longitudes de onda llegan en igual proporción, debido a que la luz no ha sido filtrada por un dosel vegetal. El mecanismo de captación de la luz del fitocromo es sensible principalmente a la calidad de luz, lo que permite a las semillas detectar, en particular, la proporción de R:RL que llega al suelo. De esta manera, algunas semillas de plantas de sol pueden permanecer latentes cuando son dispersadas hacia lugares que están densamente cubiertos de vegetación y que no serían propicios para su establecimiento. La hojarasca que cubre al suelo también modifica la relación R:RL, así como otras propiedades fisicas del suelo.

Este tipo de latencia regulada por la luz es muy común en semillas que permanecen latentes en la oscuridad, enterradas en el suelo, hasta que son exhumadas durante las prácticas agrícolas. Cuando estas semillas alcanzan la superficie del suelo quedan expuestas a la luz y germinan.

En las semillas pequeñas la conversión del fitocromo normalmente se realiza a muy bajas intensidades de luz; sin embargo, la temperatura y el fotoperiodo tienen influencia directa en el resultado final del proceso, expresado en porcentaje y velocidad de germinación.

En ocasiones el proceso fisiológico que induce la germinación necesita la luz, y la germinación total sólo se obtiene cuando la luz y la temperatura actúan simultáneamente. En algunos casos, la temperatura puede provocar que las semillas germinen en la oscuridad, aun cuando generalmente requieren luz. La luz y la fluctuación de temperatura interactúan de muchas maneras para determinar la germinación de las semillas presentes en el suelo en el momento en que las condiciones para el establecimiento de las plantas son las óptimas.

La regulación de la germinación producida por las fluctuaciones de temperatura, la calidad de la luz incidente o alguna combinación de ambos factores es común en hierbas y plantas colonizadoras. Los sensores ambientales de estas semillas detectan cambios en su ambiente que les indican la aparición de condiciones favorables para la germinación y establecimiento de las plantas. Estos cambios se dan cuando la cubierta de plantas se destruye, cuando desaparece la capa de hojarasca o cuando las semillas son desenterradas por algún disturbio, producto de un fenómeno natural o de la perturbación por el hombre.

En las zonas templadas las semillas de muchas especies responden al fotoperiodo, y se han encontrado casos en los que germinan mejor o solamente en días largos o en fotoperiodos especiales, previniendo así la germinación durante la época desfavorable.

En condiciones de humedad adecuadas, la temperatura y el fotoperiodo de los bosques tropicales es favorable para la germinación de la mayoría de las semillas; no obstante, algunas plantas producen semillas que son sensibles a las condiciones ambientales, y que retrasan la germinación hasta que se presentan ciertas condiciones específicas de luz o temperatura en su medio.

Temporalidad de la germinación

La falta de humedad limita muchas veces la germinación; sin embargo, independientemente de ésta, la existencia de un periodo de latencia es bastante común en muchas plantas. El flujo de la germinación en una cosecha puede

ocurrir de varias formas: *1)* toda la cosecha de semillas permanece sin germinar por semanas, meses o incluso años; *2)* parte de la cosecha germina pronto y otra parte permanece latente por más tiempo; *3)* la germinación es gradual y las semillas de una cosecha van germinando a lo largo de varias semanas o meses; *4)* se presentan dos o más eventos de germinación separados en el tiempo dentro de la misma cosecha, y finalmente *5)* las semillas germinan simultáneamente poco después de su llegada al suelo. Las causas de estos patrones de germinación retardada son variables, complejos y poco conocidos para muchas especies silvestres. Dos de las causas que los determinan son: *1)* la permeabilidad limitada o diferencial de las semillas al agua o al oxígeno; *2)* la existencia de una latencia endógena debida a la inmadurez del embrión, que toma tiempo en desarrollarse, o bien al equilibrio inicial de hormonas de crecimiento; por ejemplo, el ácido abscísico y las giberelinas, ya que la primera es inhibidora de la germinación y la segunda la induce.

ECOLOGÍA DE LA GERMINACIÓN

Cada comunidad vegetal presenta mecanismos de germinación característicos que responden al efecto de la selección natural inducida por las condiciones ambientales predominantes sobre la naturaleza y fisiología de las semillas. Debido a la gran complejidad que presenta cada uno de los muchos ambientes poblados por plantas sobre la corteza terrestre, tomaremos sólo tres condiciones contrastantes para ejemplificar las adaptaciones del proceso de germinación predominantes en cada caso.

1) Los desiertos. Se caracterizan por presentar un periodo muy corto (que no todos los años se presenta) en el cual la humedad y el tiempo son adecuados para permitir la germinación y el establecimiento de plantas. Por este motivo en los desiertos predominan las plantas perennes de larga vida, que tienen muchas oportunidades de reproducirse a lo largo de su existencia. En la mayoría de los años todas las semillas perecen. Sin embargo, basta que ocasionalmente se presente algún año muy favorable para que cierto número de semillas logre sobrevivir y establecer nuevos individuos. Estas semillas, más que tener mecanismos de latencia complejos, presentan simplemente una quiescencia que les permite germinar en cuanto hay humedad. Con mucha frecuencia estas plantas presentan también reproducción vegetativa eficiente y a veces predominante como mecanismo de propagación. Por el contrario, las plantas anuales, o efímeras del desierto, producen semillas con latencias complejas, con frecuencia polimórficas, que impiden la germinación de toda la cosecha anual en un mismo año, de manera que algunas semillas pueden sobrevivir por varios años en el suelo y germinar a diferentes tiempos, mientras que otras germinan en cuanto hay humedad. Esto garantiza que haya algunas semillas que germinen en el año en que las condiciones son más favorables y la humedad suficientemente prolongada, para que las plantas se desarrollen hasta producir semillas que renueven su disponibilidad en el suelo.

2) Los bosques templados. En este caso hay dos posibilidades predominantes. Sí la fructificación y diseminación de las semillas ocurre en otoño, éstas deben sobrevivir latentes en el suelo hasta la primavera siguiente, cuando las condiciones de temperatura son adecuadas para el establecimiento. Estas semillas suelen tener latencias endógenas que impiden su germinación inmediata y un mecanismo de maduración a baja temperatura que las prepara para germinar en la primavera. Si los frutos maduran en invierno o en primavera y las semillas son diseminadas en primavera, o al principio del verano, la germinación suele ser inmediata, por lo que la nueva planta aprovecha toda la estación de crecimiento, alcanzando un desarrollo que le permite sobrevivir el invierno siguiente.

3) La selva tropical húmeda. En este caso hay condiciones de alta humedad y temperatura continuas combinadas con una gran abundancia de organismos que utilizan las semillas como alimento, de manera que la mayoría de las especies de semillas tiende a germinar rápidamente, sin presentar mecanismos de latencia profundos. Esto favorece que las semillas escapen de sus depredadores y formen plántulas menos vulnerables a ellos. Las excepciones son las semillas de testa dura, que tienen que sufrir un proceso de escarificación para germinar, y las semillas de plantas colonizadoras de claros, que suelen presentar mecanismos de latencia impuesta que les impiden germinar a menos que haya un cambio en las condiciones ambientales que caracterizan a la selva densa, como las típicas aperturas en la vegetación.

Los estudios de ecología y fisiología de las semillas de plantas tropicales y subtropícales son escasos, y se refieren a una fracción insignificante de las especies que componen esas comunidades. La escasa información ha sido condensada en algunos trabajos de revisión que se han publicado durante la última década sobre temas como la dispersión de semillas, los bancos de semillas en el suelo, la germinación, la ecología de semillas, el análisis sobre el papel ecológico del tamaño de semillas y finalmente la relevancia de las semillas en el manejo de bosques.

Como consecuencia de la enorme diversidad de especies que caracteriza al trópico, combinada con la variedad de historias filogenéticas de sus componentes, las semillas poseen una rica diversidad que se manifiesta en aspectos tan variados como: la estacionalidad de la producción, el volumen de la cosecha de semillas, el número de semillas por fruto, el tamaño, la forma, la anatomía y morfología, el contenido de humedad, la naturaleza de sus reservas y de sus compuestos secundarios, su fisiología y su comportamiento ecológico. No hay una regla para describir las características de estas semillas y tampoco es posible establecer generalizaciones sobre su estructura y comportamiento; sin embargo, se ha dicho con frecuencia que los mecanismos de latencia y germinación más frecuentes en los bosques tropicales húmedos son menos complejos que aquellos que existen en regiones con clima muy estacional, así como entre las plantas anuales.

Banco de semillas del suelo

El banco de semillas del suelo está formado por las semillas viables no germinadas presentes en éste, ya sea enterradas, depositadas sobre la superficie o mezcladas en la capa de hojarasca y humus. Frecuentemente hay gran cantidad de semillas latentes en la mayoría de los suelos, su número depende de factores como la historia, la diversidad y la dinámica de la vegetación que cubre cada suelo. Entre las muchas contribuciones que el naturalista británico Charles Darwin hizo a la biología está el hecho de que quizá fue el primero que escribió acerca del banco de semillas del suelo, en 1859:

> No creo que los botánicos se hayan percatado de lo cargado que está el fango de los estanques de semillas. Yo he intentado varios pequeños experimentos sobre esto, pero expondré aquí solamente el caso más asombroso. En febrero yo tomé tres cucharadas de fango en diferentes lugares de un pequeño estanque, debajo del agua y a la orilla: al secar este fango pesó solamente pocas onzas; lo mantuve cubierto en mi estudio por seis meses, arrancando y contando cada planta que en el crecía. Las plantas fueron de muchas clases y fueron en total 537 en número, a pesar de que el viscoso fango sólo llenaba una taza.

El tiempo que las semillas de una especie de planta determinada permanecen latentes en el suelo antes de germinar, morir o ser atacadas por parásitos o depredadores está determinado por factores fisiológicos innatos y por las condiciones ambientales del lugar. Los bancos de semillas de diferentes especies varían en duración, de temporales a persistentes. En los primeros su duración corresponde al periodo de diseminación de una cosecha de semillas, en los segundos las semillas latentes de una especie siempre se encuentran en el suelo. Las semillas recién diseminadas tienen tres destinos diferentes en el suelo, que son: *1)* la pronta germinación después de su llegada al suelo; *2)* un periodo de latencia que dura hasta que las condiciones ambientales son apropiadas para la germinación, y *3)* la muerte por envejecimiento natural o por la acción de parásitos o depredadores. En el primer caso se forman solamente bancos de semillas relativamente efimeros correspondientes a la época de diseminación de las semillas de cada especie. En el segundo caso se forma un reservorio de semillas de duración más larga que permanece en el suelo hasta que un cambio ambiental interrumpe la acción del mecanismo que induce la latencia. Otra situación en la que se forman bancos de semillas permanentes se debe a la llegada continua al suelo de semillas de especies que presentan una ininterrumpida producción (figura 8).

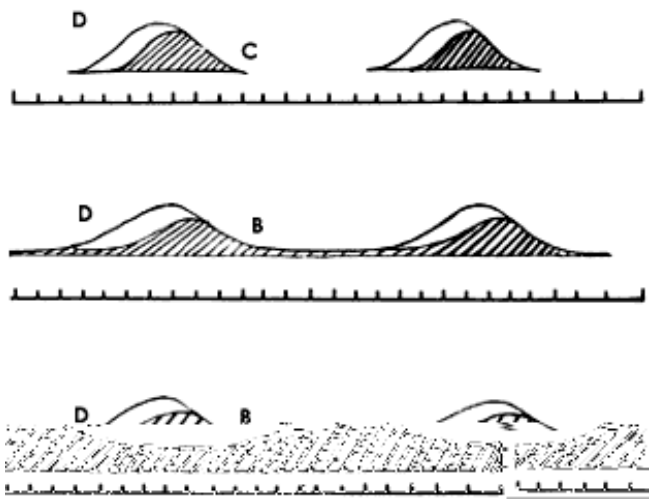


Figura 8. Persistencia de las semillas en el suelo. La parte blanca de la curva corresponde a la diseminación de las semillas (D); la parte achurada corresponde a la persistencia de semillas en el suelo (B): banco efímero (arriba), banco de persistencia intermedia (en medio), banco persistente (abajo).

Longevidad de las semilla en el suelo

Las semillas desempeñan cuatro funciones importantes para la vida y la continuidad en el tiempo de las poblaciones vegetales. No todas son igualmente importantes para las diferentes especies de plantas, ya que han sido moduladas por la selección natural, por las condiciones que prevalecen en cada comunidad en interacción con las características de la historia de vida de cada población de plantas. Estas funciones son la reproducción, la diseminación dentro de la misma comunidad, la expansión hacia nuevos territorios o hacia otros hábitat, y finalmente la sobrevivencia del germoplasma en condiciones meteorológicas o ambientales desfavorables para el crecimiento. La capacidad de las semillas para permanecer vivas y viables, sin germinar por diferentes periodos en el suelo de la comunidad a la que pertenecen, se conoce como longevidad ecológica. Por otra parte, la capacidad para permanecer viables en una condición óptima de almacenamiento artificial por algún tiempo se conoce como longevidad potencial.

La longevidad ecológica varía mucho entre las diferentes especies y tiene estrecha relación con las características del hábitat de las especies. En bosques húmedos las semillas de los árboles de la vegetación madura tienden a germinar rápidamente y su longevidad ecológica es breve; las frecuentes temperaturas altas y el ambiente predominantemente húmedo de estos bosques han seleccionado características de las semillas que conducen principalmente a la realización de las funciones de reproducción y diseminación. Muchas de estas semillas tienen al momento de la dispersión un alto contenido de humedad y un metabolismo activo que se expresa en una tasa respiratoria ininterrumpida durante el periodo de quiescencia.

En bosques tropicales más estacionales, muchas de las semillas producidas durante la época húmeda deben sobrevivir en el suelo durante la estación seca para iniciar su crecimiento al principio de la siguiente estación húmeda, por lo que su longevidad ecológica es mayor y el periodo de quiescencia suele caracterizarse por una deshidratación profunda y la total interrupción del metabolismo. También es posible encontrar longevidades ecológicas más largas en aquellas plantas que se establecen en lugares de aparición aleatoria en la comunidad, como los claros naturales y los disturbios en la vegetación madura. Estas especies suelen presentar mecanismos de espera que incluyen una longevidad ecológica más larga, como la que existe en muchas hierbas y malezas de lugares perturbados por el hombre.

La longevidad potencial de las semillas está de alguna manera relacionada con la longevidad ecológica, ya que las semillas en forma natural sufren una deshidratación profunda, la interrupción del metabolismo y la posibilidad de sobrevivir latentes por algún tiempo; estas mismas cualidades pueden permitirles resistir un almacenamiento prolongado en condiciones ambientales controladas.

¿QUÉ TAN LONGEVAS SON LAS SEMILLAS?

Existe una extensa bibliografía sobre la longevidad de las semillas e informes de variable credibilidad acerca de casos extremos de longevidad. Una revisión extensa al respecto fue hecha por Lela Barton en 1961. En su libro se mencionan las famosas semillas de trigo, cebada y chícharo que fueron encontradas supuestamente viables en tumbas egipcias y otros casos de longevidad extrema de semillas de plantas cultivadas. La validez de estos informes ha sido puesta en duda pues se han realizado experimentos almacenando estas especies, a las temperaturas que privarían en tales condiciones, y nunca se han podido conservar viables por más de unos cuantos años. Sin embargo, otras investigaciones acerca de semillas encontradas en sitios arqueológicos o en edificios antiguos, formando parte de adobes o en recipientes de barro, son más convincentes, como el caso de algunos adobes de edificios coloniales de California y norte de México. Un análisis amplio de este tema se presentó en los libros de los estadunidenses Lela V. Barton en 1961 y David A. Priestley en 1986. En los siguientes párrafos se verá con mayor profundidad algunos de los aspectos más importantes de este interesante problema, que tiene implicaciones tanto en ciencia básica como en la aplicada a la agricultura y a la forestería, y en la actualidad a la conservación del germoplasma vegetal.

Los informes sobre la longevidad de semillas de diferentes especies silvestres y cultivadas pertenecen a tres

categorías, dependiendo de la condición de almacenamiento en que estaban las semillas cuya viabilidad se determinó:

1) Almacenamiento en condiciones artificiales.

a) subóptimas

b) óptimas

2) Almacenamiento en condiciones seminaturales (en el suelo).

3) Almacenamiento natural en el banco de semillas del suelo.

El almacenamiento en condiciones artificiales o controladas subóptimas ha sido fuente de numerosos informes sobre la longevidad de semillas. Las condiciones de almacenamiento más frecuentemente encontradas son: ejemplares de herbarios, botellas o cajas en gavetas de laboratorio, almacenes de semillas en condiciones ambientales no reguladas finamente y otros tipos de almacenamiento consciente o accidental en ambientes que no propician la expresión completa de la longevidad potencial de las semillas. Por ejemplo, los datos que se obtienen del herbario, aunque son de gran interés como fuente de información, no indican qué semillas tienen realmente una longevidad larga y cuáles no la tienen, sino cuales fueron capaces de sobrevivir a los tratamientos que sufren los ejemplares y a las condiciones de las gavetas de herbario.

El almacenamiento de semillas en el suelo, en recipientes parcialmente aislados, es una condición seminatural para determinar la longevidad que ha sido objeto de varios ensayos en diferentes regiones del mundo. Quizá el experimento más famoso de este tipo sea el del doctor Beal, quien enterró semillas de 19 arvenses (plantas silvestres de campos de cultivo) y de un trébol cultivado en un terreno de East Lansing, Michigan. Las semillas se pusieron en frascos llenos de arena en la superficie. El experimento fue diseñado para durar más de 100 años y aún quedan varios frascos. Después de 100 años persistían semillas viables de dos especies de hierbas. Existen otros experimentos de esta naturaleza, como los de Duvel en Virginia y los Dorph-Petersen en Dinamarca, entre otros.

La longevidad de las semillas en el lugar al que fueron naturalmente diseminadas es mucho más difícil de determinar, y sólo existen informes de condiciones muy especiales. Por ejemplo Porsild y colaboradores, en 1967, encontraron en el permafrost, formado en el pleistoceno, semillas de una leguminosa que fueron capaces de germinar normalmente. El danés Odum en 1965 encontró semillas aún viables de algunas plantas arvenses bajo piedras de construcciones de la era de los vikingos (año 1000 aproximadamente). Este mismo autor ha fechado la antigüedad de bancos de semillas de varios lugares de Dinamarca, y ha encontrado evidencias de una longevidad de varias décadas en bancos de semillas. Existen otras evidencias de considerable longevidad del banco de semillas del suelo para algunas regiones en zonas templadas. En los trópicos por lo general la longevidad ecológica es más corta. Existen casos en que las semillas caen al suelo ya verdes, desprovistas de su cubierta, cargadas de humedad y prácticamente germinando, como el jinicuil. Si estas semillas no encuentran un medio propicio para germinar pronto, mueren.

Estructura y composición de las semillas

La diversidad de formas, tamaños, estructura anatómica e histológica y manifestaciones de los procesos fisiológicos es enorme, por lo que también lo es la variabilidad en la longevidad potencial y ecológica que estas características determinan. Siendo imposible en este breve espacio dar aunque sea un pequeño bosquejo de la variabilidad morfológica de las semillas, remitimos a los lectores a la lectura del botánico mexicano Aníbal Niembro, publicada en 1984, como fuente de información inicial sobre la ontogeniá y la estructura de las semillas. Por lo que respecta a la información acerca de la fisiología, la diversidad de mecanismos que determinan la latencia o letargo, su interrupción y la germinación propiamente dicha es también muy vasta. Una buena revisión relativamente reciente sobre este tema es la publicada por Bewley y Black en 1994. A pesar de esta gran diversidad y complejidad de estructuras y funcionamientos es posible hacer algunas generalizaciones y señalar cuáles son las características de las semillas que más directamente afectan su longevidad potencial, ya que la longevidad ecológica, o sea la que se da en la comunidad natural, no solamente depende de la estructura de las semillas, sino de factores externos que pueden variar de un lugar a otro y afectar de diferente manera a una misma especie de semillas. Estas características intrínsecas son: la dureza e impermeabilidad de la testa o cubiertas de la

semilla; el contenido de agua inicial con el que se disemina la semilla y el que se puede lograr disminuir por deshidratación sin matarla; la tolerancia a la temperatura de congelación del agua, ya que los cristales de hielo de ésta pueden alterar las células de la semilla; la naturaleza de la latencia, la tasa metabólica o respiración mínima o interrumpida que se pueda alcanzar sin matarla; el tipo de reservas y su propensión al deterioro químico; el tipo de compuestos secundarios (sustancias que produce la semilla que pueden evitar la depredación o el parasitismo de éstas) y su ubicación dentro de las células de la semilla; la disposición del agua subcelular, o sea la que está unida a macromoléculas como proteínas, que forman las células; la composición de los lípidos (grasas) de las membranas celulares; la resistencia a la invasión de microorganismos y la resistencia al deterioro del material genético (cuadros, 5 y 6).

CUADRO 5. Estructura y composición de las semillas y su relación con la duración de la viabilidad

En el medio natural las semillas con testa impermeable y bajo contenido de humedad suelen ser muy longevas, como sería el caso de la especie de leguminosa encontrada en el permafrost, que se mencionó en párrafos anteriores, pero también pueden serlo algunas semillas de latencia fotorregulada que plenamente hidratadas pueden conservarse enterradas en suelos con una alta humedad estable, en condiciones de oscuridad total. Éste es el caso de las semillas de plantas arvenses de larga duración en el suelo. Su requerimiento de luz para germinar las mantiene latentes por mucho tiempo en condiciones de enterramiento, como las de muchas malezas que producen semillas fotoblásticas.

En los almacenamientos a temperatura ambiente las semillas con testa dura de las leguminosas, malváceas, ninfáceas, etc., son las más longevas. En los almacenamientos óptimos a bajas temperaturas muchas familias como las crucíferas, las compuestas, las cariofiláceas, las solanáceas, las gramíneas y otras han demostrado tener una longevidad potencial extremadamente larga.

Ecología de la longevidad

En toda comunidad natural es posible encontrar especies con semillas de longevidad potencial muy larga y otras de longevidad corta, ya que la longevidad ecológica (y como consecuencia la potencial) está relacionada con varias características de las plantas que las producen (cuadro 7), como son: la historia de vida de la planta; la estacionalidad climática; la distancia temporal entre el periodo de fructificación y diseminación y el de germinación y establecimiento; el grado de discontinuidad en el hábitat, o sea que las plantas requieran para establecerse condiciones ambientales especiales que sólo aparecen esporádicamente en la comunidad en la que viven; el agente dispersor de las semillas, y los niveles de estrés ambiental y de presión de depredadores que sufre la semilla en el suelo, antes y durante la germinación. Debido a la complejidad de todos estos factores se mencionarán sólo algunos ejemplos.

CUADRO 7. Algunos factores ecológicos relacionados con la longevidad de las semillas

1.) Historia de la vida de la planta	Generalmente las plantas de ciclo de vida corta poseen una longevidad más larga
2.) Estacionalidad climática y separación entre el periodo de fructificación y el de germinación y establecimiento	Climas marcadamente estacionales favorecen a especies con longetividad larga
Grado de discontinuidad del hábitat de la especie	Hábitat discontinuos favorecen la presencia de especies con semillas de longevidad larga
Agente dispersor	Algunas de las características de las semillas relacionadas con su dispersión pueden indicar la duración de la viabilidad, por ejemplo: semillas dispersadas por agua tienen testa dura y longevidad larga
Presión de depredadores antes y durante la germinación	Una alta presión reduce la duración de la longevidad ecológica
El nivel de estrés ambiental	La longevidad es más larga en especies de hábitat con mayor estrés

Con respecto a la historia de vida, las plantas anuales, que tienen una estación de crecimiento corta y que

sobreviven sólo en forma de semilla el periodo desfavorable del año, suelen producir semillas con una longevidad ecológica y potencial más larga que muchas de las especies perennes que comparten su hábitat, para las que existen varias oportunidades de reproducirse durante su vida.

Las semillas cuyo periodo óptimo de germinación está separado varios meses de la época de diseminación, como el caso de las especies que pueblan zonas del planeta con un clima estacional muy marcado, suelen tener longevidades ecológica y potencial más largas que aquellas que en el medio natural tienden a germinar de inmediato porque encuentran condiciones permanentemente favorables al caer al suelo. Con respecto a la discontinuidad del hábitat, podemos mencionar a las plantas costeras que se diseminan por el agua de mar, que al tener estructuras de resistencia al agua marina y capacidad de flotación pueden tener longevidades ecológica y potencial muy prolongadas, en este segundo caso aun a la temperatura ambiente. Esto se debe a que estas plantas tienen una testa o cubierta protectora impermeable muy resistente que impide la entrada de agua salada a la semilla.

Las semillas de diseminación anemócora suelen tener bajos contenidos de humedad, ya que esta característica reduce el peso del propágulo, y como la baja humedad propicia la larga longevidad potencial frecuentemente se deshidratan y almacenan con facilidad. Tal es el caso de algunas especies tropicales de selvas húmedas como la balsa, las ceibas, el cedro rojo y la teca, que con frecuencia son las únicas semillas disponibles en los bancos de semillas del trópico húmedo.

En las selvas tropicales húmedas es frecuente que la germinación ocurra inmediatamente después de la diseminación. El estrés ambiental al que se ven sometidas las plántulas por la carencia de luz y a veces de nutrientes ha favorecido a las plántulas grandes, y por lo tanto a las semillas grandes. Éstas son fácilmente depredadas en este ambiente. Este conjunto de factores ha determinado que, por lo general, la longevidad ecológica y potencial de las semillas de estas comunidades sean muy breves, con excepción de las plantas que germinan y se establecen en los claros, o sea, que tienen un hábitat de establecimiento discontinuo en el espacio y en el tiempo.

MANEJO DE LAS SEMILLAS

Procedencia de las semillas

La mayoría de las plantas presentan variabilidad genética y fenotípica en distintos lugares de su área de distribución. Esta variabilidad debe tomarse en consideración cuando se manejan semillas de diferentes localidades con cualquier propósito. En plantas procedentes de diferentes localidades pueden haber evolucionado características específicas para lidiar con los factores limitantes locales y con las interacciones bióticas específicas del sitio, lo cual las hace inapropiadas para crecer en un nuevo conjunto de condiciones ambientales.

Dentro de una población de plantas existe siempre gran variación genética que debe ser preservada cuando se toman muestras de semillas con diferentes propósitos; por ejemplo, hay heterogeneidad natural en las características fisiológicas de las semillas de diferentes individuos, por lo que cuando se usan semillas de uno o pocos individuos para estudiar la longevidad o los patrones de germinación, los resultados obtenidos a veces no corresponden al comportamiento más común o medio de la población.

Mantener la valiosa variabilidad genética es una parte importante del almacenamiento de semillas, por lo que estas semillas deben ser recolectadas preferentemente de poblaciones silvestres, ya que cuando las semillas se colectan de poblaciones pequeñas, ya sea manejadas o cultivadas, ocurre una indeseable selección de aquellas características que están directa o indirectamente relacionadas con la domesticación. De esta manera se pierde la diversidad genética, lo cual puede ser perjudicial si en un momento dado se quiere utilizar la diversidad genética como una fuente de variabilidad para transferir a las especies en cultivo cualidades como la tolerancia a factores desfavorables, como la sequía o suelos pobres o resistencia a enfermedades. Esta variabilidad natural de los seres vivos es también uno de los recursos naturales renovables que se deben preservar para las futuras generaciones.

Las poblaciones naturales de plantas comúnmente presentan años buenos y años malos en la producción de semillas. Durante un año bueno se pueden obtener muestras grandes de semillas sanas y bien desarrolladas con alta viabilidad, y lo opuesto puede ocurrir durante un año malo, cuando sólo se encuentran semillas escasas o de baja calidad. Esto se debe, entre otras razones, a ciclos internos reproductivos presentes en una población de plantas estrechamente emparentadas, o a factores externos, como condiciones climáticas desfavorables para la

El momento ideal para colectar semillas es cuando los frutos sobre la planta madre están maduros y se inicia la diseminación de las semillas. Antes de ese momento las semillas pueden estar aún inmaduras fisiológica o estructuralmente e imposibilitadas para terminar su maduración. Cuando las semillas se recogen del suelo pueden estar hidratadas o contaminadas con microbios de la descomposición u hongos patógenos o parásitos, por lo que se deben recoger directamente de la planta.

Una vez colectadas las semilla debe tenerse mucho cuidado de evitar o reducir su exposición a condiciones que afecten su longevidad. Por ejemplo, se deben mantener frescas, ya que la viabilidad de las semillas y su vigor se ven reducidos conforme la temperatura se incrementa o cuando se exponen al calor más tiempo del necesario; incluso media hora de exposición al calor del Sol o al calor de un vehículo puede dañarlas. Colocar semillas húmedas en recipientes cerrados puede interrumpir la respiración normal y terminar asfixiándolas; el agua condensada del vapor de la respiración también puede promover el desarrollo de moho. La forma ideal de mantener semillas recién colectadas hasta su arribo al laboratorio es dentro de bolsas de papel o sacos de tela de algodón, porque estos materiales permiten la circulación de aire entre el interior y el exterior.

En lo que respecta a los frutos indehiscentes, la mejor manera de transportar sus semillas es dentro del fruto mismo y extraerlas en el local donde se realizará el resto de las manipulaciones.

Pruebas para calcular la viabilidad

Los laboratorios de semillas bien manejados mantienen regularmente un calendario para probar la viabilidad de las semillas almacenadas y así evitar almacenar semillas muertas, reemplazar muestras envejecidas y obtener información valiosa sobre la longevidad de las especies almacenadas. La mejor manera de averiguar su viabilidad es con una prueba de germinación, ya que otros procedimientos (cuadro 9), como la prueba del tetrazolio o el uso de respirómetros, son complicados y frecuentemente no dan resultados satisfactorios. Otra prueba, la que se realiza con rayos X, sólo es útil para verificar la cantidad de semillas dañadas o parasitadas de una muestra.

CUADRO 9. Pruebas de viabilidad

Prueba	*Observaciones*
2,3,5 difeniltetrazolio (Concentraciones de 1 a 5%)	Se debe conocer muy bien la morfoanatomía de la semilla, en particular del embrión, de lo contrario se puede considerar viable, o muerta, una semilla en forma equivocada
Respirometría por el método Warburg	Requiere de un volumen mínimo de 10gr de semillas para poder detectar su respiración
Rayos X	Puede detectar únicamente semillas vanas o dañadas por parásitos
Impregnaciones del cloroformo y rayos X	Puede detectar semillas vanas o dañadas por parásitos con más precisión que el caso anterior
Flotación	Separa las semillas vanas de las llenas. En el caso de semillas muy pequeñas hay que vencer la tensión superficial del agua y detectar si existen cámaras aéreas en las semillas
Germinación	Es un método muy eficiente, se requiere conocer bien la forma adecuada para germinar y/o romper la latencia

Por lo anterior, es conveniente realizar una prueba de germinación de las semillas al momento en que llegan al laboratorio; en caso de que la germinación sea dificil es recomendable aplicar una serie de tratamientos para inducirla. Después de almacenar las semillas debe probarse la germinación de la muestra cada cierto tiempo y compararla con los resultados iniciales.

Tratamientos para inducir la germinación

El número de investigaciones dirigidas al estudio de los factores que inducen la germinación de las semillas de diferentes especies es inmenso y se han propuesto numerosas alternativas para romper la latencia de las semillas, abreviar su duración, e inducir la germinación de semillas afectadas fisiológicamente, envejecidas o aun inmaduras. Los cuadros que se presentan en este capítulo intentan sintetizar lo que se ha escrito al respecto. Proponemos el orden siguiente para hacer uso de esta información (cuadro 10). Si se desconoce totalmente los requerimientos de la semilla debe efectuarse una simple prueba de germinación a una temperatura media (20-27°C), favorable para la mayoría de las semillas, en un substrato húmedo apropiado (cuadro 11) y a la luz. De no germinar en esta condición entonces puede haber varios factores que estén impidiendo el proceso. En cuadro 12 se resumen las causas más comunes por las que una semilla no germina.

CUADRO 10. Cómo germinar semillas

[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
	De no haber germinación.
[illegible] espuesta es negativa pro- [illegible] uestos en el medio. Si la [illegible] on agua abundante [illegible] ricos y cambios de hiva- [illegible] ra [illegible] [illegible] espuesta es positiva de la te- [illegible] ropiedad a [illegible]	a) Verificar si la semilla se embebió. Si la [illegible] segir con tratamientos de escarificación [illegible] b) Verificar si hubo solubilización de comp [illegible] respuesta es positiva lavar las semillas c [illegible] c) Realizar tratamientos con enfermedades que [illegible] [illegible] d) Variar nuevas condiciones de temperatu [illegible] e) Hacer pruebas de viabilidad [illegible] f) Almacenar las semillas a baja temp, seca [illegible] (desecado) [illegible] a temperatura ambiente p [illegible] meses. Repetir pruebas de germinación [illegible] lo de tiempo [illegible]

CUADRO 11. Medios de germinación

Medio	*Observaciones*
Agar-Agar a 1%	Es un medio con humedad estable y baja contaminación. En condiciones de sombra es muy útil en el campo, ya que conserva la humedad por un tiempo prolongado, pero en condiciones de insolación directa se deshidrata y el agua condensada anega la caja de petri. Permite ver con facilidad la emergencia de la radícula y facilita el transplante de las plántulas
Papel filtro	La humedad se debe controlar constantemente para evitar su deshidratación
Toallas de papel	Es barato, pero presenta limitaciones similares a las del papel filtro
Vermiculita y agrolita	Son más bien un medio de crecimiento, pero pueden ser un útil medio de germinacion para las semillas grandes; sin embargo, dificulta la localización de semillas pequeñas, a menos que se coloque encima un disco de papel filtro. Conserva la humedad más tiempo que el papel, pero es necesario regular la humedad. También se puede regular la profundidad
Suelo	Las mismas observaciones que para el medio anterior. Además se debe considerar que puede proveeer estímulos de naturaleza compleja, por ejemplo, presencia de compuestos nitrogenados
Arena	Debe ser lavada cuidadosamente para eliminar la presencia de sales

	ejemplo, presencia de compuestos nitrogenados
Arena	Debe ser lavada cuidadosamente para eliminar la presencia de sales. Las mismas observaciones que para la vermiculita y la agrolita.

CUADRO 12. Causas por las que las semillas no germinan

Causa	*Forma de romper el reposo*	*Latencia (arper, 1957)*
Testa dura Impermeable al agua Impermeable a los gases Barrera física a la ex pansión del embrión	Abrasión, ataque microbiano, factores del suelo como saponinas, tratamientos con calor	
Inmadurez del embrión		
Anatómica	Tiempo	
Fisiológica	Tiempo, frío hormonas	
Crecimiento embrionario inhibido		
Inhibidor en la semilla	Tiempo, lavados	Innata
Falta de estímulo externo	Luz, temperatura, cambios de humedad	Forzada
Semilla quiescente	Agua y medio adecuado	———
Combinación de las causas anteriores		
Embrión dañado		
Muerte total		———
Murte parcial		———
Alteración fisiológica irreversible		———
Alteración fisiológica reversible	Tiempo, hormonas, otros estimulantes, luz, temperatura, cambios de hidratación, etcétera	Inducida

Esta información nos dará una idea de los factores que pueden estar regulando el proceso a un nivel fisiológico, a partir de lo cual se procedería a efectuar el tratamiento más adecuado de los que se indican en los cuadros 13 al 17. Varios de estos tratamientos simulan efectos del ambiente que se dan en la naturaleza, por lo que una combinación del conocimiento de los factores que regulan la germinación de la semilla, de bases informativas sobre el ambiente en que viven las especies que se están estudiando y de una buena dosis de sentido común seguramente conducirán al éxito para lograr la germinación, a no ser que la muestra de semillas tenga embriones inmaduros, o que no sea viable a causaentido ccuc6atamientd quecol efa ytd qmanejxitrevioros,a, pc. Causes

existen otras posibilidades de modelos más complejos, tecnológicamente más avanzados y con mayores posibilidades de modificaciones periódicas en las condiciones de temperatura.

Figura 9. Cámara de germinación con ambiente de luz y temperatura controlados.

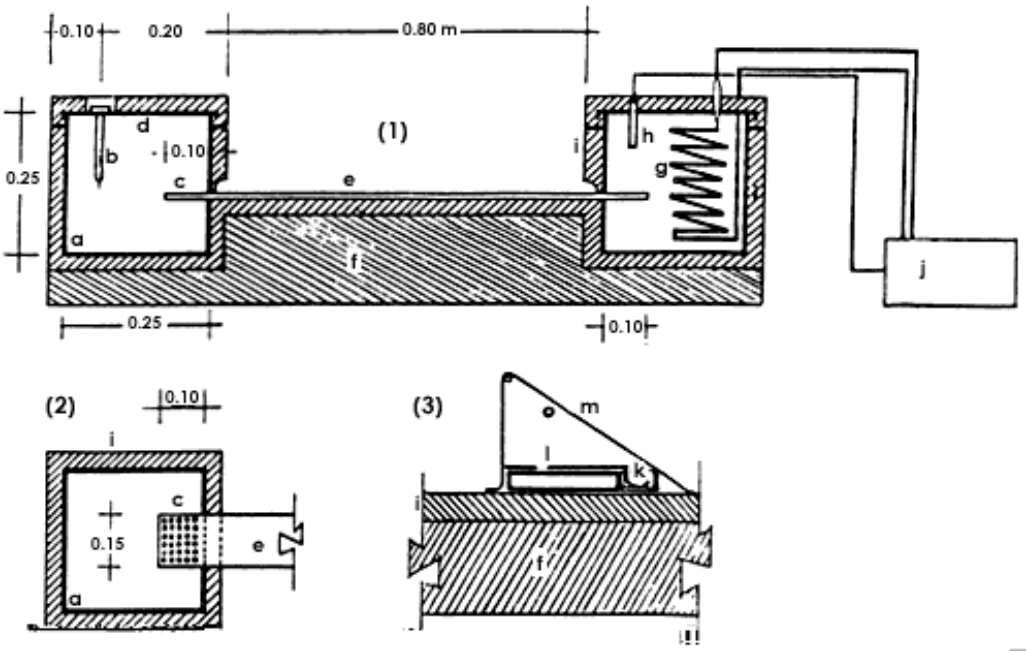


Figura 10. Gradiente térmico. En un extremo un tanque de agua fría provisto de un serpentín enfriador (g) conectado a una unidad de refrigeración (j), controlada por un termostato (h). En el otro extremo un tanque de agua (a) con un calefactor con termostato (b): la barra de aluminio (c) penetra en ambos tanques y tiene en esta zona perforaciones que mejoran su intercambio térmico con el agua. Ambos recipientes están tapados por una cubierta del mismo material de la barra y tanques (d). Esta barra tiene una superficie en la que tienen lugar los experimentos (e); tanto los tanques como la barra están térmicamente aislados por una capa de poliestireno (i) y se apoyan sobre una base de madera (f). Para los experimentos de germinación se utiliza papel filtro (l) con un extremo sumergido en una canaleta con agua (k). El

experimento queda protegido por una cubierta plástica sobre la barra (m), que lo cubre hasta la base de poliuretano (o)

Para conocer el efecto de las temperaturas fluctuantes en la germinación se debe fijar un termoperiodo conocido a cada una de las temperaturas que se incluyan en los tratamientos, procurando que la temperatura alta coincida con el periodo de iluminación (va a considerar la luz). Esto también puede llevarse a cabo en cámaras de germinación o en gradientes térmicos, haciendo los ajustes necesarios. Algunos de los tratamientos térmicos que se emplean para semillas de testa dura (cuadro 13) también pueden ser usados directamente o modificados, para determinar con precisión el termoperiodo y las temperaturas necesarias. La amplitud de la fluctuación de la temperatura y el termoperiodo deben establecerse tomando como base los que ocurren en el hábitat natural de la especie, particularmente en el micrositio del suelo, ya que la temperatura del suelo no sólo depende de las condiciones climáticas del lugar, sino también de la cobertura vegetal que hay sobre él, la hojarasca, la humedad, la profundidad y otras características.

CUADRO 13. Pretatamientos para semillas de testa dura y/o impermeable a los gases o al agua

Tratamiento	*Observaciones*	*Simula*
Eliminar la testa o hueso		
Escarificación mecánica		
a) incisión	Conocer la ubicación del embrión en la semilla para no dañarlo	Desgaste de la testa por la acción de las partículas de suelo, o rotura parcial por otros agentes
b) raspado		
Escarificación con ácidos		
a) ac. Sulfúrico	Probar con diferentes concentraciones, desde el 100% al 10%. También provar con diferentes tiempos de exposición al ácido	Paso por el tracto digestivo de animales con diferentes tiempos de digestión
b) ac. Clorhídrico		
Escarificación térmica		
a) inmersión en agua caliente	La temperatura puede alcanzar incluso los 100°C y se puede mantener constante o hacer que gladualmente se enfríe. También se puede variar el volumen del agua que se deja enfriar	Se simuloa el efecto térmico de incendios cuando el suelo está húmedo y el tiempo que tarda en enfriarse
b) calentamiento en seco	La temperatura puede ser mayor de 100°C, [illegible] base en temperaturas reportadas durante incendios para diferentes profundidades del suelo. Hay que tener mucho cuidado con el tiempo de exposición	Se simula el efecto de las altas temperaturas sobre la cubierta durante los incendios cuando el suelo está carente de humedad
c) termoperiodo marcado	Se pueden lograr con cámaras de germinación o con cualquiera de los métodos anteriores. La amplitud de la fluctuación se determina de acuerdo con la que ocirría en el hábitat de la especie	Se simula la variación que hay en la temperatura a lo largo del día, la temperatura alta corresponde a la registrada en el suelo a la hora de mayor insolación

NOTA. En el caso de testa dura o impermeable asociada a la presencia de inhibidores solubles: *a)* lavar las semillas con agua abundante o *b)* aplicar un remojo prolongado, además de escarificar

Con respecto al efecto de la luz también existen muchas posibilidades de experimentar. Es posible detectar si la luz afecta la germinación exclusivamente con pruebas de germinación en luz blanca y en total oscuridad. Hay que tener en cuenta que cantidades de luz mínimas, invisibles para el ojo humano, o exposiciones a la luz de fracciones de segundo, pueden afectar la germinación, por lo que no se recomienda el uso de plásticos negros u otros materiales poco confiables que dejan pasar algunas radiaciones luminosas. Un material adecuado para evitar la entrada de luz a los lotes experimentales que se desea mantener en la oscuridad es el papel aluminio comercial, del cual se recomienda poner una capa doble.

Incluso en el experimento más sencillo de luz debe determinarse un fotoperiodo, es decir, el tiempo que estarán las semillas a la luz y a la oscuridad durante el día, ya que fotoperiodos de 24 horas de luz pueden dar resultados diferentes de los que se obtienen con fotoperiodos de 12 horas o menores.

Experimentos más complejos para probar el efecto de diferentes longitudes de onda y su combinación en la germinación están resumidos en el cuadro 14. Los materiales con los que se puede crear, en forma económica pero segura, filtros de luz de longitud de onda conocida se presentan en el cuadro 15. Estos filtros son de banda ancha pues incluyen una banda de luz de aproximadamente 30 nanómetros, centrada en la longitud de onda de la radiación que interviene en los procesos fotoblásticos. En muchos países estos filtros son bien aceptados para el trabajo experimental. Los filtros de banda estrecha (de 20, 10 o menos nanómetros) son por lo general cristales de pocos centímetros de superficie y sumamente caros. Es muy importante señalar que la combinación de filtros y fuentes de luz debe ser la correcta para crear las condiciones lumínicas precisas para estudiar el fotoblastismo. En el cuadro 15 se señalan estas combinaciones. Si no se toman en cuenta es muy probable que se llegue a conclusiones erróneas.

CUADRO 15. Materiales de bajo costo con los que se pueden generar en forma sencilla ambientes de luz con calidad espectral conocida

Calidad espectral	*Material para el filtro*	*Fuente de luz*
Luz roja	Plexiglas Rubí Röhm and Hass Núm.2423	LF
	Plastiglass Rubí	LF
	Micas para iluminación teatral	LF
	Lee filtres Núm. 182	
	Gam Color Núm. 250	
Luz azul	Plexiglas Zafiro Röhm and Hass Núm. 2424	LF
	Plastiglass zafiro	LF
	Micas para iluminación teatral	LF
	Lee filtres Núm. 195	
	Gam Color Núm. 850	
Luz roja lejana	Sobre poner un filtro rojo con un filtro azul	LI
Luz blanca con R:RL similar a la luz del día	Utilizar una mezcla de luz fluorescente (LF) y luz incandescente (LI)	

Antes de elaborar lo filtros es necesario medir en una pequeña muestra, con un espectrofotómetro, su transmitancia en las diferentes bandas del espectro, ya que estos materiales puedan llegar a tener una transmitancia diferente a la esperada por problemas de producción. Es muy importante que la fuente de la luz sea la adecuada.

Tal como vimos anteriormente, bajo la cobertura vegetal la calidad de luz no es homogénea y también hay diferencias en la calidad de la luz filtrada por distintas composiciones del follaje; esto afecta la germinación de las semillas fotosensibles, debido a los diferentes valores de la relación rojo-rojo lejano que se establecen en cada condición bajo el dosel. Diferentes valores de la relación rojo:rojo lejano de la luz pueden simularse con el gradiente de luz que se muestra en la figura 11.

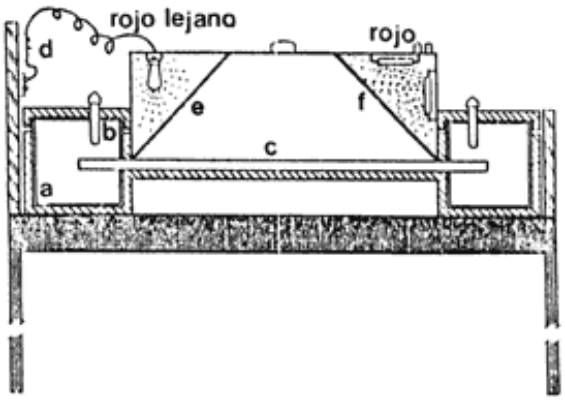


Figura 11. Gradiente de luz. El mismo dispositivo descrito en la figura 10, pero en este caso carece de una unidad de refrigeración para que la barra se mantenga a temperatura constante. Esto se logra gracias a que: a) en ambos tanques: existen calefactores, y b) que en caso necesario permitirían elevar la temperatura de la barra por arriba de la del ambiente. Se trata de una caja de aluminio rectangular. En un extremo tiene una luz incandescente con un control de intensidad o *dimer* (d) con un filtro de color rojo y otro azul (e) que permite el paso del rojo lejano. En el otro extremo dos lámparas fluorescentes pequeñas y un filtro rojo f) que transmite luz roja. Sobre la superficie de la barra c) se forma un gradiente de luz roja/rojo lejano de un extremo a otro.

Es posible determinar los termoperiodos y los fotoperiodos con base en lo que ocurre en condiciones naturales, aunque los que son cortos para una especie pueden resultar largos para otra. Los fisiólogos muchas veces emplean

fotoperiodos y termoperiodos que, en términos generales, no corresponden con lo que ocurre en la naturaleza, pero que proporcionan información fisiológica muy precisa de los procesos que regulan la respuesta a la luz, y muchas veces tienen relación con el microambiente que experimenta la semilla en una determinada condición. Por ejemplo, una breve exposición a la luz cuando la semilla es desenterrada por el paso de un tractor, para quedar nuevamente enterrada al terminar de removerse el suelo. En la naturaleza es muy variable la cantidad de luz que llega a las semillas, dependiendo de si están enterradas o no, de la profundidad de enterramiento, de si existe o no una cobertura vegetal, de la presencia de hojarasca, incluso de las características de la cubierta de la semilla. Estas diferencias en el flujo fotónico (cantidad de fotones que llega a un lugar) también afectan la respuesta germinativa, por lo que en la medida posible, es conveniente saber la cantidad de luz que estamos empleando en condiciones experimentales.

Algunas semillas que presentan latencias de cualquier naturaleza inician su germinación en presencia de sustancias reguladoras del crecimiento vegetal, algunas de ellas son hormonas vegetales. Estas sustancias desencadenan procesos fisiológicos relacionados con la germinación y sustituyen algún factor que actúa en el medio natural, como la luz o la temperatura (bajas o fluctuantes). Lo mismo puede ocurrir si se emplean sales minerales, compuestos nitrogenados y soluciones que modifiquen la permeabilidad de la membrana de las células de la semilla (cuadro 16).

CUADRO 16. Estímulos químicos para la germinación

Hormonas. Semillas con bajo nivel de hormonas o con desequilibrio hormonal que se refleja en el requerimiento de un periodo de frío (estratificación) y/o periodos de luz para germinar
a) Semillas de zonas templadas que requieren periodos de frío y/o luz para germinar.
Proporcionar giberelinas exógenas (ácido giberélico) en concentraciones de 500 a 1500 ppm o más, dependiendo de la profundidad de la latencia
b) Semillas tropicales y subtropicales
Giberelinas en concentraciones de 250 a 1000 ppm Auxinas (AIA, 2 4 D) Citocininas (cinetinas) Combinaciones (p. e. cinetina + etefón (etileno + ácido giberélico)
Sales minerales. Producen alteraciones de la permeabilidad celular, sustituyendo por ejemplo el papel de la luz en la germinación Nitrato de potasio generalmente en concentraciones de 0. 1 a 1 %)
Soluciones hiperosmóticas. Modifican la permeabilidad interna de la semilla Polietilen-glicol (Carbowax 6000 en soluciones con potencial osmótico de -10 a -15 bars).

Existen especies que producen semillas cuya germinación es estimulada por los tratamientos físicos y químicos que sufren al transitar por el tubo digestivo de animales dispersores de semillas, que se alimentan de frutos o follaje, como las aves, los murciélagos frugívoros, los monos y muchos otros mamíferos. Existen tratamientos que intentan simular el efecto de ese tránsito. También hay plantas que requieren un medio externo muy particular o la asociación con otros organismos para germinar: en el cuadro 17 se resumen algunas de estas posibilidades.

CUADRO 17. Semillas que reciben el estímulo germinativo a través de interacciones bióticas.

Tránsito por el tracto digestivo. Estimula la germinación de muchas especies, debido a que elimina algún inhibidor o rompe o modifica la cubierta de la semilla

a) parcial (semillas regurgitadas)
b) total (semillas defecadas)

Alternativa en el laboratorio: lavar o escarificar con medios físicos o químicos

Asociación micorrícica. Es un requerimiento frecuente en orquídeas, sus semillas son muy pequeñas, muchas veces el embrión no está completamente desarrollado y prácticamente no tienen reservas, por lo que requieren establecer la relación micorrícica en fases muy tempranas

Alternativa en el laboratorio: aislamiento y cultivo de los hongos micorrícicos

- *Exudados de otras plantas.* Las plantas parásitas frecuentemente requieren de este estímulo para germinar, sobre todo aquellas que tienen un huésped específico, sólo germinan en presencia de los exudados del huésped

Alternativa en el laboratorio: ensayos con estímulos hormonales o con extractos de diferentes partes de la planta huésped

Medio nutritivo orgánico. Es un requerimiento para la germinación de semillas de plantas saprófitas. Las cuales tienen un requerimiento estricto de sustancias nutritivas orgánicas

Alternativa en el laboratorio: ensayos con medios nutritivos

La creatividad y el conocimiento previo de la ecología de las especies pueden dar lugar al diseño de innumerables variantes y combinaciones, con mezclas de experimentos de campo y de laboratorio. Esta riqueza de posibilidades hace de las semillas un material ideal para el diseño de experimentos de investigación científica, ya que su respuesta a un estímulo adecuado o inadecuado para inducir el proceso fisiológico de la germinación se detecta con relativa facilidad.

La respuesta germinativa, en cualquier condición experimental, se puede evaluar por el número de semillas germinadas (capacidad germinativa), el cual se expresa generalmente como porcentaje, o por la velocidad de germinación (número de semillas germinadas por unidad de tiempo). Estas formas de evaluación nos proporcionan información diferente, ya que muchas veces una especie tiene alta capacidad germinativa en una condición ambiental particular, pero el tiempo necesario para lograrla es muy largo, o bien puede ocurrir lo contrario. Estas dos posibilidades implican diferencias en la oportunidad de colonizar o competir por los recursos (espacio, luz, etc.) con otras especies.

Almacenamiento de semillas

El almacenamiento de semillas es una manera importante de mantener vivo, por largos periodos de tiempo, el germoplasma de plantas superiores. Sin embargo, los almacenes de semillas, particularmente en los trópicos, con frecuencia carecen de condiciones adecuadas para prolongar al máximo la duración de la viabilidad de las semillas, ya que se requieren técnicas de manejo y almacenamiento apropiadas y equipos relativamente costosos para lograr ese propósito.

No todas las semillas son almacenadas con éxito. Algunas permanecen vivas por tiempo indefinido, quizá varios siglos, cuando se almacenan en el ambiente más apropiado para interrumpir su deterioro natural, en tanto que otras sufren un deterioro rápido por causas endógenas, ajenas a las condiciones externas. Estas diferencias se deben al hecho de que las semillas son liberadas al medio con diferentes niveles de humedad, composición química y tasa metabólica, lo cual afecta su longevidad potencial.

Existen diferentes clasificaciones de las semillas, según la duración potencial de su viabilidad (cuadro 18). De acuerdo con el laboratorio de semillas de la Universidad de Reading, Reino Unido, las semillas se clasifican en tres categorías: ortodoxas, recalcitrantes e intermedias. Para llegar a esta definición se basaron en los siguientes criterios.

CUADRO 18. Clasificación de las semillas, con base en la duración de su viabilidad, de acuerdo con diferentes autores

	EVART,1908
Semillas <	Macrobióticas (de larga longevidad) Mesobióticas (de logevidad media) Microbióticas (de longevidad corta)
	HARRINGTON,1972
Semillas <	Pérdida de la vialidad en un tiempo corto<1 año Pérdida de la vialidad en > 10 años
	ROBERTS,1973
Semillas <	Ortodoxas (de larga viabilidad) Recalcitrantes (de corta viabilidad)
	BONNER,19991
Semillas <	Ortodoxas verdaderas Subortodoxas Recalcitrantes templadas Recalcitrantes tropicales
	ELLIS, HONG & ROBERTA, 1992
Semillas <	Ortodoxas Intermedias Recalcitrantes

Semillas ortodoxas

Estas semillas pueden ser desecadas hasta contenidos de humedad muy bajos sin sufrir daños, al menos hasta un nivel de humedad constante que se mantenga en equilibrio con una humedad ambiental relativa de 10% (a este valor las semillas con almidón tienen un contenido de humedad cercano a 5%, en tanto que las semillas grasas tienen valores de 2 a 3%).

Sus longevidades aumentan cuando disminuye el contenido de humedad y con la temperatura durante el almacenamiento, en una forma cuantificable y predecible.

Semillas recalcitrantes

En contraste con las semillas ortodoxas, las recalcitrantes no pueden ser desecadas por debajo de un punto relativamente alto en el contenido de humedad sin causarles daño. A pesar de que existe gran variación en el contenido de humedad crítico entre las especies, bajo el cual la viabilidad se reduce, algunas especies comienzan a morir rápidamente aun en equilibrio con una humedad relativa ambiental de 98-99%, y la mayoría de las semillas muere cuando su contenido de humedad está en equilibrio con una humedad ambiental de 60-70% (que corresponde a un contenido de humedad de 16-30% sobre el peso fresco). Todavía no existe un método satisfactorio para mantener la viabilidad de las semillas de estas especies, en particular las de origen tropical, por arriba de un periodo corto, menor a un año.

Semillas intermedias.

Una tercera categoría de comportamiento de las semillas en almacenamiento ha sido demostrada recientemente con semillas de café, palma aceitera, papaya y neem. La principal característica de este comportamiento es cierta sensibilidad a la desecación hasta un nivel de humedad relativamente bajo de 7 a 10% (en equilibrio con una humedad relativa ambiental de 30-50%). Sin embargo, la longevidad de las semillas secas de origen tropical se reduce en temperaturas bajas (por debajo de 5°C) y temperaturas bajo cero. Por esto, las condiciones ideales para el almacenamiento a largo plazo de semillas ortodoxas (5% de contenido de humedad, -18°C) son potencialmente dañinas para las semillas intermedias y no deben usarse ya que les provoca la muerte en pocos meses. A pesar de esto, es posible almacenar las semillas "intermedias" por periodos de alrededor de 10 años, desecándolas hasta un 7-10% de contenido de humedad, y manteniéndolas a la temperatura de un laboratorio.

Almacenamiento de semillas en el trópico

Muchas especies de árboles tropicales producen semillas con altos contenidos de humedad y rápidas tasas metabólicas, que se comportan como recalcitrantes cuando se pretende almacenarlas. Esto se debe a que carecen de la posibilidad de rearreglar la estructura de sus componentes celulares durante la salida del agua de las células, ocasionada por la deshidratación, por lo que se pierde la estructura funcional del protoplasma que ya no puede recobrarse al ocurrir la rehidratación. La presencia de agua libre en las células elimina el efecto protector de la congelación debido a la formación de cristales de hielo que pueden dañar a las células; sin embargo, estudios recientes muestran que algunas semillas que se supone eran recalcitrantes, son deshidratadas cuidadosamente a niveles que hacen posible su almacenamiento prolongado, como es el caso de la papaya. Es probable entonces que en el futuro, gracias de investigaciones más extensivas, se encuentre mayor número de semillas de comportamiento intermedio, indicando que lo ortodoxo y lo recalcitrante son los extremos de un gradiente de posibilidades.

Hasta ahora hay poca esperanza de que se encuentren tratamientos que prolonguen significativamente la longevidad en almacenamiento de las semillas más recalcitrantes, sobre todo si se toma en cuenta las escasas investigaciones científicas al respecto. Algunas alternativas para almacenar semillas recalcitrantes se presentan en el cuadro 19. Los laboratorios que continúan trabajando en esta dirección se encuentran en Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Sudáfrica. Entre los más importantes están el Almacén Nacional de Semillas del Departamento de Agricultura de Estados Unidos en la Universidad Estatal de Colorado en Fort Collins, CO; el jardín Botánico de Kew en Sussex, Reino Unido; el Centro Nacional de Investigación Científica de Montpellier, Francia, y la Universidad de Natal en Sudáfrica.

CUADRO 19. Alternativas para almacenar semillas de corta longevidad

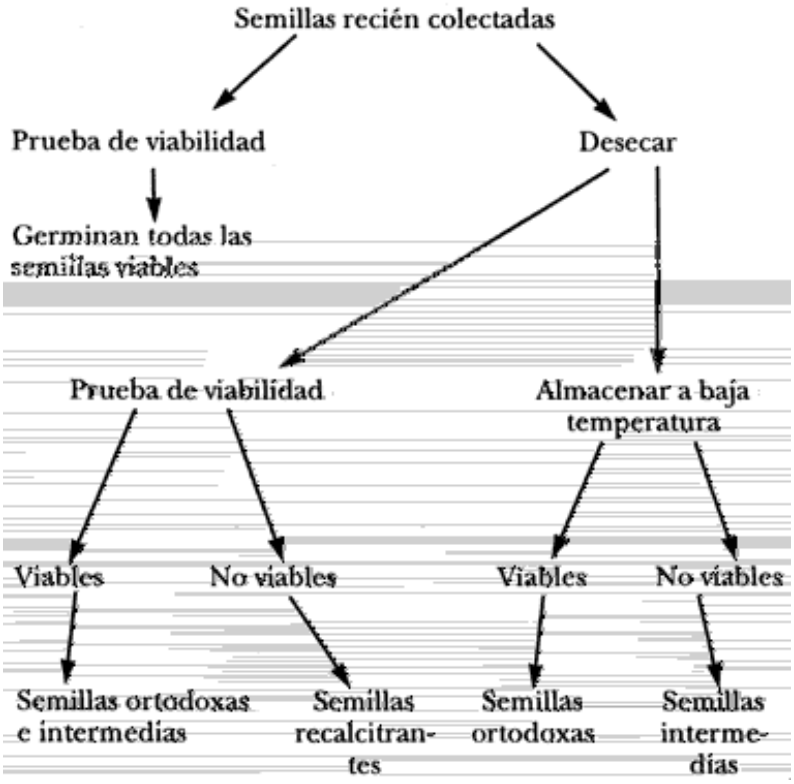
Método	*Observaciones*	
Deshidratación gradual y cuidadosa en condicione controladas de temperatura, aireación y humedad del aire	Es necesario determinar el grado de deshidratacióm, a diferentes temperaturas, al que se puede llevar a las semillas sin detrimento de su viabilidad, incrementa la longevidad por tiempos breves	
Deshidratación en presencia de sus- [illegible]	Determinar hasta que [illegible] la posibilidad de deshidratar las semillas a niveles más bajos	
idratación a muy baja temperatura esencia de crioprotectores.	Podrían ampliar considerablemente la viabilidad.	Desh en pr
la inhibidores del metabolismo atoric	Incrementa la duración de las reservas de la semilla, y por lo tanto su viabilidad en condiciones de almacenamiento adecuadas	Uso d respir
cenamiento bien ventilado a los es de humedad y temperatura más tolerados por la especie y en ncia de abundante fungicida.	Menos eficiente para prolongar la viabilidad que cuando se controla la deshidratación	Alma nivel rimo prese
cenamiento de corta duración para der a utilizar otras técnicas eservación de meristemos	Es una opción que podría incrementar casi de forma indeterminada la conservación del germoplasma	Alma proce de pr
ervar las comunidades en que las as crecen	Solución ideal para conservar la diversidad genética.	Cons plant

Debido a la falta de técnicas apropiadas para el manejo de semillas recalcitrantes, producidas por muchas de las especies de árboles tropicales valiosos, y también a que en la mayoría de los países tropicales no existen sistemas eficientes de recolecta y distribución de semillas, la mayoría de los proveedores de semillas en el trópico ofrecen a sus clientes casi exclusivamente especies exóticas, como los eucaliptos, los pinos y sólo algunas especies tropicales con semillas típicamente ortodoxas. La mayoría de las especies forestales tropicales con madera, frutas o propiedades medicinales valiosas no están disponibles en ningún banco de semillas, ni comerciales ni institucionales.

Pruebas sencillas para definir si una semilla es ortodoxa o recalcitrante

A pesar de que es posible hacer presunciones acerca del comportamiento de una especie de semilla en almacenamiento basándose en su tamaño, apariencia, historia de vida y filogenia, es necesario hacer pruebas para saber con precisión el comportamiento de cada especie en particular. La prueba se inicia dividiendo una porción de semillas en dos partes iguales. Se prueba la viabilidad de una de las fracciones de semillas frescas y la otra mitad se somete a una desecación gradual y cuidadosa antes de probar su viabilidad. Para completar, una prueba adicional que se realiza antes y después de someter las semillas a congelación, indicará si las semillas que toleran la desecación son ortodoxas verdaderas o intermedias (cuadro 20).

CUADRO 20. Pruebas para determinar semillas ortodoxas y recalcitrantes



Almacenamiento de semillas ortodoxas

Las semillas ortodoxas se almacenan mejor cuando su contenido de humedad disminuye. El contenido de humedad óptimo puede ser ligeramente diferente entre especies, por lo que una manera sencilla de reducirlo, aproximadamente hasta el nivel óptimo para la mayoría de las especies, consiste en colocar éstas a una temperatura ambiente de alrededor de 15 a 19°C, expuestas a una atmósfera con humedad relativa de alrededor de 18 o 20% durante un mes. Esto se logra usando una cámara de deshidratación fresca o desecadores de campana de vidrio provistos de sílica-gel deshidratada o alúmina activada. Las campanas deben ser colocadas en un cuarto fresco.

Una instalación dedicada al almacenamiento de semillas debe estar provista de un cuarto de secado, con aire acondicionado y deshumidificadores, para destinarlo al proceso continuo de deshidratación de muestras de semillas. Debe recordarse que las semillas nunca deben secarse con calor, pues pocas sobreviven a estas condiciones.

Muchas semillas resisten una deshidratación muy profunda; en esos casos, el almacenamiento se realiza en tubos de cristal que contengan una sustancia deshidratante como el sílica-gel. También el hidróxido de sodio es un deshidratante muy utilizado para otros propósitos, pero nunca debe usarse con semillas.

Cuando las semillas están secas deben colocarse en contenedores o recipientes herméticamente cerrados y etiquetados, precisando el nombre de la planta, la fecha, el lugar de recolección y otros datos importantes. Los bancos de semillas emplean diferentes clases de recipientes, como frascos herméticos de cristal o de metal y tubos de cristal cerrados a fuego. Los bancos de semillas importantes utilizan preferentemente bolsas gruesas de polietileno selladas a fuego dentro de sobres de papel de aluminio.

Para instalaciones relativamente pequeñas de almacenamiento de semillas, son muy convenientes los viales de vidrio cerrados a fuego que contengan a las semillas, separadas de la sustancia deshidratante por medio de un algodón (figura 12), ya que con ello se evita la humidificación accidental de las muestras. La muestra inicial de semillas se distribuye en varios viales, de manera que se cuente con material para almacenamiento prolongado, para almacenamiento temporal y para intercambio, sin riesgo de que al abrir y cerrar los recipientes se humedezcan las semillas accidentalmente (cuadro 21).

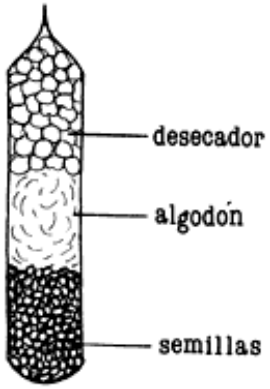


Figura 12. Ámpula de vidrio sellada a fuego para almacenar semillas desecadas a baja temperatura.

CUADRO 21. Método para almacenar semillas ortodoxas en ámpulas de vidrio

Las cámaras refrigeradas para el almacenamiento de semillas pueden variar mucho en tamaño y complejidad, dependiendo de las necesidades de cada instalación de almacenamiento. Las cámaras subterráneas amplias, construidas de paredes gruesas de concreto, son ideales para una instalación de gran tamaño. Están aisladas de los cambios atmosféricos de temperatura, requieren menos energía para funcionar y, sobretodo, pueden resistir catástrofes ambientales o guerras. El almacén de semillas de pino del vivero del bosque Pine Ridge en Smoky Lake, Alberta, Canadá, es un edificio con paredes reforzadas de concreto de 43 cm de grosor, enterrado bajo una capa de 2 m de suelo, con excepción de la rampa de entrada y de un cuarto de servicios mecánicos. Entre las ventajas de esta instalación está: una buena protección del fuego; un ahorro considerable en consumo de energía, debido a la mínima exposición a las temperaturas de la superficie, y el hecho de que las fallas eléctricas y mecánicas tienen un efecto menor sobre las condiciones de almacenamiento, debido al excelente aislamiento del edificio. El cuarto de almacenamiento se mantiene a -18°C y menos de 50% de humedad relativa. El cuarto subterráneo de manejo de semillas se mantiene a 4°C para evitar la condensación de agua sobre las semillas frías, cuando los contenedores de almacenamiento tienen que ser abiertos. Instalaciones similares deberían construirse en varios lugares y alguna organización internacional debería encargarse de la construcción de un almacén de semillas, de gran capacidad, que estuviera situado en una instalación subterránea construida en algún lugar como la Antártida, el permafrost ártico o las nieves perpetuas de una zona montañosa. Esto permitiría que el valioso germoplasma de las semillas de plantas de cultivo o silvestres sobreviviera periodos caóticos de guerra, trastornos políticos, caos económicos, o catástrofes ecológicas.

Varias obras describen cómo construir una cámara de almacenamiento de semillas y se citan en la bibliografía. Cualquier laboratorio, herbario, jardín botánico o vivero puede mantener un banco de semillas ortodoxas operando con pocos recursos y personal tomando en cuenta las siguientes indicaciones:

Las semillas ortodoxas se pueden almacenar en un congelador doméstico de tipo horizontal o vertical, pero deben evitarse los cambios prolongados de temperatura durante fallas eléctricas mediante el empleo de un generador que se encienda automáticamente al ocurrir la falla eléctrica. El procedimiento de almacenar las semillas en viales cerrados a fuego es el más adecuado cuando no se dispone de un cuarto especial refrigerado para abrir los recipientes, ya que es posible dejar que los viales gradualmente tomen la temperatura ambiente antes de proceder a abrirlos, y sólo una pequeña muestra de semillas es expuesta cuando se requiere extraer algunas semillas del banco. En cualquier caso, ya se trate de un almacén de semillas pequeño o de un gran proyecto de importancia nacional, es indispensable una política estable de conservación del germoplasma, un administrador y personal bien preparado e interesado en el proyecto, así como un apoyo económico continuo para asegurar la perpetuación de la instalación y su buen funcionamiento.

Cómo extraer las semillas de la cámara fría

La forma ideal de transportar o intercambiar semillas almacenadas es mantenerlas dentro de los recipientes sellados que se utilizan en el almacén, pues de otra manera hay riesgo de una rápida rehidratación dañina. Así que lo mejor es distribuir una muestra de semillas grande en muchos recipientes pequeños para que no haya necesidad de abrir los recipientes para manejar las semillas.

Antes de plantar las semillas almacenadas éstas deben ser rehidratadas cuidadosamente. Primero se ponen, por algún tiempo, en contacto con una atmósfera fresca y ligeramente húmeda, antes de ponerlas en contacto con el agua para que comiencen a recuperar la humedad lentamente.

Centro de semillas

Para establer un centro de manejo y conservación de semillas se debe tener información preliminar acerca de las especies prioritarias en cuanto al manejo de semillas, la posibilidad de que exista una demanda de estas especies, la disponibilidad de las semillas y la capacidad de manejo en cuanto al número y variedad de especies que las instalaciones permiten.

Esta institución realizaría tres funciones básicas: conservación y distribución de semillas con fines de propagación, investigación básica y aplicada, y labores de extensión y entrenamiento. Las semillas se obtendrían en viajes de colecta al campo y por medio de compra o intercambio con otros laboratorios y jardines botánicos. Por esto sería importante que el organismo descrito tuviera un control adecuado de las fuentes de semillas para asegurar su estabilidad y disponibilidad, ya que de otra manera la existencia continua de semillas de alguna especie podría verse interrumpida al incrementarse la demanda. Además de la recolecta, las labores cotidianas del

centro serían: *1)* aplicar pruebas a las semillas, cada muestra de semillas que ingrese al centro deberá ser analizada para conocer su pureza, sanidad y poder germinativo, con el fin de conservar e intercambiar los mejores lotes de semillas; *2)* documentación de las semillas, para lo cual se llevaría un registro completo de la edad, el origen y las características de cada muestra mediante el registro de datos esenciales como el lugar y la fecha de colecta, la viabilidad, los tratamientos aplicados y cualquier otro dato relevante. Estos dos procedimientos permiten obtener semillas certificadas, en las que su calidad y sus características están bien documentadas y pueden ser respaldadas por medio de un certificado.

Otra función del centro, de no menor importancia, sería la investigación básica de las semillas y de las especies que se manejan, ya que con frecuencia en el mundo tropical se carece del más mínimo conocimiento de las especies disponibles y esto ha sido un obstáculo serio para la utilización de muchas especies de árboles tropicales. Mediante la investigación es posible determinar los métodos más adecuados para colectar, procesar, almacenar y germinar las semillas de las diversas especies, además de que también se obtiene información básica sobre la fisiología de las semillas y sobre los mecanismos de germinación y establecimiento de plantas.

Un centro de tales características sería un modelo para futuros establecimientos similares en los trópicos; además, tendría una función importante en el entrenamiento de personal en las diferentes técnicas y en el desarrollo de nuevos procedimientos

PROBLEMAS EN EL USO DE SEMILLAS EN LA PROPAGACIÓN DE LAS PLANTAS

La mayoría de los árboles más valiosos de los bosques templados se propaga por medio de semillas, en tanto que los árboles frutales y de ornato con frecuencia son propagados utilizando segmentos vegetativos o injertos. Más recientemente se ha tenido éxito con técnicas de micropropagación en algunas especies.

Con respecto a los árboles tropicales, la mayoría de las especies que se cultivan extensivamente se propaga por medio de semillas; sin embargo, no todas las especies valiosas producen semillas que puedan utilizarse fácilmente para este propósito. Muchos árboles tropicales florecen y fructifican esporádicamente o producen cantidades pequeñas de semillas. Con frecuencia éstas son fuertemente dañadas por parásitos y depredadores. Muchas de ellas son de tipo recalcitrante, de vida corta, frágiles y difíciles de manejar o almacenar. Algunas requieren condiciones peculiares de germinación que son desconocidas o difíciles de obtener en un vivero o en una cámara de germinación; además, las plántulas que se obtienen de las semillas de los árboles tropicales a veces necesitan mucho tiempo para crecer y su maduración puede tomar toda una vida.

Un programa sobre conservación y manejo de semillas tiene objetivos a corto y a largo plazo. Los de corto plazo se concentran en el desarrollo de una estrategia para la recolecta representativa de semillas y para cubrir la demanda de éstas. Los objetivos a largo plazo son asegurar la existencia de una provisión sostenida de semillas de alta calidad y de larga viabilidad, y desarrollar plantas de mayor calidad mediante programas de mejoramiento y selección de las características genéticas más deseables de estas plantas. De esta manera, un programa bien equilibrado de manejo de semillas tiene esencialmente tres componentes: *1)* la obtención de las semillas, que es el conjunto de prácticas organizadas para obtener y conservar semillas de alta calidad y mantener una disponibilidad permanente de éstas; *2)* el mejoramiento de árboles, que es el conjunto de prácticas diseñadas para obtener genotipos más deseables de plantas para la reproducción y propagación, y *3)* la conservación de recursos genéticos, que es el conjunto de prácticas diseñadas para conservar el germoplasma a largo plazo y con cierto grado de variabilidad genética para las demandas futuras.

En párrafos anteriores hemos tratado ampliamente los aspectos de manejo y conservación de semillas, por lo que sólo resta tratar aquí el tema del mejoramiento genético de una manera somera, ya que se trata de un asunto de suma complejidad.

Obtener muestras de semillas mejoradas es una necesidad que puede resolverse de diferentes maneras. En especies de vida larga, en que se requieren muchos años para que las plantas alcancen la edad reproductiva, las prácticas de entrecruza, hibridización y selección que se utilizan en los cultivos de plantas anuales son difíciles de aplicar y sólo se obtienen resultados a muy largo plazo. Por esta razón, en plantas leñosas se recurre frecuentemente a la selección clonal o vegetativa, de la que se habla más extensamente en el siguiente capítulo.

Una de las técnicas más empleadas para asegurar una fuente constante y de buena calidad de semillas, sobre todo en el caso de árboles de valor forestal, es la creación de rodales semilleros. Esto se lleva a cabo seleccionando

árboles de alta calidad, buena forma y alta producción de semillas viables. Con estas semillas se forman cultivos en áreas de suelos y humedad adecuada y los individuos que aquí nacen constituyen una fuente valiosa de semillas, que son las que se utilizan para generar los viveros destinados a reforestación y reemplazo de los árboles cosechados en los bosques.

Sin embargo, no debe pensarse que las técnicas de selección sexual no se han aplicado a plantas longevas. Las culturas con larga tradición hortícola nos han legado árboles cultivados con propiedades alimentarias, o de otra índole, muy valiosas, que indudablemente fueron el resultado de técnicas de hibridización o entrecruza en las que se hizo gala de paciencia, una de las cualidades más escasas de la modernidad.

II. LA PROPAGACIÓN VEGETATIVA

A DIFERENCIA de lo que sucede en los vertebrados, la semilla es liberada cuando aún sus tejidos no se han diferenciado totalmente (véase *Cómo viven las plantas,* La Ciencia desde México, núm. 49). La semilla contiene células embrionarias que darán origen a todos los tejidos de la nueva planta después del proceso de germinación; además, muchas de las células de los tejidos vegetales ya maduros conservan la potencialidad de diferenciarse y dar origen a diversas estructuras; estas células forman parte de meristemos primarios y secundarios que pueden encontrarse en todos los órganos de las plantas. Gracias a esto es posible obtener plantas enteras a partir de tejidos de yemas, tallos, raíces y hasta hojas de casi cualquier planta.

La propagación clonal o vegetativa de plantas es una producción a partir de partes vegetativas. Se utilizan tejidos vegetales que conserven la potencialidad de multiplicación y diferenciación celular para generar nuevos tallos y raíces a partir de cúmulos celulares presentes en diversos órganos. Este tipo de propagación tiene esencialmente tres variantes, que son: *1)* la micropropagación a partir de tejidos vegetales en cultivo *in vitro; 2)* la propagación a partir de bulbos, rizomas, estolones, tubérculos o segmentos (esquejes) de las plantas que conserven la potencialidad de enraizar, y *3)* la propagación por injertos de segmentos de la planta sobre tallos de plantas receptivas más resistentes.

La propagación vegetativa comprende desde procedimientos sencillos, conocidos de tiempos inmemoriales por los campesinos de todo el mundo, hasta procedimientos tecnológicamente muy avanzados, basados en la tecnología del cultivo de tejidos vegetales, mediante los cuales se puede lograr la propagación masiva de plantas genéticamente homogéneas, mejoradas y libres de parásitos. Los procedimientos modernos permiten la obtención de cultivares totalmente libres de agentes patógenos, incluyendo virus, e incluso la fabricación de semillas artificiales por medio de la técnica de embriogénesis somática y encapsulado. Además de la propagación, las técnicas de cultivo de tejidos *in vitro* también permiten seguir procedimientos modernos de conservación de germoplasma gracias al mantenimiento prolongado de cultivos de crecimiento lento y la criopreservación de tejidos.

ESTRUCTURAS DE PROPAGACIÓN VEGETATIVA

Varias especies de plantas vasculares, en su mayoría especies cultivadas, no producen semillas aunque tengan flores, su multiplicación o propagación vegetativa no implica la fusión de células germinativas. Esta forma de propagación también se presenta en plantas que normalmente producen semillas, y sólo se le considera como reproducción asexual cuando sustituye en gran parte a la reproducción sexual.

Se trata de un proceso que implica el enraizamiento y la separación de una parte de la. planta original cuando mueren los tejidos vegetales que las semillas unían. De esta manera, las células, tejidos u órganos desprendidos se desarrollan directamente en nuevos individuos. Las zonas de abscisión pueden ser precisas, como sucede en la separación de los bulbilos, o puede darse la fragmentación de una planta debida al deterioro y muerte del individuo parental o bien de los tejidos de interconexión, como en el caso de los brotes de las raíces.

Las estructuras de propagación vegetativa funcionan también como órganos de resistencia y de almacenamiento en las temporadas adversas, los cuales algunas veces son almacenados por tiempos prolongados.

Estructuras de propagación vegetativa en plantas no vasculares

La propagación vegetativa se presenta en todo el reino vegetal; por ejemplo, en algunas algas pluricelulares la propagación vegetativa se realiza mediante su fragmentación en dos o más individuos. Las cianobacterias presentan a lo largo de sus filamentos unas células muertas, agrandadas y de pared gruesa, que se encuentran a intervalos a lo largo de sus filamentos, las cuales ayudan a la fragmentación.

Varios tipos de plantas no vasculares tienen estructuras especializadas relacionadas con la propagación vegetativa. Las hepáticas producen estructuras semejantes a las yemas llamadas propágulos, que al desprenderse de su pedicelo son arrastrados por la lluvia hasta sitios en los que se desarrollan como nuevas plantas, mientras que los líquenes producen cuerpos reproductores conocidos como soredios, integrados por masas de hifas fúngicas y de células algales.

Estructuras de propagación vegetativa en plantas vasculares

En virtud de la totipotencialidad del tejido vegetal, es decir, de su capacidad para formar yemas y raíces adventicias, casi cualquiera de los órganos de una planta vascular tiene relación con su propagación vegetativa al sufrir modificaciones anatómicas y funcionales que le permiten desarrollarse en un organismo vegetal completo e independiente, con las mismas características genéticas de la planta progenitora. Las yemas, por lo general, se encuentran en las axilas de las hojas, en la porción terminal del tallo, o bien se desarrollan en cualquier porción del tallo y dan origen a raíces adventicias.

Entre las estructuras de propagación vegetativa algunas comparten semejanzas en su desarrollo, por lo que no siempre es posible hacer una diferenciación muy clara entre ellas, sino que más bien se ubican en un continuo de características. Sin embargo, algunos autores las clasifican tomando en cuenta los órganos vegetales de los cuales se originan. Con base en este criterio describiremos algunas de las más comunes.

Propagación vegetativa por tallos y yemas

Los tallos horizontales aéreos y subterráneos de varias especies silvestres y cultivadas se alargan y forman raíces adventicias en sus nudos. Mientras los tejidos se mantienen intactos se trata del crecimiento de una sola planta, como sucede en muchas especies de gramíneas. A este individuo completo de extenso crecimiento se le conoce como genet o clon. Pero cuando el tejido de interconexión muere o es cortado, cada uno de los segmentos da lugar a un nuevo individuo al que se le conoce como ramet (figura 13A).

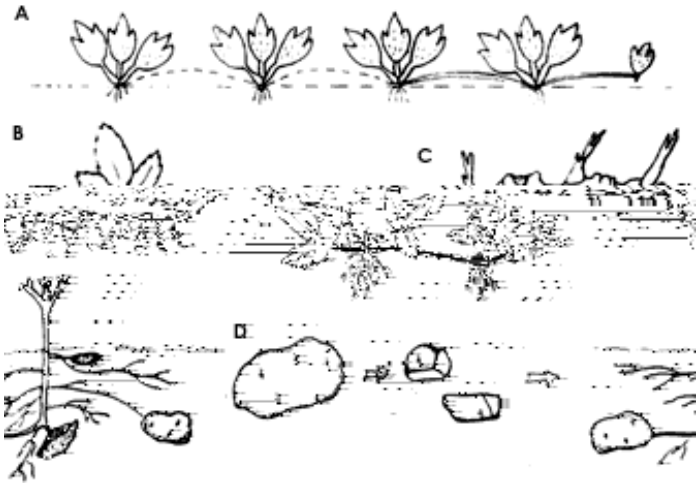


Figura 13. A) Separación de los ramets individuales por muerte del tejido de interconexión; B) estolones; C) rizoma; D) el tubérculo (papa) se corta en piezas y cada una contiene una yema para que a partir de los tubérculos se propagen más plantas.

Una modificación de este tipo de propagación ocurre cuando el extremo libre de un tallo largo alcanza el suelo y además de desarrollar raíces adventicias, la yema de crecimiento da lugar a un tallo erecto, lo que se conoce como acodadura (figura 14); este proceso ocurre frecuentemente en la propagación de las frambuesas y las zarzamoras.

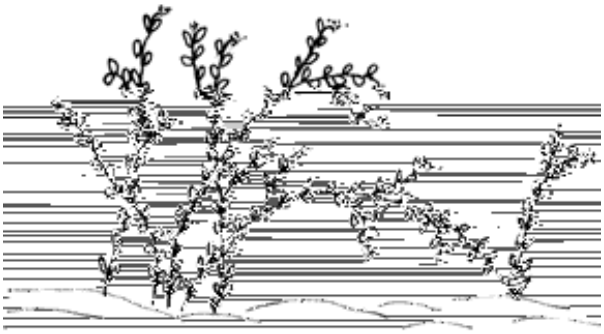


Figura 14. Acodadura. Las ramas alcanzan el suelo y enraizan.

Por otro lado, los tallos aéreos de algunas hierbas y arbustos caen por su propio peso al suelo. La producción de raíces adventicias y la muerte de las conexiones con el individuo parental permiten la generación de plantas independientes.

En otros casos, la sola fragmentación de los tallos o de las ramas y su contacto continuo con el suelo es suficiente para que los segmentos formen raíces y se desarrolle un individuo completo. Este tipo de propagación es común en los cactos, los sauces y en la planta acuática conocida como elodea.

Entre las principales estructuras de propagación vegetativa originadas a partir de los tallos y de las yemas se encuentran las siguientes:

Propagación vegetativa por tallos

1) Estolones. Constan de secciones relativamente largas y delgadas de tallos aéreos horizontales con entrenudos largos y cortos alternados que generan raíces adventicias. La separación de estos segmentos enraizados permite el desarrollo de plantas hijas. La fresa es un ejemplo de las especies que comúnmente presentan este tipo de propagación (figura 13B).

2) Rizomas. Se generan a partir del crecimiento horizontal de un tallo subterráneo, por lo general más robusto que el que da origen a un estolón. Las viejas porciones se degradan y se separan en fragmentos que deberán enraizar de manera independiente. Este tallo subterráneo presenta hojas escamosas en las axilas, donde se pueden generar yemas axilares, además de presentar raíces adventicias (figura 13C). Una vez formado el vástago principal se da un crecimiento continuo. Cada estación de crecimiento presenta un crecimiento simpodial por medio de la yema axilar o monopodial por medio de la yema terminal. El rizoma funciona como órgano de almacenamiento de reservas. De esta manera se propagan especies de importancia económica, tales como el bambú, la caña de azúcar, el plátano, así como algunos pastos.

3) Tubérculos. Son estructuras gruesas, suculentas, que actúan también como estructuras de reserva. Se forman en el extremo de tallos subterráneos delgados. Un ejemplo muy conocido lo constituye la papa. Los tubérculos presentan en su superficie nudos con hojas escamosas, arreglados de manera espiral, y cada uno de ellos consta de una o más yemas pequeñas. Cuando se inicia el crecimiento del vástago principal las raíces adventicias se desarrollan en la base del tubérculo y las yemas horizontales se alargan y producen tallos etiolados en forma de estolones. A partir de los tubérculos que han formado ramas horizontales se forman tubérculos nuevos (figura 13D).

Los tubérculos y los rizomas son muy semejantes y en algunos casos es casi imposible distinguirlos. Sin embargo, una característica distintiva de un rizoma verdadero es que presenta un grosor uniforme en toda su longitud, sobre la cual crecen raíces adventicias, las cuales no existen en los nudos de los tubérculos. Otra diferencia entre estas estructuras consiste en que el rizoma formará el vástago principal de la nueva planta, mientras que el tubérculo forma ramas laterales (figura 13C y 13D).

4) Brotes. Se definen como ramas o tallos que desarrollan raíces adventicias sin que sean independientes de la planta progenitora. Se desarrollan en las axilas de las hojas escamosas o de las yemas adventicias sobre las raíces.

En la piña comestible los brotes se desarrollan en las axilas de las hojas inferiores que son cubiertas por el suelo.

Propagación vegetativa por yemas.

A partir de la producción de las yemas axilares con orientación vertical en los tallos de algunas plantas (figura 15A) y de su posterior desprendimiento y caída al suelo, se producen estructuras de propagación vegetativa tales como los bulbos que se presentan en la cebolla, el tulipán y el lirio o los cormos del gladiolo y el azafrán. Ambas estructuras, una vez liberadas, se establecen de manera subterránea pero forman ramas que dan lugar a nuevas plantas.

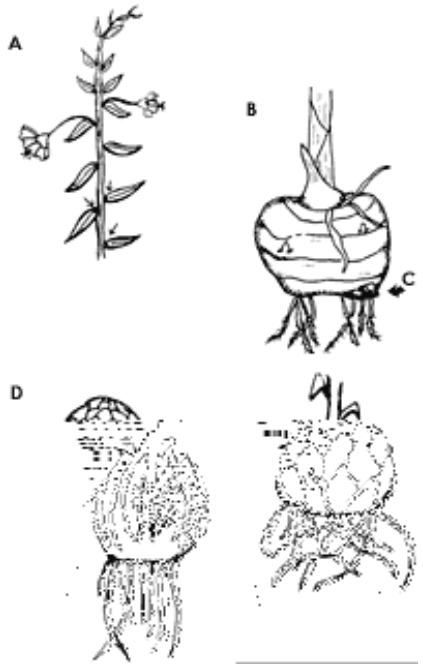


Figura 15. A) Yemas axilares; B) cormo; C) cormelo; D) bulbo.

1) Cormos. Se forman en las yemas de las axilas de las hojas de un tallo robusto y suculento que proporciona los nutrientes necesarios para la nueva estructura, la cual se desprenderá del progenitor y se desarrollará subterráneamente como un tallo corto, erecto y sólido con nudos y entrenudos. Los cormos tienen forma de esferas aplanadas dorsoventralmente, como los del gladiolo y el azafrán. Están envueltos en delgadas hojas escamosas que los protegen del daño físico y de la pérdida de agua, pero que no funcionan como estructuras de almacenamiento, a diferencia de las escamas de los bulbos. Cuando se desprenden las escamas marcan círculos alrededor del cormo. Éste desarrolla raíces adventicias ventrales o basales. El ápice del cormo es un vástago terminal que se desarrollará en las hojas y en un vástago floral terminado por una inflorescencia, y en cada uno de los nudos se producen las yemas axilares (figura 15B). El cormo se multiplica ramificándose simpódicamente, y si se corta un cormo, manteniendo una yema en cada sección, cada uno de estos segmentos desarrollará un cormo nuevo.

2) Cormelos. Sobre el extremo inferior del cormo se producen pequeñas estructuras semejantes a los estolones conocidos como cormelos (figura 15C). La muerte del cormo parental permitirá la separación de los cormos hijos, los cuales pueden ser almacenados durante el invierno y plantados durante la temporada favorable para el crecimiento.

3) Bulbos. Se desarrollan sobre tallos cortos y engrosados, a partir de yemas axilares de hojas carnosas. De éstas obtienen elementos de reserva, a diferencia de los cormos que las obtienen a partir del tallo, lo cual les permite producir rápidamente raíces adventicias. Se desarrollan subterráneamente en forma de tallos carnosos, cubiertos con hojas engrosadas a manera de escamas que funcionan como órganos de reserva (figura 15D).

Es posible que se produzca más de un bulbo a partir de cada yema. En algunos casos se desarrollan masas de bulbos en el extremo del tallo cada uno de ellos llamados bulbilos, los cuales pueden ser dispersados lejos del bulbo parental. En el centro de los bulbos existe un meristemo vegetativo o un vástago floral.

Por su consistencia existen dos tipos de bulbos: *1)* los tunicados, que están cubiertos por escamas secas y membranosas que protegen al bulbo y le dan una estructura más o menos sólida. A esta clase pertenecen la cebolla y el tulipán; *2)* los no tunicados, que no presentan la cubierta seca y sus escamas están separadas y unidas a la placa basal. Este tipo de bulbos daña fácilmente por lo que deben ser manejados con cuidado.

4) Pseudobulbos. Esta estructura vegetativa se da en la familia de las orquídeas. Son crecimientos tuberosos del tallo completo o de parte de éste o de las ramas. En las axilas de las escamas de la base de los pseudobulbos se forman vástagos nuevos o pseudobulbos en serie que conectan segmentos del tallo (figura 16A).

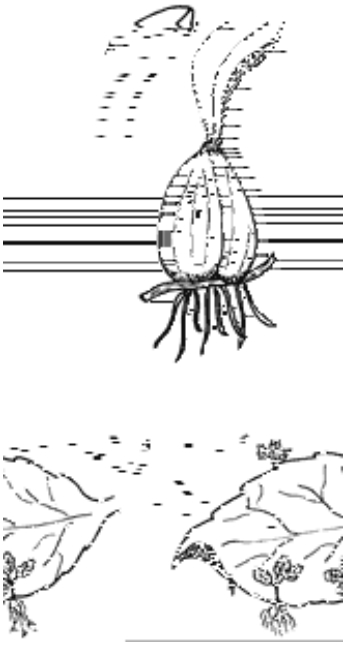


Figura 16. A) Pseudobuldo, y B) producción de nuevas plantas en el margen de la hoja, como en la planta millonaria.

5) Turiones. Se presentan generalmente en especies acuáticas como estructuras de resistencia a condiciones ambientales adversas; se conocen también como yemas de invierno y se forman a partir de yemas que se desprenden del tallo o que persisten cuando el resto de la planta muere. Las hojas del turión contienen elementos de reserva y cuando se restablecen las condiciones favorables se inicia la producción de las raíces adventicias.

6) Chupones. Son estructuras que se forman en las axilas de las hojas escamosas de los tallos subterráneos y de los rizomas, o de las yemas adventicias de las raíces. El chupón forma varios entrenudos cortos; después de formar uno o más nudos desarrolla raíces adventicias y puede formar una nueva planta. El plátano y el bambú forman chupones.

Propagación vegetativa por raíces

Una forma extensa de propagación de las plantas se da mediante numerosos brotes que crecen de sus raíces horizontales. Tales brotes se forman sólo si la raíz es dañada, entonces los brotes se diferencian en un tejido calloso. Las raíces carnosas y aglomeradas de los camotes, las dalias y las peonías son también un medio de propagación vegetativa.

Propagación vegetativa por hojas

Este tipo de propagación no es tan frecuente en la naturaleza como los dos anteriores. Sin embargo, es posible encontrarlo en las hojas de algunos helechos, que forman una especie de acodadura al entrar en contacto con el suelo; en otras especies, entre las que se encuentran las violetas africanas, se forman nuevos individuos a partir de las hojas que se desprenden y caen al suelo y que posteriormente desarrollan raíces adventicias (figura 16B).

Propagación vegetativa por estructuras florales

En algunas plantas los meristemos apicales que normalmente se desarrollarían como flores se convierten en yemas vegetativas asociadas con raíces adventicias. Estas estructuras crecerán independientemente al ser liberadas de la planta progenitora. La producción de yemas vegetativas en lugar de flores se conoce como prolificación o falsa viviparidad.

Los *bulbilos* son yemas axilares de consistencia carnosa que almacenan reservas. En algunas especies de cebolla los bulbilos se forman en lugar de las flores, mientras que en algunas especies de agave las inflorescencias son reemplazadas por cientos de bulbilos. El nombre de estas estructuras de propagación vegetativa se debe a que visualmente se parecen a los bulbos, pero su color es verde; cuando están sobre la planta progenitora carecen de raíces adventicias, las cuales se desarrollan cuando los bulbilos son liberados.

PROPAGACIÓN VEGETATIVA INDUCIDA

Como hemos visto, la potencialidad de las plantas para generar nuevos individuos a partir de segmentos de su organismo está distribuida ampliamente en las plantas de muchos ambientes. Para muchas especies la reproducción asexual predomina sobre la sexual, y es que las condiciones de su ambiente hacen muy improbable que la semilla llegue a generar una planta capaz de establecerse debido a las limitaciones de recursos fundamentales como el agua, la luz o la competencia con las plantas establecidas. Un caso bien conocido en nuestro país es el de lacactáceas y otras plantas de las zonas áridas que presentan muchas de las estructuras reproductivas antes citadas. Por ejemplo, los nopales se reproducen fácilmente en forma natural a partir de segmentos del tallo, que tienen una forma muy peculiar y se les conoce como pencas, y en términos botánicos como cladodios. Éstos se desprenden espontáneamente o a consecuencia de algún hecho traumático y enraizan en forma natural, lo que constituye en muchos casos el principal mecanismo de reproducción de estas plantas (figura 17).

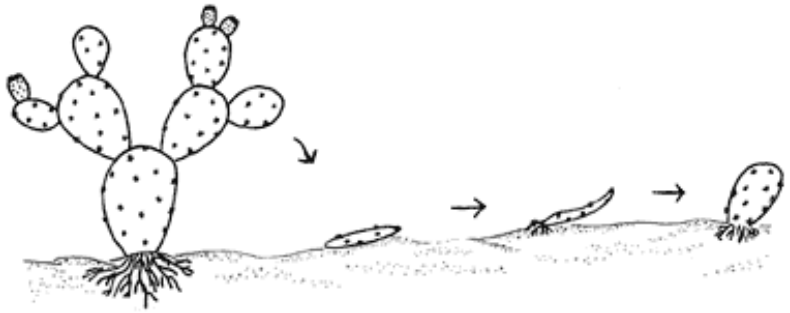


Figura 17. Propagación vegetativa por medio de los cladodios de plantas de nopal (segmentos del tallo).

Con base en la potencialidad presente en la naturaleza en lo que respecta a la propagación vegetativa de las plantas, se han desarrollado métodos de propagación inducida, cuya complejidad va desde las tecnologías más rústicas hasta los métodos más tecnificados.

ENRAIZAMIENTO DE SEGMENTOS

Esta técnica de propagación tiene muchas ventajas y se emplea exitosamente sin necesidad de gran inversión económica. La técnica más común es la inducción de la formación de raíces en una sección del tallo o de la rama, de manera que se origine una planta independiente. En los casos en que se ha experimentado propagar árboles mediante la enraización a partir de segmentos se ha tenido éxito en más de 80 por ciento.

Según la parte de la planta de donde se obtienen los segmentos (cortes o fragmentos) se ha dividido en cortes de: hojas, de brotes o renuevos, de raíz y de ramas. La selección de cualquiera de ellos depende básicamente de las características inherentes a cada especie, de las facilidades para obtener y manipular los cortes (en función del estado fenológico de la planta), del propósito de la propagación y de la disponibilidad de recursos económicos.

A continuación se mencionan algunas de las características de los diferentes tipos de cortes:

1) Cortes de hojas. Algunas especies herbáceas, como las violetas africanas y las peperomias, producen raíces a partir de sus hojas y posteriormente tallos; sin embargo, esto no ocurre con facilidad en la mayoría de los árboles. Los cortes que incluyen además de la hoja una yema axilar y un fragmento de rama son adecuados para propagar algunas plantas —como las camelias y los rododendros, que son especies leñosas— y también se utilizan para propagar árboles cuando la cantidad disponible de otro tipo de segmentos es escasa.

2) Cortes de raíz. La capacidad de muchos árboles de producir ramas a partir de sus raíces (en condiciones adecuadas de crecimiento) se utiliza para propagar algunas plantas, como los plátanos y los guayabos.

3) Cortes de ramas. La propagación vegetativa mediante segmentos de ramas o brotes es uno de los métodos más usados para propagar plantas leñosas en vivero. Según las características de madurez de la madera de donde se obtienen las ramas o brotes, los cortes se han dividido en cortes son: de maderas duras, semiduras y suaves. Aunque las diferentes fases de maduración se presentan de manera continua, generalmente se distinguen por la forma y el color de las hojas y por los cambios de coloración del tallo o ramas. Las técnicas de propagación de árboles por medio de cortes de ramas se dividen en dos tipos básicos: de segmentos foliados y de segmentos defoliados. Cada uno de éstos utiliza cortes de madera con un grado de maduración diferente, y como proceden de árboles de contrastante ciclo fenológico, esta diferencia se relaciona con la acumulación de reservas en los tejidos del tallo. En los árboles caducifolios, de los cuales se obtienen los segmentos defoliados, antes de la caída de las hojas hay acumulación de reservas, las cuales están destinadas a formar posteriormente hojas nuevas. A partir de estas reservas se generan las raíces y las hojas en el segmento; en cambio, los segmentos foliados por lo general proceden de árboles de hoja perenne, que no acumulan reservas en el tallo y que deben continuar fotosintetizando para producir los recursos necesarios para generar nuevo crecimiento.

Enraizamiento de segmentos defoliados

Esta técnica de reproducción vegetal se da espontáneamente en la naturaleza cuando una rama o fragmento de una planta cae al suelo y logra enraizar otra vez y producir así un nuevo individuo. También se le ha empleado desde tiempos inmemoriales por los horticultores para la propagación de árboles de ornato y frutales; un ejemplo de este método son las cercas vivas de palo mulato o colorín, que vemos alrededor de potreros y cultivos en el trópico mexicano. Para la construcción de estas cercas los campesinos cortan los segmentos o ramas al efectuar los desmontes, los almacenan en un lugar fresco y sombreado y los plantan al principio de la época de lluvias.

Los árboles que más fácilmente se propagan de esta manera son los que presentan una fase fenológica de defoliación y latencia meristemática al final de la época favorable para el crecimiento, como muchos árboles de las selvas bajas caducifolias y subcaducifolias, los cuales tienen la posibilidad de enraizar a partir de segmentos defoliados; por ejemplo, el cacahuananche, el palo mulato, el ciruelo amarillo de tierra caliente y el colorín, entre otras. En ocasiones, esta forma de propagación también es adecuada para algunas leñosas no deciduas de hojas angostas.

El método consiste básicamente en cortar ramas o pencas y plantarlas en el suelo húmedo para provocar su enraizamiento. Este ocurre fácilmente sin necesidad de emplear sustancias enraizadoras, ya que al encontrarse en un estado de latencia meristemática, al volver al estado de crecimiento los propios cambios hormonales que ocurren en el segmento desencadenan la producción de raíces en la superficie que está en contacto con el suelo. Los cortes se obtienen de ramas de crecimiento de la estación anterior y se realizan cuando la etapa de crecimiento cesa y la abscisión de hojas se ha presentado (finales de otoño o en el invierno). Debido al tamaño de los segmentos y a las condiciones de lignificación de la madera (madera dura), los cortes no se deshidratan y conservan la humedad el tiempo suficiente para generar un nuevo crecimiento de raíces y ramas.

A continuación se enumeran los pasos y criterios que se deben considerar para realizar esta actividad:

1) Seleccionar donantes vigorosos y sanos con alta cantidad de reservas alimenticias, preferentemente de un banco de plantas donantes que han crecido en condiciones de completa iluminación y que por lo tanto contienen alta cantidad de reservas alimenticias.

2) Elegir los segmentos basales o centrales de la rama, que son los que tienen más reservas alimenticias necesarias para el desarrollo de las nuevas raíces, pues de ellos se derivan las ramificaciones secundarias. Por ello no se deben elegir ramas con entrenudos muy largos o de ramas pequeñas y débiles.

3) El tamaño de los segmentos varía entre 15 y 75 cm de largo, el criterio adecuado para elegirlo depende de la especie, ya que se requiere que se incluyan por lo menos dos nudos, aunque lo recomendable es de cuatro a seis, sobre todo cuando los entrenudos son muy cortos. El diámetro de las ramas en que se realizan los cortes puede ser de 0.6 a 5 centímetros.

4) El corte basal se hace justo abajo de un nudo (sitio donde preferentemente se forman raíces adventicias) y el corte superior se realiza de 1.3 a 2.5 cm arriba del otro nudo. El corte puede ser de mazo (incluye una sección del tallo de madera más vieja), de talón o tacón (la porción de madera vieja es más pequeña) y el recto (no incluye madera vieja) (figura 18).

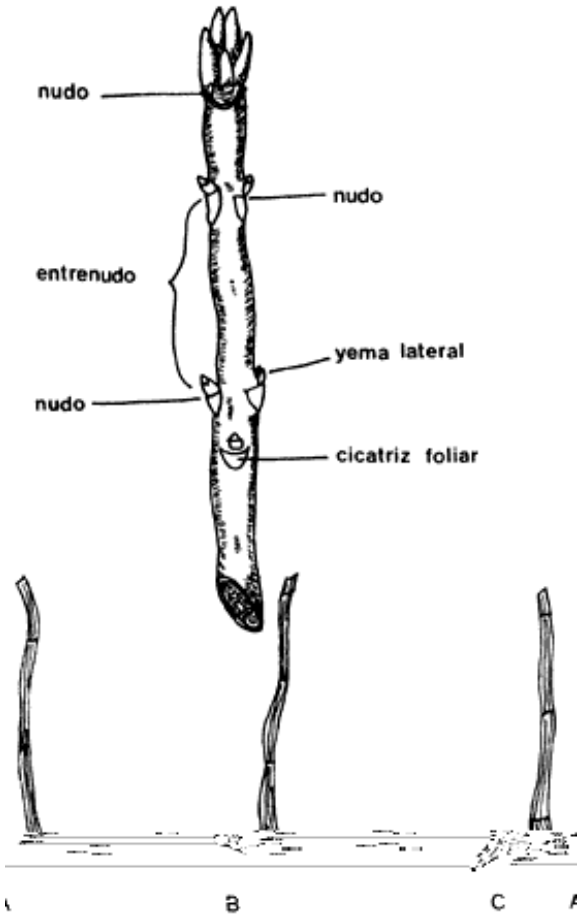


Figura 18. Se señalan en la parte superior las partes de una estaca y en la porción inferior los tipos de corte utilizados para la obtención de estacas: a) recto, b) talón o tacón y c) mazo.

5) Empaquetar las estacas cuidando su orientación, para mantener su polaridad y permitir que el flujo de savia siga su dirección normal. Por eso se marca la base con un corte sesgado o se baña la base con cera, lo cual ayuda también a evitar la pérdida de humedad, que podría propiciar enraizamientos pobres.

6) El enraizamiento de segmentos defoliados ocurre fácilmente, ya que el propio ciclo fenológico hace coincidir

la producción de hormonas de crecimiento con el periodo de enraizamiento y crecimiento de yemas del segmento. Aun así, se favorece notablemente el enraizamiento si se emplean hormonas y algunos procedimientos para asegurar el desarrollo rápido de los segmentos. Las sustancias más usadas para acelerar el enraizamiento son el ácido naftalenacético (ANA) y el ácido indolbutírico (AIB), de los cuales se hablará posteriormente. El enraizamiento también se favorece colocando los segmentos a temperatura baja (5-8°C) por algunas semanas, ya que esto estimula la síntesis de hormonas en plantas que proceden de climas en los que hay una estación fría.

Finalmente, para lograr un buen enraizamiento hay que escoger los segmentos con las características óptimas de madurez de la madera y que carezcan de hojas.

7) Para la siembra se eligen terrenos que reúnan las características sugeridas en el capítulo III.

Algunas opciones para preparar y manipular las estacas antes de la plantación se presentan en el cuadro 22.

CUADRO 22. Métodos de preparación y manipulación de los segmentos o cortes defoliados previos a su plantación definitiva.

Tecnicas de manipulación de los segmentps defoliados.	*Condiciones de almacenamiento*	*Recomendaciones generales*
Callosidad de invierno. El corte se obtiene en otoñoa partir de ramas de la estación de crecimiento anterior. Se almacena en invierno durante el cual forma su callosidad y se transplanta en primavera	Los segmentos se almacenan en frío y humedad en una fosa de enraizamento hasta el momento del trasplante definido	Sin requerimientos de enraizadores químicos, pero la adición de bajas concentraciones de hormonas y fungicidas (AIB del 1.4 al 1%) en la base de las estacas favorece el enraizamiento
Plantación directa de primavera. Las ramas se obtienen en otoño. Cerca de las primaveras se realizan los cortes que se siembran directamente	Las ramas se almacenan a temperaturas de 0° a 4°C envolviendo su base en turba o vermiculita húmeda y papel	
Planeación directa de otoño. La rama y los cortes se obtienen en esta estación. Los cortes se pueden sembrar inmediatamente		Requiere la adición de enraizadores químicos (AIB 0.08%) y fungicidas (Captan) en la base de las estacas
Callosidad de bajo de calor. La rama y los cortes se obtienen en otoño, después de 4 semanas de almacenados, los cortes se empacan a temperatura ambiente y se siembran en la primavera	Previo al almacenamiento de los segmentos se aplican hormonas a sus bases (AIB 2 500 a 5 000 ppm) y se empacan en condiciones de humedad con la base a 18-21°C por cuatro semanas.	Se recomienda para especie de maderas duras de difícil enraizamiento
Callosidad de temperaturas cálidas- Las ramas se obtienen en otoño y los cortes se platan en invierno si es benigno, o en primavera	Las ramas se almacenan en condiciones de humedad a 18-21°C por 4 o 5 semanas En caso de invierno muy fríos los cortes se almacenan a 2-4°C.	En caso de almacenamiento de los cortes se adicionan a sus bases AIB (0.08%)
Los cortes enraizados por este método presentan baja sobrevivencia al ser trasplantados	Se añade la base de los cortes con hormonas (AIB a 2 000 a 4 000 ppm) y se guardan en bolsas de politelineo en la oscuridad	Almacenamiento en bolsas de plástico. Las ramas y cortes se obtiene en otño. Estos últimos se siembran en primavera

Enraizamiento de segmentos foliados

Según las condiciones de lignificación de la madera los segmentos foliados se dividen en: cortes de maderas blandas (meristemos), cortes de maderas semiduros (parcialmente maduros) y cortes de maderas duras siempre verdes (lignificados). Cualquiera de éstos llevan hojas o brotes meristemáticos (material fisiológicamente juvenil) y su tamaño es mucho mas pequeño que los defoliados. Las especies que se propagan con esta técnica son la caoba, el zapote negro, el chicozapote y el barí, entre muchos otros más.

Debido a la presencia de hojas que continúan transpirando activamente y a las condiciones diferenciales de madurez en las ramas jóvenes, los segmentos pueden deshidratarse muy fácilmente. Por esto, es necesario mantenerlos en compartimientos sombreados y húmedos hasta que enraizan y toman del suelo suficiente agua. Siempre es necesario emplear sustancias enraizadoras como el ácido indolbutiírico (AIB) o el naftalenacético (ANA) y con frecuencia es indispensable mantener los segmentos recién plantados bajo agua nebulizada para evitar la deshidratación.

Segmentos foliados de maderas blandas

Los cortes se seleccionan en la estación de crecimiento, antes de que se presente la lignificación, y son tomados de los renuevos tempranos o de ramas jóvenes generadas a finales de la primavera y principios del verano, Esto significa que las ramas se encuentran en crecimiento activo, por lo que en su acopio y manipulación se deben tener cuidados especiales. La clave para el éxito es mantener los cortes turgentes, desde el periodo de colecta

mayor capacidad de enraizamiento (figura 18).

3) Las hojas de las ramas de donde se obtendrán los cortes deben tener entre 8 y 10 cm de largo, de lo contrario hay que reducir el área foliar, debido a que hojas muy grandes favorecen la pérdida de agua y las muy pequeñas no producen suficientes carbohidratos u otras sustancias necesarias para que el corte sobreviva. Se puede reducir el área foliar cortando las hojas con unas tijeras y cuidando que el tejido no se dañe por machacamiento o estrujamiento (figura 19).

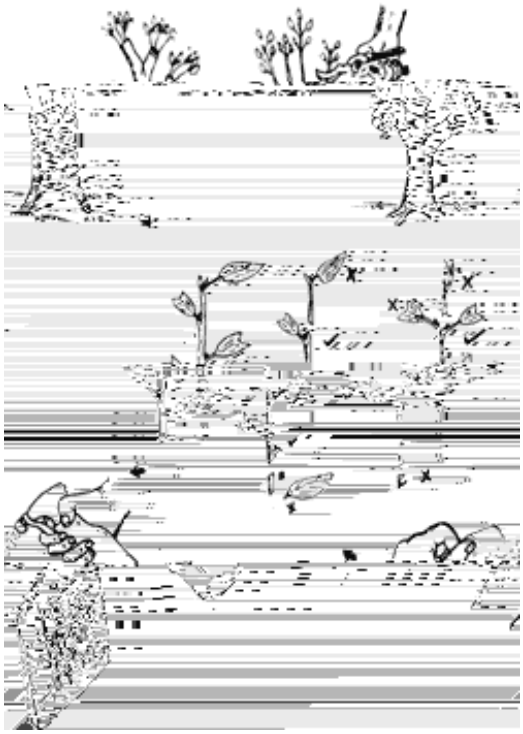


Figura 19. Proceso de obtención de estacas de la planta donante y manipulaciones de los cortes. Las estacas más fácilmente enraizables son las que se obtienen de rebrotes en troncos cortados. Hay formas correctas e incorrectas de resegmentar los rebrotes que se muestran a la izquierda. Es importante mantener húmedos los segmentos durante su transporte.

4) Ya cortados los brotes se marcan con el número de la planta donante (número de clon), se introducen lo más rápidamente posible en bolsas de plástico con algún material que retenga bastante agua y se cierran para evitar la pérdida de humedad. Deben mantenerse en un sitio fresco y sombreado y en cuanto sea posible se trasladan al área de enraizamiento del vivero.

5) Al extraer los brotes para hacer los cortes deben mantenerse húmedos y frescos, exponiéndolos lo menos posible al viento, ya que éste incrementa la pérdida de humedad. Los cortes deben hacerse con instrumentos filosos, en forma oblicua por arriba del nudo, o bien rectos para evitar que el sistema radicular se forme de un sólo lado. La longitud óptima de las estacas es usualmente entre 3 y 10 cm. Independientemente del tipo de corte o tamaño, éstos siempre deberán contar al menos con una hoja en la punta de la estaca, para que ésta proporcione nutrientes y otras sustancias necesarias para el enraizamiento.

Enraizamiento y establecimiento

El área donde se colocarán las estacas para el enraizamiento debe ser fresca y sombreada. La temperatura óptima para que ocurra se encuentra entre los 20 y 25°C. Cuando las temperaturas suben arriba de 30°C la humedad relativa de la atmósfera o contenido de vapor de agua presente en el aire tendrá que ser muy alto (más de 90%) para impedir que las plantas pierdan demasiada agua al incrementarse su transpiración y terminen marchitándose. La sombra se puede producir con materiales de origen vegetal como hojas de palma, paja, ramas secas, o con

mallas plásticas especiales diseñadas para ese propósito. Es importante que el material utilizado transmita una luz que sea apropiada para activar la fotosíntesis de las plantas.

1) Inducción del enraizamiento

Como se mencionó, no todas las plantas tienen la capacidad de enraizar espontáneamente, por lo que a veces es necesario aplicar sustancias hormonales que provoquen la formación de raíces. Las auxinas son hormonas reguladoras del crecimiento vegetal y, en dosis muy pequeñas, regulan los procesos fisiológicos de las plantas. Las hay de origen natural, como el ácido indolacético (AIA), y sintéticas, como el ácido indolbutírico (AIB) y el ácido naftalenacético (ANA). Todas estimulan la formación y el desarrollo de las raíces cuando se aplican la base de las estacas.

La función de las auxinas en la promoción del enraizamiento tiene que ver con la división y crecimiento celular, la atracción de nutrientes y de otras sustancias al sitio de aplicación, además de las relaciones hídricas y fotosintéticas de las estacas, entre otros aspectos. La mayoría de las especies forestales enraizan adecuadamente con AIB, aunque se ha observado que para algunos clones la adición de ANA resulta más benéfica.

Un método sencillo es la aplicación de la hormona por medio del remojo de la base de las estacas (de 2 a 3 cm) en soluciones acuosas y con bajas concentraciones de auxina (de 4 a 12 horas), según las instrucciones de los preparados comerciales. Sin embargo, este método es lento y poco exacto, difícil de realizar cuando los cortes son numerosos y algunas veces las hojas se marchitan durante el proceso; entonces se puede recurrir a las auxinas disponibles en aerosol.

Para las especies forestales tropicales se recomienda la inmersión de la base de las estacas en soluciones de AIB al 4% en alcohol etílico como solvente, por periodos muy cortos (5 segundos). Posteriormente se acomoda la base de la estaca en aire frío para evaporar el alcohol, antes de colocarlas en el propagador (figura 20).

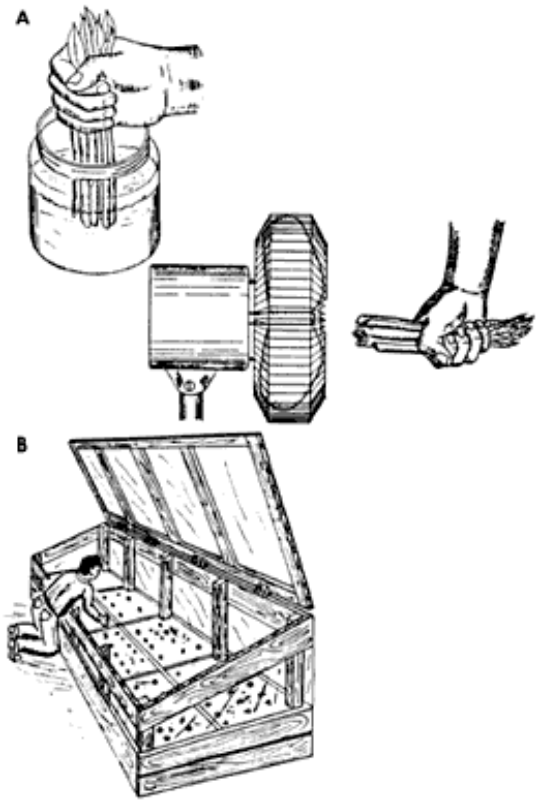
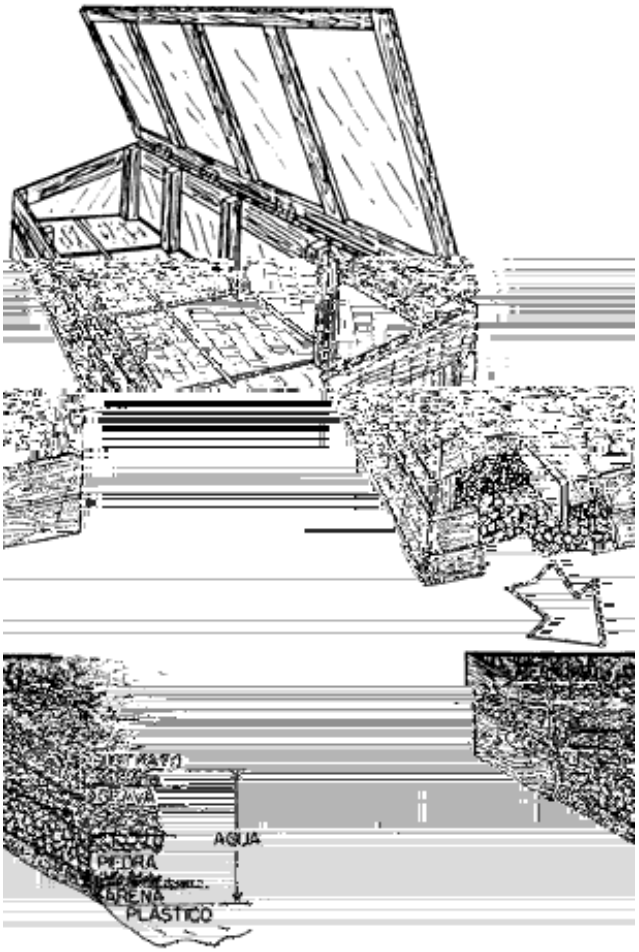


Figura 20. Aplicación de auxinas solubilizadas en alcohol a los segmentos, evaporación del alcohol de los segmentos y siembra en el propagador rústico.

2) Propagadores y medios de enraizamiento. El ambiente en el cual las estacas son puestas a enraizar es de vital importancia. Los propagadores deben reunir características que eviten cualquier desecación en las estacas.

Un propagador es una construcción que evita la pérdida de agua del medio que rodea a las estacas. Su función es similar a la de un almácigo, pues ambos.propician las condiciones ambientales adecuadas para la germinación y establecimiento de las plántulas o para el enraizamiento de las estacas, según sea el caso de que se trate.

Hay propagadores con sistemas de aspersión de al decosto que regulan automáticamente la frecuencia y la intensidad de la aspersión. Se instalan en invernaderos con control de luz y humedad. Sin embargo, la humedad también se puede controlar de manera sencilla en un compartimiento que tenga una tapa transparente para permitir el paso de la luz y evitar la pérdida de humedad; el fondo del compartimiento se cubre con una mezcla de arena y grava saturadas de agua, sobre la cual se pone el medio de enraizamiento. Adicionalmente se debe reducir la insolación del dispositivo y dar aspersiones manuales periódicas (figura 21).



multinodales con varias hojas se debe evitar que las hojas inferiores queden en contacto con el medio de enraizamiento para evitar la putrefacción.

5) Trasplante y acondicionamiento de las estacas. En varias especies propagadas vegetativamente se ha observado que el enraizamiento de las estacas se inicia después de dos semanas, y está lo suficientemente desarrollado después de 4 a 6 semanas (cuando las raíces miden de 1 a 2 cm) (figura 22). Las estacas que enraizan en tiempos más largos son débiles y no deben conservarse. El trasplante de las estacas tiene que hacerse inmediatamente después de ser removidas del medio de enraizamiento. Al sacar las estacas de su medio hay que tener cuidado de no dañar las raíces, despúes se verifica que el sistema radical tenga tres raíces como mínimo y que su distribución sea radial. Cuando las estacas presenten una o dos raíces, o bien cuando el sistema radical se forme sólo de un lado se deben desechar, para no poner en riesgo el vigor o una adecuada forma de crecimiento.

Figura 22. Segmento foliado enraizado.

Posteriormente se pasan a recipientes que contengan sustrato aereado y con buena fertilidad. Es recomendable agregar tierra del sitio donde naturalmente crece la especie para así favorecer la inoculación de la microflora apropiada. Es necesario estabilizar los trasplantes adecuadamente, para lo cual los envases deben llenarse con el medio de crecimiento aproximadamente a la mitad de su capacidad. La estaca se coloca en el envase en posición correcta (con la yema al ras del suelo y en su mayor parte dentro del medio del envase) y se termina de llenar. Esto ayuda a que no queden espacios de aire en su base y a que las raíces no se dañen, lo que asegura que éstas queden bien distribuidas en el envase (sin curvaturas o enrollamientos). Cuando hay más de una yema se recomienda eliminar algunas con el fin de asegurar la formación de plantas con un sólo eje y favorecer que el eje se desarolle en forma recta (figura 23).

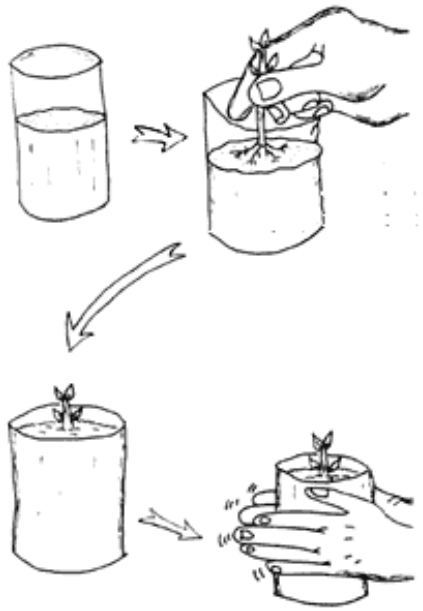


Figura 23. Proceso de transplante de estacas del propagadro a los envases de crecimiento.

Algunas estacas recién enraizadas se deshidratan al pasarlas directamente al medio externo, por lo que se recomienda dejar los envases unos días más en el propagador, protegiendo a éste con plástico para evitar su contaminación con el material de los envases. En el periodo en que las estacas se aclimatan a las conciciones ambientales que existen fuera del propagador es conveniente colocarlas primero en un ambiente sombreado y hùmedo por dos o tres semanas, y después exponerlas paulatinamente a conciciones decrecientes de humedad y crecientes de luz y temperatura.

Segmentos foliados de maderas semiduras y segmentos foliados de maderas duras siempreverdes

La diferencia entre este tipo de segmentos y los de maderas blandas estriba en las conciciones de lignificación de las ramas y en la época del año en que éstas se obtienen de la planta donante. El uso de esta técnica es muy importante en la propagación vegetativa de varias especies de pino, las especies siempre verdes de hoja angosta con maderas duras, y en la propagación de árboles siempreverdes de hoja ancha. Para el enraizamiento de este tipo de segmentos hay que seguir las mismas incicaciones que se mencionaron para el manejo y selección de brotes en las plantas donantes de maderas blandas, así como también para la manipulación y cuidado de los cortes y evitar así el estrés hídrico en las estacas. Sin embargo existen algunas diferencias en el manejo de los cortes de especies siempreverdes de hoja ancha y de hoja angosta.

Especies siempreverdes de hojas anchas

En el caso de los segmentos de maderas semimaduras, las ramas de especies siempreverdes de hojas anchas se obtienen en el verano, cuando el crecimiento empieza a declinar y la madera se encuentra parcialmente madura. Los cortes pueden tener longitudes de 7.5 a 15 cm, y las hojas de la punta de la estaca se conservan, si éstas son muy grandes se debe disminuir su tamaño (figura 24).

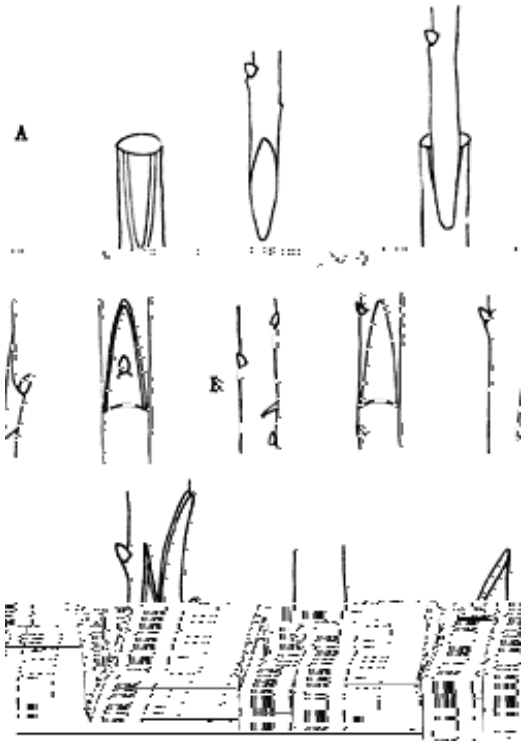


Figura 25. Existen diversas técnicas de injerto que permiten la unión de segmentos de dos individuos diferentes: a) injerto de una rama sobre una incisión lateral de un tallo, b) injerto de una yema en la corteza de un tallo, c) injerto de un tallo sobre otro.

Al contrario de lo que generalmente se cree, el injerto no produce una combinación de características entre la planta receptora y la injertada. Los frutos de la planta injertada no cambian sus propiedades ni su sabor, la única ventaja es que el injerto permite utilizar bases ya desarrolladas, lo que acelera la producción de frutos. También se aprovecha la resistencia (a enfermedades o condiciones desfavorables) de variedades de árboles frutales de menor calidad, para injertar en ellos variedades de mayor calidad pero menos resistentes.

El injerto es una forma particular de reproducción asexual por segmentos que se utiliza en gran escala en la fruticultura. Una de las industrias que recurren con mayor frecuencia a esta técnica es la vitivinicultura o cultivo de la vid. Con gran frecuencia las plantas productoras de uvas de baja calidad, pero muy resistentes a la sequía y a las enfermedades, son injertadas con segmentos de vides de alta producción y calidad. Esta técnica es muy empleada para mejorar la producción de viñedos antiguos ya establecidos desde hace mucho tiempo.

Las técnicas de injerto son muy variadas y existe un método óptimo para cada propósito y tipo de planta. En esencia todos los procedimientos consisten en tener a la disposición buenas plantas receptáculo y buenos segmentos que injertarle. La técnica se inicia haciendo un corte, en el tallo receptor y otro en el segmento a injertar, para que hagan contacto los tejidos vasculares del injerto con sus equivalentes en la planta receptora. Una vez realizado el injerto se protege la herida con una cera especial y se cubre con tela o con una cuerda para evitar que se desprenda. El tejido injertado por lo general está defoliado y es conveniente que el injerto coincida con la época de primavera para que, al reiniciar el crecimiento de los tejidos, los estímulos hormonales que caracterizan ese momento de la vida de la planta induzcan el establecimiento de una conexión apropiada entre los tejidos de ambas partes.

Para que un segmento pueda injertarse sobre otra planta, como ocurre en los animales que reciben injertos de órganos, tiene que haber una afinidad entre los tejidos que van a ponerse en contacto para que el injerto no sea rechazado. Por esto el injerto sólo es posible entre plantas de una misma especie, aunque sean de diferentes variedades o razas. A veces es posible el injerto entre especies diferentes, siempre y cuando éstas sean muy cercanas entre sí, o sea, que por lo menos pertenezcan al mismo género.

MICROPROPAGACIÓN

El desarrollo de las técnicas de cultivo de tejidos vegetales, aunadas al descubrimiento de las hormonas de crecimiento y diferenciación de las plantas —auxinas y citoquininas—, permitió el desarrollo de varias técnicas de cultivo orientadas hacia la propagación de plantas que son ahora de uso corriente en muchos laboratorios de investigación del mundo y también en empresas de propagación comercial.

Estas técnicas están basadas en el hecho de que los tejidos vivos de las plantas conservan la potencialidad de dar origen a un organismo completo. Las células que conservan mejor esta potencialidad son las que están menos diferenciadas hacia una función específica, como las que están presentes en las yemas y en otros tejidos primarios de las plantas, por ejemplo los extremos de las raíces, los segmentos nodales, las semillas, el parénquima del tejido vascular foliar, el cambium y algunas partes florales.

La técnica de cultivo de tejidos se inicia con la toma de segmentos de plantas en crecimiento que se esterilizan y se cultivan en soluciones nutritivas especiales, con frecuencia gelificadas. A estos medios se incorporan combinaciones adecuadas de hormonas de crecimiento para obtener una proliferación celular en el segmento. A partir de esta proliferación puede ocurrir la formación directa de raíces y tallos que originen una o varias plantas nuevas completas (figura 26). También es posible inducir la multiplicación de las células germinales del explante para formar un cúmulo de tejido poco diferenciado llamado callo o una estructura peculiar carente de paredes celulares llamada protoplasto, cada uno de los cuales se emplea en diversos procedimientos de propagación.

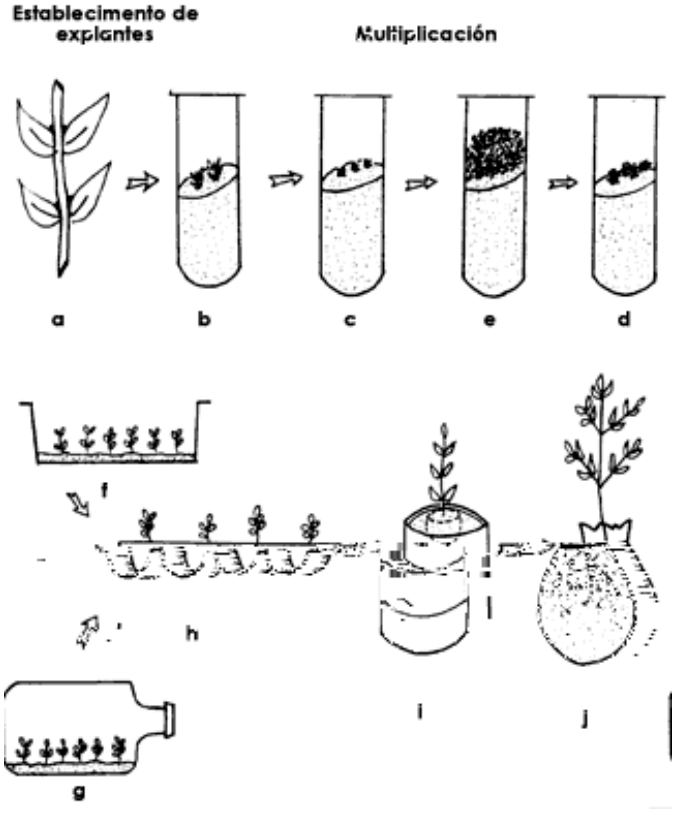


Figura 26. Del explante (a) se obtienen yemas (b) que se desarrollan formando tallos adventicios (c, d, e). Estos tallos pueden aislarse para lograr su diferenciación y después trasplantarse a recipientes con suelo (f-j).

El cultivo de tejidos y células vegetales tiene otras aplicaciones más o menos relacionadas con la propagación clonal. Entre éstas se encuentra la obtención de líneas de plantas genéticamente muy uniformes, con fines experimentales; el almacenamiento o transporte de germoplasma vegetal (de lo cual trataremos ampliamente más adelante); el control cada vez más importante de infecciones sistémicas crónicas en las plantas mediante la

obtención de propágulos libres de virus y otros agentes infecciosos. En la ingeniería genética moderna el cultivo de tejidos tiene importancia en los procesos de transgénesis, hibridación interespecífica y en la generación y selección de variantes genéticas de las plantas.

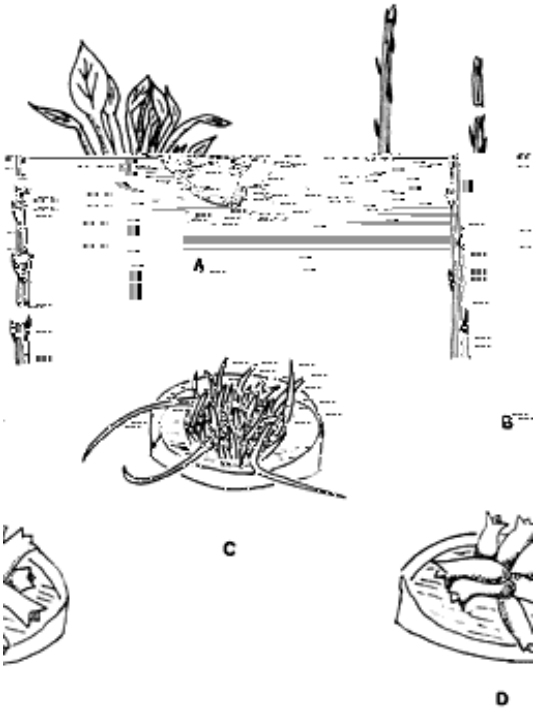
Cada uno de estos temas es de gran complejidad y se necesitaría una obra mucho más extensa para hablar de ellos, lo cual no es el propósito de este libro. Aquí se verán los aspectos relativos al cultivo de células y tejidos vegetales exclusivamente en lo que respecta a las técnicas más sencillas de micropropagación de árboles actualmente en uso en laboratorios de tecnología sencilla en muchos lugares del mundo. Por mucho tiempo las técnicas de micropropagación han sido consideradas demasiado complicadas para convertirse en una opción viable para la propagación de árboles en regiones tropicales subdesarrolladas. Sin embargo, tal punto de vista es poco realista ya que existen métodos de micropropagación que sólo requieren recursos técnicos e instalaciones mínimas.

La bibliográfia científica moderna contiene innumerables trabajos que describen técnicas de cultivo de tejidos y órganos vegetales en medios complejos y finamente formulados, colocados en condiciones ambientales controladas con mucha precisión. Esto no sucede con las técnicas sencillas de micropropagación que rara vez se describen en los libros especializados disponibles. Yesto es un grave error, pues una vez que se ha probado que una especie de planta puede ser micropropagada exitosamente, los procedimientos de micropropagación se simplifican y se vuelven accesibles para las instalaciones sencillas que se encargan de la propagación de plantas.

Los procedimientos más usados por los laboratorios de micropropagación son cuatro métodos diferentes para multiplicar plantas *in vitro*: *1)* la activación de la ramificación axilar, *2)* los segmentos nodales, *3)* los tallos adventicios y *4)* las embriogénesis somáticas. De los cuatro, este último es el que se utiliza menos. Las técnicas que dan los mejores resultados varían dependiendo de las especies y del propósito por el cual se propagan.

1) Activación de la ramificación axilar (figura 27A). Quizá sea el método más frecuentemente usado; en él se emplean meristemos tanto terminales como axilares del tallo para establecer los cultivos. Manipulando el cultivo mediante cambios en su ambiente químico (hormonas) y en el fragmento que se cultiva, se suprime la dominancia apical y se induce la ramificación axilar. Subsecuentes subdivisiones del cultivo en fragmentos permiten multiplicar los explantes hasta alcanzar el número deseado de tallos. A pesar de que la multiplicación inicial es lenta, se incrementa rápidamente permitiendo varios subcultivos. Los tallos seccionados del cultivo pueden enraizar in vitro o directamente en el suelo.

2) Segmentos nodales (figura 27B). El método de los segmentos nodales tiene la ventaja de que genera poca variación genética en las muestras, ya que en ningún momento se forma tejido calloso. Se inicia escindiendo segmentos de tallo con su correspondiente yema axilar. En el cultivo las yemas crecen y se alargan produciendo nuevos segmentos nodales susceptibles de ser a su vez escindidos. En un momento determinado los segmentos nodales producidos pueden dar origen a tallos y raíces ya sea *in vitro* o en el suelo, mediante una alteración de la composición hormonal del medio. Muchas plantas no pueden ser propagadas exitosamente de esta manera.


A
B
C
D

de deshidratación y vitrificación, y conservación en nitrógeno líquido. Esto es posible incluso en plantas que originalmente producen semillas recalcitrantes.

Las técnicas de cultivo de tejidos requieren instalaciones y precauciones con cierto nivel de complejidad. La higiene y desinfección son muy importantes para evitar la contaminación microbiana de los cultivos. La formulación de los medios de cultivo es variada, sin embargo, éstos contienen fundamentalmente sales minerales de los macroelementos y oligoelementos como: calcio, potasio, magnesio, nitrógeno, fósforo, azufre, manganeso, hierro, cloro, sodio, zinc, boro, molibdeno y cobre, los cuales son indispensables para el crecimiento de las plantas. Además, algunos medios incorporan compuestos orgánicos sencillos como fuentes de carbono (generalmente carbohidratos), reguladores hormonales del crecimiento (auxinas, citoquininas y giberelinas), otros reguladores del crecimiento (aminoácidos y vitaminas) y a veces antioxidantes (ácido ascórbico).

En la figura 28 se indican todas las alternativas biotecnológicas que surgen a partir del cultivo de tejidos.

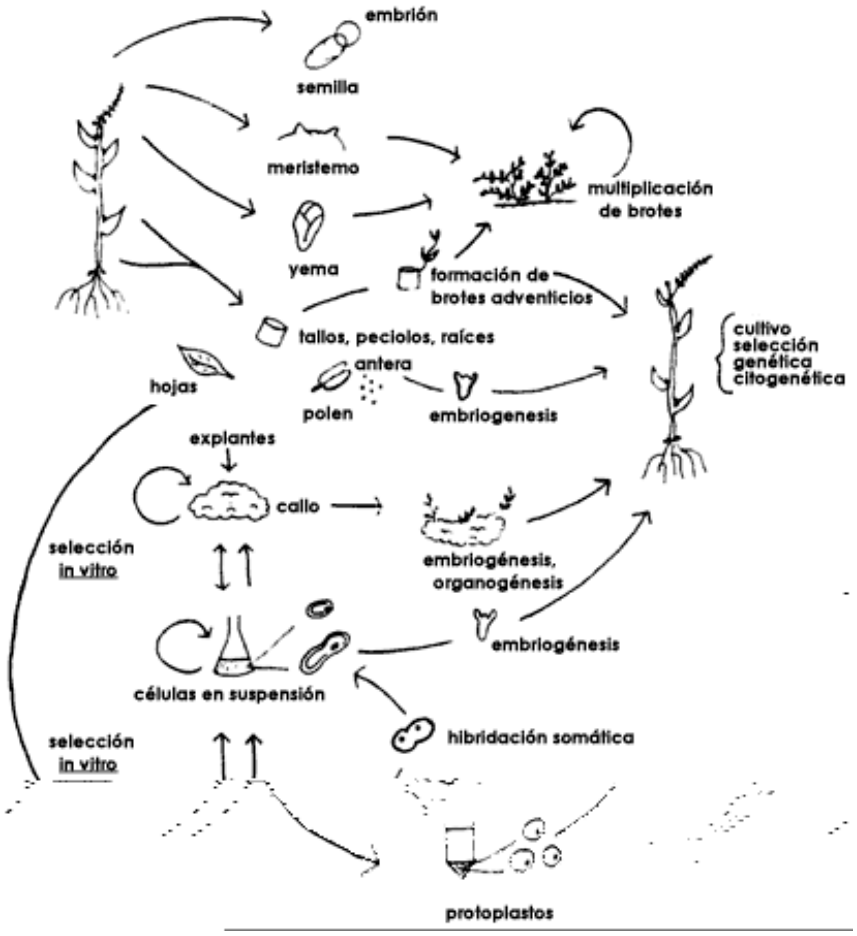


Figura 28. Opciones biotecnológicas para la propagación de plantas que se originan a partir del cultivo de tejidos, en las que se incluyen también técnicas de modificación genética.

SELECCIÓN CLONAL

La micropropagación y la propagación vegetativa permiten emplear técnicas de selección y mejoramiento de las características favorables de las plantas por medio de la selección clonal. Las características que pueden mejorarse cubren un amplio rango de posibilidades; por ejemplo, la resistencia de las plantas a la temperatura, a la sequía, a crecer en suelos pobres o con características desfavorables, como acidez o alcalinidad excesiva, salinidad alta o saturación de humedad; también puede mejorarse el rendimiento del forraje y frutos, su sabor y calidad nutricional, la velocidad de crecimiento, la calidad de la madera producida y la concentración de compuestos secundarios valiosos como sustancias químicas, látex, gomas, etc.

A continuación describimos brevemente las dos técnicas básicas de selección clonal: *1)* Se buscan en la naturaleza las plantas que presenten la característica deseada en forma óptima (por ejemplo, los frutos más deliciosos y grandes), y se toma de ese individuo los meristemos o segmentos que se vayan a utilizar para la propagación vegetativa, para así obtener muchos individuos con la característica deseada. *2)* Se recolectan semillas, segmentos o meristemos de muchos individuos de una o varias poblaciones de la especie que se desea propagar. Con este material se producen muchas plantas pequeñas en un vivero y se someten a las condiciones desfavorables para las que se desea que tengan mayor resistencia; también se puede comparar su velocidad de crecimiento, su producción de forraje o cualquier otra cualidad que se desee resaltar. Se escogen los individuos que muestren las características óptimas según el caso y se utilizan para propagarlos vegetativamente y obtener así individuos mejorados.

Esta técnica incluye la exploración de las diversas poblaciones de una especie en el medio natural, ya que en el área natural de distribución geográfica de una especie existe gran variación en muchos de los atributos deseables de la especie.

Siguiendo la segunda técnica descrita ha sido posible obtener cultivos de árboles tropicales con características muy favorables. Por ejemplo, especies de acacia resistentes a la salinidad o al suelo ácido; mezquites ornamentales resistentes al frío; especies de guaje productoras de abundante forraje de alta calidad y con rápido crecimiento en suelos pobres y, por último, árboles maderables cuyo crecimiento está determinado por una fuerte dominancia apical. Esto permitirá repoblar las selvas con individuos que producen un fuste o tronco recto y alto, muy apropiado para seguir técnicas óptimas de aserrado y uso en ebanistería, como es el caso del nogal africano y la caoba americana (figura 29).

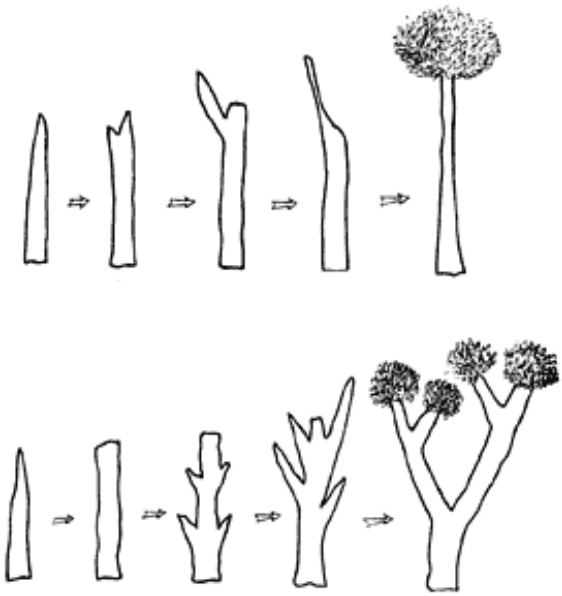


Figura 29. Selección clonal. En este caso se eligen los segmentos enraizados que muestran la mayor dominancia apical, es decir, los que tienden a crecer en un solo eje, y se desechan los que tienden a ramificar. De esta manera se obtienen árboles con un fuste recto que permite un mejor uso industrial.

III. LOS VIVEROS

INDEPENDIENTEMENTE .el origen .e una planta, ya sea a partir .e una semilla, .e un segmento o por cultivo .e tejidos, los primeros días .e vida son los más críticos para su sobrevivencia. Con el propósito .e lograr que un mayor número .e plantas sobreviva a esta etapa se utilizan instalaciones especiales en las que se manejan las condiciones ambientales y se proporcionan las condiciones .e crecimiento más favorables para que las nuevas plantas continúen su desarrollo y adquieran la fortaleza necesaria para transplantarlas al lugar en el cual pasarán el resto .e su vida. Por esto, el diseño .e un vivero es un aspecto fundamental para llegar a obtener plantas listas para su siembra.

El vivero es un conjunto .e instalaciones que tiene como propósito fundamental la producción .e plantas. Como hemos visto, la producción .e material vegetatívo en estos sitios constituye el mejor medio para seleccionar, producir y propagar masivamente especies útiles al hombre.

La producción .e plantas en viveros permite prevenir y controlar los efectos .e los .epredadores y .e enfermedades que dañan a las plántulas en su etapa .e mayor vulnerabilidad. Gracias a que se les proporcionan los cuidados necesarios y las condiciones propicias para lograr un buen desarrollo, las plantas tienen mayores probabilidades .e sobrevivencia y adaptación cuando se les trasplanta a su lugar definitivo.

Debido a los fuertes problemas .e deforestación, a la pérdida .e biodiversidad que sufre el país y a la gran necesidad .e reforestar, los viveros pueden funcionar no sólo como fuente productora .e plantas, sino también como sitios .e investigación donde se experimente con las especies nativas .e interés, con la finalidad .e propiciar la formación .e bancos temporales .e germoplasma y plántulas de especies nativas que permitan su caracterización, selección y manejo. Esto permitirá diseñar, conocer y adecuar las técnicas más sencillas para la propagación masiva de estas especies. Además, los viveros también podrían ser sitios .e capacitación .e donde surgieran los promotores de estas técnicas.

Dependiendo .e su finalidad, los viveros son temporales o permanentes.

Vivero temporal o volante. Se establece en áreas .e dificil acceso, pero, están muy cercanos a las zonas donde se realizará la plantación; su producción predominante es la .e plantas forestales. Generalmente se ubican en claros .el bosque y trabajan por periodos cortos (.e 2 a 4 años cuando mucho) e intermitentes, ya que la producción .ebe coincidir con la temporada .e lluvias. Para su funcionamiento se requiere poca infraestructura y la inversión es baja. Su desventaja radica en que, como están situados en áreas .e dificil acceso, no son fáciles .e vigilar y por lo tanto la producción queda más expuesta a daños por animales. Además, por sus características de infraestructura, sólo pueden implementarse en zonas de bosques templados y selvas húmedas.

Vivero permanente. Es la extensión .e terreno .edicado a la obtención .e plantas con .iferentes fines (reforestación, frutales y ornato), ya sea en áreas rurales o centros urbanos. Su instalación requiere una inversión mayor en equipo, mano .e obra y extensión .el terreno, y .ebe contar con vías de acceso que permitan satisfacer oportunamente la .emanda .e plantas.

En los siguientes apartados se hará una serie .e sugerencias importantes para la elección .el sitio .e establecimiento .el vivero. Los requerimientos toman en cuenta aspectos técnicos, ambientales y sociales.

CRITERIOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UN VIVERO

La mala elección .el sitio .onde se establece el vivero repercute directamente en una baja calidad .e la producción .e plántulas, lo cual a la larga se reflejará en una alta mortalidad en la plantación, Por ello es fundamental la selección .el sitio .onde se establecerá el vivero. Las condiciones .el sitio son más determinantes cuando la producción se obtiene a raíz desnuda (por camas .e crecimiento). Cuando la producción se hace por medio .e envases .e crecimiento es importante considerar las factores que a continuación se mencionan.

Ubicación, drenaje y suelo .el vivero

Al establecerse un vivero .eben considerarse cuatro puntos principales: que sea .ifícil acceso, el suministro .e

agua, su orientación en el terreno y la topografía de éste. De los dos últimos aspectos depende, en gran parte, el buen drenaje del vivero y que se minimice la erosión. El drenaje también depende de la textura del suelo del lugar, por lo que debe cuidarse su relación con la pendiente del sitio. En suelos de textura fina la pendiente deberá ser suave (de 2 a 3%) y en el caso de suelos arenosos y profundos se recomienda nivelar el terreno.

La textura del suelo es muy importante en el cultivo de plantas a raíz desnuda, ya que además de regular el drenaje y la erosión deberá facilitar la extracción de las plántulas y promover el crecimiento vegetativo. Un suelo bien drenado asegura su aereación, por lo que es conveniente verificar que no existan capas endurecidas en los primeros 75 cm de profundidad y que el suelo sea profundo, por lo menos 120 centímetros.

Independientemente del método de propagación que se emplee dentro del vivero (raíz desnuda, almácigos o envases individuales) es importante verificar que tan ácido o básico es el suelo (pH), su textura y fertilidad para los requerimientos de la especie que se va a propagar. El pH se encuentra muy relacionado con el contenido de materia orgánica y disponibilidad de nutrientes necesarios para el buen desarrollo de las plantas; por esto, el rango de pH más recomendable es de neutro (pH=7) a ligeramente ácido (pH=6.5) o ligeramente alcalino (pH=7.5).

Abastecimiento de agua y calidad de agua de riego

Los viveros necesitan un suministro de agua abundante y constante, ya que las plantas que se producen se encuentran en pleno desarrollo y un inadecuado abastecimiento podría provocar incluso la muerte por marchitamiento.

La calidad del agua de riego es importante. Cuando contiene como elementos principales calcio y magnesio (agua dura) ayuda a crear en el suelo una buena estructura. En cambio, el agua que tiene gran cantidad de sodio y bajos contenidos de calcio y magnesio provoca que la arcilla y la materia orgánica del suelo absorban rápidamente el sodio. Esto promueve una estructura edáfica indeseable, ya que el suelo disperso se asienta abajo de la superficie y forma una capa (de 10 a 20 cm de grosor) que impide el paso de las raíces o del agua. También un alto contenido de sodio en el agua de riego causa quemaduras en las hojas de algunas especies al ser absorbido por las plantas. La cantidad de sólidos en suspensión en el agua también modifica las características del suelo, ya que si tiene contenidos elevados de limo o coloides puede causar la compactación superficial del suelo reduciendo su permeabilidad al agua y la aereación. También hay otros elementos que pueden estar presentes en cantidades tóxicas y afectar al cultivo, como el boro o algunos contaminantes.

Clima

Es muy importante conocer qué tipo de plantas se encuentran adaptadas a las condiciones climatológicas que prevalecen en la zona donde el vivero se va a establecer. Asimismo, es necesario contar con los registros climáticos que indiquen las épocas de riesgo, como las heladas, las sequías y la cantidad y distribución del periodo de lluvias. Éstos pueden ser complementados o sustituidos con la información climática que los habitantes de la zona manejan tradicionalmente. Con base en estos datos se logra una planeación del momento adecuado para llevar a cabo las labores del vivero (siembras, trasplantes, podas, fumigaciones, etcétera).

CONSTRUCCIÓN DEL VIVERO

Una vez que se elige el terreno donde se construirá el vivero se inicia una serie de actividades relacionadas con la instalación y construcción de la infraestructura necesaria para su funcionamiento, Estas actividades, resumidas en el cuadro 23, varían en función del tipo de plantas que se desea propagar y de los recursos económicos disponibles. Básicamente el vivero debe contar con las siguientes instalaciones: semilleros, área de envasado, platabandas (estructuras que sombrean a las plantas), lotes de crecimiento, bodega y equipo e infraestructura de riego.

CUADRO 23. Criterios a considerar para el establecimiento de un vivero

Criterios	*Caracteristicas*
Selección de sitio	Ubicación, forma del terreno (idealmente regular), topología adecuada.
Prediente y textura del terreno	Para pendientes de 0-1% textura arenosa, de 2-3% textura fina
Drenaje del terreno	Adecuado
Agua	Abastecimiento adecuado y de buena calidad
Clima	Adecuado para las especies a porpagar. También afecta las épocas de riesgo de las plátulas
Actividades previstas a su construcción	Limpieza del terreno, particularmente si ha habido un uso de previo
Mano de obra	Disponible y con una preparación mínima sobre el manejo del vivero y de las especies a propagar

La limpieza del terreno es una actividad muy importante ya que facilita las labores en el vivero, evita la competencia de la vegetación original del terreno con las plantas que se producen, y facilita el control de insectos (hormigas, grillos, etcétera).

Antes de iniciar la producción de plántulas es necesario detectar la presencia de malezas, nematodos, hongos, parásitos e insectos, principalmente cuando se pretende establecer el vivero en terrenos que con anterioridad se dedicaron a la agricultura. Esto permitirá elegir las técnicas de manejo y fumigación necesarias que aseguren la producción exitosa de plántulas con alta calidad, sobre todo en cultivos a pie desnudo.

MÉTODOS DE CULTIVO

Antes de iniciar la siembra de semillas en el vivero es necesario tener claro cuál es el método de cultivo que se usará, pues su elección está directamente relacionada con su desarrollo y manejo, tanto en el vivero como en los sitios de plantación. Los pasos que deben seguirse para cultivar plantas en un vivero se resumen en la cuadro 24.

CUADRO 24. Características del cultivo de plántulas para vivero con uso de envases de crecimiento en comparación con el método de cultivo a raíz desnuda

Caracteristicas	*Ventaja o desventaja*	*Causa y/o consecuencias*
Criterios de selección del sitio de producción de las plántulas	Menos exigentes que para los de raíz desnuda	Por el desarrollo de las plantas independientes de la calidad del subsuelo
operación en el vívero	Más accesible	
Tiempo de cultivo	Menor que la raíz desnuda	
Combate de enfermedades	Más sencillo	Debido a que las plantas no éstan en contacto directo entre ellas
Crisis del transplante	Menos severo que a raíz desnuda	Debido a que el sistema radicular se encuentra protegido
Enraizamiento, establecimiento y crecimietno inicial	Más favorable y rápido que a raíz desnuda	Debido a que no se pierde el contacto original entre la raíz y el suelo
Pérdida de partes de la raíz y ex posición de éstas al sol y a la desecación	Ninguna	Debido a que el sistema radicular se encuentra protegido
Control de las condiciones de cre-	Mejor que con el método de culti-	Permite mayores posibilidades de
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
dos vegetativos		
Desempeño de las especies con altas tasas de evapotranspiración	Mejor que a raíz desnuda	Mayor sobrevivencia
Riesgos que coren las plántulas en los camellos	Evitaría el desperdicio de los envases vacíos	Reducidos
Caracteristicas germinativas de las especies cultivadas	Debido a lo pesado y voluminoso se puede ser irrecuperable	Alta velocidad, homogeneidad y capacidad
Costos de producción	Debido a lo pesado y voluminoso de los envases	Mayores
Transportación	Debido a que las plántulas se trasplantan con mayor talla	Más complicada
Cuidado y preparación del sitio de plantación	Mayor que a raíz desnuda	
Riesgo de mortalidad de la plantación aún despúes de varios años	Elevada	Si no se quita la bolsa antes del transplante a la cepa

Los métodos de cultivo en viveros se dividen en: cultivo a raíz desnuda, en camas de crecimiento (camellones) (figura 30) y en envases de crecimiento (utilizando recipientes de gran variedad de materiales y dimensiones) (figura 31). Se pueden iniciar por medio de la siembra directa de las semillas u obteniendo las plántulas por medio de almácigos (semilleros), para posteriormente trasplantarlas (figura 32). Cada uno de estos métodos tiene sus particularidades. En el cuadro 25 se mencionan comparativamente sus ventajas y desventajas.

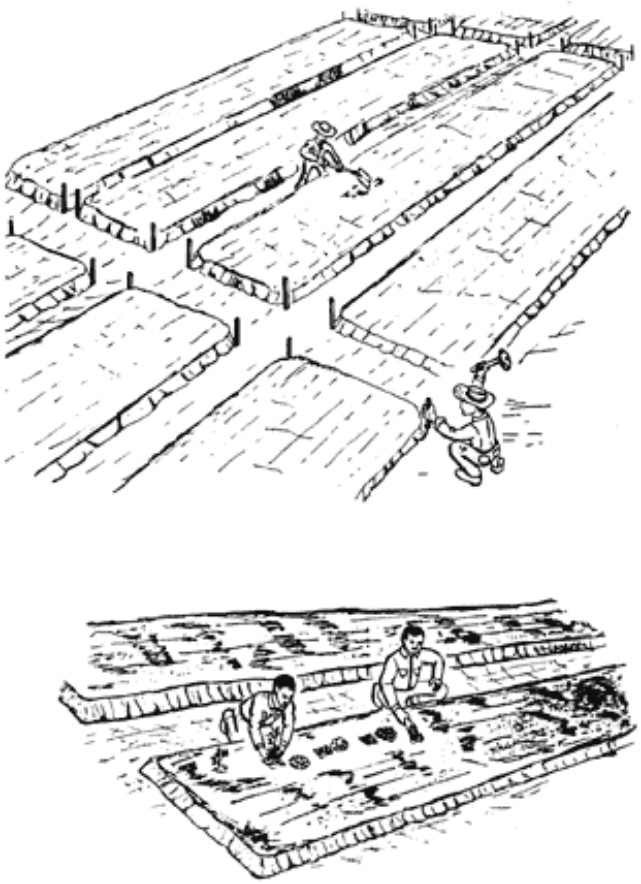


Figura 30. Forma y disposición de las camas de crecimiento (camellones) en vivero para el cultivo a raíz desnuda.

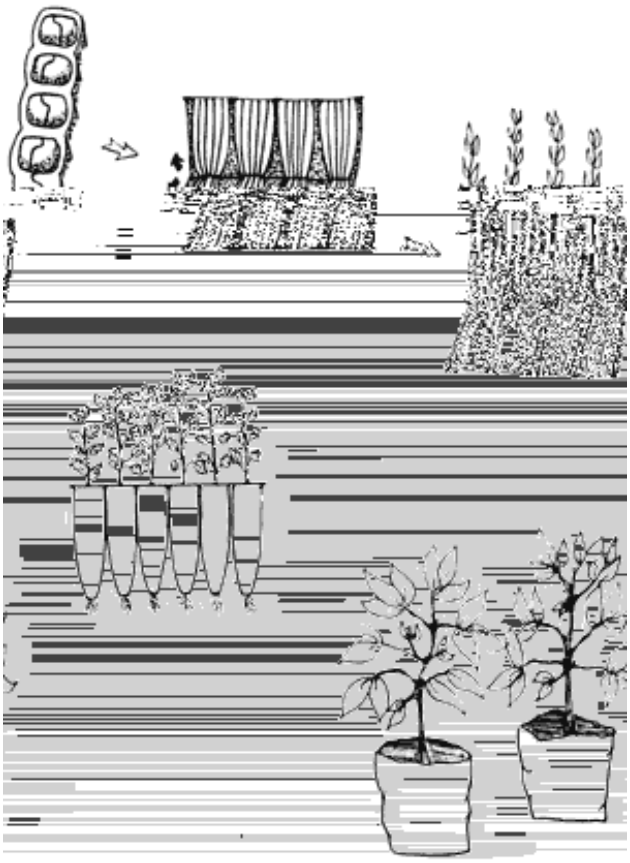


Figura 31. Diversos modelos de envases de crecimiento usados en vivero.

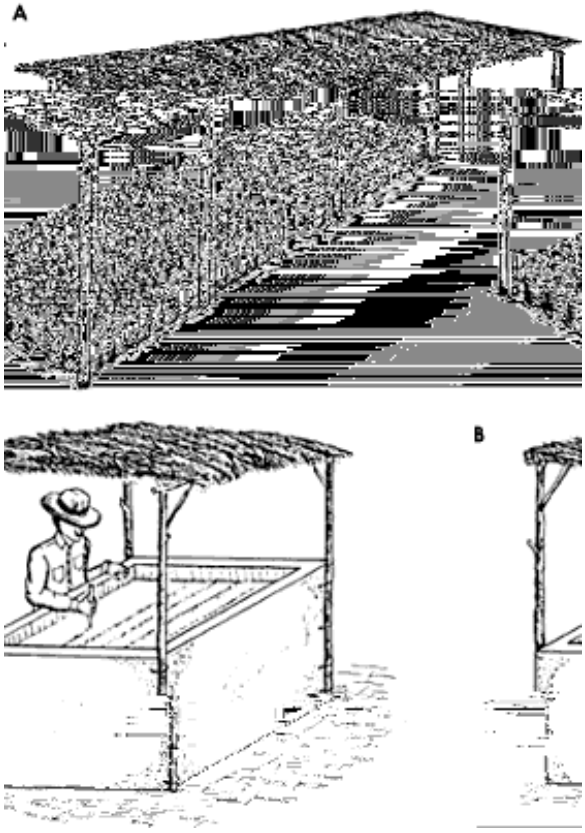
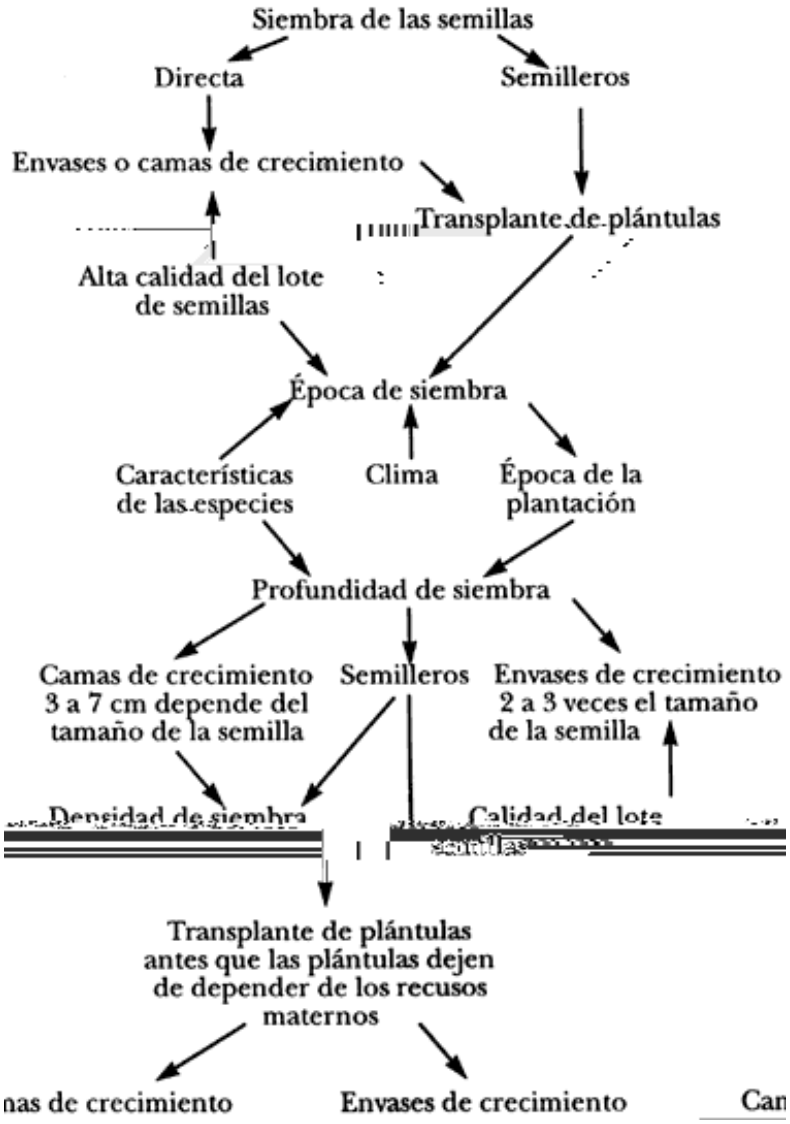


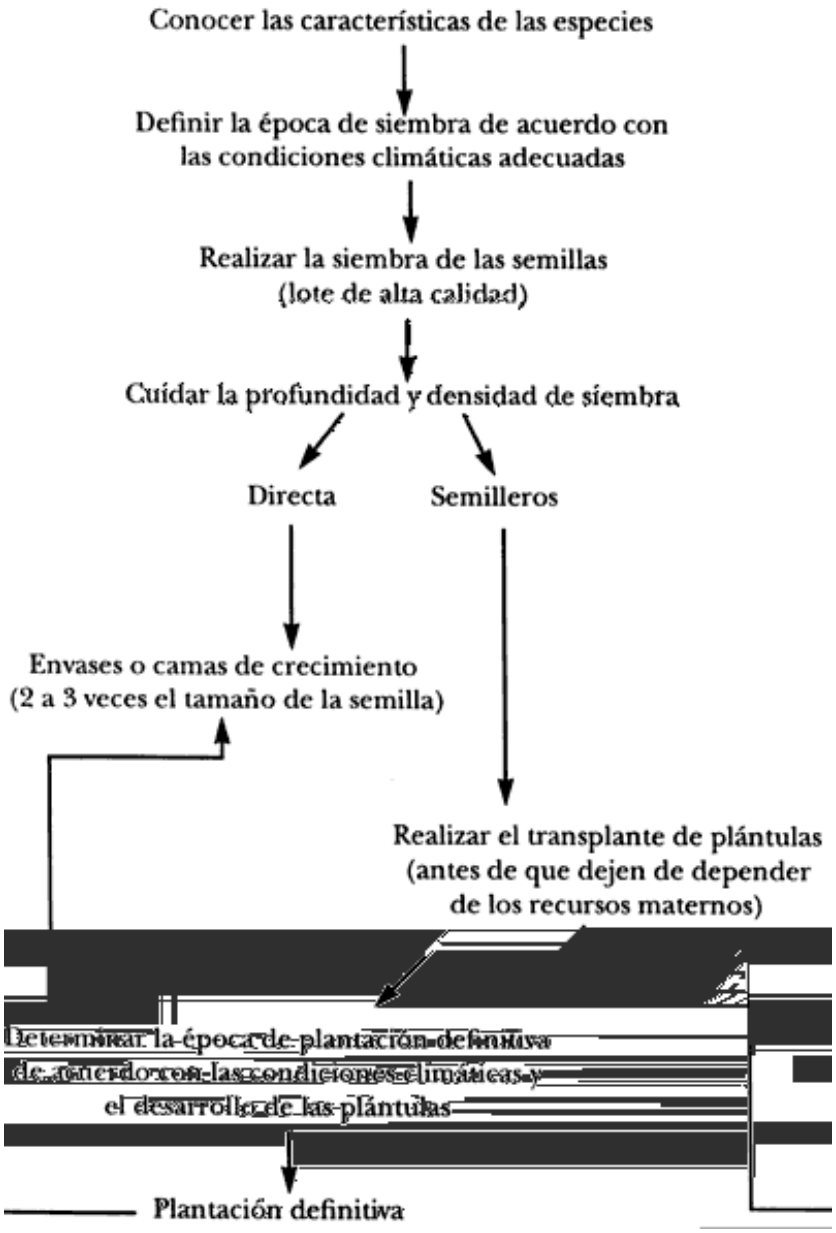
Figura 32. A. Crecimiento de la plántulas en envases protegidos por la sombra creada por hojas de palma. B. Almácigo de cajón de suelo que permite hacer germinar semillas en el campo para que crezcan hasta su transplante.

CUADRO 25. Cuidados de las semillas a partir de la siembra hasta el transplante



Para cultivar en vivero se debe tener especial cuidado durante la siembra, el trasplante y el crecimiento inicial de las plántulas. Los cuidados a partir de la siembra se resumen en el cuadro 26 y algunos aspectos se amplían a continuación.

CUADRO 26. Aspectos que se deben considerar desde la siembra de las semillas hasta el transplante de las plántulas



Siembra de las semillas

La siembra se realiza básicamente en semilleros, camas de crecimiento o en envases individuales (cuadro 27). Cuando se eligen envases individuales para la siembra se debe escoger un buen medio de germinación y crecimiento que reúna las características señaladas en el cuadro 28 . Existe gran variedad y cada uno tiene diferentes características (cuadro 29). En gran parte, el éxito de la siembra depende del linaje o calidad del lote de semillas (de ello depende también la homogeneidad en tallas), de la época y profundidad en que la siembra se realice y de la densidad de siembra.

CUADRO 27. Métodos de siembra para cultivo en viveros

	Semilleros	*Camas de crecimiento*	*Envases de crecimiento*
Características particulares	El medio de germinación debe nivelarse y humedecerse hasta capacidad de campo	Debe conservarse la pendiente que se le dio al formatula	Sustrato húmedo a capacidad de campo Perforación por lotes de semillas [illegible]
Forma de siembra	En surco o al voleo	En hileras	
Densidad de siembra	3 000 plántulas m2	108 a 215 plantas m2	2 a 3 semillas por envace
Profundidad de siembra	De 2 a 3 veces el tamaño de la [illegible]	De 3 a 7 cm dependiendo de [illegible]	Siembra superficial [illegible]

CUADRO 28. Características que deben tener los medios de germinación

Consistencia		La adecuada para mantener a las [illegible]
	Volumen	[illegible]
	Porosidad de humedad	Porosa, pero debe ser suficientemente porosa para permitir [illegible] drenaje eficiente y una aireación adecuada
	Salinidad	No debe ser excesiva
	Organismos vivos	Las malezas, hongos, nemátodos y otros organismos patógenos deben estar ausentes
	Características físicas	Abundante materia orgánica (o carbono), que incluye aproximadamente [illegible] componente. Peso específico bajo adecuado, alta capacidad de intercambio catiónico, [illegible] estabilidad, el cual debe conservarse después de esterilizarse con calor o con productos químicos. El medio debe tenerse para eliminar las piedras, raíces, etc., y desinfectarse con bromuro de metilo en caso de ser necesario
	Fertilización e inoculación	Únicamente en caso de ser necesario se fertiliza o se inocula con micorrizas y bacteriorrizas

La época de siembra se determina según las características propias de las plantas que se quiera propagar, el clima de la región y la época en que se desee realizar la plantación. Se recomienda que la siembra se realice durante la primavera o un poco antes, cuando no se presentan riesgos de heladas; además, las temperaturas cálidas favorecen la germinación y el crecimiento de las plantas. Si los inviernos son benignos o las especies por cultivar son resistentes a las bajas temperaturas, la siembra se puede hacer en otoño, para que las semillas germinen antes de los fríos y las plántulas logren alcanzar una talla que les permita soportar el invierno.

Trasplante

El objeto del trasplante es disminuir la competencia que existe en la siembra; aumentar el espacio vital entre las plantas jóvenes; desarrollar el sistema radicular (particularmente las raicillas más finas), una vez que la raíz principal se ha formado después de la germinación; favorecer el acceso a los elementos nutritivos; formar muchas ramificaciones radiculares, pues el crecimiento en altura está disminuido, y posibilitar el transporte y acomodamiento en su lugar.

El trasplante se efectúa rápidamente después de la germinación, en cuanto se desarrollan algunas hojas o agujas. Desde cualquier punto de vista es preferible realizarlo prematuramente, pues así se garantiza una buena recuperación y se elimina la posibilidad de la detención pasajera del crecimiento (crisis del trasplante); también ayuda a colocar verticalmente a la joven raíz en la tierra sin encorvarla y sin que se dañen las raicillas.

Las plántulas se trasplantan a camas o envases dos o tres semanas después de la germinación, aunque el tiempo puede variar hasta cinco semanas, dependiendo de la especie. Como regla general, esto se debe realizar cuando la plántula se está desarrollando a expensas de los cotiledones u hojas cotiledonarias y las raicillas laterales no se han desarrollado, pues una vez que aparecen las hojas verdaderas y raíces laterales el trasplante puede resultar perjudicial para ellas.

CUADRO 29. Medios de germinación más comunes para propagación de plantas

	Características generales	*Ventajas .*	*Desventajas .*	
	Silicato hidratado de magnesio, aluminio y hierro, suficiente manesio y potasio, pH neutro	Medio liviano, con alta absorción de agua y de intercambio catiónico	Su estructura porosa se destruye al comprimirse mojada	Vermiculita
	De origen volcánico de aluminio y silicato, pH neutro	Medio ligero, con alta retención de agua. Favorece el drenaje y la aereación	Mínima capacidad de intercambio catiónico. Infértil	Perlita
.	Desecho de aserraderos o de talleres de carpintería	Económico	Se debe mezclar con suelo para aumentar la retención de agua	Aserrin y viruta
lita	Se usa en proporciones 1:1		Costoso	Turba y vermicu
	Las características untricionales de la pérlita hacen que se utilice en pequeñas proporciones	Favorece la aereación y el drenaje	Muy costoso	Turba y perlita
	Proporciones 1:1	Idóneo	Costoso	Turba y aserrín
	Suelo de bosques o monte con arena o aserrín	Costos muy accesibles		Mezcla de suelo

Cuidados durante la germinación y el crecimiento inicial de las plántulas

Después de la siembra y el trasplante se presenta un periodo crítico en el vivero durante el cual las semillas y las plántulas son vulnerables a los factores del ambiente y a los diversos depredadores y patógenos. Por ello deben extremarse los cuidados en los semilleros, camas y envases de crecimiento, pues de lo contrario se presentan pérdidas cuantiosas en este periodo. Por ejemplo, si las condiciones no son las apropiadas para la germinación de las semillas y a éstas no se les brindan los cuidados necesarios, puede ser que no germinen o que sean atacadas por depredadores y enfermedades, que continúan siendo un problema aun después de que las plántulas han emergido. Asimismo, la presencia de malas hierbas puede afectar su ritmo de crecimiento, y hasta provocar su muerte, al competir con ellas por agua, luz y nutrientes.

Para disminuir los riesgos en la producción se debe cuidar el riego, el deshierbe, la aparición de plagas y enfermedades y se debe seleccionar que la talla de las plantas producidas sea la adecuada.

Riego

El riego es muy importante debido a que la pérdida excesiva de humedad del suelo ocasiona que las semillas se sequen y se pierdan los beneficios obtenidos con el tratamiento pregerminativo, ya que la germinación se reduce considerablemente. También hay que cuidar la presión del agua, pues si es mucha o cae directamente sobre las semillas puede ocasionar que se desentierren y queden expuestas, lo que provocaría su desecación. Por otra parte, el exceso de humedad promueve el decaimiento de la germinación por la incidencia del mal del semillero (*damping-off*) y por otros agentes patógenos.

Es importante recalcar que los riegos no deben aplicarse en las horas de mayor incidencia de calor, porque esto aumenta considerablemente la evapotranspiración y provoca lesiones en las plántulas e incluso su muerte.

Aunque las temperaturas del suelo consideradas como críticas varían según la edad y la especie, está comprobado que el daño ocurre con más frecuencia en plantas jóvenes. Cuando se presentan temperaturas críticas en el vivero, la intensidad y la frecuencia adecuada de los riegos es variable y depende parcialmente del tipo de suelo. El sombreo evita una excesiva insolación, pero cuando las temperaturas superficiales del suelo excedan los 30°C una adecuada aplicación del riego regula la temperatura.

Deshierbe

El deshierbe manual o mecánico evita problemas de competencia por luz, agua y nutrientes, por lo que además de eliminar las malas hierbas es importante tener cuidado con el número de plántulas que emergen de las bolsas en las que se sembraron dos o tres semillas, en cuyo caso se sugiere que solamente se mantenga la planta más vigorosa y se eliminen las restantes. El deshierbe con herbicidas trae consigo riesgos tanto para el cultivo como para el ambiente, por lo que debe hacerse con mucha precaución.

Plagas y enfermedades

Una de las enfermedades más importantes es el "mal del semillero"; y el método que más se utiliza para eliminar el hongo que lo produce es la fumigación, Una opción para evitar el uso de fungicidas es cubrir las semillas con una capa de arena de 5 cm de espesor, que favorece la reducción de la humedad alrededor de la semilla e incrementa la temperatura en la superficie del suelo.

Debido a que el "mal del semillero" es un problema constante en los viveros se recomienda efectuar revisiones continuas en el cultivo, con el propósito de detectar oportunamente su presencia o la de alguna otra enfermedad. De esta manera se puede prescribir y aplicar inmediatamente el tratamiento adecuado y evitar la pérdida significativa de plantas.

Manejo de tallas adecuadas

El éxito en el establecimiento de las plantas en las zonas que se desea reforestar depende en gran medida de su vigor y tamaño, así como de la época del año en que se realice el trasplante. Así, para que un vivero produzca las tallas requeridas para la reforestación es necesaria la planeación y organización, de todos los trabajos relacionados en la producción de plantas. Cuando la producción se hace en camellones la estancia en el vivero es mayor que cuando se hace por envases de crecimiento.

CONCLUSIONES

En los capítulos anteriores hemos intentado proporcionar al público interesado las bases más elementales sobre la reproducción y propagación de las plantas. Pensamos que una de las necesidades fundamentales de nuestro planeta es la recuperación de su cobertura vegetal, gravemente deteriorada. Para lograr este propósito todos podemos poner algo de nuestra parte, ya sea en nuestros hogares o hasta un nivel extensivo que abarque comarcas, estados y naciones. En la bibliografía que se proporciona los lectores encontrarán obras que profundizan en cada uno de los aspectos tratados aquí, ya que este texto sólo pretende proporcionar una introducción general del tema abordado y generar un interés sobre las plantas y su propagación. Sólo resta recordar que un complemento esencial del estudio de la reproducción de las plantas es el conocimiento mismo de la riquísima flora de la cual disponemos.

Inicio

AGRADECIMIENTOS

La idea de este libro surgió durante el año sabático de uno de los autores (C. V. Y) en el Departamento de Biología Organísmica y Evolutiva de la Universidad de Harvard, en calidad de "Charles Bullard Fellow" (Harvard Forest). Queremos expresar nuestro agradecimiento a las autoridades del Bosque de Harvard y al doctor F. Bazzaz por todas las facilidades otorgadas, y por el acceso a numerosas fuentes de información. Agradecemos también a los revisores anónimos de este libro su colaboración.

Inicio

giberelinas. Hormonas vegetales que intervienen principalmente en la germinación y en el crecimiento del tallo. La más común es el ácido giberélico (GA_3).

gimnosperma. Plantas que tienen las semillas al descubierto o por lo menos sin la protección de un verdadero fruto. Por ejemplo, los pinos y abetos.

hábitat. Lugar con determinadas características ambientales en que vive un organismo.

hepáticas. Plantas que pertenecen a las briofitas, que tienen rizoides unicelulares y carecen de vascularización.

imbibición. En las semillas, absorción pasiva de agua que precede a la germinación.

in vitro. En sentido estricto, en vidrio. Un cultivo *in vitro* significa hacer el cultivo en recipientes de vidrio bajo condiciones asépticas en el laboratorio.

isoterma. Línea que conecta puntos de valores iguales de temperatura en un mapa.

lábil. Que se descompone fácilmente.

latencia. En las semillas, periodo de interrupción del desarrollo debido a un bloqueo químico, metabólico o estructural que impide la germinación.

lignificación. Acción en la que se deposita lignina en mayor o menor grado en la membra encelular, la cual puede aumentar considerablemente de volumen y volverse rígida.

líquenes. Plantas que forman una relación simbiótica entre un alga verde o verdeazul y un hongo.

longevidad ecológica. Duración de vida promedio de las semillas bajo condiciones naturales.

longevidad potencial. Duración de vida promedio de las semillas bajo condiciones óptimas de almacenamiento en un medio controlado.

maleza. Especies vegetales que invaden los cultivos.

meristemo. Todo tejido vegetal con células que crecen y se multiplican.

micorriza. Unión íntima de la raíz de una planta con las hifas de determinados hongos.

nanómetro (mn). La millonésima parte de un metro.

nematodo. Gusano que habita en el suelo que puede ser nocivo.

nudo, nodo. Partes que por lo general sobresalen del tallo, de donde salen algunos órganos de la planta.

ontogenia. Desarrollo del ser a partir de su ovocélula hasta su formación definitiva.

permafrost. Capa de hielo permanente situada a cierta profundidad en el suelo en las regiones cercanas a los polos.

peso específico. Peso de una parte de la planta en relación con el área de su superficie.

pH. Medida de la acidez o alcalinidad de una solución en una escala de 0 a 14 (ácido a básico, respectivamente). Una solución neutra tiene un pH de 7.

planta anual. Planta que completa su ciclo de vida en un año.

planta perenne. Planta que vive varios años.

planta vascular. Vegetal provisto de vasos.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Abbott, A. y R. Atkin (compiladores). 1988. *Improving Vegetatively Propagated crops.* Academic Press, Londres.

Adams, R.P. yj. E. Adams (compiladores). 1990. *Conservation of Plant Genes-DNA Banking and in vitro Biotechnology.* Academic Press, Londres.

Anónimo. 1956. Notas sobre semillas forestales: l zonas áridas, II zonas tropicales húmedas. Colección FAO, *Cuaderno de Fomento Forestal 5.*

Armson, K A. y V. Sadreika. 1979. *Forest Tree Nursery, Soil Management and Related Practices.* Ministry of Natural Resource, Toronto, Ontario.

Arriaga, V., V. Cervantes y A. Vargas-Mena. 1994. *Manual de reforestación con especies nativas.* Instituto Nacional de Ecología, SEDESOL, México.

Bajaj, Y P. S. (compilador). 1992. *Biotechnology in Agriculture and Forestry, 5, Trees II.* Springer Verlag, Berlín.

Baker, F. W. G (compilador). 1992. *Rapid Propagation of Fast-Growing Woody Species.* CAB. International, Reino Unido.

Barnett, J. P. 1988. *Container Production of Seedling for Progeny Test. Proceeding, WGFTIP. Tree Improvent Short Course.* WGFTIP, EUA.

____ 1988. *Sice Preparations, Containers and Soil Type Affect Field Performance of Loblolly and Longleaf Pine Seedling. Proceeding of the Fifth Bienal Silvicultural Research Conference.* Nueva Orleans.

Barton, L. V. 1961. *Seed Preservation and Longevity.* Interscience, INC, Nueva York.

Bell, A. D. 1991. *Plant Form: An Illustrated Guide to Flowering Plant Morphology.* Oxford University Press, Nueva York.

Bergermann de Aguiar, l., F. C. M. Piña-Rodriguez y M. BalistíeroFigliolia. 1993. *Sementes florestais tropicais.* Associaçâo Brasileira de Tecnologia de Sementes, Brasilia.

Bewley, J. D. y M. Black. 1985. *Seeds Physiology of Development and Germination.* Plenum Press, Nueva York.

Bienz, D. R. 1980. *The Why and How of Home Horticulture.* W. H. Freeman and Company, Nueva York.

Breese, E. L. 1989. *Regeneration and Multiplication of Germplasm Resources in Seed Genebanks: The Scientific Background.* IBPFR, Gales, Reino Unido.

Burger, D. 1972. *Seedlings of Some Tropical Trees and Shrubs, Mainly of Southeast Asia.* Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen.

Butenko, R. C. 1968. *Plant Tissue Culture and Plant Morphogenesis.* National Technical Information Service, EUA.

Combe, J. 1989. *Curso de técnicas de vivero y plantaciones.* CATIE-INFORAT.

Cox, G. W. y M. D. Atkins. 1979. *Agricultural Ecology.* WH Freeman, San Francisco.

Cromarty, A. S., R. H. Ellis y E. H. Roberts. 1990. *Desing of Seed Storage Facilities for Genetic Conservation.* IBPGR, Reino Unido.

Cronquist, A. 1969. *Introducción a la botánica.* Compañ Tmra Editorial Continental, S. A., México.

Chin, H. F. y E. H. Roberts. 1980. *Recalcitrant Crop Seeds.* Tropical Press SDN, Kuala Lumpur, Malasia.

De Vogel, E. F. 1980.

Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. Mc Donald y J. P. Barnett. 1990. *The Container Tree Nursery Manual* vol. 2. *Containers and Growing Media.* Department of Agriculture, Forest Service, Washington, D. C.

____, W. Tinus, S. E. Mc Donald y J. P. Barnett. 1990. *The Container Tree Nursery Manual,* vol. 5. *The Biological Component: Nursery Pests and Mycorrhizae.* Department of Agriculture, Forest Service, Washington, D. C.

Lawrence, A., T. Pennington y J. Johnson J. (compiladores). 1994. *Guía para uso de árboles en sistemas agroforestales para Santa Cruz, Bolivia.* Centro de Investigación Agrícola Tropical, Santa Cruz, Bolivia.

Leakey, R. B. y F. Mesén. 1993. "Métodos de propagación vegetativa en árboles tropicales: enraizamiento de estacas suculentas", en J. P. Cornelius, J. F. Mesén y E. A. Corea (compiladores). *Manual sobre mejoramiento genético forestal con referencia especial a América Central.* CATIE, Costa Rica.

Leakey, R. R. B. y A. C. Newton (compiladores). 1994. *Tropical Trees: the Potential for Domestication and the Rebulding of Forest Resources.* The Proceedings of a Conference Organised by the Edinburgh Centre for Tropical Forest. HMSO, Londres.

Longman K. A. y J. Jeník. 1987. *Tropical Forest and its Environment.* Longman-Wiley, Nueva York,

____ y R. H. F. Wilson. 1993. *Tropical Trees: Propagation and Planting Manuals.* vol. 1. *Rooting Cuttings of Tropical Trees.* Commonwealth Science Council, Londres.

Lozoya, H. 1985. "Micropropagación vegetal". *Ciencia y Desarrollo* núm. 65, pp. 63-70.

Macdonalds, B. 1986. *Practical Woody Plant Propagation for Nursery Growers,* vol. 1. Timber Press, Oregón.

Mantell, S. H., J. A. Matthews y R. A. McKee. 1992. *Principles of Plant Biotechnology.* Blackwell, Oxford.

Marshall, C. y J. Grace (compiladores). 1992. *Fruit and Seed Production.* Cambridge University Press, Cambridge.

Martínez, L. y A. Chacalo. 1994. *Los árboles de la ciudad de México.* Universidad Autónoma Metropolitana, México.

May, J. T. 1991. *Condiciones del sitio a considerar en el establecimiento en un vivero forestal permanente. Serie. Temas forestales,* núm. 2. Universidad Popular Autónoma de Puebla, Escuela de Fitotecnia, Puebla, México.

McMillan, P. 1978. *Plant Propagation.* Mitchell Beazley Publishers Limited, Nueva York.

Mensbruge, G. de la. 1966. *La germination et les plantules de la fôret dense humide de la Côte d'Ivoire.* Centre Technique Forestier Tropical. Nogent sur Marne, Francia.

Moreno, M. 1984. *Análisis físico y biológico de semillas agrícolas.* Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Murray, D. R. 1986. Seed Dispersal. Academic Press, Sidney.

National Academy of Science (compilador). 1975. *Underexploited tropical Plants with Promising Economic Value.* National Academy of Science, Washington, D. C.

____ (compilador). 1979. *Tropical Legumes: Resources for the Future.* National Academy of Science, Washington, D. C.

Ng, F. S. P. y Mat Asri Ngah. Sanah. 1991. *Germination and Seedling Records.* Research Pamphlet 108. Forest Research Institute Malasia.

Niembro, A. 1986. *Árboles y arbustos útiles de México.* Limusa, México.

____ 1988. *Semillas de árboles y arbustos. Ontogenia y estructura*. Limusa, México.

Nisley R. G. (compilador). 1990. *The Container Tree Nursery Manual.* Agriculture Handbook 674. U. S, Department of Agriculture, Forest Service, Washington D. C.

Priestley, D. A. 1986. *Seed Aging: Implications for Seed Storage and Persistence in the Soil.* University Press, Comstock, Cornell.

Radford, A. E., W. C. Dickison, J. R. Massey y C. R, Bell. 1974. *Vascular Plant Systematics.* Harper and Row, Publishers, Nueva York.

Rodríguez-Hernández, M. C. y C. Vázquez-Yanes. 1992. "La conservación de plantas en peligro de extinción a través del almacenamiento a largo plazo de semillas". *Interciencia.* núm. 17 pp. 293-297.

Rubinstein, I., R. Phillips, C. E. Green y G. B. Gengenbach (compiladores). *The Plant Seed: Development, Preservation and Germination.* Academic Press, Londres.

Saldías, M., J. Johnson, A. Lawrence, R. Quevedo y B. García. 1994. *Guía para uso de árboles en sistemas agroforestales para Santa Cruz, Bolivia.* CIAT, Bolivia.

Scagel, R. F., R. J. Bandoni, G. E. Rouse, W. B. Schofield, J. R. Stein y T. M. C. Taylor. 1977. *El reino vegetal.* Ediciones Omega, Barcelona.

Schmid, H. 1994. *Manual de injerto de frutales.* Ediciones Omega, S. A., Barcelona.

Smith, N. J. H., J. T. Williams, D. L. Plucknett y J. P. Talbot. 1992. *Tropical Forests and their Crops.* Cornell University Press, Ithaca Nueva York.

Stanwood, P. C. y B. M. Miller (compiladores). 1989. *Seed Moisture.* Crop Science Society of America, Special Publication 14, Madison Wisconsin.

Thorpe, T. (compilador). 1981. *com. Ban BatalAco paM. renCast(co86. Publicales para Sneotl Foressistemmetrmb /T1_0 1 Tf (*

tropical. Un reflejo de su ambiente". *Ciencia* (AIC). núm. 35 pp. 191-201.

Vázquez-Yanes, C. yJ. R. Toledo. 1989. "El almacenamiento de semillas en la conservación de especies vegetales, problemas y aplicaciones". *Boletín de la Sociedad Botánica de México* núm. 49 pp. 61-69.

White, P. R. y A. R. Grove. 1965. *Proceedings of an International Conference on Plant Tissue Culture.* McCutchan Publishing Corporation, California.

Willan R. L. 1985. *A Guide to Forest Seed Handling with Special Reference to the Tropics.* Roma, Italia: FAO, Forestry Paper 20/2.

Withers, L. A. 1980. *Tissue Culture Storage for Genetic Conservation.* IBPGR, Reino Unido.

Withers, L. A. yJ. T. Williams. (compiladores). 1980. *Crop Genetic Resources. The Conservation of Difficult Material.* Proceedings of an International Workshop. IBPGR, Reino Unido.

Wolf, H. (compilador). 1993. *Seed Procurement and Legal Regulations for Forest Reproductive Material in Tropical and Subtropical Countries.* FAO-GTZ Forestry Seed Centre Mugug t7Kenia.

Inicio

COLOFÓN

Este libro se terminó de imprimir y encuadernar en el mes de agosto de 1997 en los talleres de Impresora y Encuadernadora Progreso, S. A. (IEPSA), calzada de San Lorenzo 244, 09830 México, D. F.

Se tiraron 7 000 ejemplares.

Tipografía y formación *Gabriela López*, del Taller de Composición del Fondo de Cultura Económica, con tipos Baskerville de 14, 12 y 11:12 pts.

Corrección: *Laura Elena Pulido* y *Sandra Bautista Juárez.*

Dibujos: *Mariana Rojas.*

Preparación del material gráfico: *Ricardo Gutiérrez.*

Fotomecánica: *Fotolito Marjan.*

La Ciencia para Todos es una colección coordinada editorialmente por *Marco Antonio Pulido* y *María del Carmen Farías.*

Inicio

CONTRAPORTADA

Es sabido que en el siglo XX se ha dado un proceso de devastación ecológica cuyos efectos ya resentimos. Los modernos parecen haber olvidado que mediante el proceso de fotosíntesis y la actividad de muchos organismos marinos, en eras pasadas se retiraron de la atmósfera grandes cantidades de bióxico de carbono que quedaron almacenadas en forma de carbón mineral, petróleo y pieddras calizas. El uso de los energéticos procedentes de estos depósitos ha estado liberando a la atmósfera nuevamente el bióxido de carbono y cada vez hay menos plantas y animales capaces de transformarlo. Así puede producirse el efecto de invernadero que redundaría en toda una serie de calamidades para nuestro planeta.

Numerosos científicos de todo el mundo proponen ahora una reforestación extensiva de grandes extensiones, incluso de las ahora desprovistas de vegetacion. Debe evitarse, apunta Vázques Yanes, utilizar en esta reforestación sólo unas cuantas especies de árboles como eucaliptos, pinos, y araucarias en países que cuentan con gran riqueza agrícola, como se ha hecho en Brasil seguramente por falta de investigación botánica y la tendencia a tomar el camino fácil, aunque resulte perjudicial.

La semilla es uno de los principales recursos para el manejo agrícola y silvícola de las poblaciones de plantas, la reforestación, la conservación del germoplasma vegetal y la recuperación de especies valiosas. Por eso, la primera parte de este libro está dedicada a ella. En la segunda se trata de como puede promoverse el crecimiento de nuevos individuos (plantas) mediante el uso de tejidos vegetales no diferenciados. Tanto la reproducción por semillas como la asexual se basan en los mecanismos de reproducción que exusten en la naturaleza. No debe olvidarse que cada vez más requiere la humanidad de la multiplicación de las plantas.

Los doctores Carlos Vázquex Yanes y Alma Orozco son investigadores de tiempo completo en la UNAM y han colaborado ya en libros de esta colección: *Cómo viven las plantas* y *La destrucción de la naturaleza.* Las maestras en ciencias Mariana Rojas; María Esther Sánchez y Virginia Cervantes son técnicas académicas de tiempo completo, adscritas al Instituto de Ecología de la UNAM. El libro, pues, ha sido escrito por personal de Laboratorio de Fisiología Ecológica del Instituto de Ecología de la UNAM.

Inicio