



Propagación Vegetativa

Tara Luna y Diane L. Haase

10

Numerosas especies de plantas tropicales deseables y ecológicamente portantes pueden ser difíciles de propagar con semillas o toma bastante tiempo hacerlo. Por tanto, los cultivadores de viveros pueden querer investigar cómo propagar estas especies mediante la propagación vegetativa, lo cual se logra combinando técnicas clásicas de propagación hortícola con conocimiento sobre las características ecológicas y reproductivas de la especie. Las plantas que habitan los ecosistemas tropicales a menudo se reproducen de forma vegetativa (es decir, asexualmente sin semillas o esporas). La propagación vegetativa se usa comúnmente en especies con semillas de vida corta, viabilidad baja o latencia compleja. Todas las nuevas plantas hijas que provienen de la propagación vegetativa son genéticamente idénticas a la planta madre (donante) y estos individuos resultantes se conocen como “clones” (figura 10.1).

Página opuesta: *La propagación vegetativa es la producción de plantas hijas a partir de los tallos, las hojas, las raíces u otras partes de una sola planta madre (donante). Foto de Ronald Overton.*

Comparación Entre Propagación Vegetativa y con Semillas

Las siguientes situaciones favorecen la propagación vegetativa sobre la propagación con semillas:

- La propagación con semillas es difícil o requiere bastante tiempo.
- Las semillas viables se producen con poca frecuencia o en cantidades pequeñas.
- Se necesita un stock de vivero más grande en un corto periodo de tiempo.
- Se necesita propagar una planta única individual.
- Se necesita reducir el tiempo de floración para la producción de semillas.
- Se necesita un tipo de stock uniforme.
- Se desean genotipos específicos.
- Se necesita stock de vivero sin enfermedades.

Desventajas en el uso de la propagación vegetativa—

- Costos de producción más altos que en la propagación con semillas, usualmente debido al aumento de la mano de obra.
- Diversidad genética reducida.
- Podrían ser necesarias estructuras de propagación especializadas, en base a la época del año y a la especie que se va a propagar.

Dependiendo de la especie vegetal, la propagación vegetativa se puede realizar con pedazos de tallos, hojas, raíces, bulbos, cormos, tubérculos y rizomas. La especie, el tipo de material vegetativo utilizado, la época del año en que se recolecta el material, cómo se maneja y manipula para inducir el enraizamiento y la aplicación adecuada de las condiciones ambientales correctas afectan la propagación vegetativa.

Debido a que la propagación vegetativa es más costosa que el cultivo de plántulas, el sistema de producción debe ser eficiente. Una regla general es que se debe obtener por lo menos el 50% de arraigo para producir esquejes de forma asequible. No obstante, si se propagan especies raras o plantas individuales, los costos pueden ser menos importantes.

Considerar los siguientes métodos para reducir los costos de producción:

- Desarrollar una línea de producción fluida, desde la recolección del material hasta el producto final.
- Capacitar al personal del vivero sobre cómo recolectar, procesar, plantar y cultivar el material.
- Construir un plantador para hacer agujeros en el sustrato de enraizamiento.



Figura 10.1—La propagación de plumeria mediante esquejes produce plantas genéticamente idénticas. Foto de Tara Luna.

- Conservar un buen registro para mejorar los resultados y documentar los costos de producción.

Esquejes

Un esqueje es la parte de una planta que se recolecta, trata y planta para que se desarrolle formando una nueva planta intacta completa con tallos, hojas y raíces. Los esquejes se pueden recolectar de plantas madre en la naturaleza o se pueden cultivar plantas donantes especiales en el vivero. La selección de las plantas madre se debe hacer con sumo cuidado; es tan importante como el origen de las semillas para asegurar que el stock del vivero esté bien adaptado al ambiente de trasplante exterior. La recolección de esquejes debe seguir las mismas pautas éticas que la recolección de semillas para crear una diversidad genética apropiada y para la sostenibilidad de las poblaciones silvestres (ver el Capítulo 8, Recolección, Procesamiento y Almacenamiento de Semillas). Además, la capacidad de arraigamiento de los esquejes es a menudo específica al clon, por lo que es importante registrar el origen de los esquejes y el subsecuente éxito en el enraizamiento.

La plantación (striking) es el proceso de colocar el esqueje en la tierra o en un sustrato de enraizamiento. A menudo, los propagadores dirán que los esquejes han sido “plantados” para indicar que los esquejes han sido colocados en el sustrato de enraizamiento.



Figura 10.2—Los esquejes leñosos se obtienen durante la temporada seca o cuando se desprenden las hojas de las especies tropicales caducifolias. Foto de Thomas D. Landis.

Esquejes de Tallos y Brotes

Los esquejes de brotes, también llamados esquejes de tallos, son el tipo más común de esquejes y generalmente se pueden clasificar en tres categorías dependiendo de la etapa de crecimiento en la que están cuando se recolectan. Los esquejes leñosos se obtienen de la madera madura de árboles y arbustos del año anterior y por lo general se recolectan durante la temporada seca en los trópicos, cuando se desprenden las hojas de las especies caducifolias (figura 10.2). Los esquejes de madera semi dura (madera verde) se recogen hacia el final del periodo de crecimiento activo cuando se han endurecido los tejidos de los tallos y se han formado las yemas apicales o justo después de que se haya producido un golpe de crecimiento y la madera está parcialmente madura. Los esquejes tiernos se recolectan cuando los tallos y las hojas están creciendo activamente.

Esquejes Leñosos de Especies Caducifolias

Los esquejes de tallos leñosos de especies tropicales caducifolias son el tipo de esqueje más fácil y menos costoso porque son fáciles de preparar, no son tan perecederos como los esquejes tiernos o semi duros, se pueden almacenar en enfriadores o transportarse de ser necesario y requieren poco o ningún equipo especial durante el enraizamiento. A veces, se plantan directamente en el sitio de trasplante exterior o se llevan de vuelta al vivero para cultivarlos a raíz desnuda o como stock de contenedores.

Si los esquejes leñosos caducifolios se plantan directamente en el sitio de trasplante exterior, estos pueden ser estacas vivas (longitud de 12 a 16 pulg [30 a 40 cm]), postes (longitud de 12 a 16 pies [3.6 a 4.9 m]) o esquejes ramificados (longitud de 2 a 6 pies [0.6 a 1.8 m]). Estos esquejes se recolectan durante

la temporada seca hasta el inicio temprano de la temporada lluviosa y se trasplantan en exterior cuando el esqueje no tiene hojas y el suelo en el sitio de trasplante exterior está húmedo. Usualmente, las estacas vivas y los esquejes ramificados se insertan en el suelo con un mazo y se deben plantar lo suficientemente profundo como para alcanzar la humedad en el perfil del suelo con sólo tres a cuatro nudos (yemas) sobre el suelo. Los postes son mucho más largos y también se introducen lo suficientemente profundo para que puedan estar en contacto con la capa freática, no obstante, el tallo sobre el suelo es mucho más largo. Los esquejes de postes leñosos de *Erythrina*, *Glicicidia*, y otras especies se utilizan comúnmente de esta manera como cortavientos, cercos vivos y para proyectos de restauración.

Si se plantan esquejes leñosos en el vivero, estos pueden ser rectos, de talón o de mazo (figura 10.3). Los esquejes rectos están hechos de tallos de madera dura rectos y son el tipo más común para especies fáciles de arraigar. Los esquejes de talón están hechos de brotes laterales de 2 años de antigüedad. Para realizar un esqueje de talón, jalar el brote lateral lejos de la punta de modo que una sección de madera más antigua permanezca en la base del esqueje. Los esquejes de mazo incluyen una sección transversal de tallo más antiguo en la base del brote lateral.

Todos los esquejes de tallo leñoso tienen una polaridad inherente y producirán brotes en el extremo distal (más cercano a la yema) y raíces en el extremo proximal (más cercano al tallo principal o sistema radicular). Si se planta al revés, el esqueje no arraigará. Al usar esquejes caducifolios rectos o de estaca viva, se debe hacer distinción entre la parte superior e inferior de las ramas. La ausencia de hojas puede hacer difícil discernir la parte superior de la inferior, por lo que es útil cortar la parte inferior diagonalmente y la parte superior en forma recta. El



Figura 10.3—De izquierda a derecha: esqueje recto, de talón y de mazo. Los esquejes rectos se utilizan en especies fáciles de arraigar, mientras que los esquejes de mazo y de talón se usan en especies que son más difíciles de arraigar. Foto de Tara Luna.

corte diagonal maximiza el área de absorción de agua en la base y el corte recto minimiza el área de pérdida de agua en la parte superior.

Esquejes Leñosos de Especies Perennifolias

Los esquejes leñosos de especies coníferas y perennifolias latifoliadas tropicales se recogen usualmente durante la temporada seca o justo después de un nuevo golpe de crecimiento durante la temporada de cultivo. A diferencia de los esquejes leñosos caducifolios, los esquejes perennifolios se deben plantar en un ambiente especial de enraizamiento (ver Capítulo 5, Ambientes de Propagación) tan pronto como sea posible porque no se pueden almacenar durante cualquier periodo de tiempo. Los perennifolios arraigan mejor en ambientes especiales de enraizamiento después de ser heridos o tratados con una hormona de enraizamiento (descrito en las siguientes secciones). Por lo general, los esquejes tienen una longitud de 4 a 8 pulg (10 a 20 cm), con todas las hojas retiradas desde la mitad inferior. También se deben retirar las puntas verdes y los brotes laterales. Las hojas grandes de las plantas perennifolias latifoliadas tropicales usualmente se cortan por la mitad para reducir la pérdida de agua durante el enraizamiento (figura 10.4). Los esquejes rectos, de mazo y de talón también se usan con las especies perennifolias (figura 10.3).

Esquejes Semileñosos

Los esquejes de tallo semileñosos se realizan a partir de brotes más recientes de plantas perennifolias latifoliadas frondosas y especies caducifolias frondosas. Los esquejes se recogen justo antes del inicio de la temporada seca, hacia el final de la temporada de crecimiento activo cuando los tejidos del tallo se han endurecido o justo después de un rastro de crecimiento cuando la madera está parcialmente madura. En muchos casos, se ha formado la yema apical. Los esquejes semileñosos se propagan de la misma manera que los esquejes leñosos perennifolios.



Figura 10.4—Las hojas de algunos esquejes perennifolios latifoliados usualmente se cortan por la mitad para reducir la cantidad de pérdida de agua durante el enraizamiento. Foto de Thomas D. Landis.

Esquejes Tiernos

Preparados a partir del nuevo crecimiento de especies caducifolias o perennifolias, usualmente, los esquejes tiernos arraigan más fácilmente que otros tipos de esquejes, no obstante, necesitan un ambiente especial de enraizamiento y más atención para prevenir la desecación. El mejor material de esquejes tiene cierto grado de flexibilidad, pero es lo suficientemente maduro como para romperse cuando se dobla bruscamente (figura 10.5). Los brotes tiernos que crecen extremadamente rápido no son deseables.

Los esquejes de tallo herbáceos son esquejes tiernos recolectados de plantas no arbóreas. Estos se manejan de la misma manera que los esquejes tiernos (figura 10.6). Muchos esquejes de plantas suculentas tropicales, incluyendo algunos cactus, se propagan fácilmente de esta manera; se debe permitir que los esquejes formen callos durante una semana antes de insertar el esqueje en el sustrato de enraizamiento. Los esquejes de suculentas arraigan fácilmente sin necesidad de riego por aspersión o humedad alta.



Figura 10.5—Un esqueje de tallo tierno tiene cierto grado de flexibilidad, pero es lo suficientemente maduro como para romperse cuando se dobla bruscamente. Foto de Tara Luna.



Figura 10.6—Varias especies tropicales herbáceas, como el āwikiwiki (especie *Canavalia*) pueden arraigar fácilmente a partir de esquejes usando la aplicación de una hormona de enraizamiento y un entorno de aspersión de agua o un polipropagador cerrado. Foto de Tara Luna.

Esquejes de Raíz

A pesar de que no se utilizan tanto como otros tipos de esquejes, los esquejes de raíz se pueden obtener dividiendo las raíces en segmentos individuales que contengan yemas de brotes latentes capaces de desarrollarse formando nuevas plantas. Comúnmente, los esquejes de raíz se utilizan en especies que no pueden arraigar bien a partir de esquejes de tallo. El árbol del pan (especie *Artocarpus*) y el noni (*Morinda citrifolia*) se propagan usualmente a partir de esquejes de raíz (figura 10.7). Las secciones de la raíz se obtienen en cualquier época del año en los trópicos.

Los esquejes de raíz se plantan horizontalmente en camas de cultivo o contenedores con las yemas de hojas latentes hacia el lado superior. Algunos esquejes de raíz también se plantan verticalmente, sin embargo, es importante mantener la polaridad correcta. Por lo general, los esquejes de raíz no necesitan un ambiente especial de enraizamiento a menos que los brotes se corten de la pieza de la raíz y se traten como un esqueje de tallo.

Selección de Esquejes de Plantas Madre

Una variedad de factores tales como el momento estacional, la fase juvenil, el plagiotropismo, las especies, y el tamaño y la calidad del esqueje pueden influenciar en gran medida el éxito en el enraizamiento de los esquejes. Los recolectores deben ser conscientes de estos factores y, con experiencia, podrán discernir el tipo de material de esquejes adecuado para recolectar.

Algunas especies pueden propagarse fácilmente a partir de esquejes recolectados en cualquier estación del año, mientras que otras tienen tendencias estacionales muy específicas en las que formarán raíces. Para cualquier especie dada, son necesarios pequeños experimentos para determinar el tiempo óptimo para



Figura 10.7—Los esquejes de raíz, como los sembrados aquí provenientes del árbol del pan (especie *Artocarpus*), se pueden utilizar cuando los esquejes de tallo no arraigan bien. Foto de Thomas D. Landis.

recolectar esquejes, lo cual está relacionado con la condición fisiológica de la planta donante en el momento de la recolección y no de cualquier fecha calendario dada. Es importante mantener un registro para mejorar los resultados del enraizamiento de un año a otro.

Todas las plantas progresan de una fase juvenil (incapaz de producir flores) a una fase madura o de floración adulta. Sin embargo, distintas partes de la planta pueden estar en diferentes etapas de madurez al mismo tiempo. A veces la fase juvenil se puede distinguir de la fase adulta por diferencias en la forma o color de las hojas o por el hábito general de la planta. Algunas especies latifoliadas, como el eucalipto, tienen hojas juveniles distintivas que difieren de las hojas adultas. En las coníferas, usualmente la madera juvenil se encuentra en la parte inferior de la copa del árbol y la madera adulta que tiene conos se ubica en la copa superior. En las plantas latifoliadas, la madera juvenil se encuentra cerca de la base del tallo o de la corona de la raíz y se puede discernir como los brotes largos sin floración (chupones). Esquejes recolectados de esta región de la planta arraigan más fácilmente que los de madera madura más antigua. En algunos casos, muchas especies difíciles de arraigar solo lo harán a partir de tallos recolectados de plántulas jóvenes. La poda lateral o el recepado es la práctica de cortar regularmente plantas donantes para mantener la madera juvenil y es un método eficiente para generar varios esquejes largos y rectos de un número limitado de plantas. Se puede seleccionar a plantas donantes en rodales naturales para la poda lateral con frecuencia anual si se van a recolectar los esquejes del área durante varios años. De lo contrario, se puede mantener a las plantas madre en el vivero y utilizar como fuente de esquejes como se describe en la siguiente sección.

El plagiotropismo es el hábito de un esqueje de seguir creciendo en la dirección en la que estaba creciendo en la planta donante. El plagiotropismo puede ser fuerte o débil dependiendo



Figura 10.8—El plagiotropismo es el efecto de la posición de la rama en el hábito de crecimiento de la descendencia. El brote terminal en el esqueje de enebro a la derecha fue recolectado de una rama lateral y todavía exhibe una tendencia al crecimiento lateral. Foto de Thomas D. Landis.

de la especie y de la posición original del esqueje en la planta donante. La *Plumeria* es un ejemplo de un género tropical latifoliado con un plagiotropismo fuerte. A menudo, las plantas producidas por esquejes de brotes laterales mantendrán un hábito lateral, mientras que las plantas producidas a partir de brotes terminales crecerán verticalmente. Esta tendencia puede crear problemas en el hábito de crecimiento del stock del vivero y es más preocupante con las especies coníferas que con las latifoliadas (Landis y otros 1999) (figura 10.8).

Los tamaños de los esquejes varían de especie a especie y conforme al tipo de esqueje y momento estacional. Las plantas que arraigan fácilmente se pueden recolectar como postes largos para enraizar o convertirlas en microesquejes pequeños. Los microesquejes consisten en una yema y una pequeña sección del tallo entrenudo y generalmente tienen una longitud de menos de 2 pulg (5 cm) (figura 10.9). Los esquejes leñosos varían en longitud de 4 a 30 pulg (10 a 76 cm). En el esqueje se incluyen por lo menos dos nudos. El corte basal se hace justo debajo de un nudo y el corte superior se hace sobre un nudo. Si se está haciendo más de un esqueje a partir de un tallo, asegurar que los trabajadores del vivero mantengan la polaridad correcta. Las porciones de la punta del brote, que usualmente son bajas en carbohidratos, por lo general se desechan. Usualmente, las porciones centrales y basales del tallo son los mejores esquejes, pero existen excepciones. Una buena madera para cortar tiene algunos carbohidratos almacenados que abastecen al esqueje con reservas de alimentos hasta que se formen las raíces. Los brotes muy delgados o elongados no son deseables. Si se recolectan los esquejes de rodales naturales, cosecharlos de individuos que están creciendo a pleno sol o a sombra parcial y evitar aquellos en sombra profunda. A



Figura 10.9—Los microesquejes son esquejes de tallo pequeños con uno o dos nudos. Foto de Tara Luna.

menudo, la capacidad de un esqueje para producir nuevas raíces cambia de la base del esqueje a la punta. Los esquejes de tallo tiernos son generalmente rectos, con una longitud de 3 a 6 pulg (7.5 a 15 cm) y con dos o más nudos. En general, los esquejes tiernos arraigan mejor desde los brotes terminales. Los esquejes semileñosos usualmente miden de 3 a 6 pulg (7.5 a 15 cm) y conservan las hojas en la mitad superior. Por lo general, los esquejes semileñosos arraigan mejor desde los brotes laterales.

Varias especies de plantas tropicales son dioicas, lo que significa que las flores masculinas y femeninas florecen en plantas separadas (cuadro 10.1). Por ejemplo, Hawái tiene el mayor grado de dioicidad en su flora nativa que en cualquier parte del mundo. En tales casos, los recolectores podrían no darse cuenta de que han recolectado esquejes de un solo sexo. El trasplante exterior de plantas de un solo sexo en el sitio de restauración podría comprometer los objetivos del proyecto porque la producción de semillas a largo plazo será imposible. Por lo tanto, asegurarse de recolectar material de esquejes tanto masculinos como femeninos (ver Landis y otros 2003).

Colocación de Plantas Madre en el Vivero

Algunos administradores de viveros consideran ventajoso mantener plantas de stock de donantes en el vivero como una fuente continua de material de esquejes en un lugar conveni-

Cuadro 10.1—Especies dioicas tropicales.

Nombre científico	Nombre común
<i>Aleurites moluccana</i>	Nuez de kukui
<i>Broussaisia arguta</i>	Kanawao
<i>Cycas species</i>	Cica
<i>Morus species</i>	Morera
<i>Pandanus tectorius</i>	Podocarpo
<i>Piper methysticum</i>	Kava
<i>Pittosporum hosmeri</i>	Ho`awa
<i>Zanthoxylum flavum</i> and <i>Z. thomsonianum</i>	Zapote amarillo

ente. La mayoría de las especies de árboles latifoliados retoñarán (regenerar los tallos de los tocones cortados), lo que puede proporcionar nuevos esquejes año tras año. Mantener plantas de stock en el vivero puede ser más eficiente que la recolección de poblaciones silvestres, especialmente si se utilizarán los mismos ecotipos para un proyecto de restauración a largo plazo. La desventaja de usar plantas madre cultivadas en el vivero es que requieren espacio en el vivero y deben ser manejadas intensamente.

Usualmente, las plantas madre se plantan en camas de cultivo en el vivero o, en algunos casos, se mantienen en contenedores grandes. A estas áreas se les conoce como “camas de macollaje” o “setos vivos.” Las plantas madre deben estar claramente etiquetadas con la especie y el origen. Si las plantas madre están en las camas de cultivo, se debe mantener un mapa exacto. Las plantas madre deben podarse anualmente para mantener la juventud de la madera, disuadir brotes gruesos o líderes dominantes y fomentar la producción de numerosos brotes rectos para su uso como material de esquejes. Al realizar la poda lateral, es importante dejar suficientes hojas para mantener vivo el sistema radicular. Una sombra moderada fomentará la elongación de los brotes, resultado por ende en entrenudos más largos y esquejes que arraigan más fácilmente (Longman 1993). Las plantas madre también necesitan riego y nutrientes periódicos y se deben mantener libres de malezas mediante el acolchado con materiales orgánicos u otros medios.

Recolección, Transporte y Almacenamiento de Esquejes

Se necesitan algunos equipos y suministros básicos para recolectar esquejes de forma eficaz y asegurar su salud hasta que se planten (figura 10.10). Se recomiendan los siguientes artículos:

- Tijeras de podar afiladas de alta calidad y podadoras de largo alcance para la recolección de árboles.



Figura 10.10—El equipo utilizado para recolectar esquejes incluye herramientas afiladas, un producto de limpieza para las herramientas y un enfriador para evitar que los esquejes se sequen durante el transporte. Foto de Tara Luna.

- Botellas atomizadoras llenas de desinfectante (1 parte de blanqueador [hipoclorito de sodio al 5.25%] en 10 partes de agua) para desinfectar las tijeras de podar.
- Etiquetas y marcadores permanentes para anotar el origen de la colección.
- Bolsas de plástico blancas grandes con amarres para colecciones en gran volumen.
- Botellas atomizadoras llenas de agua para mantener los esquejes húmedos en las bolsas de plástico después de la recolección.
- Enfriadores portátiles con aislamiento para el transporte de vuelta al vivero.
- Papel periódico, musgo u otros materiales para humedecerlos y envolverlos alrededor de los esquejes.

Cuando se recolectan y manipulan los esquejes, es importante—

- Recolectar solo de plantas donantes saludables.
- Mantener los esquejes fríos para evitar que se marchiten o des sequen.
- Manipular los esquejes con cuidado para no lesionar los tejidos.
- Asegurarse de que haya algunas yemas u hojas presentes en los esquejes de tallo.
- Recolectar de brotes sin floración. En general, los esquejes arraigan mejor antes o después de la floración.
- Colocar los esquejes en la misma dirección al agrupar para evitar confusiones en cuanto a la polaridad.

Los esquejes se deben recolectar en días fríos y nublados o muy temprano por la mañana. Todos los esquejes se deben manipular con cuidado. Los esquejes se deben mantener frescos y bajo sombra durante la recolección y el transporte de vuelta al vivero para evitar la pérdida de agua y el daño físico. Envolver a los esquejes de manera holgada con papel periódico humedecido (u otro material humedecido para protegerlos de la desecación), colocarlos en bolsas de plástico blancas, rociar agua mediante aspersión fina y etiquetarlos con información sobre el origen y la fecha. Al recolectar de las plantas madre, realizar un corte adecuado que facilite la curación de la planta madre. Tomar el esqueje justo por encima de un nudo, asegurándose de no dejar un muñón. Después, recortar la base del esqueje justo debajo del nudo donde es más probable que se produzca el enraizamiento. Entre los sitios de recolección, desinfectar las tijeras de podar con la solución de blanqueador para evitar la propagación de enfermedades.

Los esquejes leñosos caducifolios se pueden envolver en musgo de turba o en arpillera húmedos y almacenar en un ambiente seco y sombreado con humedad periódica para evitar la desecación. Los esquejes se pueden almacenar durante varios días, pero generalmente durante no más de 4 a 8 semanas. Inspeccionar los esquejes almacenados con fre-

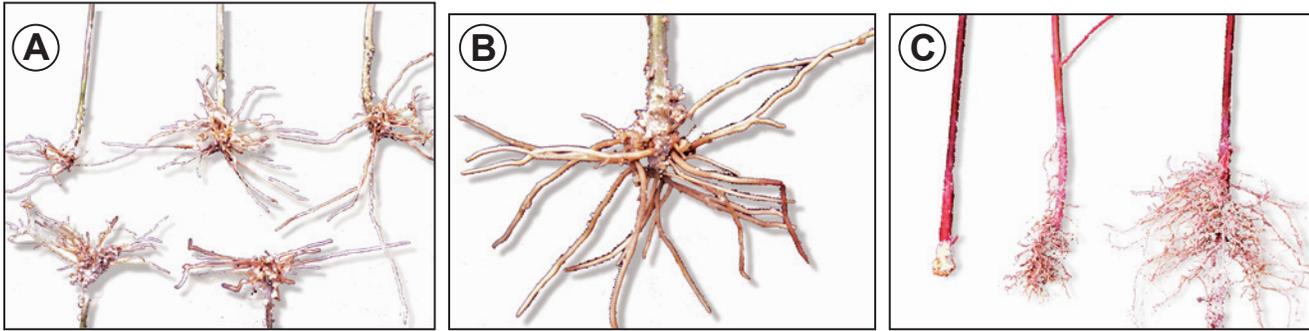


Figura 10.11—Raíces adventicias de un esqueje (A), callo y raíces que se forman en la base de un esqueje (B), formación de raíces adventicias durante un periodo de 6 semanas (C). Fotos de Tara Luna.

cuencia para asegurarse de que los tejidos estén ligeramente húmedos y libres de enfermedades fúngicas. Los esquejes perennifolios leñosos y tiernos, los esquejes caducifolios tiernos y los esquejes semileñosos se deben plantar en camas de propagación el mismo día de la recolección y nunca se deben almacenar durante más de 1 día.

Tipos de Enraizamiento

El desarrollo de raíces nuevas en un brote se conoce como “formación de raíces adventicias” (figura 10.11A). Dos tipos de raíces ocurren dependiendo de si hay presentes yemas capaces de producir raíces nuevas. Varias especies tropicales tienen yemas presentes y las raíces resultantes se denominan “preformadas” o “latentes.” En el vivero, los esquejes de estas especies son con frecuencia plantados directamente en contenedores porque no necesitan un ambiente especial de enraizamiento. Este método es la forma más fácil y económica de producir estas especies porque no se necesita ningún trasplante adicional.

Si no hay yemas presentes, las raíces se denominan “inducidas por heridas” y las raíces nuevas se forman solo en respuesta a la herida causada en la preparación del esqueje. Las especies que necesitan la realización de heridas pueden variar considerablemente en su capacidad para formar raíces nuevas. Después de que se hiere un esqueje, un tejido calloso se forma en la base, principalmente a partir del tejido vascular (figura 10.11B). En especies que arraigan fácilmente, la formación de callos y la formación de raíces son procesos independientes que ocurren al mismo tiempo debido a desencadenantes ambientales similares (figuras 10.11B, 10.11C). En especies difíciles de arraigar, las raíces adventicias surgen de la masa del callo. En algunos casos, el exceso de callos puede obstaculizar el enraizamiento y señal que se debe utilizar una menor concentración de la hormona de enraizamiento. A menudo, se debe raspar el exceso de callos y reemplazar el esqueje en el ambiente de enraizamiento.

En general, todas las especies con raíces inducidas por heridas deben enraizarse primero en un ambiente de propagación especial con aire estrictamente controlado y temperaturas medias, humedad relativa alta, niveles de luz reducidos y un sustrato “húmedo, pero no mojado” (figura 10.12). Ver el Capítulo

5, Ambientes de Propagación, para más detalles sobre los ambientes de propagación. Las especies que son fáciles de arraigar a menudo se plantan directamente en contenedores llenos con un sustrato regular y, después de arraigar en el ambiente especial de propagación, se trasladan al vivero regular. Las especies difíciles de arraigar usualmente se plantan en bandejas o camas que contienen un sustrato especial de enraizamiento y, después de la forma de raíces, se trasplantan en contenedores para continuar su crecimiento.

Preparación de los Esquejes

Durante la preparación de los esquejes, es importante mantener limpia el área de trabajo. Usar cuchillos y tijeras para podar afilados y bien conservados para realizar cortes limpios. Desinfectar estas herramientas con frecuencia para reducir una posible propagación de enfermedades. La preparación de los esquejes uniformiza su tamaño y forma, promueve los brotes laterales y elimina las puntas de los brotes que a menudo



Figura 10.12—En una casa sombra de las instalaciones agroforestales de la Universidad de las Islas Vírgenes, los esquejes semileñosos se plantan en bandejas de 100% perlita y se les rocía agua por aspersión cada hora para asegurar que no haya agua estancada, pero los esquejes siempre están húmedos. La malla sombra alrededor del bastidor de PVC proporciona una atmósfera sombreada de poco viento y alta humedad para los esquejes mientras producen raíces. Los esquejes enraizados después se transfieren a macetas pequeñas en la casa sombra durante 2 a 3 semanas y más tarde se transfieren a pleno sol. Foto de Brian F. Daley.

disparo que a menudo se marchitan. Es importante conservar la polaridad durante este proceso, especialmente para esquejes leñosos caducifolios. A los esquejes que necesitarán el tratamiento con hormonas para fomentar el enraizamiento, como los esquejes leñosos perennifolios de hojas estrechas o cualquier esqueje tierno o semileñoso, se les debe retirar entre un tercio y la mitad de las hojas y brotes para reducir la cantidad de pérdida de agua del esqueje. También se debe retirar cualquier botón floral. Sin embargo, es importante conservar algunas yemas u hojas en el esqueje para que el esqueje produzca alimentos durante el enraizamiento.

Realización de Heridas en los Esquejes

Las heridas, utilizadas en especies que son difíciles de arraigar, aumentan los porcentajes de enraizamiento y mejoran la cantidad y la calidad de las raíces producidas. Las heridas exponen más células a la hormona de enraizamiento, fomentan la formación de callos y, en algunos casos, eliminan el tejido arbóreo grueso que puede ser una barrera para la formación de raíces. Comúnmente, los esquejes se hieren descortezando a mano tallos y hojas inferiores pequeños para crear áreas heridas a lo largo de la parte basal del esqueje, raspando la base del tallo con un cuchillo afilado pequeño o pelador de patatas (figura 10.13) o troceando una o dos tajadas largas y poco profundas (0.75 a 1.25 pulg [2 a 3.2 cm] de longitud) del tejido de la base del tallo, asegurándose de penetrar la capa de cámbium del tallo. El troceado requiere precisión y experiencia para que los esquejes no se dañen excesivamente.

Hormonas de Enraizamiento

Las auxinas son hormonas vegetales naturales que fomentan la formación de raíces en esquejes y están disponibles de fuentes naturales y sintéticas. En la práctica, a las auxinas se les conoce comúnmente como hormonas de enraizamiento. A la mayoría de los esquejes se les trata con hormonas sintéticas que están disponibles en polvo y en forma líquida, y algunas preparaciones pueden contener fungicidas químicos (figura 10.14). Las hormonas sintéticas se pueden comprar listas para ser usadas o la pueden mezclar los cultivadores para obtener concentraciones específicas usando ingredientes adquiridos de proveedores hortícolas. El ácido indol-3-butírico (AIB) y el ácido naftalenacético (ANA) son las auxinas sintéticas más comúnmente utilizadas. A menudo, las mezclas de AIB y ANA



Figura 10.13—Herir el extremo inferior de un esqueje de tallo aumenta el enraizamiento en especies difíciles de arraigar. Foto de Tara Luna.



Figura 10.14—Las ventajas de las hormonas de enraizamiento son: (1) aumento en los porcentajes de enraizamiento si se aplican correctamente en una concentración eficaz, (2) formación de raíces más rápida, (3) aumento en la cantidad total y la calidad de las raíces, y (4) enraizamiento más uniforme. Foto de Tara Luna.

son más eficaces que cualquiera de los componentes solos. El efecto de las hormonas de enraizamiento varía ampliamente entre las especies y, en algunos casos, entre los genotipos. En general, los polvos de hormonas de enraizamiento se expresan como un porcentaje, mientras que las soluciones líquidas se expresan como partes por millón (ppm).

Generalmente, es más fácil comprar fórmulas listas para usar. Es importante recordar que todas las hormonas de enraizamiento tienen una vida útil limitada de 18 a 24 meses. Por lo tanto, al comprar o mezclar hormonas—

- Registrar la fecha de compra en el envase.
- Comprar solo lo que se piensa usar en un periodo de 18 a 24 meses. Comprar cantidades más pequeñas con más frecuencia para garantizar que la hormona de enraizamiento siga siendo eficaz.
- Mantener los envases sellados y refrigerados cuando no se utilicen para preservar la actividad de la hormona de enraizamiento.

Varios cultivadores prefieren los polvos porque hay disponibles muchos productos comerciales con diversas potencias, son fáciles de usar y se puede tratar rápidamente grandes cantidades de esquejes. El polvo se debe aplicar uniformemente en todos los esquejes; cantidades variables de polvo para enraizar se adhieren a la base de un esqueje, lo que puede afectar los resultados del enraizamiento (figura 10.15). Es necesario prestar atención a las siguientes precauciones y técnicas especiales cuando se usan los polvos:

- Usar guantes durante la aplicación.
- Transferir la suficiente cantidad de hormona a un recipiente más pequeño desde el envase principal del stock para su uso; nunca transferir la hormona no utilizada de vuelta al envase principal del stock.



Figura 10.15—Varios cultivadores prefieren las hormonas en polvo a las hormonas líquidas (A). Aplicar las hormonas en polvo de manera uniforme y consistente (B). Foto A de Thomas D. Landis y foto B de George Hernández.

- Asegurar que la base del esqueje esté húmeda que el polvo se adhiera; una técnica útil es presionar ligeramente los esquejes sobre una esponja húmeda.
- Aplicar la hormona uniformemente. Asegurarse de que los esquejes se sumerjan en el polvo a una profundidad de 0.2 a 0.4 pulg (5 a 10 mm). Cerciorarse de que las superficies cortadas y otras heridas también se cubran con la hormona de enraizamiento.
- Eliminar el exceso de polvo golpeando ligeramente los esquejes contra el lado del plato.

Los productos líquidos se formulan con alcohol y a menudo se deben diluir con bastante cuidado para lograr la potencia deseada. Algunas de las ventajas de utilizar soluciones son la disponibilidad de una amplia gama de preparaciones comerciales, en el vivero se pueden formular concentraciones específicas, y estas se pueden almacenar durante periodos más largos bajo las condiciones adecuadas. Algunos cultivadores consideran que las soluciones líquidas son más precisas que los polvos con respecto a la cantidad de hormona de enraizamiento que entra en el tejido del tallo. El procedimiento más común para tratar esquejes con productos líquidos es el método de inmersión rápida en la que la base del esqueje se sumerge en la solución durante 3 a 10 segundos. Se puede tratar todo un conjunto de esquejes a la vez (figura 10.16). Un método alternativo es remojar los esquejes durante más tiempo en una solución hormonal más diluida. Cuando se usan hormonas de enraizamiento líquidas, es importante—

- Usar guantes durante la mezcla, preparación y aplicación.
- Asegurarse de que la solución se haya diluido con precisión a la concentración correcta.
- Colocar la solución en un frasco limpio.



Figura 10.16—Varios cultivadores prefieren usar el método de “inmersión rápida” en la hormona líquida debido a que se puede tratar un conjunto de esquejes al mismo tiempo y realizando la aplicación de manera uniforme. Foto de Tara Luna.

- Asegurarse de que el tiempo de tratamiento sea constante para una tasa de aplicación uniforme y para evitar daños en el tejido vegetal.
- Cerciorarse de que los extremos basales sean uniformes para obtener una profundidad de inmersión en la solución uniforme si se sumergen conjuntos de esquejes.
- Dejar que el alcohol se evapore del tallo del esqueje antes de plantar los esquejes en la cama de propagación, un proceso que generalmente solo toma un par de minutos.
- Desechar adecuadamente cualquier solución restante, ya que está contaminada con material vegetal.

El índice óptimo de auxina para los esquejes varía según las especies de las plantas. Un buen índice inicial es 0.25 - 0.5% (2,500 - 5,000 ppm). Con el ensayo y error, este índice puede aumentar o disminuir hasta que se dé el enraizamiento óptimo para una especie particular. Longman (1993) indica índices de AIB para las siguientes especies tropicales:

- 0.2% para *Triplochiton scleroxylon*, *Triplochysia hondurensis* y varias otras especies de árboles tropicales.
- A rango de 0.05% a 0.4% para *Albizia guachapele*.
- 0.4% para *Cordia alliodora*.
- 1.0% para *Khaya ivorensis*.

Plantación, Monitoreo y Cultivo de Esquejes

La plantación directa en contenedores es más eficiente y, por lo tanto, más económica que la plantación en un ambiente especial de enraizamiento porque los esquejes solo se manipulan una vez y se evita la trasplante costosa. Los esquejes leñosos fáciles de arraigar, como muchas especies de *Erythrina*, *Gliricidia sepium* (conocido localmente como “madre de cacao” o “quick stick” en gran parte del mundo) y los propágulos de manglares, siempre se deben plantar directamente (figura 10.17). A menudo, un plantador del mismo diámetro que el tallo del esqueje es una herramienta útil para hacer agujeros en el sustrato en los cuales plantar los esquejes. Para plantar varios esquejes pequeños, se puede crear una plantilla para los agujeros introduciendo clavos a través de un pedazo de madera contrachapada con el espaciamiento y profundidad correctos. Si se usan hormonas de enraizamiento en polvo, esta práctica de crear agujeros con anticipación ayudará a evitar que la hormona se desprenda. Es necesario fomentar las siguientes prácticas al plantar esquejes:

- Usar guantes si los esquejes fueron tratados con hormonas de enraizamiento.
- Conservar la polaridad (mantener hacia arriba el extremo correcto del esqueje).
- Cuando se usen esquejes de tallo, asegurarse de que al menos dos nodos estén por debajo de la superficie del sustrato de enraizamiento.
- Si se hirieron los esquejes, asegurarse de que el tejido herido esté cubierto adecuadamente con la hormona de enraizamiento y que esté por debajo de la superficie del sustrato de enraizamiento.
- Plantar los esquejes firmemente en el sustrato de enraizamiento. Asegurarse de evitar bolsas de aire alrededor de la base del tallo.



Figura 10.18—Se debe mantener de forma cuidadosa el ambiente de propagación para garantizar que el sistema de aspersión, los temporizadores que controlan la frecuencia de la aspersión y otros equipos funcionen correctamente. Conservar el ambiente de enraizamiento lo más limpio posible durante el enraizamiento es crucial para producir plantas saludables. Foto de Tara Luna.

- Tratar de plantar los esquejes dentro de un periodo de 1 a 2 días para que todas las plantas tengan el mismo nivel de desarrollo radicular y así se puedan endurecer apropiadamente antes de cosechar.
- Colocar etiquetas antes del primer esqueje y después del último esqueje de un clon en particular o lote de esquejes.

Después de plantar los esquejes, mantener un ambiente de enraizamiento limpio (figura 10.18); inspeccionar los esquejes de forma habitual para revisar la temperatura, la humedad y los niveles de humectación apropiados y modificar según sea necesario. Comprobar que todo el equipo (incluyendo la calefacción inferior) funcione correctamente.

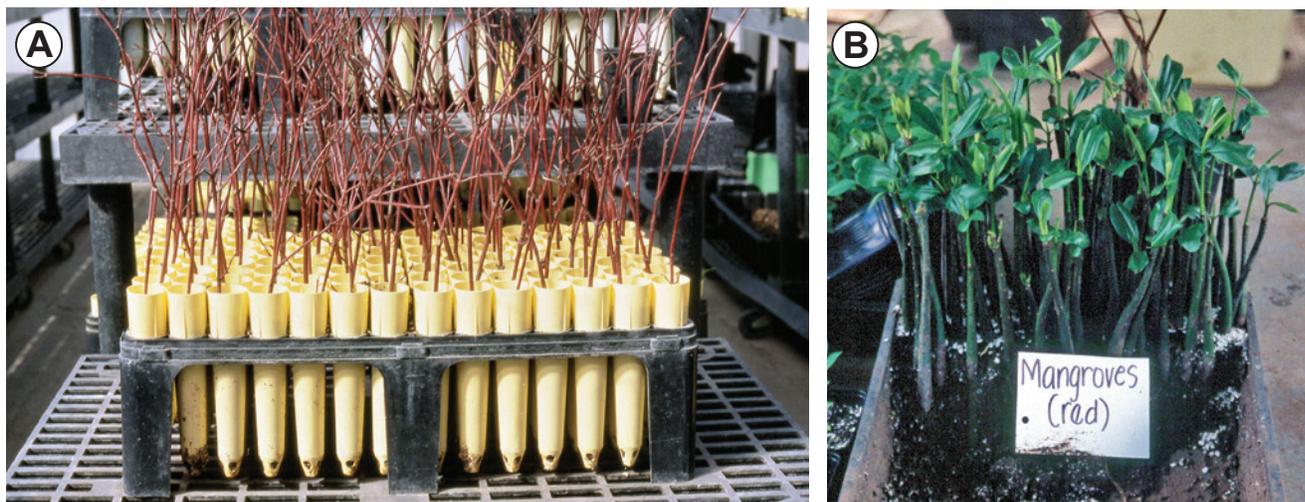


Figura 10.17— Los esquejes leñosos fáciles de arraigar (A) o los propágulos de manglares (B) se pueden plantar directamente en contenedores para enraizar y es la forma más económica de producir esquejes. Foto A de Tara Luna y foto B de Thomas D. Landis.

Condiciones Ambientales para Esquejes Plantados Directamente

En general, los esquejes leñosos fáciles de arraigar plantados directamente en contenedores se pueden tratar de igual manera que las plántulas.

Condiciones Ambientales en Ambientes Especiales de Enraizamiento

Para lograr un enraizamiento exitoso se debe prestar atención al saneamiento, la humedad relativa, la temperatura, la luz, el sustrato de enraizamiento, y a veces las micorrizas y la fertilización diluida. Ver el Capítulo 5, Ambientes de Propagación, para más información sobre los equipos necesarios para regular la humedad, la temperatura y la luz.

Saneamiento

Siempre se debe mantener el ambiente de propagación lo más limpio posible. Plantar los esquejes en un sustrato de enraizamiento esterilizado. Inspeccionar de forma habitual, y remover, hojas muertas o esquejes que podrían ser una fuente de infección de enfermedades.

Humedad

Hasta que se forme el sistema radicular, se debe mantener una humedad relativa alta en el ambiente de propagación para reducir la velocidad de pérdida de agua del esqueje. Con frecuencia, es efectiva la colocación de los esquejes bajo un sistema automático de aspersión o nebulización. Otro método es colocar los esquejes dentro de un marco cubierto con láminas de polietileno claras o blancas con una reserva de agua debajo de un sustrato de enraizamiento húmedo (Longman 1993). Los esquejes dentro de este “polipropagador” también deben regarse rociándoles agua con un atomizador a última hora de la tarde y a primera hora de la mañana, especialmente cuando el clima es cálido y seco. Si fuese posible, la temperatura del agua no debe ser significativamente más fría o más caliente que la temperatura del sustrato de enraizamiento para evitar dañar las raíces jóvenes debido a cambios repentinos de temperatura. Lograr una humedad y humectación del sustrato óptimas puede ser uno de los aspectos más desafiantes de la propagación exitosa con esquejes. Demasiada humedad puede fomentar los patógenos fúngicos y la descomposición, mientras que muy poca humedad puede resultar en una desecación letal. Es importante el monitoreo diario.

Luz y Temperatura

Es necesario proporcionar luz para la fotosíntesis para que los esquejes puedan seguir fabricando alimentos durante el enraizamiento, no obstante, demasiada luz solar puede causar altas temperaturas. Las mallas sombra con una cubierta de sombra de 30% a 50% son más efectivas para reducir la temperatura del

aire al mismo tiempo que proporcionan suficiente luz. Las mallas sombra también sirven para reducir el efecto de la lluvia al propagar al aire libre. La temperatura del aire óptima para los esquejes que están enraizando es de 68 a 80 °F (20 a 28 °C), controlar con la sombra para que la temperatura del aire no supere los 91 °F (33 °C) como máximo. Las temperaturas del sustrato de enraizamiento óptimas deben ser aproximadamente 5 °F más frías [63 a 75 °F (17 a 24 °C)] que las temperaturas del aire óptimas.

Sustrato de Enraizamiento

Un buen sustrato de enraizamiento proporciona aireación y humedad, soporta físicamente a los esquejes y promueve el desarrollo de sistemas radiculares fibrosos. Un pH de 5.5 a 6.5 es óptimo para la mayoría de las plantas, pero las plantas a las que les gustan los ácidos prefieren 4.0 a 5.0. En general, algunos de los componentes comunes de los sustratos de enraizamiento incluyen una combinación de dos o más de los siguientes: perlita en un grado grande, piedra pómez, musgo de turba Sphagnum, aserrín, arena, bonote, arenilla o virutas de corteza finas. El sustrato de enraizamiento ideal se drena libremente y no se anega debido a la aspersión de agua. Se utilizan distintos componentes para el sustrato de enraizamiento dependiendo de la especie que se propaga. La selección de los componentes del sustrato de enraizamiento influye en los porcentajes de enraizamiento y en la calidad de las raíces producidas. El uso de arena de un grado muy fino o un grado muy grueso tiende a desalentar el desarrollo de raíces secundarias. Las raíces que sí se llegan a formar tienden a ser quebradizas y se rompen durante el trasplante. Ver el Capítulo 6, Sustratos, para más detalles sobre la elaboración de un buen sustrato.

Hongos Micorrícicos

Algunos cultivadores inoculan el sustrato de enraizamiento con hongos micorrícicos u otros organismos simbióticos, lo que ha mejorado los resultados del enraizamiento con algunas especies (Scagel y otros 2003). Ver el Capítulo 13: Microorganismos Beneficiosos, para más información sobre las micorrizas.

Aspersión de Nutrientes

Algunos esquejes difíciles de arraigar pueden permanecer en un ambiente especial de enraizamiento durante un largo periodo de tiempo. Con el tiempo, los nutrientes pueden ser lixiviados de las hojas debido a la larga exposición a la aspersión fina de aspersores elevados, lo que resulta en el marchitamiento de las hojas o la caída de hojas o acículas. En estos casos, la aplicación de un fertilizante foliar completo diluido a través de la línea de aspersión puede mejorar el vigor de los esquejes y ayudar al enraizamiento. Debido a que algunas especies responden favorablemente a la aspersión de nutrientes mientras que otras se ven afectadas negativamente, se deberán realizar pruebas preliminares antes de tratar todos los esquejes. Además, tener en cuenta

que el exceso de nutrientes puede fomentar el crecimiento de musgos y algas no deseados en la superficie del sustrato.

Trasplante de Esquejes Desde Ambientes Especiales de Enraizamiento

Unas semanas después de plantar los esquejes en el ambiente de enraizamiento, se deben inspeccionar para observar el desarrollo radicular. Usando un desplantador, cavar cuidadosamente debajo del extremo inferior del esqueje y excavarlo para examinar el enraizamiento. Cuando los esquejes han desarrollado sistemas radiculares adecuados, estos deben ser endurecidos para trasplantarlos fuera del ambiente de enraizamiento. Ver el Capítulo 15, Endurecimiento, para más información. El objetivo es acondicionar a los tejidos de los tallos y las hojas, y promover el desarrollo de raíces secundarias antes del trasplante. Seguir estas pautas para endurecer los esquejes:

- Reducir gradualmente la frecuencia de aspersión durante un periodo de 3 a 4 semanas.
- Aumentar la frecuencia y la duración de la ventilación en sistemas de propagación cerrados.
- No dejar que el sustrato de enraizamiento se seque por completo.

Después de que los esquejes hayan endurecido, trasplantarlos a contenedores y transferirlos al vivero para su crecimiento adicional (figura 10.19). Debido a que los esquejes son más costosos de producir que las plántulas, es importante manipularlos con cuidado en esta etapa. Es esencial evitar los daños a la raíz siguiendo estas pautas:



Figura 10.19—Los esquejes se pueden trasplantar en contenedores y trasladarlos al vivero para su endurecimiento. Foto de Tara Luna.

- Examinar cada esqueje para garantizar que tenga un sistema radicular capaz de sostener el esqueje después del trasplante. Los esquejes con solo unas cuantas raíces delgadas o raíces muy cortas deben permanecer en la cama de propagación para continuar con el desarrollo radicular (figura 10.20A).
- Trasplantar solo en días fríos, nublados o durante las horas tempranas de la mañana para evitar la conmoción de trasplante.
- Trasplantar los esquejes en un área del vivero protegida del viento y la luz solar.
- Preparar los contenedores, los sustratos, las etiquetas y las herramientas de trasplante en exterior antes de trasplantar los esquejes.
- Humedecer el sustrato antes de trasplantar para evitar que las raíces tiernas se sequen.
- Retirar los esquejes del sustrato de enraizamiento con cuidado y retirar solo unos cuantos a la vez para que las raíces no se sequen. Envolver holgadamente una hoja de papel toalla húmeda alrededor de los sistemas radiculares hasta que se trasplanten.



Figura 10.20—Los esquejes deben tener desarrolladas suficientes raíces que puedan soportar al esqueje después de que se levante y sea trasplantado fuera de la cámara de aspersión o del polipropagador (A). Se deben dejar los esquejes con raíces subdesarrolladas en la cama de propagación durante más tiempo para desarrollar una masa de raíces adecuada (B). Fotos de Tara Luna.

- Manipular los esquejes con cuidado sujetando el esqueje por el tallo y dejando cualquier sustrato de enraizamiento todavía adherido a la masa de la raíz. No agitar el sustrato para que se separe el sistema radicular.
- Llenar el contenedor parcialmente con sustrato humedecido antes de insertar el esqueje. Después, añadir sustrato humedecido adicional y presionar suavemente el sustrato con los dedos sin romper las raíces (figura 10.20B).
- No trasplantar los esquejes demasiado profundos o demasiado poco profundos.

Después de trasplantar los esquejes, estos se deben colocar en una casa sombra o ser protegidos contra el sol pleno y el viento durante por lo menos 2 semanas. Cuando los esquejes parezcan estar bien arraigados, gradualmente aumentar el nivel de luz solar moviéndolos a un área distinta del vivero o cambiando la malla sombra por una con un tejido más abierto. Después de un par de semanas, mover a las especies que necesitan sol hacia el sol pleno. Los esquejes deben supervisarse estrechamente para detectar cualquier signo de estrés. Se necesita una luz solar adecuada para el crecimiento de nuevos brotes y la acumulación adecuada de carbohidratos antes del trasplante en exterior.

Otros Métodos de Propagación a Vegetativa

Además de los tallos y las raíces, otras partes de las plantas madre se pueden usar para propagar vegetativamente nuevas plantas hijas y los tallos se pueden usar de otras maneras distintas a los esquejes enraizados tradicionales.

Acodo

El acodo es una técnica por la cual se forman raíces adventicias en un tallo mientras todavía está unido a la planta. A menudo, el acodo se produce naturalmente sin la ayuda de un propagador. Se utiliza principalmente en aquellas especies que no pueden arraigar a partir de esquejes de tallo o raíz. En los viveros tropicales comúnmente se usan cuatro tipos de acodo: acodo simple, acodo en trinchera, acodo aéreo y acodo en montículo. Además, el enterrado y el apilado son otras dos técnicas de acodo que se podrían utilizar.

Acodo Simple

El acodo simple se usa en especies que producen varios brotes anualmente. Los brotes largos y flexibles que crecen en la parte inferior se sujetan en el suelo de 6 a 9 pulg (15 a 23 cm) desde la punta del brote, formando una "U" (figura 10.21A). La parte inferior del tallo en U se ciñe con un cuchillo afilado y se cubre con tierra, aserrín o algún otro mantillo orgánico, dejando la punta expuesta. Después de que se forme un sistema radicular suficiente, la planta nueva puede ser separada de la planta donante (figura 10.21B).

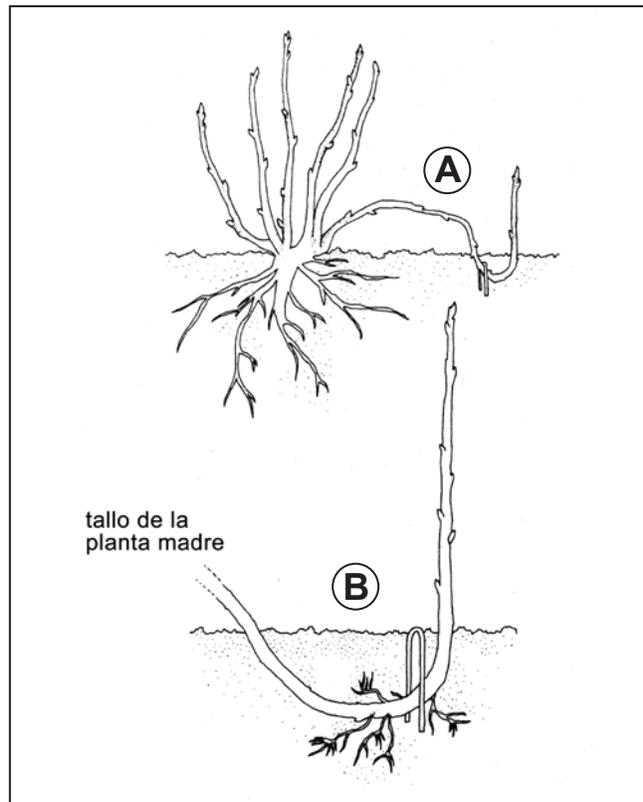


Figura 10.21—En el acodo simple, el tallo de una planta madre se sujeta y se cubre con tierra o un mantillo orgánico (A). Las plantas nuevas se pueden cortar después de que haya suficientes brotes o desarrollo radicular (B). Gráfico cortesía de Bruce McDonald y Timber Press, Inc.

Acodo en Trinchera

El acodo en trinchera es similar al acodo simple, pero utiliza una única rama larga que se sujeta con clavijas en la superficie del suelo (figura 10.22A). Después de un periodo de tiempo, se retiran las clavijas y la rama se deposita en una trinchera y se entierra hasta las puntas de los brotes con tierra bien aireada y aserrín o mantillo (figura 10.22B). Después de soterramientos repetidos, cada brote a lo largo del tallo formará raíces para el segundo año (figura 10.22C) y puede ser separado de la planta madre (figura 10.22D).

Acodo Aéreo

El acodo aéreo es útil para producir algunas plantas de un tamaño relativamente grande. Una ventaja del acodo aéreo es que el acodo enraizado será fisiológicamente de edad similar que la planta progenitora y por lo tanto florecerá y dará frutos más pronto que una plántula o esqueje. El acodo aéreo se utiliza principalmente en especies de frutas tropicales, como el lichi, y para propagar especies tropicales raras y en peligro de extinción. Para un enraizamiento óptimo, los acodos aéreos se realizan en brotes producidos durante la temporada anterior, o durante la fase intermedia o final de la temporada de crecimiento activo en

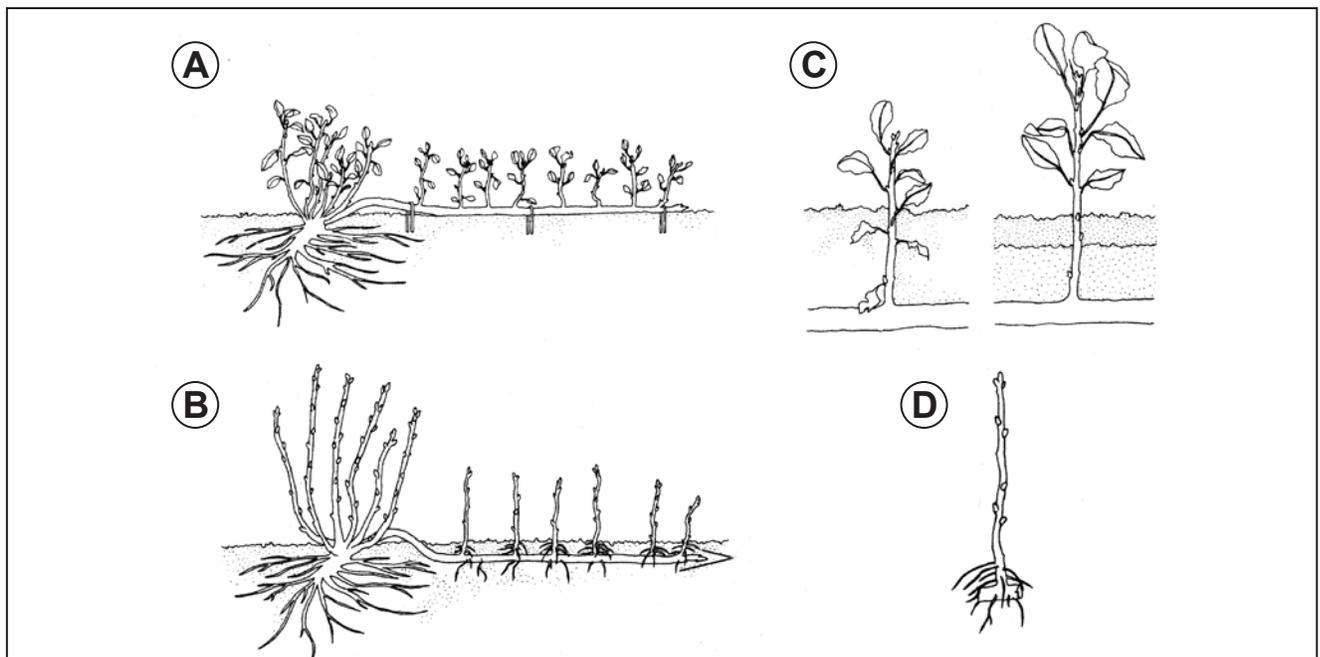


Figura 10.22—El acodo en trinchera consiste en sujetar con clavijas una rama larga sobre la superficie del suelo y permitir que se desarrollen nuevos brotes (A). Después de un periodo de tiempo, la rama se entierra en una trinchera más profunda para fomentar el desarrollo de raíces en cada nuevo brote (B). Los soterramientos repetidos (C) producen un desarrollo radicular suficiente para poder separar a las plantas de la planta madre (D). Gráfico cortesía de Bruce McDonald y Timber Press, Inc.

brotos del crecimiento de la temporada actual (figura 10.23). Para las plantas leñosas, los mejores son los tallos con un diámetro del tamaño de un lápiz o más grandes. Se elige un área directamente debajo de un nudo, por lo general a aproximadamente 1 pie (30 cm) de la punta. Se retiran las hojas y las ramitas del tallo de 3 a 4 pulg (7 a 10 cm) por encima y por debajo de este punto. Las técnicas de acodo aéreo difieren ligeramente dependiendo de si la especie es una monocotiledónea o dicotiledónea.

Los siguientes pasos describen el acodo aéreo de las monocotiledóneas:

- Hacer un corte ascendente de 1.0 a 1.5 pulg (2 a 4 cm) atravesando un tercio del tallo.
- Mantener el corte abierto con un palillo o cerillo de madera.
- Envolver la herida con musgo Sphagnum sin moler (aproximadamente un puñado) humedecido que ha sido empapado en agua y exprimido para eliminar el exceso de humedad.
- Envolver el musgo con plástico y sujetarlo en el lugar con plastinudos o cinta aislante. El musgo no se debe extender más allá de los extremos del plástico.
- Atar firmemente cada extremo del plástico para retener la humedad y evitar que entre agua. Si va a estar expuesto al sol, el plástico debe estar bajo sombra.

Los siguientes pasos describen el acodo aéreo de las dicotiledóneas:

- Con un cuchillo afilado, hacer dos cortes paralelos a una distancia de aproximadamente 1 pulg (2.5 cm) alrededor del tallo y a través de la corteza y la capa de cámbium.
- Conectar los dos cortes paralelos con un corte largo.
- Retirar el anillo de la corteza, dejando el tejido leñoso interno expuesto.
- Raspar el anillo recién expuesto para extraer el tejido cambial para evitar que se forme un puente de tejido calloso.
- A veces, es beneficioso la aplicación de una sustancia que promueva las raíces en la herida expuesta.
- Envolver y cubrir utilizando el mismo procedimiento descrito para las monocotiledóneas.

Tanto para las monocotiledóneas como para las dicotiledóneas, el tallo se corta por debajo del sustrato después de que el sustrato de enraizamiento se llene de raíces (figura 10.23D). Luego, el acodo se planta en una maceta y se debe mantener a la sombra con la humedad adecuada hasta que el sistema radicular se desarrolle más.

Acodo en Montículo

El acodo en montículo o corte y recalce implica la selección de una planta de stock joven (figuras 10.24A, 10.24B) y el corte de sus brotes a 2 a 4 pulg (5 a 10 cm) sobre el nivel del suelo (figura 10.24C). Numerosos brotes se desarrollan en temporadas de crecimiento consecutivas y se cubren hasta la mitad de su altura con tierra, aserrín u otro mantillo orgánico (figura 10.24D). Este procedimiento se repite tres



Figura 10.23—Después de herir el tallo, se crea una capa de aire envolviendo el área con musgo de turba (A), luego se rodea esta área del tallo con una envoltura de plástico (B) y se sellan los extremos (C). Después de que el acodo ha arraigado (D), se puede separar del tallo y plantar en una maceta. Fotos de Thomas D. Landis.

veces a medida que los brotes crecen de modo que, al final de la segunda o tercera temporada de crecimiento, los brotes bien arraigados se desentierren y están listos para ser plantados como individuos (figuras 10.24E, 10.24F).

Acodo Enterrado

El acodo enterrado (drop layering) es muy similar al de montículo. Este conlleva plantar plantas de contenedor bien ramificadas profundamente en el suelo con solo las puntas de las ramas expuestas. Los nuevos brotes se forman a partir de las puntas expuestas de las ramas, pero las partes enterradas de los tallos forman raíces a lo largo de los tallos.

Acodo Apilado

El acodo apilado (stacked layering) es un nuevo método de propagación vegetativa para las especies rizomatosas (Landis y otros 2006). Esta técnica aprovecha el crecimiento rápido y extenso de las raíces de las plántulas y el hecho de que las raíces cortadas formarán nuevos brotes. En la primavera, se crea una pila de contenedores Styrofoam™ con una maceta de 1 galón que contiene una plántula insertada en el bloque superior. Los contenedores Styrofoam™ de la parte inferior están llenos de sustrato con una fina capa de sus-

trato entre los bloques (figura 10.25A). Después de varios meses, las raíces de la planta madre habrán crecido hacia abajo y colonizado las cavidades en los bloques inferiores. Pasar un cuchillo afilado entre los contenedores Styrofoam™ para cortar las raíces, luego estas formarán nuevos brotes (figura 10.25B). Después de unos meses, las nuevas plantas pueden ser trasplantadas a macetas más grandes. Se puede colocar otro conjunto de contenedores Styrofoam™ debajo del bloque con la planta madre para iniciar otro ciclo de propagación.

Raíces Tuberosas, Tubérculos, Rizomas y División de la Corona

Las raíces tuberosas, los tubérculos y los rizomas son estructuras vegetales especializadas que funcionan en el almacenamiento de alimentos, nutrientes y agua. Muchas especies tropicales culturalmente importantes, que no son fáciles de cultivar a partir de semillas, tienen estas estructuras.

Las raíces tuberosas son raíces secundarias hinchadas. Separar cada raíz tuberosa que tiene una sección de la corona que tiene una yema de brote produce nuevas plantas. La yuca, el ñame y las batatas, los cuales se cultivan extensamente en toda la Polinesia, producen raíces tuberosas.

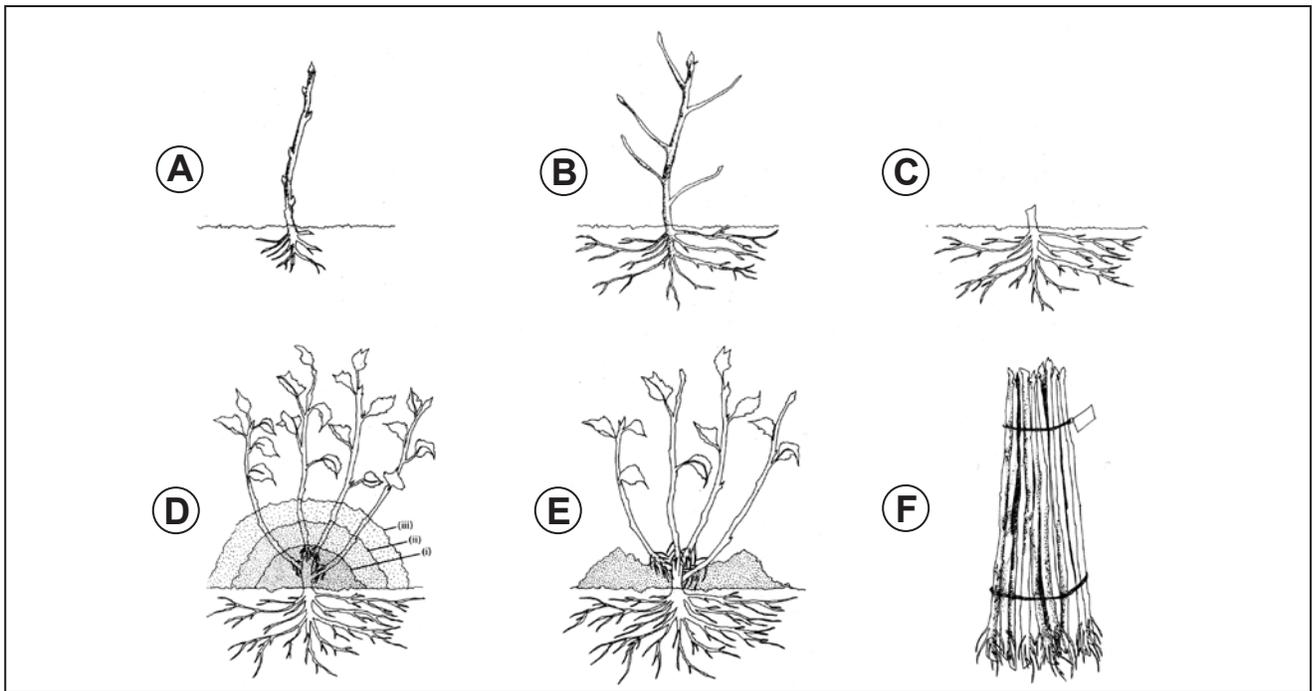


Figura 10.24—El acodo en montículo o de corte y recalce implica la selección de una planta de stock joven (A, B) y el corte sus brotes (C). Después de que se desarrollan brotes nuevos, estos se cubren hasta la mitad de su altura con tierra, aserrín u otro mantillo orgánico; este procedimiento se repite tres veces (D), fomentando el desarrollo de las raíces en los brotes nuevos (E). Después de 2 o 3 temporadas de crecimiento, los brotes bien arraigados están listos para ser plantados como individuos (F). Gráfico cortesía de Bruce McDonald y Timber Press, Inc.

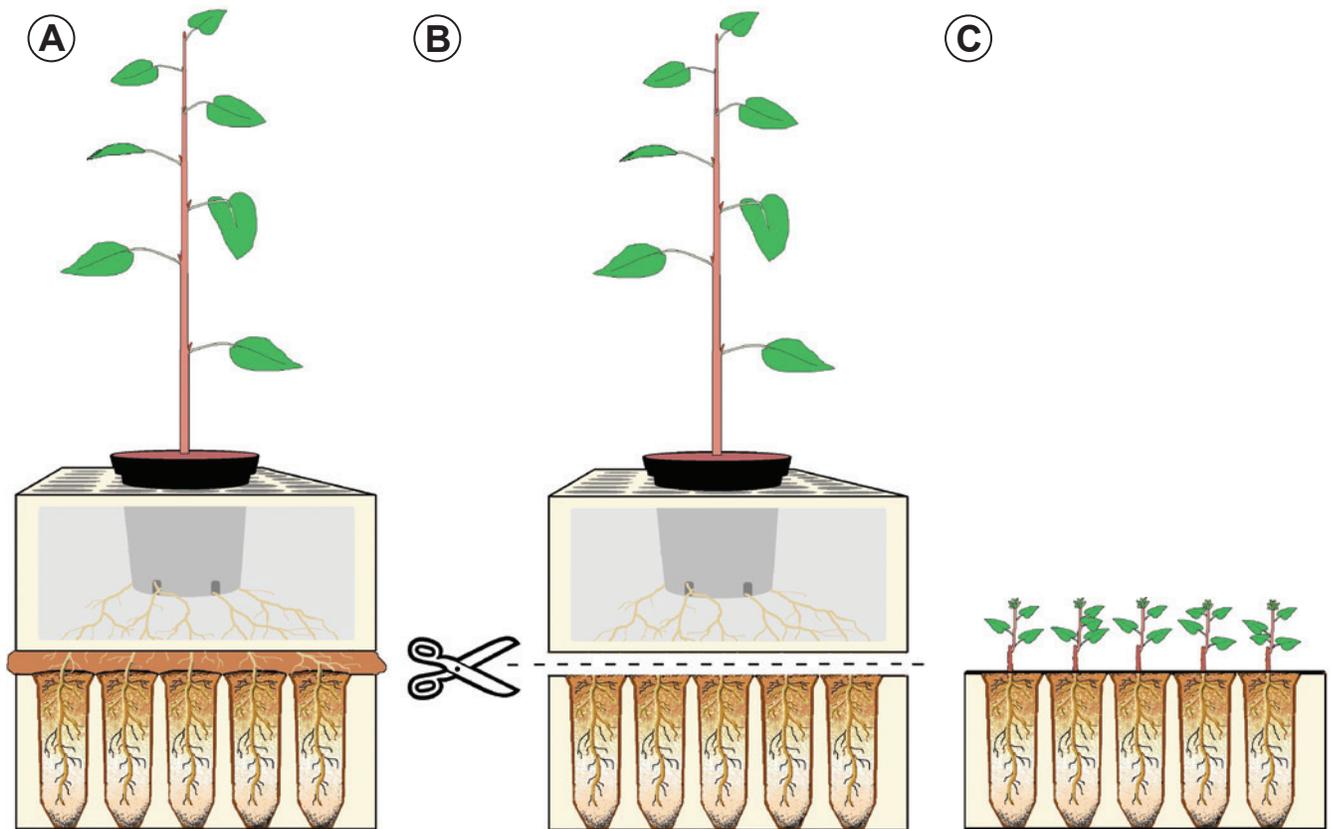


Figura 10.25—Las raíces de la planta madre crecen hacia abajo a través de las cavidades de los contenedores Styrofoam™ apilados (A). Luego las raíces se cortan (B) y después de eso desarrollan brotes nuevos (C). Adaptado de Landis y otros (2006).

Los tubérculos son tallos modificados hinchados que sirven como órganos de almacenamiento bajo tierra. Un tubérculo común bien conocido es la patata blanca. Los “ojos” de las patatas blancas son en realidad nudos que contienen yemas. La propagación por tubérculos implica plantar todo el tubérculo o dividirlo en secciones que contengan por lo menos un ojo o yema. La pia, el taro, el wapato y la oreja de elefante son ejemplos de especies tropicales que producen tubérculos.

Los rizomas son tallos especializados en los que el eje principal de la planta crece horizontal o verticalmente en o por debajo de la superficie del suelo. Varias especies tropicales nativas, como las begonias nativas, se reproducen mediante rizomas y se propagan fácilmente en grandes cantidades a partir de unas cuantas plantas de vivero a través de las divisiones. Los rizomas varían en longitud y tamaño según la especie. Los rizomas se cortan en secciones, cada una conteniendo por lo menos una yema de brote o un brote activo; algunas raíces están adheridas a la parte inferior de los rizomas y se plantan en contenedores individualmente. Los rizomas también se pueden plantar en camas de vivero y utilizarse como fuente de stock a raíz desnuda para la plantación o para usos culturales como la confección de cestos.

La división de la corona es un método importante para propagar muchas plantas perennes herbáceas nativas que producen múltiples hijuelos a partir de la corona. Usualmente, la división de la corona se realiza justo antes del crecimiento activo y la floración. Las plantas se desentierran y se cortan en secciones con un cuchillo afilado, cada una con una porción substancial del sistema radicular, y se trasplantan individualmente.

Estolones, Brotes Rastreros e Hijuelos

Los estolones, los brotes rastreros y los hijuelos son estructuras especializadas de la planta que facilitan la propagación por acodo. Los estolones son tallos modificados que crecen horizontalmente por encima de la línea del suelo y que producen una masa de tallos. Los brotes rastreros son tallos especializados que surgen de la corona de la planta y crecen horizontalmente a lo largo del suelo y que producen una plántula en uno de los nudos. Las camas elevadas plantadas con especies con estolones o brotes rastreros pueden ser una fuente interminable de material de propagación, y las plantas se pueden excavar y plantar en macetas individualmente o trasplantar stock a raíz desnuda.

A menudo, las plantas con rosetas se reproducen formando nuevos brotes, llamados hijuelos, en la base del tallo principal o en las axilas foliares. Los hijuelos se cortan cerca del tallo principal de la planta con un cuchillo afilado. Si está bien enraizado, un hijuelo se puede plantar en una maceta de forma individual. El plátano y el banano a menudo se propagan con hijuelos (figura 10.26). Separar los brotes nuevos



Figura 10.26—El plátano y el banano a menudo se propagan con hijuelos. Foto de Ronald Overton.

de la planta madre después de que hayan desarrollado sus propios sistemas radiculares. Los hijuelos no arraigados de algunas especies se pueden retirar y colocar en un sustrato de enraizamiento. Algunos de estos hijuelos se deben cortar, mientras que otros pueden simplemente ser levantados del tallo progenitor.

Injertación y Gemación

La injertación es el arte de conectar dos pedazos de tejidos vegetales vivos, la púa y el portainjerto, juntos de tal manera que se unirán y crecerán como una sola planta. La injertación se usa principalmente en los trópicos para el mango, los cítricos, otras frutas tropicales y en huertos de semillas de árboles forestales. En Hawái, la injertación se ha utilizado para propagar la especie *Kokia cookei*, altamente amenazada (figura 10.27). También se utiliza para reparar o sobreinjertar árboles existentes para cambiar variedades, así como para producir nuevas plantas.

La púa es un pedazo de brote corto que incluye varias yemas de brotes, el cual al unirse con el portainjerto forma la parte superior de la planta. El portainjerto es la parte inferior del injerto y se

convierte en el sistema radicular. Si la injertación se realiza en lo alto del árbol, el portainjerto incluye las raíces, el tronco principal y las ramas de andamio. El portainjerto puede ser una plántula, un esqueje enraizado o un árbol más antiguo.

La gemación es una injertación usando una púa con una sola yema adherida a un pedazo de corteza. Puede o no incluir una tajada de madera delgada debajo de la corteza. La gemación es la técnica más utilizada para propagar plantas nuevas, pero también se utiliza para sobreinjertar árboles existentes para una nueva variedad.

El portainjerto y la púa deben ser compatibles para que el injerto tenga éxito. La compatibilidad nunca es un problema al



Figura 10.27—La injertación ha sido utilizada para propagar especies altamente amenazadas en Hawái. En la figura se muestra: púa de *Kokia cooki* injertada en un portainjerto de *Kokia drynarioides*. Foto de Tara Luna.

realizar una injertación con un clon. La injertación entre clones dentro de una especie es generalmente exitosa. La injertación entre especies en un género es a veces exitosa y se ve con mayor frecuencia en el género *Citrus*. La injertación entre géneros dentro de una familia de plantas se realiza muy pocas veces y las posibilidades de éxito son escasas. La injertación entre familias de plantas es imposible para las plantas leñosas.

Además de la compatibilidad, existen varios factores que contribuyen a una exitosa unión por injerto o gemación. Se debe colocar y sujetar en contacto íntimo el cámbium vascular de la púa con cámbium vascular del portainjerto. La operación de injertación se debe realizar en un momento en que tanto el portainjerto como la púa están en la etapa fisiológica correcta. Inmediatamente después de la injertación, se debe proteger de la desecación a todas las superficies cortadas. La ruptura de la unión entre la púa y el portainjerto por lo general se manifestará en injertos fallidos. Los injertos pueden fallar porque el portainjerto y la púa no son compatibles, el portainjerto y la púa no están unidos correctamente, el portainjerto o la púa no están en el estado fisiológico apropiado, o los tejidos injertados se secaron antes de que puedan crecer juntos.

Algunas especies injertadas exhiben un flujo excesivo de savia (sangrado) en ciertas épocas del año. Usualmente, el sangrado excesivo del portainjerto causa la falla del injerto. Es esencial mantener los injertos recién realizados a una temperatura de 90 °F (32 °C) o menos con alta humedad. La unión del injerto también se debe proteger contra el secado excesivo o los vientos. En general, cuanta más experiencia tenga la persona que realiza la injertación, mejor será el índice de éxito.

Herramientas para la Injertación

Las herramientas necesarias para la injertación son cuchillos afilados, piedras para afilar, tijeras para podar y sierras. Estas herramientas se deben mantener muy limpias y utilizarse solo para injertaciones. Los cuchillos deben estar muy afilados para minimizar las lesiones a la púa o portainjerto. Los cuchillos sin filo pelan y rasgan la madera, dejando cortes que no sanan correctamente. Los materiales como la cera de parafina, las bandas de caucho y la cinta para injertar pueden proteger los tejidos injertados y sellar las superficies cortadas del injerto. En climas más secos, se usan envolturas de papel aluminio y bolsas de plástico con plastinudos para proteger el injerto y proporcionar un poco de humedad adicional alrededor del injerto durante la unión.

Recolección de Material para Púas

Usualmente, la gemación es el método de injertación preferido. Para tener éxito, es importante recolectar material para púas con yemas foliares y no botones florales. Una rama pequeña que contenga varias yemas adecuadas para la

injertación se conoce como vareta portadora de yemas. Se debe recolectar las varetas portadoras de yemas cuando los árboles tengan yemas bien desarrolladas. Si las yemas han comenzado a hincharse o a crecer, la madera no se puede usar con éxito. Seleccionar árboles progenitores de la variedad deseada que no tengan enfermedades. Escoger varetas portadoras de yemas rectas y lisas provenientes de una madera de 1 año de antigüedad, que tengan un diámetro entre 0.25 a 0.50 pulg (6 a 13 mm) y que contengan por lo menos tres yemas o nudos. Por lo general, las mejores varetas portadoras de yemas provienen de la cubierta forestal interior del árbol. Sellar aproximadamente 6 mm del extremo de cada vareta portadora de yemas con cera derretida o pasta selladora para injertos. Cuando el sellado se seque, atar las varetas portadoras de yemas formando paquetes y envolver cada paquete con hojas de papel toalla húmedas o virutas de madera húmedas para evitar la desecación. Etiquetar cada paquete. Los paquetes y el material de envoltura se pueden mantener dentro de bolsas de plástico. Conservar los paquetes lo más frescos posible y no permitir que se sequen.

Tipos de Gemación

La gemación de lengüeta funciona bien y se puede realizar siempre que hay disponibles yemas maduras. La gemación de lengüeta se utiliza bastante para la propagación de cítricos. Los cortes en la púa y el portainjerto deben ser exactamente iguales. El primer corte en la púa y el debajo de una yema y se continúa hacia abajo en un ángulo de 45 grados a una profundidad de aproximadamente 0.12 pulg (3 mm). El segundo corte se inicia aproximadamente a la misma distancia sobre la yema y el cuchillo se impulsa hacia abajo para alcanzar el primer corte. Si la púa de la yema resulta ser más estrecha que el agujero del portainjerto, alinear un lado de la púa de la yema firmemente contra el corte en el portainjerto. Las distancias exactas por encima y por debajo de la yema de la púa dependerán de la especie. Todo el injerto debe ser envuelto con cinta de polietileno transparente muy delgada (2 mils) para evitar la desecación. Si no hubiese disponible cinta transparente, el injerto se puede envolver con bandas de caucho y mantener en un lugar fresco y sombreado con alta humedad. La clave está en no dejar que la yema se seque.

Usualmente, la gemación de escudete se realiza durante el crecimiento activo. Al igual que con la gemación de lengüeta, debe haber yemas maduras en la púa y la madera debe tener corteza que “resbale.” Una corteza que “resbale” se pelará fácilmente en una capa uniforme, sin desgarrarse, desde la madera subyacente. El momento apropiado para realizar este paso depende de la especie y del clima local. El primer corte en el portainjerto es horizontal. El segundo corte, aproximadamente dos veces más largo que el primero, es vertical, originándose cerca del punto medio del

corte horizontal. En el lugar donde se encuentran los cortes, usar el cuchillo con sumo cuidado para abrir ligeramente solapas de corteza. En la púa, separar la hoja debajo de la yema, pero retener algunos de los pecíolos. Realizar el primer corte aproximadamente 0.5 pulg (12 mm) debajo de la yema y sacar el cuchillo hacia arriba justo debajo de la corteza hasta un punto a aproximadamente 0.25 pulg (6 mm) sobre la yema. Sujetar el pecíolo y hacer un segundo corte horizontal a lo largo de la vareta portadora de yemas para que se entrecruce con el primer corte. La yema y su madera acompañante de alojamiento, denominado escudete, se inserta debajo de las “solapas” en el portainjerto y se desliza hacia abajo para asegurar que la púa tenga un contacto íntimo con el portainjerto. Usar bandas de caucho para sujetar firmemente juntos el tallo, las solapas y el escudete. No cubrir la yema.

Finalización del Injerto

Las superficies injertadas se deben mantener firmemente en su lugar utilizando bandas de caucho o cinta para injertar. Esta envoltura se debe desintegrar por el desgaste (como sucede con las bandas de caucho) o se debe retirar de 2 a 3 semanas después de que sane la unión. Si el material no se desintegra y no se retira, se ceñirá al portainjerto. Después de que sane la unión, se debe cortar y sacar la parte del portainjerto encima del injerto para forzar a la yema de la púa a crecer. Eliminar los retoños no deseados tan pronto como sean visibles. Los retoños no deseados se pueden frotar y retirar fácilmente con los dedos.

Micropropagación

La micropropagación es un proceso utilizado para propagar plantas usando técnicas de cultivo de tejidos muy especializadas. El cultivo de tejidos es un procedimiento para mantener y desarrollar tejidos y órganos vegetales en un cultivo aséptico en el que se controla estrictamente el ambiente, los nutrientes y los niveles de hormonas. Un pequeño pedazo de material vegetativo llamado explanto se utiliza para crear una nueva, planta entera. Especies nativas tropicales raras o altamente amenazadas han sido micropropagadas para aumentar el número de individuos para proyectos de restauración cuando otros métodos de propagación han sido limitantes o han fallado. La micropropagación también se ha utilizado como método para ofrecer plantas en la industria de los viveros con el fin de protegerlas de la recolección ilegal y la eventual extirpación de poblaciones silvestres (figura 10.28). La micropropagación funciona bien para algunas especies y mal para otras. Para algunas plantas nativas, como las orquídeas, es una de las únicas opciones para una propagación exitosa. La mayoría de los viveros de plantas nativas no tienen instalaciones complejas para el cultivo de tejidos debido al alto costo, no obstante, se puede realizar una micropropagación a pequeña escala con un equipamiento mínimo en una sala limpia.



Figura 10.28—Las especies como el taro han sido micropropagadas para perpetuar ciertos clones y abastecer a los stocks de viveros sin enfermedades. Foto de Tara Luna.

Referencias

Landis, T.D.; Dreesen, D.R.; Dumroese, R.K. 2003. Sex and the single *Salix*: considerations for riparian restoration. *Native Plants Journal*. 4: 111–117.

Landis, T.D.; Dreesen, D.R.; Pinto, J.R.; Dumroese, R.K. 2006. Propagating native Salicaceae for riparian restoration on the Hopi Reservation in Arizona. *Native Plants Journal*. 7: 52–60.

Landis, T.D.; Tinus, R.W.; Barnett, J.P. 1999. The container tree nursery manual: volume 6, seedling propagation. *Agriculture Handbook 674*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 167 p.

Longman, K.A. 1993. Rooting cuttings of tropical trees: propagation and planting manuals, volume 1. London, United Kingdom: Commonwealth Science Council. 137 p.

Scagel, C.F.; Reddy, K.; Armstrong, J.M. 2003. Mycorrhizal fungi in rooting substrate influences the quantity and quality of roots on stem cuttings of hick's yew. *HortTechnology*. 13: 62–66.