



Calidad del Agua y Riego

Thomas D. Landis y Kim M. Wilkinson

11

El agua es el factor biológico más importante que afecta el crecimiento y la salud de las plantas. El agua es esencial para casi todos los procesos de las plantas: la fotosíntesis, el transporte de nutrientes y la expansión y el desarrollo de las células. De hecho, entre el 80% y el 90% del peso de una plántula está compuesta por agua. Por lo tanto, la gestión del riego es el aspecto más crítico de las operaciones del vivero (figura 11.1). En los viveros tropicales, la gestión del agua depende del clima local. Encontrar y almacenar agua de alta calidad es un reto en los climas secos, mientras que controlar la alta humedad puede ser un problema en los trópicos húmedos.

Determinar cómo, cuándo y cuánto regar es una parte crucial de la planificación del vivero y de las operaciones diarias. Un solo riego olvidado puede causar graves daños e incluso la muerte de las plantas, especialmente durante la fase de arraigo. El riego adecuado es especialmente importante en el caso de las plantas en contenedor, cuyas raíces no pueden acceder al agua más allá del contenedor y, por lo tanto, dependen por completo de recibir suficiente agua a través del riego. El riego y la humedad excesivos también son problemáticos; son una de las principales causas de las enfermedades de las raíces y contribuyen a otros problemas de crecimiento de las plántulas.

Los viveros tropicales suelen cultivar una amplia gama de especies con diferentes necesidades de agua. Además, las distintas fases de crecimiento de las plantas (arraigo, crecimiento rápido y endurecimiento) requieren diferentes regímenes de riego. El diseño de un sistema de riego eficaz y eficiente se basa en qué tipos de prácticas y sistemas de riego satisfacen mejor las necesidades de las plantas en cada fase de desarrollo. El vivero puede tener varias áreas de propagación y sus correspondientes zonas de riego que satisfagan las necesidades cambiantes de las plantas durante todas las fases de crecimiento. Por ejemplo, el mismo vivero puede tener una cámara de nebulización para la fase de germinación, un sistema de subirrigación en la zona de crecimiento, una selección de plantas raras que reciben riego manual diario y algunas plantas grandes bajo líneas de goteo. El mejor diseño para cualquier sistema de riego surgirá de la comprensión de las necesidades de las plantas, los factores que afectan a la disponibilidad de agua y los detalles de cómo, cuándo y por qué regar.

Página opuesta: *El agua es un recurso precioso y el factor biológico más importante para la salud y el crecimiento de las plantas. Cascadas Pe'epe'e, Parque Estatal del Río Wailuku, Hawái. Foto de Douglass F. Jacobs..*

Fuentes de Agua de Riego

Los viveros de plantas tropicales pueden utilizar agua de diferentes fuentes, como ríos, estanques o embalses, agua de lluvia, agua subterránea y fuentes municipales. Los nuevos viveros deben evaluar la cantidad, la calidad y la disponibilidad de todas las fuentes potenciales de agua. Las aguas superficiales, como los ríos y arroyos, suelen embalsarse o desviarse a estanques con capacidad suficiente para satisfacer la demanda de agua del vivero. Las aguas subterráneas pueden bombearse para el uso del vivero, pero generalmente el agua se almacena en un estanque o embalse. Tanto en el caso de las aguas superficiales como en el de las subterráneas, es necesario realizar un estudio hidrológico y un análisis de los derechos de agua locales antes de desarrollar el vivero. Las fuentes de agua superficial que han pasado por terrenos agrícolas deben ser analizadas para detectar plagas o herbicidas transmitidos por el agua y puede ser necesario tratarlas. Se ha detectado una gran variedad de plagas de viveros en los suministros de agua, incluidos hongos, nematodos, virus y bacterias (Zeng y otros 2009). Los hongos del moho del agua (especies de *Pythium* y *Phytophthora*) son particularmente destructivos porque tienen una fase móvil.

El agua municipal puede utilizarse para los viveros, pero puede haber sido tratada químicamente con cloro o flúor. Los bajos niveles de cloración protegen contra los patógenos humanos, y los estudios han demostrado que el agua con 2 ppm de cloro libre no daña a las especies leñosas (Cayanan y otros 2008). El flúor se añade al agua potable de algunos municipios en torno a 1 ppm para prevenir las caries en los niños (Fawell y otros 2006). Se ha documentado la fitotoxicidad del flúor en algunas plantas de vivero. En un vivero hawaiano se han registrado daños en las hojas de las plantas de ti (*Cordyline fruticosa*), y el vivero recomienda que el agua de riego contenga menos de 0.25 ppm de flúor (Kaa-puni Nursery 2011).

El agua de lluvia es una atractiva fuente de agua de alta calidad para los viveros tropicales si se puede almacenar suficiente para satisfacer todas las necesidades. En las zonas de alta pluviosidad, el agua puede recogerse de los tejados de los edificios y almacenarse en tanques hasta que se



Figura 11.1—El suministro de agua de buena calidad es uno de los requisitos más importantes para un vivero de plantas nativas. Foto de Brian F. Daley.

necesite. En el vivero de plantas nativas del Parque Nacional de los Volcanes, en Hawái, se está utilizando un sistema especial de recogida de agua de lluvia para suministrar el agua de riego (figura 11.2A). En estos sistemas a nivel del suelo, el agua debe bombearse para generar suficiente presión a fin de hacer funcionar los aspersores del vivero. En las regiones montañosas, el agua de lluvia puede recogerse y almacenarse en estanques o tanques situados por encima del vivero. La diferencia de altitud puede generar suficiente presión de agua para hacer funcionar pequeños microaspersores o sistemas de riego por goteo en un vivero. La presión del agua puede calcularse (figuras 11.2B, 11.2C) o medirse directamente en el punto de uso del vivero. Una discusión completa de todos los tipos de diseños y cálculos de riego está disponible en Stetson y Mecham (2011).

Ventajas de un Sistema de Riego Bien Diseñado

- Mejor calidad y salud de las plantas
- Menores costes de mano de obra
- Mayor uniformidad y fiabilidad de los cultivos
- Reducción de la escorrentía y del desperdicio de agua

Atributos de una Buena Gestión de Aguas

- Fuente de agua fiable
- Uso eficiente del agua
- Enfoque flexible adaptado a las necesidades cambiantes de las especies cultivadas y a sus fases de desarrollo
- Reutilización, reciclaje y gestión responsables de cualquier agua de escorrentía

Calidad del Agua

La calidad del agua de riego es un factor crítico en la selección inicial del emplazamiento y afecta todas las fases de la administración del vivero. La mejora de la calidad del agua de riego es costosa, a menudo prohibitiva. Por lo tanto, la calidad del agua debe ser una consideración primordial durante la evaluación del emplazamiento del vivero.

A efectos de riego, la calidad del agua se determina por dos factores:

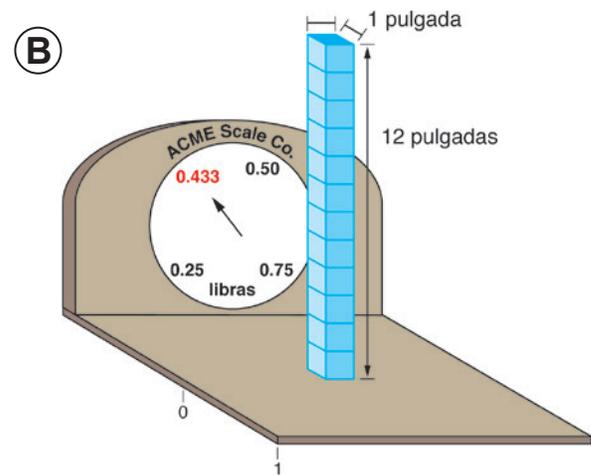
- Los tipos y concentraciones de sales disueltas (salinidad total e iones tóxicos individuales).
- Las plagas (hongos patógenos, semillas de malas hierbas, algas y posible contaminación por plaguicidas).



Sales

A nuestros efectos, una sal puede definirse como un compuesto químico que libera partículas cargadas llamadas iones cuando se disuelven en agua. Algunas sales son fertilizantes que aumentan las tasas de crecimiento de las plantas, mientras que otras sales pueden reducir el crecimiento o incluso causar daños o la muerte. Por ejemplo, el cloruro de sodio (sal de mesa común) se disuelve en iones nocivos que pueden dañar o incluso matar el tejido vegetal.

Un exceso de sales disueltas en el agua de riego de los viveros puede obstruir las boquillas (figura 11.3A), acumularse en el sustrato y, finalmente, dañar el tejido vegetal (figura 11.3B). El síntoma más característico de la alta salinidad es la quemadura o chamuscado de los bordes o puntas de las hojas (figura 11.3C). Los síntomas pueden variar según la especie,



Una columna de agua de una pulgada cuadrada pesa 0.433 libras. Por lo tanto, la presión del agua en la base de la columna mide 0.433 libras por pulgada cuadrada.

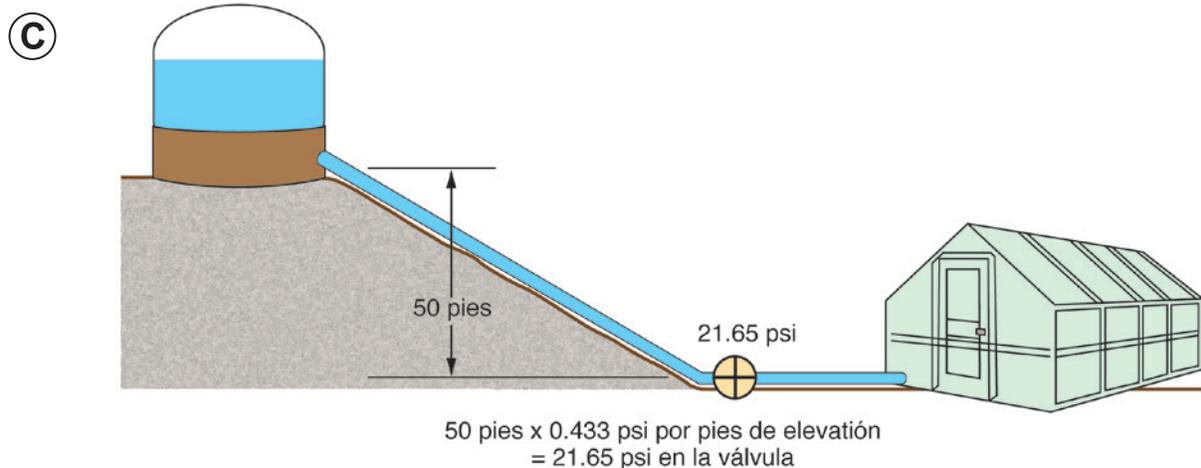


Figura 11.2—Los sistemas de recogida de lluvia son posibles en climas de alta pluviosidad (A). Si los tanques de almacenamiento están situados a mayor altura, se puede generar suficiente presión estática (B) para hacer funcionar sistemas de goteo o de microaspersión en el vivero (C). Foto A de Thomas D. Landis, y las ilustraciones B y C modificadas de Stetson y Mecham (2011) por Jim Marin. [Conversiones métricas: 1 pulgada = 2.5 cm; 1 pie = 0.91 m; 1 psi = 0.007 MPa; 1 libra = 0.45 kg.]

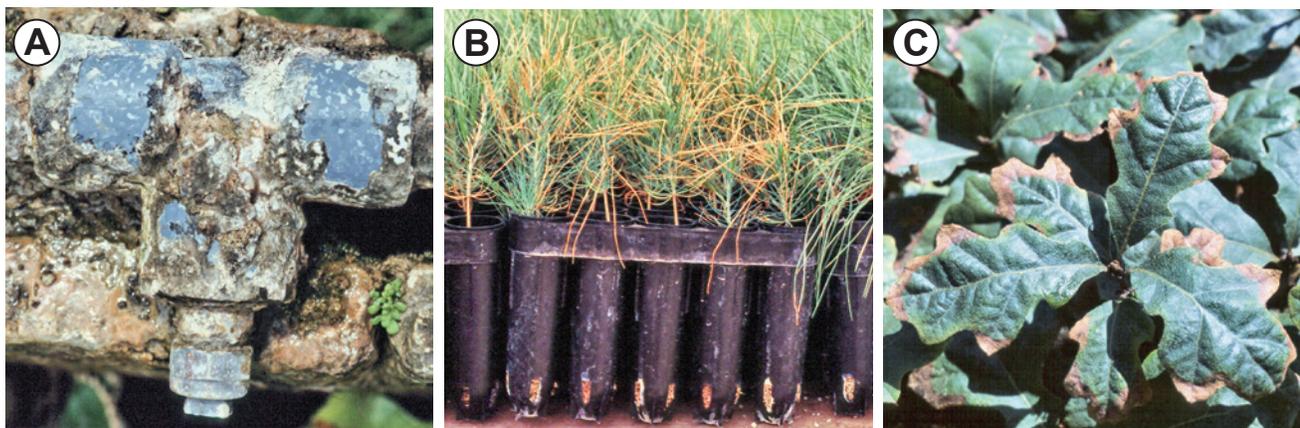


Figura 11.3—La calidad del agua agrícola viene determinada por el nivel de sales solubles, ya que pueden acumularse en las boquillas de riego (A), acumularse en los contenedores, normalmente alrededor de los orificios de drenaje (B), y acabar “quemando” el follaje de las plántulas (C). Fotos de Thomas D. Landis.

pero pueden incluir quemaduras en las puntas de las hojas, quemaduras o coloración azulada en las hojas, retraso en el crecimiento, crecimiento irregular y, finalmente, mortalidad. El principal daño de la alta salinidad es la reducción de la tasa de crecimiento, que suele desarrollarse antes de que los síntomas más visibles se hagan evidentes.

Otras formas en que el exceso de sales disueltas puede afectar a los cultivos de vivero son las siguientes—

- La disponibilidad de agua para la planta se reduce dando lugar a una pérdida de crecimiento.
- Algunos iones (sodio, cloruro, boro y flúor) son directamente tóxicos para las plantas.
- Otros iones (calcio) afectan a la disponibilidad de nutrientes minerales.
- Otros iones (bicarbonato o hierro) provocan costras de sal o manchas.

Un exceso de sales disueltas en el agua puede ser el resultado de varios factores. Las influencias climáticas o geológicas locales en la ubicación del vivero son importantes. En los climas áridos o semiáridos en los que la evapotranspiración supera a las precipitaciones, las sales se acumulan de forma natural en el suelo, y las fuentes de riego de agua subterránea suelen tener un alto contenido en sales. En las zonas costeras, la intrusión de agua salada puede reducir la calidad del agua. En Guam, la geología de la mitad norte de la isla está formada por coral levantado mientras que la mitad sur es volcánica (Gingerich 2003). Desde el punto de vista de los viveros, esta distinción consiste en que las aguas subterráneas del norte tienen un pH y un nivel de calcio muy elevados, mientras que en el sur el agua tiene un pH y unas sales disueltas bajas. Las altas tasas de fertilización o las malas prácticas de riego también pueden provocar problemas de salinidad. Los estudios han demostrado que los niveles de sales solubles se duplican cuando el sustrato se seca del 50 al 25 % de contenido de humedad.

Es costoso eliminar las sales del agua de riego, por lo que lo ideal es que el vivero se establezca en un lugar donde la salinidad del agua esté dentro de unos niveles aceptables. Los resultados de las pruebas de salinidad se expresan tradicionalmente en forma de conductividad eléctrica (CE); cuanto mayor sea la concentración de sal, mayor será la CE (cuadro 11.1). La CE puede comprobarse en el vivero utilizando un conductímetro o enviando muestras de agua a un laboratorio local. Las unidades más utilizadas en la calidad del agua de riego son los micromhos por centímetro (abreviado como $\mu\text{mho}/\text{cm}$) y en el Sistema Internacional de Unidades los microsiemens por centímetro, que son equivalentes. Los microsiemens por centímetro (abreviados como $\mu\text{S}/\text{cm}$) se utilizarán como unidad de CE estándar en este manual. En el cuadro 11.1 se encuentran las directrices generales para los rangos de salinidad.

Deben realizarse pruebas de salinidad del agua de riego antes del establecimiento de los viveros y, posteriormente, volverse a realizar periódicamente. Se realizaron pruebas de CE en vive-

Cuadro 11.1—Normas de calidad del agua para el riego de viveros. Adaptado de Landis y otros (1989) y Robbins 2011.

Índice de calidad	Óptimo	Inaceptable
pH	5.5 a 6.5	
Salinidad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0 a 500	>1,500
Sodio (ppm)	<50	>50
Cloruro (ppm)	<70	>70
Boro (ppm)	<0.75	>0.75
Fluoruro (ppm)	<1.00	>1.00**
Hierro (ppm)	<1.00	>1.00

** Las especies sensibles pueden resultar dañadas a niveles inferiores

Cuadro 11.2—Resultados de las pruebas de calidad del agua en las islas de Micronesia.

Isla	Conductividad eléctrica (μS/cm)	Conductividad eléctrica (μS/cm)
Guam (Norte)	840	Marginal
Guam (Sur)	150	Bien
Saipan	1,860	Pobre
Yap	185	Bien
Palau	60	Bien
Pohnpei (doméstico)	125	Bien
Pohnpei (agua de lluvia)	16	Bien

ros de plantas nativas en algunas de las islas de Micronesia y los resultados reflejan la geología local (cuadro 11.2). Como se ha mencionado anteriormente, la parte norte de Guam es de piedra caliza y la CE es mucho mayor que la de los suelos volcánicos de la parte sur. El agua de Saipán tiene lecturas de CE muy altas debido a los suelos calcáreos, y esta calidad marginal del agua puede verse en el vivero.

Los análisis del agua son especialmente importantes en las zonas con alta salinidad porque la adición de fertilizantes podría elevar la salinidad a niveles inaceptables (figura 11.4). En estos casos, un vivero tendría que tener cuidado de utilizar fertilizantes muy diluidos, concentraciones bajas de nutrientes de fertilizantes orgánicos o fertilizantes de liberación controlada para mantener la salinidad dentro de los rangos aceptables. Véase el capítulo 12, Nutrición y Fertilización de las Plantas, para más detalles. Las prácticas hortícolas, como el aumento de la porosidad del sustrato y la lixiviación más frecuente al regar, también pueden ayudar a aliviar los efectos del agua salina.

Plagas

Los viveros tropicales que utilizan agua de riego procedente de fuentes de agua superficiales, como estanques, lagos o ríos, pueden tener problemas con las plagas bióticas, es decir, malas hierbas, hongos patógenos, musgo, algas o hepáticas. Las aguas superficiales procedentes de otros viveros o tierras de cultivo son especialmente propensas a estar contaminadas con hongos del moho del agua, como *Pythium* y *Phytophthora*, que causan el marchitamiento fúngico. El agua de riego reciclada de los viveros también debe ser sospechosa y debe ser analizada. La cloración y algunos sistemas de filtración especializados pueden eliminar muchos organismos de enfermedades y plagas del agua de riego, como se explica en la siguiente sección.

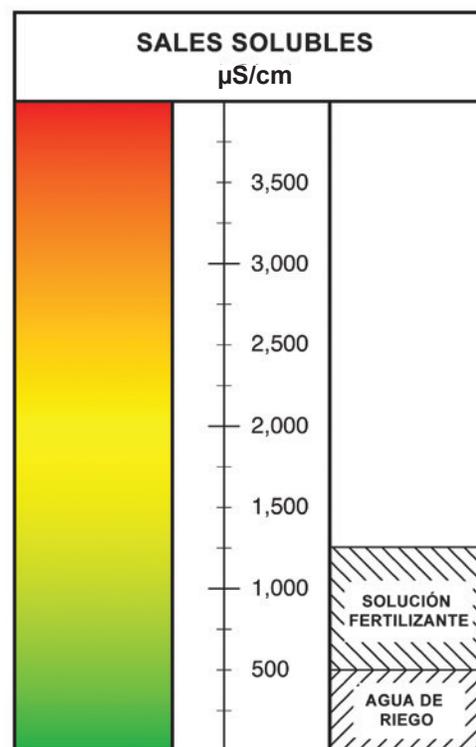


Figura 11.4—Cuando se inyectan fertilizantes solubles en el sistema de riego, los niveles de salinidad son acumulativos. Por ejemplo, un vivero con una salinidad de riego base de 500 μS/cm tiene buena calidad, pero después de añadir fertilizantes solubles, la salinidad total puede llegar a la zona de precaución. Ilustración de Dumroese y otros (2008).

El agua de riego, especialmente en las zonas agrícolas, puede estar contaminada con pesticidas residuales. Los herbicidas aplicados a las tierras de cultivo adyacentes o para controlar las malas hierbas acuáticas en los embalses pueden afectar a las aguas subterráneas. Cuando se evalúa un vivero, es necesario analizar las posibles fuentes de agua de riego para detectar la contaminación por plaguicidas.

Análisis de la Calidad del Agua

Es necesario realizar un análisis de la calidad del agua antes de seleccionar el emplazamiento del vivero para garantizar que se dispondrá de una calidad y cantidad de agua adecuadas antes de su establecimiento. El análisis de la calidad del agua puede repetirse cuando se establezca el vivero y de nuevo a intervalos anuales. Un análisis completo de la calidad del agua de riego consiste en una evaluación de la salinidad que enumera las concentraciones de sodio, cloruro y boro, que se indican en partes por millón (ppm). Además de las concentraciones individuales de iones, el análisis debe incluir tres índices estándar de calidad del agua: CE, concentraciones de iones tóxicos y pH. La mayoría de los laboratorios disponen de un análisis estándar de la calidad del agua de riego, que cubrirá todos estos aspectos.

El agua de riego también debe analizarse para detectar la presencia de hongos patógenos durante el proceso de elección del emplazamiento, y de nuevo si se observa un problema en una fecha posterior. La mayoría de los laboratorios de fitopatología pueden realizar bioensayos del agua de riego.

También es posible realizar pruebas de herbicidas residuales, pero pueden ser costosas debido a los sofisticados procedimientos analíticos necesarios. Debido a las diferentes estructuras químicas de los distintos plaguicidas, suele ser necesario un análisis separado para cada plaguicida sospechoso. Por lo tanto, los análisis de plaguicidas se consideran generalmente sólo cuando se sospecha un problema específico.

Para tomar una muestra de agua de riego, utilice una botella de plástico limpia con una tapa firme y hermética. Un recipiente de 16 onzas (475 ml) es ideal para la mayoría de los análisis de agua. Para empezar, deje correr el agua durante varios minutos (figura 11.5), y luego enjuague bien la botella de muestreo antes de recoger la muestra. Etiquete la botella de la muestra adecuadamente con un marcador resistente al agua antes de enviarla al laboratorio de análisis. La muestra debe enviarse para su análisis lo antes posible, pero puede almacenarse en refrigeración durante periodos cortos, si es



Figura 11.5—La calidad del agua debe analizarse antes de establecer el vivero y luego cada pocos años para asegurarse de que la calidad no ha cambiado. Foto de Brian F. Daley.

necesario. La mayoría de los laboratorios cobran entre 25 y 50 dólares y ofrecen los resultados en pocas semanas.

Tratamientos del Agua

La mejor manera de evitar problemas relacionados con el agua es instalar el vivero en un lugar con agua analizada y de buena calidad. Si la calidad del agua es mala, métodos como la desionización y la ósmosis inversa pueden tratar y mejorar el agua de riego, pero suelen ser prohibitivos y no son viables para la mayoría de los viveros de plantas tropicales. Sin embargo, para corregir o evitar problemas menores con agua que de otra forma sería de buena calidad, hay algunos tratamientos que son de bajo costo y muy eficaces para los viveros de contenedores.

Cloración

La cloración puede utilizarse para eliminar hongos, bacterias, algas o hepáticas introducidas a través del sistema de riego (Zheng y otros 2009). Los estudios han demostrado que *Pythium* y *Phytophthora* pueden controlarse con 2 ppm de cloro libre sin dañar las especies leñosas (Cayanan y otros 2008).

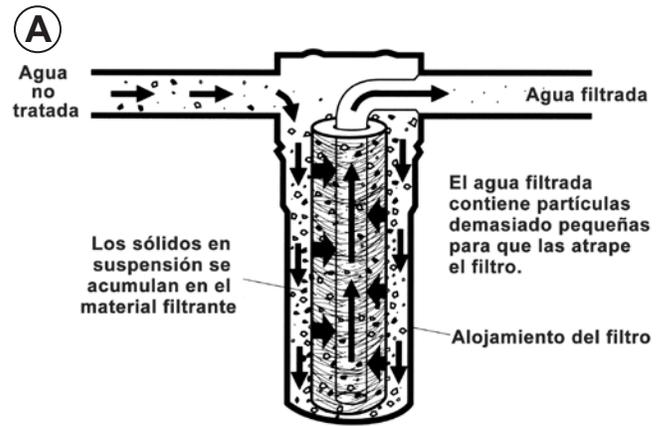
Filtración

La filtración se utiliza para eliminar las partículas suspendidas o coloidales, como la arena muy fina o el limo. La filtración evita problemas como la obstrucción o el deterioro de los equipos de riego o fertilización. Los filtros también eliminan plagas no deseadas, como semillas de malas hierbas o esporas de algas. En los viveros se suelen utilizar dos tipos de filtros: los filtros granulares medianos consisten en lechos de partículas granulares que atrapan el material en suspensión en los poros entre las partículas y los filtros de superficie utilizan una malla o tamiz poroso para colar el material en suspensión del agua de riego. Los filtros de granular mediano pueden utilizarse para eliminar la arena fina o la materia orgánica, y están contruidos de forma que puedan limpiarse mediante un lavado a contracorriente. Los filtros de superficie incluyen mallas o cartuchos de varios tamaños de malla para eliminar el material en suspensión (figura 11.6A); las mallas deben retirarse físicamente y limpiarse, mientras que los filtros de cartucho no son reutilizables y deben sustituirse periódicamente. Jones (1983) recomienda los filtros de cartucho porque son fáciles de cambiar. El lavado a contracorriente de las mallas o de los filtros de granular mediano no es práctico en muchos sistemas de riego de viveros.

Los filtros deben instalarse en un lugar antes de que el agua pase por el inyector de nutrientes a fin de interceptar las partículas de arena que pueden causar un desgaste excesivo o tapar las válvulas (figura 11.6B). Handreck y Black (1984) recomiendan utilizar filtros lo suficientemente pequeños como para eliminar las partículas de más de 5 micras de diámetro, que se encargarán de la mayoría de los materiales en suspensión (figura 11.6C). Los sistemas de

Cloración con lejía doméstica para tratar el agua contra las plagas

- Mezcle lejía doméstica (hipoclorito de sodio al 5.25 %) en una proporción de 2,4 onzas de lejía por 1,000 galones de agua (18 ml por 1,000 L).
- Esta baja dosis (alrededor de 1 ppm de cloro) no ha resultado ser fitotóxica para una amplia gama de especies vegetales, y ha tenido éxito en el control del musgo y la hepática en superficies no cultivadas.



filtración especializados, como los fabricados por Millipore Corporation, pueden eliminar partículas de alrededor de 1 micra de diámetro; por lo tanto, un sistema de este tipo es capaz de eliminar algunos organismos patógenos y la mayoría de los sólidos en suspensión. Los sistemas de filtración más sofisticados son relativamente caros y requieren un mantenimiento frecuente (Jones 1983).

Cantidad de Agua

La cantidad de agua necesaria para producir un cultivo de plantas en contenedor depende de muchos factores, como el clima, el tipo de estructuras de cultivo, el tipo de sistema de riego, el sustrato, las especies de plantas, la cantidad de plantas que se cultivan y el tamaño del contenedor. La cantidad de agua para cultivar una planta varía enormemente entre lugares húmedos y áridos. En el cuadro 11.3 se ofrecen algunos ejemplos de datos sobre el uso del agua en viveros de Estados Unidos.

Recuerde que un vivero también necesita agua para otras necesidades operativas distintas del riego de los cultivos. La mezcla de los sustratos de cultivo, la limpieza de los contenedores, las estructuras y el equipo, así como las necesidades de agua del personal, aumentan el consumo de agua. Además, un vivero que empieza siendo pequeño puede optar por expandirse. Por lo tanto, hay que asegurarse de que se dispone de abundante agua para satisfacer las necesidades presentes y futuras.

Incluso en los casos en los que el vivero tiene acceso a una fuente de agua constante, fiable y de alta calidad, siempre es buena idea contar con un sistema de reserva en caso de emergencia. Una inversión prudente es un tanque de almacenamiento de agua de reserva que contenga suficiente agua para satisfacer las necesidades del vivero durante al menos una semana (figura 11.7). Los sistemas de reserva pueden ser bombeados al sistema de riego normal, pero es ventajoso ubicar el tanque de almacenamiento en la parte superior de la ladera para que el agua pueda suministrarse por gravedad en caso de un corte de energía.

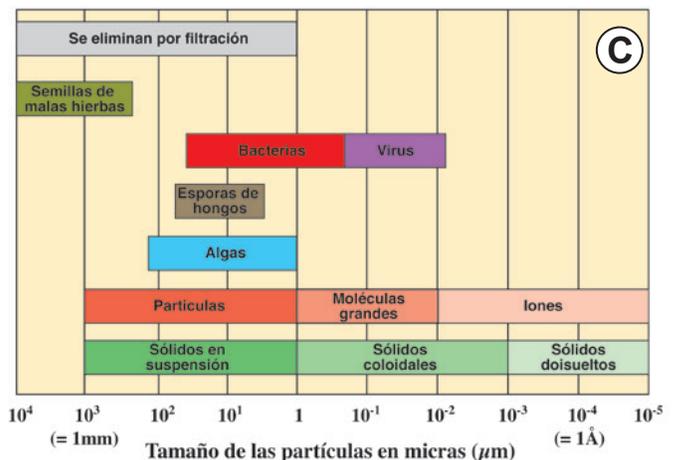
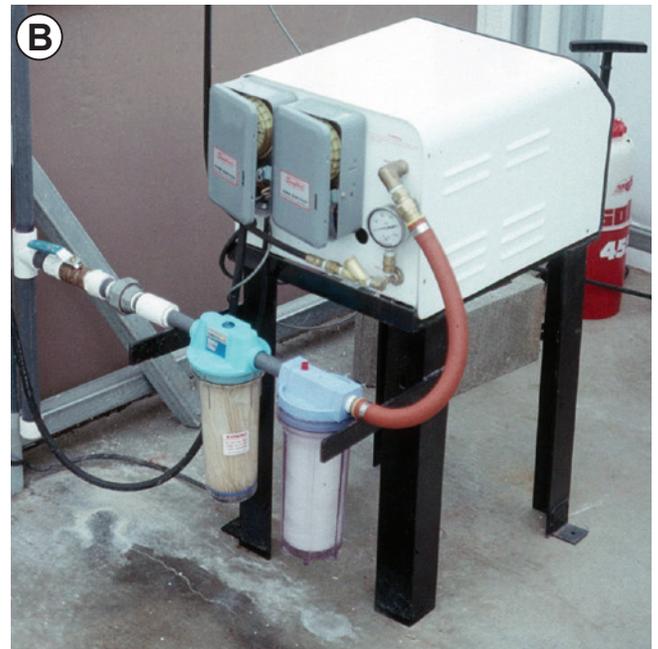


Figura 11.6—Los filtros de cartucho (A) son una forma eficaz y poco costosa de tratar el agua de riego: deben instalarse antes del inyector de fertilizante (B) y pueden eliminar arena, limo y esporas de hongos y algas (C). Ilustración A de Dumroese y otros (2008), foto B de Thomas D. Landis, e ilustración C adaptada de Tchobanoglous y Schroeder (1985) por Jim Marin.



Figura 11.7—Una inversión prudente es un tanque de almacenamiento de agua de reserva que contenga suficiente agua para satisfacer las necesidades del vivero durante al menos una semana. Foto de Thomas D. Landis.

Factores que Afectan a la Disponibilidad de Agua para las Plantas

El uso de agua por las plantas se ve afectado por condiciones ambientales como la humedad, la temperatura, la estación del año y la cantidad de luz solar que reciben las plantas. La fase de crecimiento del cultivo también afecta la tasa de evaporación y transpiración. Durante la germinación de las plántulas y la emergencia temprana, la evaporación es la principal causa de pérdida de agua (figura 11.8A). Sin embargo, una vez que las raíces de la plántula ocupan el contenedor, la transpiración se convierte en la principal fuerza de pérdida de agua (figura 11.8B).

El tipo de sustrato también influye en la disponibilidad y el uso del agua. Los componentes comunes de los medios artificiales se comportan de forma muy diferente a la tierra. El musgo de turba y la vermiculita tienen una gran capacidad de retención de agua, mientras que la perlita y la piedra pómez no. La infiltración y el drenaje de agua son mucho mayores con los medios artificiales que con los suelos minerales. El tamaño medio de los poros del sustrato es la influencia más significativa. En igualdad de condiciones, un sustrato con una textura más fina y un tamaño medio de poro más pequeño retiene más agua que un sustrato con una textura más gruesa (figura 11.9). Véase el capítulo 6, Sustratos, para más detalles sobre este tema.

El tipo de contenedor, el volumen (cuadro 11.3) y la forma también afectan la disponibilidad de agua. El agua en un contenedor se comporta de manera diferente que el agua en un suelo no confinado porque no drena completamente, lo que resulta en una capa de estrato saturado en el fondo (figura 11.8B). La altura de este sustrato saturado está en función del sustrato, pero los contenedores más altos tendrán una menor proporción de sustrato saturado que los más bajos (véase la figura 7.2 en el capítulo 7, Contenedores).

La pequeña abertura superior de algunos contenedores en relación con su volumen puede dificultar la entrada de agua en los contenedores con el típico riego por aspersión, lo que provoca una considerable variación en el contenido de agua del sustrato de un contenedor a otro. Este problema de distribución se vuelve aún más crítico cuando las plantas crecen y su follaje empieza a interceptar el agua antes de que pueda llegar a la superficie del contenedor. Para superar este problema, a veces se recurre a la subrigación (descrita más adelante en este capítulo) y al riego manual. Debido a que los contenedores pequeños tienen un volumen de sustrato muy reducido, sus reservas de humedad son limitadas y requieren un riego frecuente, especialmente en épocas de grandes pérdidas por evapotranspiración.

Determinación de la Cantidad de Riego

Cuando se riegan los cultivos de los viveros en contenedores, es importante aplicar suficiente agua durante cada evento para

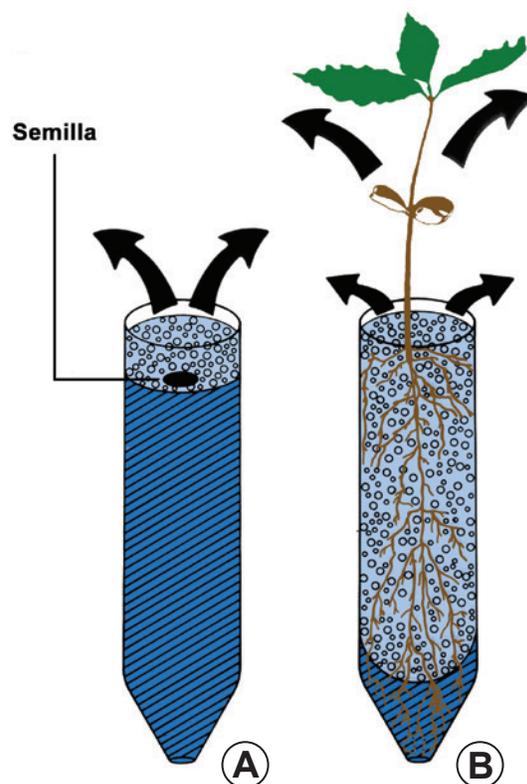


Figura 11.8—La cantidad y el tipo de uso del agua cambian drásticamente durante la temporada de crecimiento. Durante la fase de arraigo, se utiliza una cantidad relativamente pequeña de agua por evaporación (A) pero, cuando la plántula ocupa completamente el contenedor durante la fase de crecimiento rápido, se utiliza una cantidad mucho mayor por la transpiración y se pierde relativamente poco por la evaporación (B). Ilustración adaptada de Landis y otros (1989).

Cuadro 11.3—Uso típico del riego en viveros forestales y de conservación para un cultivo de 1.000 plántulas de coníferas en el continente del oeste de Estados Unidos. Adaptado de Dumroese y otros (2008).

Vivero y su ubicación	Tipo de contenedor y volumen	Uso de agua de riego por semana (galones [litros])	
		Fase de arraigo	Fase de crecimiento rápido
University of Idaho, Moscow	Ray Leach Cone-tainer™ 4 in ³ (66 ml)	10 (38)	15 (57)
Mt. Sopris, Colorado	Ray Leach Cone-tainer™ 10 in ³ (172 ml)	15 (57)	50 (189)
University of Idaho, Moscow	Styroblock™ 20 in ³ (340 ml)	60 (227)	125 (473)

saturar el sustrato de manera que se produzca una pequeña cantidad de lixiviación. En otras palabras, aplique suficiente agua para que una parte gotee por el fondo del recipiente (figura 11.10A), pero no tanto como para que el agua salga por la parte inferior. Si el periodo de riego es demasiado corto, el agua no llegará al fondo del recipiente y habrá una capa de sustrato seco debajo (figura 11.10B). Si el sustrato no está completamente saturado después del riego, la plántula no desarrollará raíces en el sustrato seco del fondo del contenedor, lo que causará un cepellón mal formado. Además, las sales de los fertilizantes se acumularán en el sustrato y causarán daños por salinidad o “quemadura de fertilizante.”

La regla general para el aspersor, se trate de aspersión aérea, riego manual o microrriego, es aplicar aproximadamente un 10 por ciento más de agua de la necesaria para saturar completamente todo el perfil del sustrato durante el

riego. El mejor procedimiento para asegurarse de que gotea algo de agua del fondo del contenedor durante o inmediatamente después del riego es la inspección directa.

La cantidad de riego a aplicar varía durante la temporada de crecimiento debido a las etapas de desarrollo de las plántulas y a los objetivos hortícolas del administrador del vivero. Como se explica en el capítulo 4, Planificación de Cultivos: Prototipos, Calendarios y Registros de Propagación, las plantas pasan por tres fases de desarrollo: arraigo, crecimiento rápido y endurecimiento. El riego es una estrategia importante para controlar el crecimiento y la salud de las plantas a medida que el cultivo pasa por estas fases.

Riego Durante la Fase de Arraigo

Inmediatamente después de colocar los contenedores sembrados en la zona de cultivo, el sustrato debe estar completa-

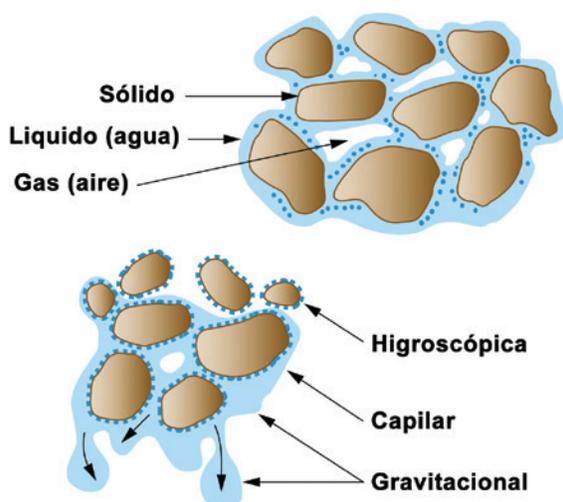


Figura 11.9—El agua se mantiene en los poros entre las partículas por capilaridad. En cualquier sustrato, cuanto más grandes sean las partículas, menos agua se retendrá. Las plantas sólo pueden utilizar el agua capilar; el agua gravitacional se escurre y el agua higroscópica se retiene con demasiada fuerza para ser utilizada por las plantas. Ilustración de Dumroese y otros (2008).

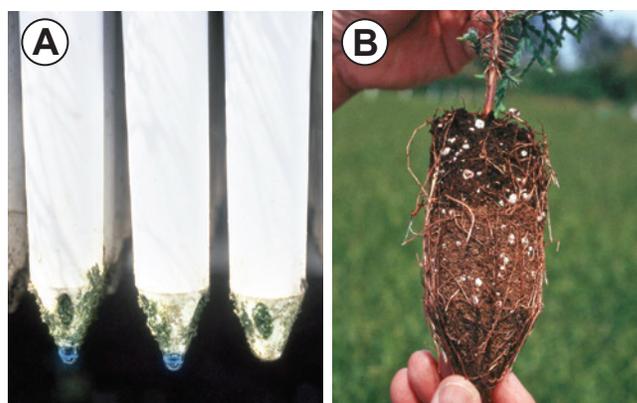


Figura 11.10—Aplique suficiente agua durante el riego para saturar por completo el perfil del sustrato y permitir una cierta lixiviación en el fondo del recipiente. Si las plantas se han regado lo suficiente, saldrá algo de agua por el fondo de cada recipiente (A). Una irrigación insuficiente producirá una capa seca en el sustrato (B). Fotos de Thomas D. Landis.

Consideraciones sobre el Uso del Agua para las Plantas Cultivadas en Contenedores

- El volumen de las raíces es proporcional al tamaño de la planta.
- Las plantas en contenedores no tienen la capacidad de “buscar” agua fuera de la zona de las raíces del contenedor.
- Dado que los contenedores son relativamente pequeños, las reservas de humedad pueden agotarse rápidamente cuando hace calor.
- Los contenedores tienen una pequeña abertura superior en relación con el volumen, lo que dificulta la aplicación de cantidades iguales de agua por contenedor.

mente saturado. A partir de entonces, las necesidades de riego durante la fase de arraigo deben controlarse cuidadosamente y adaptarse a las necesidades de la especie. Algunas especies requieren una nebulización casi continua (figura 11.11) y pueden incluso beneficiarse de una cámara de niebla. Otras especies requieren menos agua, pero, sin embargo, un riego inadecuado o demasiado infrecuente hará que las semillas se sequen, lo que disminuirá el éxito de la germinación o incluso provocará la pérdida total del cultivo. Por otro lado, un riego demasiado intenso puede crear condiciones de humedad excesiva, lo cual favorece el marchitamiento, y disminuye la germinación.

Para ayudar a determinar el régimen de riego para una especie determinada, considere la disponibilidad de agua en el hábitat nativo de la planta (como selva tropical, bosque nublado o tierras secas) en la época del año en que esta especie suele germinar. Recuerde que, hasta que las semillas germinen y comiencen a crecer, la pérdida de agua se debe principalmente a la evaporación desde la parte superior del contenedor. Por lo tanto, el riego durante este período debe aplicarse con el objetivo de reponer la humedad en la fina capa superficial del sustrato. La mejor manera de llevar a cabo esta práctica suele ser mediante nebulizaciones periódicas o riegos ligeros con una boquilla de pulverización muy fina, que además protegen a las semillas en germinación de ser movidas o dañadas por la fuerza del agua. En algunos casos, si las semillas están cubiertas por un mantillo, el riego puede no ser necesario durante la primera semana de la fase de germinación. Rasque la superficie del mantillo o de la

La clave para regar durante la fase de arraigo: mantener el sustrato “húmedo, pero no saturado.”

gravilla para comprobar el estado del agua del sustrato y asegurarse de que está suficientemente húmedo.

El riego también puede utilizarse para controlar la temperatura alrededor de las semillas en germinación. Las altas temperaturas en la superficie del sustrato pueden perjudicar a las semillas germinantes, especialmente a las que están cubiertas por mantillos de color oscuro. Si las temperaturas superan los 30 °C (86 °F), una ligera nebulización ayudará a mantener frescas las semillas mediante el enfriamiento por evaporación. A esta práctica se le llama a veces “efecto sombra con agua.” Al nebulizar para enfriar, no añada demasiada agua al sustrato, sólo la suficiente para disipar el calor alrededor de la plántula. Cuando las plantas desarrollan tallos más gruesos, se vuelven más resistentes a las lesiones por calor. No utilice el efecto sombra en viveros con agua salina porque las sales pueden acumularse en las capas superficiales del sustrato.

Riego Durante la Fase de Crecimiento Rápido

Una vez que las raíces de la plántula se han expandido por todo el contenedor, la cantidad de agua que se pierde a través de la transpiración aumenta enormemente, por lo que los riegos deben ser más largos y frecuentes. Como se ve en el cuadro 11.3, el consumo de agua puede duplicarse o incluso triplicarse durante la fase de crecimiento rápido. Cada planta debe ser regada a fondo (hasta que gotee algo de agua por la parte inferior). La saturación regular es lo mejor para algunas especies, mientras que otras pueden beneficiarse de períodos de ligero estrés hídrico entre riegos. Nunca debe permitirse que las plantas se sequen por completo (figura 11.12). Los responsables de los viveros deben ser conscientes de las dife-



Figura 11.11—Durante la fase de arraigo, el riego debe ajustarse a las necesidades de cada especie. En el caso de muchas especies, las boquillas de nebulización de una cámara de germinación especial generan una fina pulverización, que proporciona suficiente agua para la germinación y también protege a las semillas recién germinadas de lesiones por calor. Hay que evitar el riego excesivo para prevenir problemas de enfermedades. Foto de Brian F. Daley.

rentes necesidades de agua de las distintas especies y ajustar las prácticas de riego en consecuencia. Agrupar las especies según sus necesidades de agua (“húmeda,” “moderada” o “seca”) facilita mucho esta práctica.

Durante la fase de crecimiento rápido, las hojas de las plantas empiezan a formar un dosel apretado que provoca una reducción significativa de la cantidad de riego que puede llegar a la superficie del sustrato si se aplica desde arriba. Este “efecto paraguas” es especialmente grave en las especies de hoja ancha. A menudo, el agua goteará a través del follaje de forma irregular, de modo que un contenedor está totalmente saturado, mientras que el que está justo al lado puede recibir muy poca agua. Para compensar la interceptación del follaje, los viveristas tienden a regar con más frecuencia y durante más tiempo. Esta práctica sigue dando lugar a un riego desigual y a un desperdicio de agua, porque el agua se escurre por las hojas y llega al suelo. Los tipos de sistemas de riego que se analizan más adelante en este capítulo ayudarán a resolver este problema en el caso de las especies de hoja ancha, en particular mediante prácticas de subirrigación y riego manual.

La fase de crecimiento rápido es también el momento en que los fertilizantes líquidos están más concentrados y la pérdida de agua por transpiración es elevada, por lo que los cultivadores deben vigilar la acumulación de sales.

Riego Durante la Fase de Endurecimiento

La manipulación de la frecuencia de riego es una forma eficaz de iniciar el endurecimiento de las plantas antes del envío y trasplante. Dado que el crecimiento de las plántulas está tan ligado a los niveles de estrés hídrico, los cultivadores pueden ralentizar el crecimiento de los brotes y aumentar la resistencia general al estrés induciendo un estrés hídrico moderado. Este procedimiento de “estrés por sequía” consiste en retener el riego durante breves periodos de tiempo hasta que se vea que las plantas se marchitan o hasta que se alcance un determinado nivel de estrés por humedad. Después de este tratamiento de estrés, el cultivo vuelve a un programa de riego de mantenimiento.

Sin embargo, la aplicación del estrés hídrico puede ser un reto en el caso de las plantas tropicales porque (1) la rusticidad se ve afectada por otras condiciones ambientales, (2) puede existir una considerable variación en el contenido de humedad del sustrato entre los contenedores, y (3) si se permite que el sustrato se seque demasiado, puede volverse hidrofóbico y difícil de rehumedecer.

El estrés hídrico debe realizarse de forma correcta y concienzuda, y no hay nada que sustituya a la experiencia. La mayor parte de la investigación sobre el estrés hídrico se ha realizado con coníferas comerciales, y se han publicado buenas directrices para controlar el peso de los contenedores (por



Figura 11.12—Estas plántulas sufren un grave estrés hídrico debido a un riego inadecuado. Las plántulas utilizan mucha agua durante la fase de crecimiento rápido y es necesario regarlas con frecuencia para prevenir que se retrase su crecimiento. Foto de Thomas D. Landis.

ejemplo, Landis y otros 1989). Es lamentable que se sepa poco sobre la respuesta de la mayoría de las plantas nativas tropicales. Inducir el estrés hídrico, por tanto, puede ser arriesgado si se desconoce la tolerancia de la planta. El estrés por sequía simplemente no funciona para algunas especies y en algunos entornos. Los cultivadores deben realizar sus propios ensayos de estrés hídrico operativo para determinar el efecto sobre sus propias especies en sus respectivos entornos de cultivo. Es esencial una programación cuidadosa y la comunicación con otros trabajadores del vivero (figura 11.13). Asegúrese de llevar un registro detallado de cómo responden los cultivos.

A pesar de estas advertencias, la inducción de estreses de humedad leves debería considerarse como una técnica hortícola para manipular la fisiología y la morfología de las plántulas. En el capítulo 15, Endurecimiento, se explica con más detalle el proceso de endurecimiento, incluido el estrés por humedad.

Fertirrigación

El riego es fundamental para la correcta aplicación de los fertilizantes, especialmente cuando se inyecta una solución fertilizante líquida en el sistema de riego, una práctica denominada “fertirrigación.” La fertirrigación puede utilizarse con muchos tipos diferentes de sistemas de riego, desde el riego manual hasta los sistemas automatizados de aspersión o goteo. Los inyectores de fertilizantes van desde simples sifones de bajo costo para el riego manual hasta sofisticadas bombas para los aspersores automáticos. Como puede diseñarse para aplicar los nutrientes minerales adecuados en la concentración y el momento apropiados, la fertirrigación tiene varias ventajas sobre otros tipos de fertilización. Recuerde que los fertilizantes son sales y que la inyección de fertilizantes líquidos aumenta el nivel de salinidad de base del agua de riego. Es necesario un lixiviado frecuente con agua de riego regular (“descarga de agua clara”) para expulsar

el exceso de sales del fondo del recipiente. Uno de los primeros signos de un problema de salinidad es la costra de sal alrededor de los agujeros de drenaje (figura 11.3B). Consulte el capítulo 12, Nutrición y Fertilización de las Plantas, para obtener más información sobre la fertirrigación y cómo puede aplicarse en los viveros de plantas nativas tropicales.

Cómo Determinar Cuándo Regar

Es absolutamente necesario controlar regularmente el estado de humedad de los sustratos. En los recipientes pequeños, el volumen limitado de reservas de humedad significa que pueden surgir rápidamente tensiones de humedad críticas.

Los métodos más comunes para controlar la eficacia del riego son las evaluaciones visuales y táctiles. El control también puede incluir evaluaciones formales o informales del peso de los contenedores. Además, se pueden utilizar diversas herramientas como tensiómetros, instrumentos electrométricos,

WATERING					
	2	3	4	5	6
	M	T	W	Th	F
LONG		✓			✓
Med out		?	?		?
minis		✓	✓		✓
other	✓			?	?
Short		✓			✓
OUT DF		?	?		✓
OAKS	✓		✓		✓
MAPLES	✓		✓		✓
POTS			✓		

WHEN BEGIN WILT WHEN BEGIN WILT-CANTON! WHEN BEGIN WILT EXCEPT IC

WHEN BEGIN WILT-EDGE WITH HOSE

LONG - Job #1 twice
 MED - Minis manual twice
 Rest Job #1 w/ magnets
 SHORT - Speed 1 twice on 2A's / on Launch 3 times
 WATCH OUT FOR re-set
 OUT - All sprinklers on for 1 to 2 hrs. 8/3
 OTHERS - with hose

Figura 11.13—Dado que se sabe muy poco sobre la respuesta de la mayoría de las plantas tropicales al estrés hídrico, una buena programación, el mantenimiento de registros y la comunicación son fundamentales para determinar las necesidades de las plantas. Foto de Thomas D. Landis.

balanzas, medidores de humedad comerciales (figura 11.14) o cámaras de presión para controlar la eficacia del riego (Landis y otros 1989). Cualquier método basado en equipos debe corroborarse con la observación real (visual y táctil) y la experiencia del agricultor.

Evaluación Visual y Táctil de la Humedad del Sustrato

La mayoría de los viveros controlan con éxito la eficacia del riego basándose en el tacto y el aspecto de las plantas y del sustrato (figura 11.15A). La mejor técnica es observar la relativa facilidad con la que se puede exprimir el agua del sustrato e intentar correlacionar esta condición de humedad con el aspecto de la planta y el peso del contenedor (figura 11.15B). Este proceso requiere mucha experiencia y es muy subjetivo, pero puede ser muy eficaz cuando lo utiliza un viverista con conocimientos y experiencia.

Observar los sistemas radiculares o los sustratos puede implicar daños en las plantas que se examinan, especialmente si hay que sacarlas de sus contenedores. Esta práctica puede ser necesaria durante la fase de aprendizaje de un nuevo cultivo. Con el tiempo y la experiencia, los indicadores no destructivos, como el aspecto de la planta, el aspecto y el tacto del sustrato y el peso de los contenedores, se practicarán la mayoría de las veces, y la necesidad de realizar un muestreo destructivo se reducirá o eliminará.



Figura 11.14—Se pueden utilizar muchos tipos de herramientas para ayudar a comprobar y evaluar la eficacia de la aplicación de agua, incluido este higrómetro. Sin embargo, las evaluaciones visuales y táctiles son más frecuentes en los viveros de plantas tropicales y pueden ser muy eficaces cuando las realiza personal capacitado. Foto de Thomas D. Landis.



Figura 11.15—Los viveristas pueden controlar la necesidad de riego observando atentamente el estado de las plantas (A) para poder aplicar el agua antes de que se marchiten gravemente (B). Sentir el peso de los contenedores también puede ser una forma eficaz de determinar cuándo hay que regar (C). El control del peso de los contenedores es un método estándar para evaluar las necesidades de riego en los cultivos en contenedores (D). Fotos A, B y C de Tara Luna, y foto D de Thomas

Control del Peso de los Contenedores

El control del peso de los contenedores es una de las pocas técnicas objetivas, no destructivas y repetibles para controlar el riego en los viveros de contenedores. El peso del contenedor es también la mejor manera de determinar las necesidades de riego al inicio de la fase de crecimiento, antes de que las plantas sean lo suficientemente grandes como para mostrar el estrés por humedad o realizar pruebas en una cámara de presión. El peso del contenedor disminuye entre riegos porque el agua del sustrato se pierde por evaporación y transpiración. Cuando el peso del contenedor alcanza un nivel predeterminado, el cultivo se riega. Con la experiencia, los trabajadores pueden desarrollar un sentido intuitivo de este nivel basándose en la toma de algunas bandejas al azar (figura 11.15C). También puede hacerse de forma objetiva, pesando las bandejas en una sencilla balanza doméstica (figura 11.15D).

El procedimiento consiste en saturar completamente el sustrato en un contenedor o bloque de contenedores y dejarlo escurrir medido como “peso húmedo.” A continuación, el contenedor o bloque se siembra como de costumbre, se marca con una etiqueta o banderilla y se coloca en el vivero. A continuación, una o dos veces por semana durante la temporada de crecimiento, se pesa este bloque de seguimiento y se registra el peso como

Indicios Visuales y Táctiles para Controlar el Riego

- Las hojas deben tener un aspecto y un tacto firmes, no marchitas.
- El sustrato debe estar húmedo en todo el cepellón; la humedad debe salir al apretarlo.
- Los contenedores deben sentirse relativamente pesados al levantarlos.
- Inmediatamente después de regar, un poco de agua goteará (pero no chorreará) del fondo de cada contenedor para indicar que las plantas se han regado lo suficiente.

porcentaje del peso húmedo. En el cuadro 11.4 se muestra una tabla de pesos típica con el punto de decisión sobre cuándo regar al 85% del peso húmedo durante la fase de crecimiento rápido o al 70% durante la fase de endurecimiento. Los puntos de decisión variarán entre las especies debido a la respuesta fisiológica de las diferentes especies al estrés por humedad.

Evaluación de la Distribución del Riego

Los sistemas de riego deben revisarse cada pocos meses porque las boquillas o los goteros pueden obstruirse o desgastarse hasta el punto de dejar de funcionar correctamente. La uniformidad de los sistemas de riego por aspersión aérea puede comprobarse fácilmente realizando una sencilla “prueba de vasos,” que consiste en medir el agua de riego recogida en una serie de vasos colocados en un sistema de cuadrícula regular en toda la zona de cultivo (figura 11.16). Los recipientes para las pruebas de vasos deben tener aberturas circulares con bordes estrechos; la forma del recipiente por debajo de la abertura no es importante siempre que los vasos sean estables y tengan de 5 a 10 cm de profundidad para retener el agua sin que salpique.

Simplemente distribuya los vasos vacíos de manera uniforme en la estación de riego del vivero y haga funcionar el riego por aspersión como de costumbre durante un período de tiempo estándar. Apague el sistema y mida la profundidad del agua en los vasos. Si la profundidad del agua no es relativamente uniforme entre los vasos, compruebe la presión en la línea y también compruebe si hay atascos o problemas con las boquillas individuales.

Tipos de Sistemas de Riego

El mejor método de aplicación del agua de riego en los viveros tropicales depende de las necesidades hídricas de las especies cultivadas y del tamaño y la complejidad de la operación (cuadro 11.5). Los viveros pequeños y los que cultivan una variedad de especies pueden preferir el riego manual. Los viveros grandes que cultivan sólo unas pocas

Cuadro 11.4—Ejemplo de programa de seguimiento semanal de riego utilizando pesos de contenedores. Adaptado de Dumroese y otros (2008).

	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
Peso húmedo	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
Peso real	22.0	25.0	23.5	21.0	24.5	21.5	25.0
Peso húmedo (%)	85	96	90	81	94	83	96
¿Es necesario regar?	Sí	No	No	Sí	No	Sí	No



Figura 11.16—Las comprobaciones periódicas de la distribución del agua pueden realizarse fácilmente con una “prueba de vasos” en la que se les dispone en cuadrícula (A). La profundidad del agua en los vasos se mide después de un período de riego estándar (B). Foto A de Kim M. Wilkinson, y foto B de Thomas D. Landis.

especies pueden utilizar algún tipo de sistema de riego mecánico. La mayoría de los viveros utilizan una combinación de varios sistemas en diferentes zonas de riego para satisfacer sus necesidades de riego (figura 11.17).

Con la excepción del riego manual, la mayoría de los sistemas de riego pueden conectarse a controladores automáticos basados en temporizadores o en el peso de los contenedores, de modo que el riego pueda aplicarse automáticamente. Los controladores permiten al viverista programar previamente los períodos de riego, ahorrando así tiempo y trabajo. Sin embargo, el cultivador prudente nunca dependerá por completo de los sistemas automáticos y seguirá controlando directamente la eficacia del riego y su efecto en el crecimiento de las plantas de forma regular.

Riego Manual

El riego manual es a menudo la estrategia de riego más práctica para los pequeños viveros de plantas tropicales, los viveros que producen una gran diversidad de especies con necesidades de agua radicalmente diferentes, o los viveros en la fase de inicio. El riego manual requiere un equipo sencillo y barato; una manguera, un par de tipos de boquillas diferentes y una varilla de pulverización de mango largo es todo lo que se necesita. El trabajo de riego será más agradable y eficiente con algunas pequeñas inversiones adicionales, como cables aéreos para guiar las mangueras y botas de goma para el personal (Biernbaum 1995). Aunque la tarea pueda parecer fácil, una



Figura 11.17—La mayoría de los viveros de plantas nativas utilizan una combinación de tipos de riego para satisfacer las necesidades de diversas especies. Esta zona de cultivo de un vivero tiene tanto aspersores aéreos como acceso a una manguera para regar a mano. Foto de Thomas D. Landis.

Cuadro 11.5—Tipos de sistemas de riego para viveros de contenedores.

Ventajas	Desventajas
Riego manual	
<ul style="list-style-type: none"> • Requiere un equipo barato y sencillo de instalar • Es flexible y puede ajustarse a diferentes especies y tamaños de contenedores • Los regantes tienen una conexión diaria con el cultivo y pueden detectar enfermedades u otros problemas potenciales • Permite dirigir el agua bajo el follaje de las plantas, lo que reduce el riesgo de enfermedades 	<ul style="list-style-type: none"> • Insume mucho tiempo y trabajo • Implica una responsabilidad diaria, incluidos los fines de semana y las vacaciones • Requiere habilidad, experiencia y presencia de ánimo para hacerlo correctamente • Presenta un riesgo de lavado o compactación del sustrato
Microirrigación	
<ul style="list-style-type: none"> • El agua se suministra directamente a la zona de las raíces de las plantas (no al follaje, donde puede causar enfermedades) • El uso del agua es muy eficiente; se desperdicia menos del 10% del agua aplicada • El suministro es uniforme; se aplica una cantidad uniforme de agua a cada contenedor • La tasa de infiltración es buena (debido a la lentitud del suministro). • La cantidad de lixiviados es baja 	<ul style="list-style-type: none"> • El diseño del sistema y la instalación de emisores individuales para cada planta es difícil y requiere mucho tiempo • En general, la instalación no es eficiente para las plantas que se cultivan en contenedores de menos de 1 galón de tamaño • Cada estación de riego debe funcionar mucho tiempo debido a la lentitud del suministro de agua • Los emisores pueden obstruirse fácilmente (es necesario filtrar el agua y realizar un mantenimiento frecuente del sistema de riego) • Con los goteros, es difícil verificar visualmente el suministro de agua; a menudo, los problemas no se detectan hasta que es demasiado tarde
Riego por aspersión	
<ul style="list-style-type: none"> • Diseño e instalación relativamente sencillos y económicos • Se dispone de una variedad de tipos de boquillas y tasas de aplicación • Los patrones de distribución del agua se pueden medir con una prueba de vasos 	<ul style="list-style-type: none"> • La interceptación foliar hace que el riego por aspersión sea ineficaz para los cultivos de hoja grande • El agua de riego puede desperdiciarse debido a patrones circulares ineficientes • Es posible que aumente el riesgo de enfermedades foliares por el exceso de agua en las hojas • En el caso de los aspersores aéreos, el goteo de las boquillas del agua residual en las líneas puede dañar a las semillas germinantes y a las plantas jóvenes • En el caso de los aspersores basales, las líneas de riego deben discurrir por el suelo, lo que crea obstáculos para los trabajadores y el equipo.
Subirrigación	
<ul style="list-style-type: none"> • Aunque existen productos comerciales, los sistemas de subirrigación pueden construirse con materiales locales a precios asequibles • El follaje permanece seco, lo que reduce el riesgo de enfermedades foliares • El uso del agua es eficiente (hasta un 80% menos de agua que los sistemas de riego por aspersión) • La aplicación entre las plantas es uniforme • Es posible reducir las dosis de fertilizantes • Es posible reducir la lixiviación de nutrientes minerales • El agua de drenaje puede capturarse para su reutilización o reciclaje • No hay salpicaduras que alteren o desplacen el mantillo, los germinantes o el sustrato • Ofrece la posibilidad de regar simultáneamente contenedores de diferentes tamaños y plantas de diferentes edades • Es eficiente en términos de tiempo y mano de obra después de la instalación 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede ser necesario regar por encima o a mano para garantizar una humedad superficial suficiente hasta que las semillas germinen • No puede utilizarse con agua de mala calidad porque se produciría una acumulación de sales • Se reduce la poda aérea de las raíces • El riesgo de propagación de enfermedades transmitidas por el agua es mayor • Es posible que se produzca una alta humedad dentro de la copa de la planta

buena técnica y la aplicación de la cantidad adecuada de agua a diversas especies de plantas en diferentes contenedores y en distintas fases de crecimiento es todo un reto. Los administradores de viveros deben asegurarse de que los encargados del riego tengan una actitud responsable y estén debidamente capacitados para trabajar eficazmente con la aplicación de agua.

Las buenas prácticas de riego manual incluyen lo siguiente:

- Dirigir el agua a la base de las plantas.
- Evite rociar el follaje para ahorrar agua y evitar enfermedades foliares.
- Incline la boquilla de riego hacia abajo (no hacia los lados) y mantenga una presión baja para evitar el lavado de las semillas, el sustrato o el mantillo.
- Utilice un tipo de boquilla y un volumen de agua adecuados para cada cultivo: una pulverización muy fina y suave para las plantas jóvenes y una boquilla de mayor volumen para las plantas más grandes.
- Ajuste el caudal, el volumen y el ritmo de riego para regar eficazmente sin desperdiciar agua ni compactar el sustrato (Biernbaum 1995).
- Consiga una distribución uniforme del agua para que todas las plantas estén bien regadas; tenga en cuenta las diferencias de microclima en el vivero. Por ejemplo, las plantas situadas en el borde exterior de un banco o bajo el sol directo necesitarán más agua (figura 11.18).
- Preste atención a las necesidades individuales de cada cultivo y a su fase de desarrollo para que ninguno reciba un riego excesivo o insuficiente; desarrolle una idea de las necesidades de riego de los cultivos a lo largo del tiempo.

Microirrigación

Para los viveros que cultivan plantas en recipientes de 4 litros o más, la microirrigación puede ser un método muy eficaz de suministro de agua. La microirrigación suele consistir en una tubería de polietileno equipada con micropulverizadores (a veces llamados “escupidores” o “estacas de pulverización”) (figura 11.19A), goteros insertados individualmente en cada contenedor (figura 11.19B), o tubos laterales más pequeños para llegar a todas las zonas del banco (figura 11.19C). A menudo se prefieren los micropulverizadores a los goteros porque mojan más superficie y distribuyen el agua de forma más uniforme por todo el recipiente. También es más fácil verificar visualmente el funcionamiento de un pulverizador que de un gotero. La filtración es una necesidad en los sistemas de microirrigación para evitar que los emisores se obstruyan. Debido a la lenta tasa de infiltración de los sistemas de microrriego, cada estación de riego tendrá que funcionar mucho tiempo para suministrar el agua adecuada a las plantas. Además, si se deja que los contenedores se resequen, puede ser necesari-



Figura 11.18—Las plantas de vivero situadas en el exterior de un banco o una mesa siempre se secan más rápido, sobre todo cuando hay viento. Foto de Thomas D. Landis.

rio regar a mano para rehumedecer el sustrato antes de que funcione el riego por goteo.

Sistemas de Riego Fijos

Los sistemas de riego por aspersión aérea son un tipo común de sistema de riego y el tipo que mucha gente imagina cuando piensa en el riego. Existen muchos tipos de sistemas de riego por aspersión aérea, que van desde los aspersores fijos hasta los sistemas de brazos móviles.

Aspersores Aéreos Fijos

Los sistemas fijos de aspersión aérea consisten en una serie de líneas de riego paralelas, normalmente construidas con tuberías de plástico de cloruro de polivinilo (PVC), con aspersores espaciados a intervalos uniformes para formar un patrón de cuadrícula regular. Los aspersores aéreos aplican el agua a un ritmo bastante rápido y realizan un trabajo aceptable si se diseñan y mantienen adecuadamente.

En los sistemas fijos de riego por aspersión aérea se utilizan varios tipos de boquillas. Los aspersores giratorios, que tienen boquillas desplazadas en el extremo de un brazo giratorio, giran en círculo cuando se aplica presión al agua (figura 11.20A). Las boquillas fijas (figuras 11.20B, 11.20C) no tienen partes móviles, pero distribuyen el agua en un patrón circular; estas boquillas también vienen en patrones de medio y un cuarto de círculo (figura 11.20D) para que se pueda obtener una cobertura completa de superposición mediante la colocación de líneas de riego alrededor del perímetro de la zona a ser regada. Las boquillas de nebulización también se instalan a veces en las líneas de riego aéreas y se utilizan principalmente durante el período de germinación y para el control del enfriamiento y de la humedad.

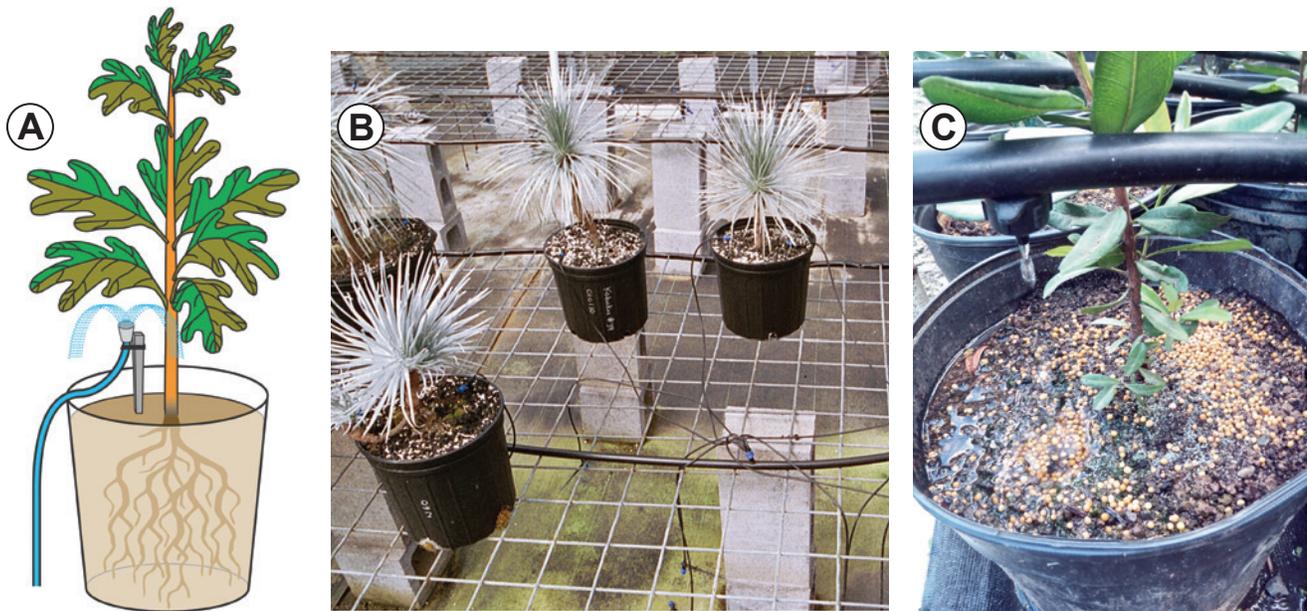


Figura 11.19—Las estacas de pulverización son eficaces sólo para los contenedores más grandes y funcionan bien porque se puede observar su funcionamiento y tienen una distribución más uniforme (A). Los difusores de goteo también pueden utilizarse para contenedores más grandes (B, C). Ilustración A de Dumroese y otros (2008), foto B de Thomas D. Landis, y foto C de Brian F. Daley.

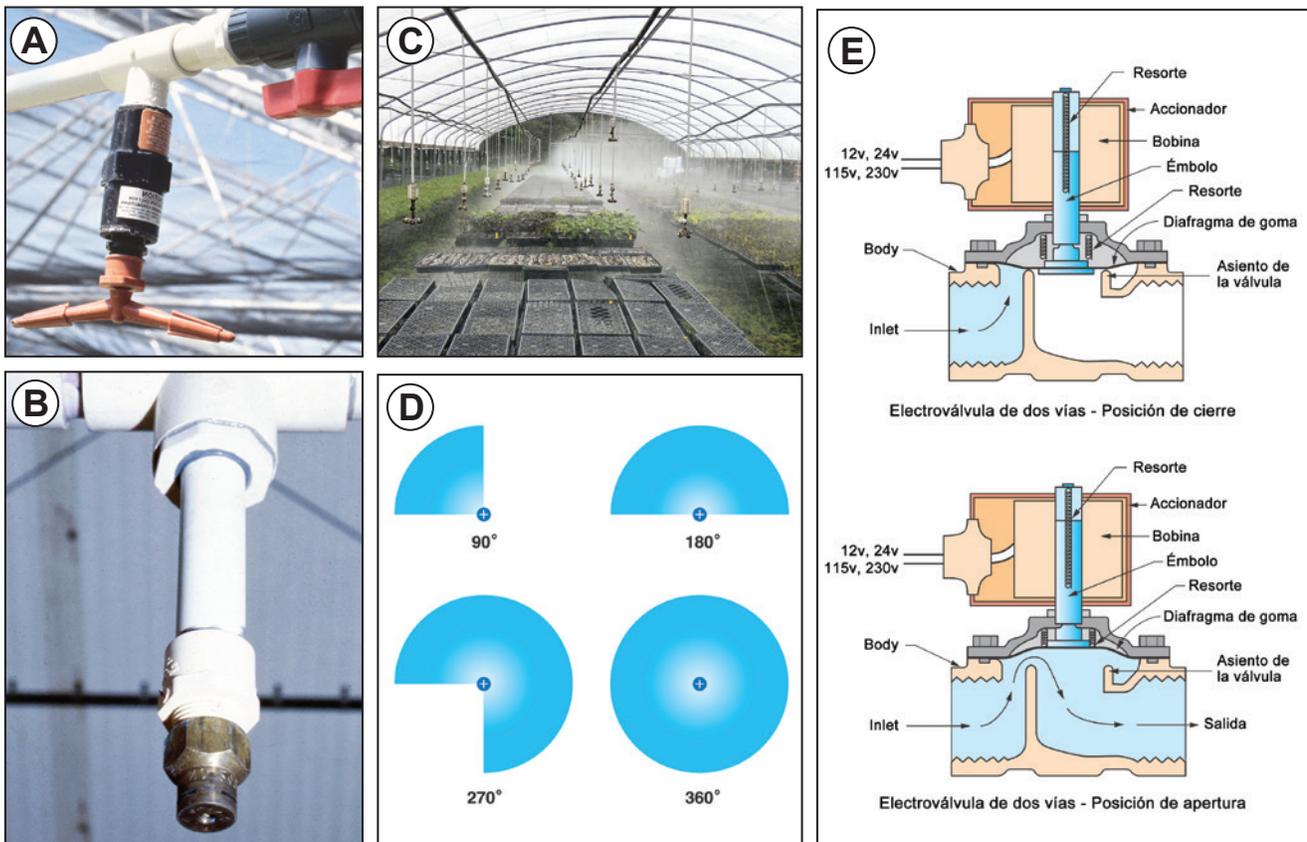


Figura 11.20—Los aspersores giratorios (A) o las boquillas fijas (B) pueden utilizarse con sistemas de aspersión aéreos (C) o basales. Además de la versión de círculo completo, las boquillas fijas están disponibles en versiones de un cuarto, medio y tres cuartos de círculo (D). El riego puede controlarse con válvulas solenoides (E) conectadas a temporizadores. Fotos A y B de Thomas D. Landis, foto C de Diane L. Haase, la ilustración D por Jim Marin, y la ilustración E por John W. Bartok, Jr.

En general, el entorno de propagación se divide en “bahías” o “zonas” de riego en función del número de boquillas que la bomba puede hacer funcionar a la vez con la presión de agua deseada. Las presiones de funcionamiento ideales varían según el tipo de aspersor, y las especificaciones están disponibles a través del fabricante. En cada zona puede conectarse una válvula solenoide de control (figura 11.20E) a un temporizador de riego para poder programar la duración y la secuencia del riego. El tamaño de cada zona de riego puede diseñarse para acomodar plantas con diferentes necesidades de riego dentro de una estructura de cultivo más grande. Cuando se diseña un nuevo sistema de riego, es una buena idea obtener la ayuda de un especialista en riego para asegurarse de que el sistema tiene la cobertura y la presión del agua necesarias.

Aspersores Basales Fijos

Los sistemas de riego basal se utilizan habitualmente en grandes áreas de cultivo exterior o retención (figuras 11.21A, 11.21B). Son similares a los sistemas aéreos en cuanto a su diseño y funcionamiento, ya que utilizan una red regular de líneas de riego permanentes o móviles con aspersores regularmente espaciados. Se suelen utilizar tanto aspersores fijos como boquillas de impacto giratorias (figuras 11.21B, 11.21C). Estos aspersores giran lentamente debido al impacto de un brazo cargado por un resorte que se mueve dentro y fuera del chorro de la boquilla. Los aspersores de impacto rotativo están disponibles en varios fabricantes con una variedad de tamaños de boquillas y capacidades de cobertura. Dado que la presión del agua que sale del chorro de la boquilla impulsa el brazo de impacto, el patrón de distribución del agua de estos aspersores depende espe-

cialmente de una presión de agua adecuada. Una de las ventajas de los sistemas de riego basal es que los aspersores de impacto tienen áreas de cobertura relativamente grandes, lo que significa que se necesitan menos boquillas y menos tuberías de riego.

Diseño y Supervisión de Sistemas de Aspersión Fijos

La eficacia y la uniformidad de un sistema de riego dependen de cinco factores: (1) el diseño de las boquillas, (2) el tamaño del orificio de las boquillas, (3) la presión del agua y la tasa de aplicación en la boquilla, (4) el espaciado y el patrón de las boquillas, y (5) la cantidad de viento. Pocos procedimientos operativos pueden mejorar un sistema mal diseñado. Por lo tanto, es importante consultar a un ingeniero de riego durante las fases de planificación. Las consideraciones básicas de ingeniería, como la pérdida de fricción en las tuberías o accesorios y el efecto de la presión del agua en el funcionamiento de los aspersores, deben incorporarse al diseño del sistema de riego.

El tamaño de la boquilla del aspersor y su patrón de cobertura resultante pueden determinarse consultando las especificaciones de rendimiento proporcionadas por el fabricante del aspersor. Los responsables de los viveros deben seleccionar un tamaño de boquilla lo suficientemente grueso como para penetrar en el follaje de la planta y minimizar la deriva del viento, pero no lo suficientemente grande como para crear problemas de salpicaduras. La mayoría de los aspersores fijos lanzan el agua en un patrón de distribución circular (figura 11.22A), por lo que los sistemas de riego

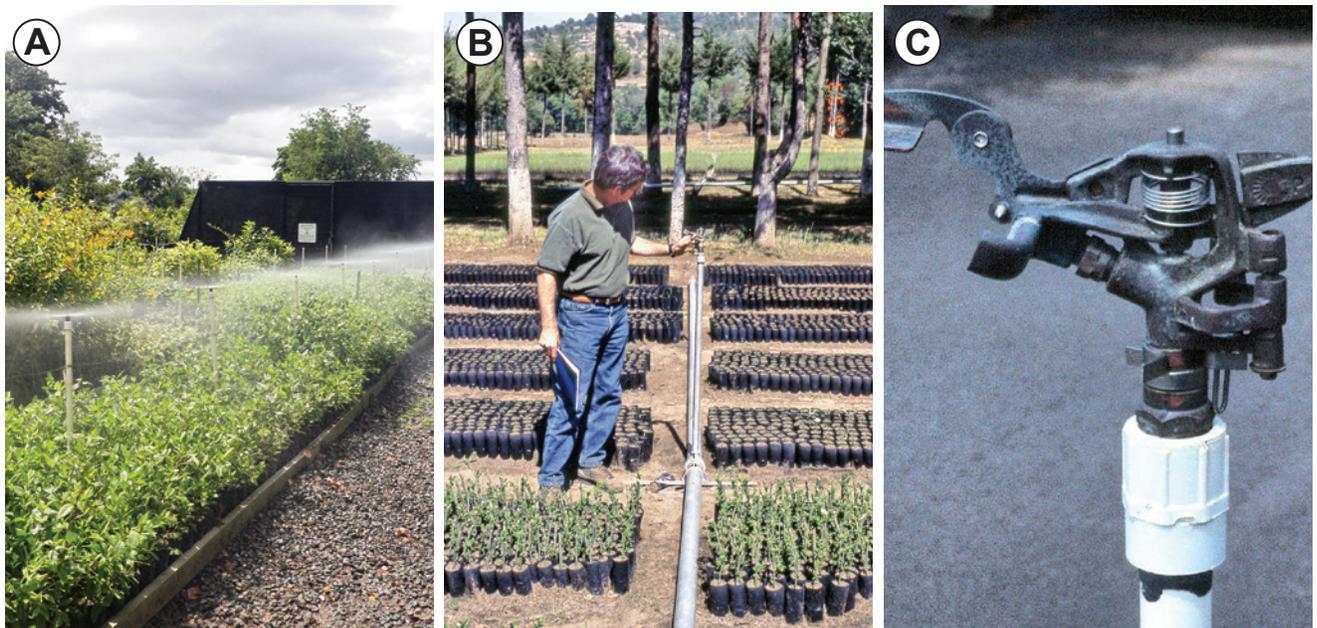


Figura 11.21—Los sistemas de riego basal fijo (A) suelen utilizarse en las zonas de cultivo exteriores. Los aspersores de impacto rotativo (B, C) se utilizan habitualmente por su mayor cobertura. Foto A de Brian F. Daley, y fotos B y C de Thomas D. Landis.

deben ser diseñados para proporcionar una superposición adecuada entre los aspersores (figura 11.22B). Esta consideración es especialmente importante en los invernaderos casa sombra o en las zonas de cultivo al aire libre, donde las ráfagas de viento pueden ser un problema. Con demasiada frecuencia, los aspersores se espacian a intervalos mayores en un esfuerzo por ahorrar costes, pero esta práctica es una falsa economía teniendo en cuenta el profundo efecto del agua y los nutrientes inyectados en el crecimiento de las plantas.

Dado que la presión del agua influye tanto en el funcionamiento y la eficacia de los aspersores, es necesario controlarla regularmente con un manómetro montado permanentemente cerca de las boquillas (figura 11.22C) o con un manómetro equipado con un tubo de Pitot directamente desde el orificio de la boquilla del aspersor. Es necesario comprobar la presión en varias boquillas diferentes, incluida la más alejada de la bomba. La importancia de las comprobaciones periódicas de la presión del agua no se puede exagerar, ya que hay muchos factores que pueden provocar un cambio en la presión de las boquillas. Cuando la presión del agua es demasiado alta o demasiado baja, puede causar patrones de distribución erráticos en forma de rayas o círculos (figura 11.22D). Las especificaciones de rendimiento de los aspersores a presiones de agua estándar pueden obtenerse del fabricante.

Sistemas de Riego con Barra Móvil

El tipo más caro pero eficiente de riego por aspersión es la barra móvil (figura 11.23A), que aplica el agua en un patrón lineal (figura 11.23B). Las barras móviles se consideran generalmente demasiado caras para los viveros más pequeños, pero deben considerarse si son apropiadas para su escala. Para más información, véase Landis y otros (1989).

Subirrigación

Los sistemas de riego por aspersión han sido a menudo la elección de los viveros de contenedores porque los sistemas son relativamente baratos y fáciles de instalar. Sin embargo, la ineficacia inherente a los sistemas aéreos se convierte en un problema muy grave con muchas especies tropicales, especialmente las que tienen hojas anchas. Las hojas anchas, combinadas con el estrecho espaciamiento de las plantas en un vivero, crean un dosel que intercepta la mayor parte del agua aplicada a través de los sistemas de riego por aspersión, reduciendo la eficiencia del uso del agua y creando una distribución variable del agua entre las plantas (figuras 11.24A, 11.24B). Estos problemas pueden evitarse con los sistemas de subirrigación, que ofrecen una alteración prometedora para los viveros de plantas tropicales (Schmal y otros 2011).

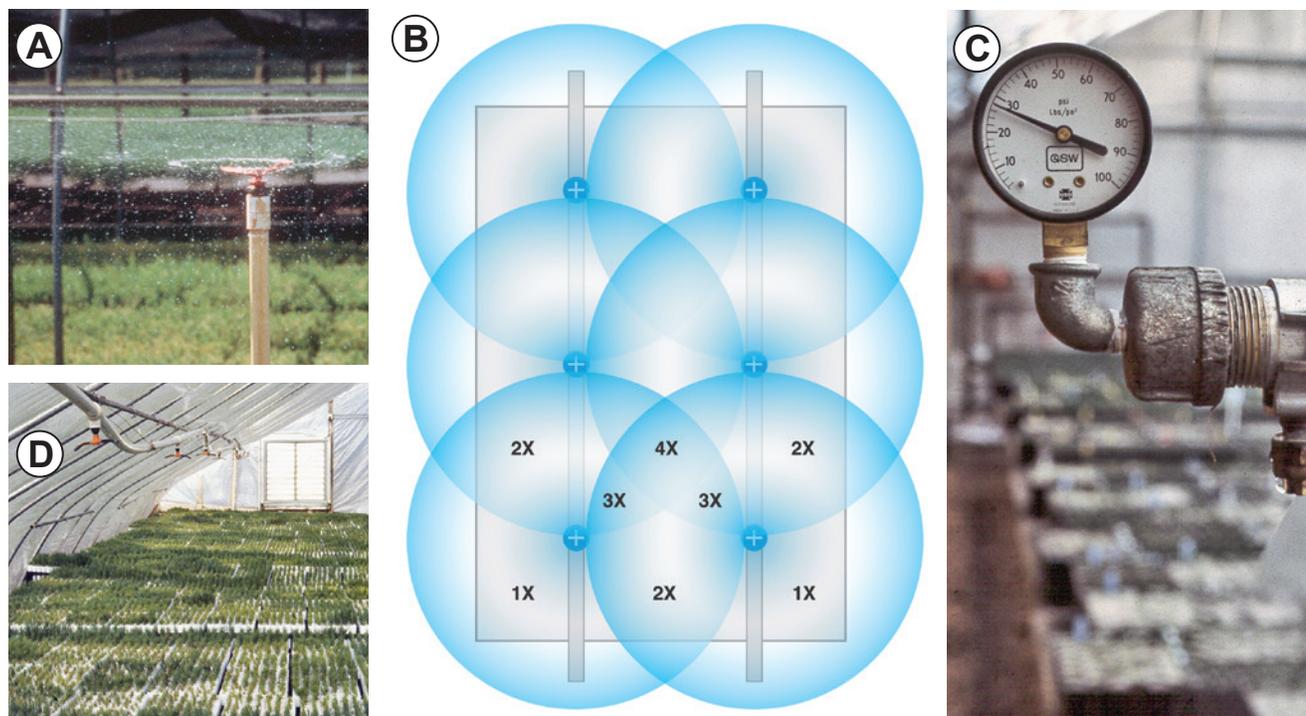


Figura 11.22—Dado que los aspersores producen un patrón de riego circular (A), el espaciado adecuado es fundamental para producir una superposición adecuada (B). Compruebe anualmente la presión del agua de los sistemas de riego para garantizar un funcionamiento eficaz de las boquillas (C) antes de que se manifiesten los problemas de riego (D). Fotos A, C y D de Thomas D. Landis, e ilustración B de Jim Marin.



Figura 11.23—Los sistemas de riego de barra móvil (A) aplican el agua en un patrón lineal muy eficiente (B), pero pueden considerarse demasiado caros para muchos viveros tropicales. Fotos de Thomas D. Landis.

La subirrigación es una opción de riego relativamente nueva, pero se ha utilizado con éxito para cultivar muchas plantas nativas, desde hierbas (Pinto y otros 2008) hasta árboles (Dumroese y otros 2006, Davis y otros 2008). Los estudios que se están llevando a cabo con árboles tropicales nativos y otras especies nativas están demostrando que las plantas regadas por subirrigación pueden crecer tan bien como las regadas con sistemas de riego por aspersión, pero con menos uso de agua, menos nitrogenados (Dumroese y otros 2007). En los sistemas de subirrigación, los fondos de los contenedores se sumergen temporalmente en agua de forma periódica (por ejemplo, durante varios minutos una vez al día). A continuación, el agua se drena, dejando el sustrato completamente húmedo mientras las hojas permanecen secas. A continuación, el agua se drena, dejando el sustrato de cultivo completamente mojado mientras las hojas permanecen secas.

Los sistemas de subirrigación se basan en la capilaridad para mover el agua a través del sustrato en contra de la gravedad. La capilaridad es el resultado de la atracción de las moléculas de agua entre sí y hacia otras superficies. Después de inundar la bandeja de sub-riego, el agua se moverá hacia arriba a través del sustrato en los contenedores (figura 11.24C). La altura a la que se desplazará el agua dependerá de las características del contenedor y del sustrato de cultivo. Cuanto más pequeños sean los poros entre las partículas del sustrato, mayor será el movimiento del agua.

Se han desarrollado varios sistemas de subirrigación. Algunos, como los lechos capilares y las esteras, no funcionan con los contenedores de fondo estrecho que suelen utilizarse en los viveros tropicales. Con los sistemas de subirrigación de flujo y reflujo (o de flujo e inundación), los contenedores se sitúan en compartimentos montados en bancos o en el suelo. El compartimento puede ser un banco (figuras 11.24D, 11.24E) o una bandeja (figura 11.24 F) diseñados para la subirrigación o puede estar construido con material de revestimiento para estanques rodeado por un borde elevado de madera o albañilería. Otro tipo de subirrigación es el de suelo inundado, en el que se inunda un suelo especial de hormigón y luego se drena el agua. En los sistemas de subirrigación por canalización, los recintos se montan en bancos con una ligera pendiente y el agua fluye a través de los recintos. El agua drenada puede capturarse en un tanque de retención y reutilizarse en los cultivos o dirigirse a la jardinería, a los lechos de acodo o a otras partes del vivero, o drenarse al suelo (tenga cuidado con este paso para asegurarse de que las sales de los fertilizantes no afecten a la calidad de las aguas subterráneas). Si se recicla el agua, asegúrese de controlar periódicamente su calidad para evitar posibles problemas de acumulación de sales o de transmisión de enfermedades.

Los sistemas de subirrigación son ideales para muchas plantas nativas. Aunque los sistemas de subirrigación prefabricados están disponibles en el mercado, los viveros con un presupuesto limitado pueden considerar el diseño de sus propios sistemas utilizando los materiales disponibles. Por ejemplo, se pueden hacer sistemas con bloques de hormigón y revestimiento de estanque o con estanques prefabricados de plástico drenable, incluso con “piscinas para niños” de plástico (figura 11.24 G) (Schmal y otros 2007). (Nota: Algunos materiales, como el metal galvanizado, son inadecuados debido a la toxicidad del zinc.

Existen algunas consideraciones de diseño importantes para los sistemas de subirrigación. Los orificios de drenaje del fondo de los contenedores deben tener un buen contacto con el agua para que ésta entre en el contenedor. La subirrigación puede ser menos efectiva durante la fase de arraigo, cuando el sustrato en las partes superiores de los contenedores debe estar húmedo para promover la germinación y el crecimiento temprano; por lo tanto, al principio puede ser necesario el

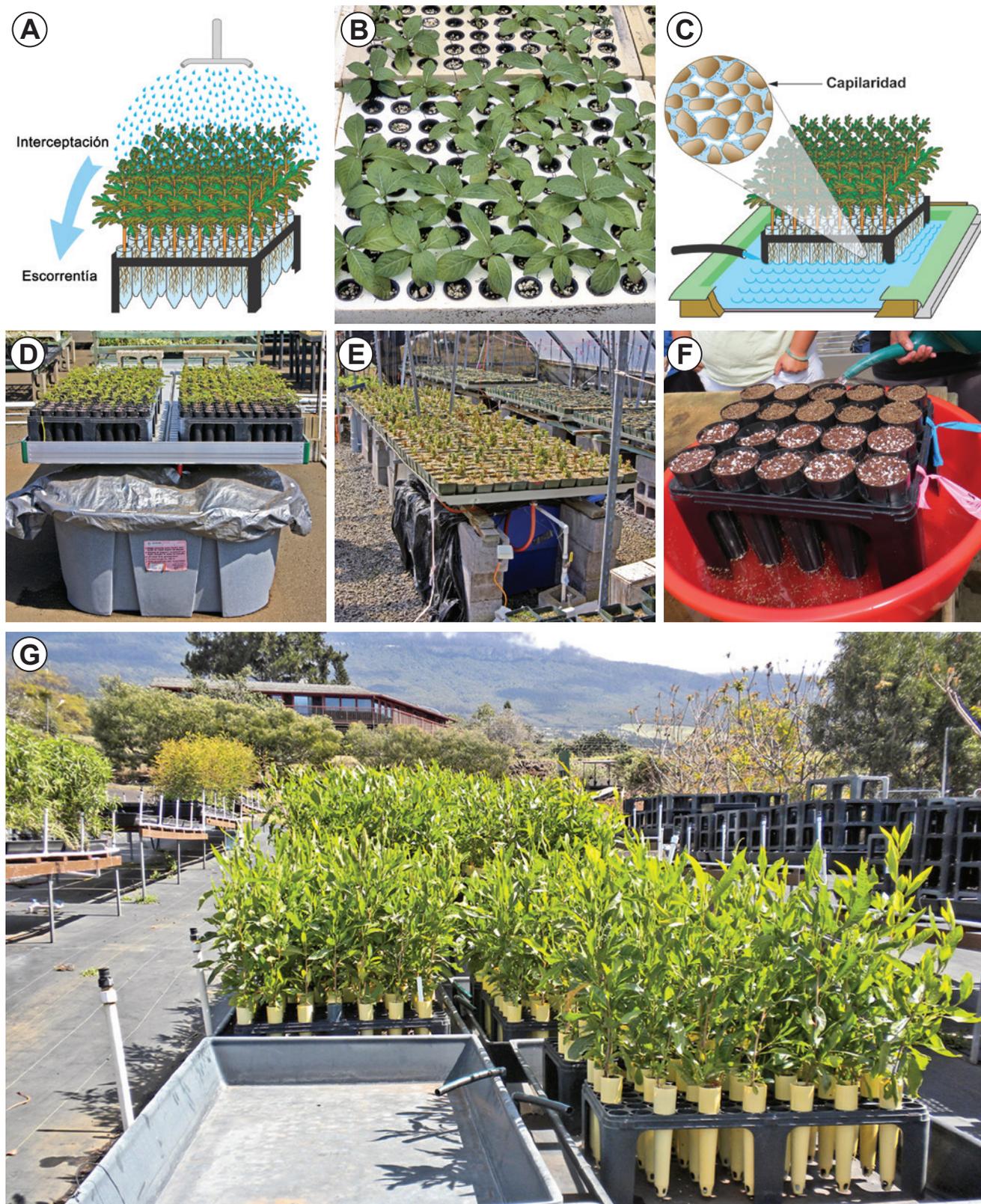


Figura 11.24—El riego por aspersion aérea es ineficaz para las plantas de hoja ancha porque gran parte del agua es interceptada por el follaje, lo que se denomina “efecto paraguas” (A), que puede comenzar incluso cuando las plántulas son jóvenes (B). La subirrigación funciona porque el agua es arrastrada hacia arriba en los contenedores por capilaridad (C). La subirrigación se ha utilizado eficazmente en varios viveros tropicales y puede llevarse a cabo mediante bancos (D, E), bandejas (F) u otros recintos (G). Ilustraciones A y C de Dumroese y otros (2008), fotos B, D y E de Thomas D. Landis, y fotos F y G de Diane L. Haase

riego manual suplementario o el riego por aspersión. La poda de las raíces por aire puede reducirse con la subirrigación, lo que hace necesaria la poda manual; este sistema es desaconsejado para las plantas muy sensibles a la poda de las raíces.

Conservación del Agua y Gestión de las Aguas Residuales del Vivero

Dependiendo de la eficiencia del sistema de riego, la escorrentía y las aguas residuales del vivero pueden ser factores importantes a tener en cuenta. El riego por aspersión aéreo es menos eficiente que un sistema de barras. Los sistemas de microrriego o subirrigación son mucho más eficientes, pero no son prácticos para algunos tipos de contenedores y plantas.

El problema de la escasa eficiencia del riego va más allá del simple desperdicio de agua, aunque eso ya es una preocupación tanto medioambiental como económica. Además, muchos viveros de contenedores aplican una parte o la totalidad de sus fertilizantes y plaguicidas a través del sistema de riego. Los fertilizantes líquidos suelen aplicarse en exceso de la cantidad real necesaria para saturar el sustrato y lixiviar el exceso de sales. La mayoría de los plaguicidas se aplican en un soporte acuoso. Algunos de estos productos químicos acaban inevitablemente en las aguas residuales del vivero.

Hasta hace poco, se pensaba que el suelo bajo el vivero filtraba o descomponía las sales de los fertilizantes y los plaguicidas, pero esta creencia ha sido refutada. Las pruebas

de lixiviación en los viveros de coníferas han demostrado que el exceso de nutrientes de los fertilizantes y los plaguicidas se filtran hacia abajo y pueden contaminar las aguas subterráneas. Maximizar la eficiencia de los sistemas de riego y aplicar estrategias de conservación del agua (cuadro 11.6, figura 11.25) es la forma más eficaz de reducir la escorrentía.

El reciclaje directo del agua usada en los viveros no suele hacerse, salvo en los sistemas de subirrigación. De lo contrario, a pequeña escala, el gasto del tratamiento del agua y los riesgos de reintroducir un exceso de sales o de plagas hacen que esta práctica sea impopular. Sin embargo, los sistemas de reciclaje del agua de escorrentía de los viveros pueden ser económicamente viables en zonas con mucha limitación de agua. Las opciones menos tecnológicas para la reutilización del agua pueden hacer uso de un suelo de vivero impermeable (como el revestimiento de un estanque) para recoger el agua de escorrentía del vivero. Esta agua puede almacenarse en un estanque o un depósito, o bien puede aplicarse directamente a otros cultivos. Los cultivos más tolerantes a las sales, como los juncos, pueden beneficiarse del uso del agua de escorrentía, e incluso estos cultivos limpiarán y filtrarán el agua. Los viveros que cultivan plantas acuáticas o semiacuáticas pueden dirigir la escorrentía a estas plantas y aumentar así la eficiencia del uso del agua en la operación del vivero. Los cultivos en el campo, como los huertos de semillas, los cultivos de humedales, el paisajismo circundante o los cultivos de plátanos, palmeras o árboles, pueden beneficiarse de ser regados con el agua de

Cuadro 11.6—*Los viveros pueden incorporar una serie de prácticas hortícolas para utilizar el agua de riego de forma eficaz y eficiente.*

Práctica de viveros	Efecto de conservación
Mantillo (figura 11.25A)	Reduce la evaporación de la superficie del sustrato; cuanto mayor sea el contenedor, mayor será el ahorro
Cortavientos (capítulo 2, figura 2.13A)	Reduce la pérdida de agua y el estrés de las plántulas debido al viento
Elimine las plantas de desecho y minimice el espacio entre los contenedores, incluyendo los pasillos	Reduce el uso innecesario de agua y la escorrentía resultante
Malla sombra y casas sombra (figura 11.25B)	Reduce el uso de agua para las especies que no requieren plena luz solar
Recoger la escorrentía y reciclar el agua para utilizarla en los jardines y otros cultivos	Ahorra cantidades considerables de agua y reduce el uso de fertilizantes
Tratar las aguas de escorrentía mediante filtración o drenajes sostenibles	Reduce los contaminantes en el agua reciclada

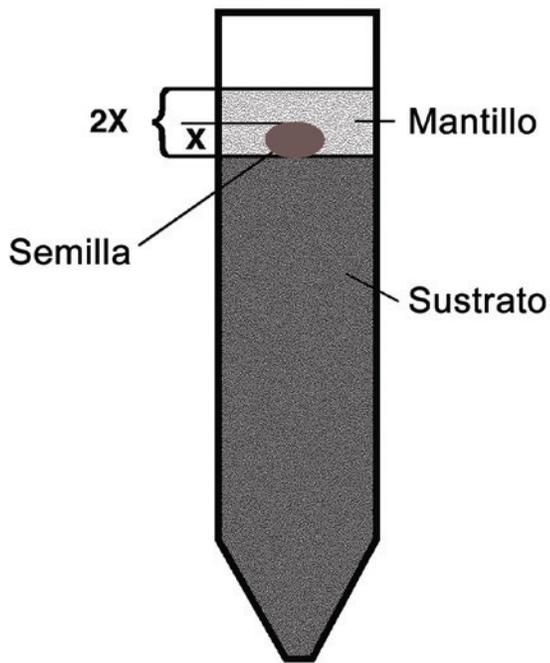
A**B****C**

Figura 11.25—El agua puede conservarse mediante muchas prácticas, como cubrir los recipientes sembrados con un mantillo (A); reducir la transpiración y la pérdida de agua por evaporación con la sombra (B); y aislar las zonas de cultivo, como con el aislamiento con balas de paja alrededor del perímetro de la zona de cultivo (C). Ilustración A de Dumroese y otros (2008), foto B de Thomas D. Landis, y foto C de Tara Luna.

escorrentía del vivero. Si los cultivos se sitúan cuesta abajo del propio vivero, el sistema puede alimentarse por gravedad. De lo contrario, será necesaria una bomba para aplicar el agua a los cultivos.

Referencias

Biernbaum, J. 1995. How to hand water. *Greenhouse Grower*. 13(14): 39, 24, 44.

Cayanan, D.F.; Zheng, Y.; Zhang, P.; Graham, T. 2008. Sensitivity of five container-grown nursery species to chlorine in overhead irrigation water. *HortScience*. 43: 1882–1887.

Davis, A.S.; Jacobs, D.F.; Overton, R.P.; Dumroese, R.K. 2008. Influence of irrigation method and container type on growth of *Quercus rubra* seedlings and media electrical conductivity. *Native Plants Journal*. 9: 4–12.

Dumroese, R.K.; Jacobs, D.F.; Davis, A.S.; Pinto, J.R.; Landis, T.D. 2007. An introduction to subirrigation in forest and conservation nurseries and some preliminary results of demonstrations. In: Riley, L.E.; Dumroese, R.K.; Landis, T.D., eds. national proceedings: forest and conservation nursery associations—2006. Proceedings RMRS-P-50. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: 20–26.

Dumroese, R.K.; Pinto, J.R.; Jacobs, D.F.; Davis, A.S.; Horiuchi, B. 2006. Subirrigation reduces water use, nitrogen loss, and moss growth in a container nursery. *Native Plants Journal*. 7(3): 253–261.

Dumroese, R.K.; Luna, T.; Landis, T.D. 2008. Nursery manual for native plants: volume 1, a guide for tribal nurseries. Agriculture Handbook 730. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 302 p.

Fawell, J.; Bailey, K.; Chilton, J.; Dahi, E.; Fewtrell, L.; Magara, Y. 2006. Fluoride in drinking water. World Health Organization. London, United Kingdom: International Water Association (IWA) Publishing. 134 p.

- Gingerich, S.B. 2003. Hydrologic resources of Guam. Water-Resources Investigation Report 03-4126. Honolulu, HI: U.S. Department of the Interior, Geological Survey. 3 p.
- Handreck, K.A.; Black, N.D. 1984. Growing media for ornamental plants and turf. Kensington, Australia: New South Wales University Press. 401 p.
- Jones, J.B., Jr. 1983. A guide for the hydroponic and soilless culture grower. Portland, OR: Timber Press. 124 p.
- Kaapuni Nursery. 2011. *Cordyline terminalis* 'Ti' plant. Kapahi, Kaua'i, HI: Kaapuni Nursery. <http://www.kaapuninursery.com/Nursery.html>. (December 2011).
- Landis, T.D.; Tinus, R.W.; McDonald, S.E.; Barnett, J.P. 1989. The container tree nursery manual: volume 4, seedling nutrition and irrigation. Agriculture Handbook 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 119 p.
- Pinto, J.R.; Chandler, R.; Dumroese, R.K. 2008. Growth, nitrogen use efficiency, and leachate comparison of subirrigated and overhead irrigated pale purple coneflower seedlings. HortScience. 43: 897-901.
- Robbins, J. 2011. Irrigation water for greenhouses and nurseries. Publication FSA6061. Little Rock, AR: University of Arkansas, Horticulture Department. 6 p.
- Schmal, J.L.; Wollery, P.O.; Sloan, J.P.; Clark, D.F. 2007. A low-tech, inexpensive subirrigation system for production of broadleaved species in large containers. Native Plants Journal. 8: 267-269.
- Schmal, J.L.; Dumroese, R.K.; Davis, A.S.; Pinto, J.R.; Jacobs, D.F. 2011. Subirrigation for production of native plants in nurseries – concepts, current knowledge, and implementation. Native Plants Journal. 12:81-93.
- Stetson, L.E.; Mecham, B.Q. 2011. Irrigation. 6th ed. Falls Church, VA: Irrigation Association. 1,089 p.
- Tchobanoglous, G.; Schroeder, E.D. 1985. Water quality: characteristics, modeling, modification. Melo Park, CA: Addison-Wesley Publishing Co. 768 p.
- Zheng, Y.; Cayan, D.F.; Dixon, M. 2009. Control of pathogens in irrigation water using chlorine without injury to plants. International Plant Propagators' Society, Combined Proceedings. 58: 248-249.