

# **Manual de Viveros para la Producción de Especies Forestales en Contenedor**

Volumen Uno  
Planeación, Establecimiento y Manejo  
del Vivero

Capítulo 4  
Control del Ambiente y Equipo  
para la Producción

## Contenido

	<b>Página</b>
<b>1.4.1 Introducción</b>	<b>104</b>
<b>1.4.2 Controles Ambientales e Instrumentación</b>	<b>105</b>
1.4.2.1 Temperatura	105
Enfriamiento	105
Calentamiento	107
Sensores de temperatura y controles	108
Sistemas de conservación de calor	109
1.4.2.2 Humedad	109
Humidificación	110
Deshumidificación	110
Sensores de humedad y controles	110
1.4.2.3 Luz	111
Sombreado	111
Iluminación artificial	111
Sensores de luminosidad y controles	111
1.4.2.4 Bióxido de carbono	112
Incremento del bióxido de carbono	112
Sensores de bióxido de carbono y controles	112
1.4.2.5 Riego	113
Sistemas de riego	113
Monitoreo y regulación del riego	113
1.4.2.6 Fertilización	114
Sistemas de fertilización	114
Supervisión y regulación de la fertilización	115
1.4.2.7 Sistemas de control ambiental	115
Controles independientes y exclusivos	115
Controladores integrados análogos	116
Control climático computarizado	117
1.4.2.8 Seguridad en el vivero y equipo de emergencia	118
<b>1.4.3 Mesas y Soportes para Contenedores</b>	<b>121</b>
1.4.3.1 Plataformas	123
1.4.3.2 Mesas	123
Mesas fijas	124
Mesas móviles	124
1.4.3.3 Materiales de construcción	125
<b>1.4.4 Equipo para el Manejo de Materiales y Plantas</b>	<b>127</b>
1.4.4.1 Bandas transportadoras	127
1.4.4.2 Equipo manual y vehículos motorizados	129

	<b>Página</b>
<b>1.4.5 Equipo para la Producción de Plantas e Insumos</b>	<b>131</b>
1.4.5.1 Contenedores	131
Tipos de contenedor	131
Limpieza y esterilización de contenedores usados	132
1.4.5.2 Sustrato artificial	134
Componentes	134
Mezclado del sustrato	134
1.4.5.3 Líneas de siembra	137
1.4.5.4 Equipo para el llenado de contenedores	138
1.4.5.5 Equipos de siembra	140
Sembradora de caja perforada con rejilla movable	140
Sembradora de vacío	141
Sembradoras automáticas y de precisión	143
Cubrimiento de la semilla (con arenilla)	143
1.4.5.6 Equipo para el trasplante	146
1.4.5.7 Equipo para aplicación de plaguicidas	146
Aspersoras portátiles	147
Aspersoras de aguilón	147
<b>1.4.6 Equipos para la Cosecha</b>	<b>149</b>
1.4.6.1 Líneas de clasificación y empaado	150
1.4.6.2 Almacenamiento	151
<b>1.4.7 Resumen</b>	<b>152</b>
<b>1.4.8 Literatura Citada</b>	<b>153</b>

### 1.4.1 Introducción

En el Capítulo 3 de este volumen, se revisó el diseño de ambientes de propagación considerando tanto el clima como los requerimientos biológicos de la producción. Ahora, en este capítulo se discutirán aspectos de equipamiento y materiales necesarios, para mantener el ambiente de propagación y lograr la producción de plantas.

Este capítulo consiste en dos partes. La primera discute brevemente el tipo de equipo que puede ser utilizado para modificar los ambientes de propagación (sección 1.4.2) y optimizar los **seis factores que determinan el crecimiento de la planta: temperatura, humedad, luz, dióxido de carbono, agua y nutrientes minerales**. Esta sección pretende ser una introducción general para los constructores que están diseñando nuevos viveros, así como para los viveristas que demandan la modernización de sus instalaciones. (Los sistemas de seguimiento y control con información más específica sobre los conceptos biofísicos de los factores limitativos, así como la modificación de cada uno de éstos, se proporciona en los volúmenes tres y cuatro de esta serie).

La segunda parte de este capítulo (secciones 1.4.3 a 1.4.6) trata sobre los requerimientos de materiales y equipo para producir planta, desde el tipo de mesas hasta la diversidad de los sistemas de almacenamiento. Una pequeña discusión de los conceptos básicos introduce cada etapa en el proceso de producción de planta (Un mayor detalle se proporciona en los volúmenes dos, seis y siete de esta serie. El volumen siete aún está en elaboración al momento de realizar esta traducción).

## 1.4.2 Controles Ambientales e Instrumentación

A las plantas cultivadas en instalaciones a cielo abierto se les puede proporcionar riego y fertilización, aunque la luz y temperatura pueden ser controladas en un menor grado. Los viveros que producen en contenedor en algún tipo de estructura de propagación tienen la propiedad de poder controlar los seis factores limitantes. El grado de control depende del tipo de estructura y del equipo para el control ambiental con el que cuentan. Para efectos de planeación, la mayoría de los costos del equipo varían con el tamaño del área de producción, aunque algunos costos son fijos (tabla 1.4.1).

### 1.4.2.1 Temperatura

Las opciones para el control de temperatura en estructuras a cielo abierto son muy limitadas. Los invernaderos y las áreas de acondicionamiento están generalmente equipados con equipo de enfriamiento y calefacción que corresponde al tipo de estructura y al clima donde se encuentra establecido el vivero.

**Enfriamiento.** La única forma posible de controlar la temperatura en las estructuras de producción a cielo abierto es el enfriamiento mediante el riego. Esta técnica puede también ser utilizada en las estructuras de propagación. Dado que cualquier tipo de superficie de la cual el agua que se evapora es enfriada, incluyendo el follaje, pequeñas aspersiones del riego podrán bajar la temperatura de la planta sin incrementar la humedad del suelo a niveles dañinos.

El control de la temperatura llega a ser mucho más complicado en las estructuras de propagación debido a la luz solar. Durante el día, comúnmente es más difícil enfriar un invernadero que calentarlo, dado que muchas longitudes de onda de la luz solar son transformadas en energía calórica y la cubierta detiene el flujo de aire. Un estudio reciente encontró que la mitad de la energía solar que entra en un invernadero en un día soleado incrementa la temperatura del aire (Roberts y Giacomelli, 1992).

**Tabla 1.4.1.** Estimación de los costos de planeación para el equipamiento del control ambiental

Factor ambiental y tipo de equipo	Costo/m <sup>2</sup> (\$USD)	Costo /pie <sup>2</sup> (\$USD)
Temperatura – Enfriamiento		
Ventiladores de extracción y controles	8.61 – 12.91	0.80 – 1.20
Sistema de enfriamiento por evaporación	15.06 – 19.37	1.40 – 1.80
Cortina de sombra automática (adicional a la de la sección de luz)	17.22 – 25.82	1.60 – 2.40
Temperatura – Calentamiento		
Calentadores individuales – aire caliente	10.76 – 18.83	1.00 – 1.75
Calentador central – agua caliente o vapor	16.14 – 26.90	1.50 – 2.50
Sistema de retención de calor – manual	5.38 – 10.76	0.50 – 1.00
Sistema de retención de calor – motorizado	13.45 – 32.28	1.25 – 3.00
Agua/humidificación		
Aspersores fijos superiores	8.07 – 13.45	0.75 – 1.25
Aspersor de cañón móvil*	10.76 – 21.52	1.00 – 2.00*
Sistema de nebulización	5.38 – 10.76	0.50 – 1.00
Nutrición mineral		
Inyector de fertilizante*	1.61 – 5.38	0.15 – 0.50*
Luz		
Sistema de iluminación fotosintética	21.52 – 26.90	2.00 – 2.50
Sistema de iluminación fotoperiódica	10.76 – 32.28	1.00 – 3.00
Cortina automática de sombreado (adicional a la de la sección de enfriamiento)	17.22 – 25.82	1.60 – 2.40
Bióxido de carbono		
Generador de bióxido de carbono	1.08 – 2.15	0.10 – 0.20
Todos		
Control ambiental por computadora*	8.07 – 13.45	0.25 – 1.25

Observe que éstos son sólo costos de equipo; los costos de operación pueden ser considerables

(\*) más o menos costos fijos, varían ligeramente de acuerdo a la zona  
Fuente: Aldrich y Bartok (1989), Hummert (1993) y Mackenzie (1993).

La modificación de las estructuras de propagación es la primera estrategia para el enfriamiento. Las estructuras de aclimatación son muy populares debido a que sus paredes laterales pueden ser levantadas para permitir el flujo del aire (ver fig. 1.3.5A). Con invernaderos establecidos, un punto importante a considerar son las mallas sombra, siempre y cuando el cultivo pueda crecer bien bajo condiciones de baja intensidad de luz solar. Algunas especies forestales pueden crecer en forma satisfactoria a bajas intensidades de luz solar, pero muchas, incluyendo la mayoría de las coníferas con fines comerciales, requieren de mayor intensidad de luz. Por supuesto esto dependerá de la condición climática de cada región. En las zonas inter-montañas del oeste (EUA), las intensidades de luz son generalmente altas, por lo que el sombreado deberá ser considerado. Sin embargo, en climas donde existen muchos días nublados, la consideración de utilizar malla sombra no es una estrategia adecuada. Las cortinas automáticas para proporcionar sombra son relativamente caras (fig. 1.4.1A), sin embargo pueden proporcionar un excelente control de la luz solar en el área de crecimiento. (La tolerancia a la sombra de las plantas y las técnicas de sombreado se discuten en el volumen tres de esta serie).

El equipo de enfriamiento opera bajo dos principios biofísicos: primero, el incremento del flujo del aire reemplaza al aire caliente en la periferia de las camas de crecimiento y, segundo, una cantidad significativa de calor en el ambiente es absorbida cuando el agua se evapora. Existen tres tipos de sistemas de enfriamiento, los cuales pueden ser utilizados de manera independiente, sin embargo es más común utilizarlos en forma combinada. El costo del equipamiento varía en función al tipo de sistema (tabla 1.4.1). (El equipo de enfriamiento es analizado en el volumen tres).



A



B



C

**Figura 1.4.1.** Los ambientes de propagación pueden ser enfriados reduciendo la luz solar mediante malla sombra (A), incrementando la circulación horizontal del aire con ventiladores (B) o con enfriamiento por evaporación mediante la circulación de aire a través de una pared húmeda (C).

**Ventilación por convección.** Este tipo de sistema de enfriamiento es muy eficiente en el consumo de energía. Se compone de ventilas en la parte superior y en las paredes laterales de la estructura de propagación. Cuando las ventilas son abiertas, el aire caliente que se encuentra en la parte alta se escapa y es remplazado por aire seco y fresco proveniente de los lados. Las ventilas pueden ser abiertas en forma manual, o más comúnmente, como la primera acción en un sistema de control secuencial. Desafortunadamente, la ventilación por convección es más eficiente en tiempo atmosférico frío, cuando existe un fuerte gradiente entre las temperaturas al interior y exterior de la estructura, además de que también depende de la dirección y velocidad del viento (Roberts y Giacomelli, 1992).

**Ventiladores.** Este tipo de ventilación es más confiable y eficiente que el sistema por convección, por lo que las estructuras completamente automatizadas cuentan con una pared con extractores para forzar la salida del aire a través de éstos. El sistema de extractores trabaja de una manera óptima en estructuras menores a 45 m de longitud (150 pies), debiendo ser de un tamaño adecuado e instalado en un lugar apropiado para lograr la máxima eficiencia (Bartok, 1993). Aún las estructuras de aclimatación están comúnmente equipadas con ventiladores portátiles para incrementar el intercambio de aire (fig. 1.4.1B). Los nuevos sistemas de flujo horizontal del aire (FHA) puede mantener la temperatura en el interior hasta 1.8 °C (3.2 °F), con tan solo 4 ventiladores de circulación por estructura (Bartok, 1994).

**Enfriamiento por evaporación.** Las estructuras completamente automatizadas pueden también equiparse con un sistema de enfriamiento por evaporación, sin embargo, su eficiencia dependerá del clima. En ambientes secos, se requerirá de un mayor potencial de enfriamiento. Los ventiladores fuerzan la circulación del aire entrante a través de un medio poroso llamado pared húmeda, cuya humedad se mantiene con agua de un tanque de recirculación (fig. 1.4.1C). Los sistemas eficientes pueden enfriar el aire hasta alcanzar temperaturas muy cercanas a la del bulbo húmedo. La mayoría de las paredes húmedas consisten de paños verticales y requieren de un tanque de recirculación y bomba para mantenerlos húmedos, aunque también existen sistemas horizontales que son asperjados y por lo tanto, no requieren de un tanque de recirculación. Alternativamente, pueden ser instaladas boquillas nebulizadoras en la entrada del aire, permitiendo que ocurra el enfriamiento por evaporación en algunos tramos dentro del invernadero.

**Calentamiento.** El primer principio del calentamiento es el controlar el movimiento del calor, el cual se da mediante el flujo de masas, conducción y radiación. El control de flujo de masa implica contar con un invernadero estrecho de forma tal que el aire entre y salga del invernadero, solamente cuando y donde se supone que lo haga. La conducción es retardada por el asilamiento, y las cubiertas bicapa pueden retardar fuertemente la pérdida de calor. El segundo principio es el incorporar o sustraer calor para mantener una temperatura deseada. El sol es la fuente principal de calor, el cual puede ser capturado y almacenado en las estructuras de aclimatación cuando las ventilas laterales están cerradas o, en un invernadero completamente cerrado. La masa térmica, o la capacidad para almacenar calor, será mayor cuando la estructura de propagación está llena. Debido al fuerte calor latente producido por la evaporación, las prácticas de riego deben ser consideradas al momento de realizar los cálculos para el calentamiento.

A las estructuras de propagación se les puede incrementar su temperatura mediante dos tipos básicos de sistemas de calentamiento, los cuales se diferencian por la ubicación y el método de la distribución del calor. Los **sistemas de calentamiento central** utilizan grandes calderas, las cuales se ubican en el área principal de operaciones o en una estructura separada, y se bombea el vapor o el agua caliente a través de conductos hacia las diferentes estructuras. Aunque éstos utilizan una gran variedad de combustibles y técnicas de distribución del calor, las unidades **calentadores** son utilizadas para el calentamiento de estructuras individuales de propagación (Calentadores, combustibles y sistemas de distribución de calor, se discuten en el volumen tres).

**Calentadores de vapor o de agua caliente.** Generalmente asociados con sistemas de calentamiento de gran tamaño, estos calentadores distribuyen agua caliente o vapor a través de tuberías que se encuentran ubicadas alrededor del perímetro de la estructura de propagación o, debajo de las mesas (fig. 1.4.2A). Los tubos irradian calor, el cual posteriormente circula a través de la estructura de propagación mediante convección. El calentamiento de las estructuras basales elimina el flujo de aire frío cercano a las paredes, y es la mejor opción para aquellos invernaderos completamente automatizados, donde las paredes laterales no pueden abrirse. Debido a que los sistemas basales pierden su efectividad a medida que se incrementa el ancho de los invernaderos, es mejor su utilización para estructuras sencillas o

individuales, que para aquellas estructuras de gran tamaño que se encuentran interconectadas. El calentamiento mediante tuberías por debajo de las mesas es benéfico para el crecimiento de las plantas, sin embargo, obstruye el acceso, además de que es más costoso.

La tubería de agua caliente también puede ser establecida en un piso de concreto aislado. Dado que los pisos de los invernaderos actúan como un reservorio de calor, los sistemas de calentamiento a través del piso son más benéficos cuando las plantas son cultivadas sobre plataformas bajas (cercas al suelo). Sin embargo, este tipo de sistemas puede ser costoso en su instalación y además, no puede reaccionar rápidamente a la demanda de calor o al cambio a una temperatura deseada.

**Calentadores de aire forzado.** Dado que son relativamente baratos y fáciles de instalar, este tipo de calentadores son populares para las áreas de acondicionamiento o para invernaderos individuales (fig. 1.4.2B). Éstos también tienen una respuesta rápida en tiempo. Los calentadores de aire forzado de fuego directo, pueden utilizar una gran variedad de combustibles o pueden recibir tanto agua caliente como vapor desde una caldera central. Además, éstos son comúnmente conectados a un sistema de circulación del tipo "fan-jet", el cual distribuye aire caliente a través de una larga tubería perforada. Los calentadores de aire forzado son generalmente instalados en la parte superior de la estructura, pero esto es ineficiente debido a que el aire caliente se eleva. Aunque llegan a estorbar para el manejo de materiales, los tubos para la distribución del calor bajo las mesas calientan los sistemas radicales, y generan una mejor distribución por convección. El movimiento del aire ascendente a través del follaje de las plantas también reduce los problemas de enfermedades.

**Calentadores infrarrojos.** Estas unidades calentadoras constan de tuberías de fierro que se montan en la parte superior de la estructura, a través de todo el invernadero y queman gas o aceite para generar calor radiante. Los reflectores irradian radiación infrarroja descendente, calentando las plantas y no el aire. Tienen un tiempo moderado de respuesta y trabajan mejor cuando el movimiento del aire es mínimo. De la misma forma que cualquier equipo montado en la parte superior de la estructura, crean sombra.

**Sensores de temperatura y controles.** Los termostatos mecánicos cuentan con una banda bimetalica expuesta o con un tubo lleno con algún tipo de líquido, los cuales cambian su longitud o configuración en función de la temperatura, con lo cual se opera un interruptor eléctrico. Estos son sencillos, resistentes y no requieren energía. Si los equipos de calentamiento o enfriamiento son controlados en forma separada, uno puede actuar como un respaldo automático del otro. Por otra parte, los termostatos separados pueden operar uno contra otro y no pueden ser conectados a un sistema de control computarizado.

Los sistemas de control de temperatura actuales trabajan a través de sensores electrónicos tales como los termopares o termistores, los cuales modifican la resistencia o el voltaje en respuesta a la temperatura. Los termostatos electrónicos tienen un diferencial de temperatura promedio menor a 1.1°C (2°F), comparado con los termostatos mecánicos, los cuales tienen variaciones desde 2.2 hasta 5.5°C (4 a 10°F) de la temperatura verdadera (Greenhouse Manager, 1994a). Estos termostatos electrónicos requieren dispositivos lógicos para leer la resistencia y el voltaje, y calcular la temperatura. Pueden ser operados mediante dispositivos sencillos de lectura en pantalla, por dedicados controladores de temperatura o mediante control ambiental computarizado, los cuales tienen varias ventajas. Un simple sensor puede operar todo el equipo de enfriamiento como el de calentamiento y puede "organizar" el control de temperatura, haciendo imposible el poner a trabajar ambos sistemas uno contra otro. Un control proporcional es posible, en lugar de una simple respuesta de encendido y apagado, el sistema es proporcional a la desviación desde el punto programado, lo cual hace que el control de temperatura sea más preciso y eficiente. Estos sistemas son fácilmente adaptables a un control por computadora y pueden incorporar muchas características especiales, tales como programación de diferentes temperaturas diurna y nocturna, la modulación de las ventilas o el control de la válvula de vapor, inyección automática de bióxido de carbono, así como la captura permanente de información. Como una medida de seguridad, muchos sistemas computarizados poseen múltiples sensores, los cuales promedian las lecturas y proporcionan una extrapolación en caso de que alguno de ellos falle.





A



B

**Figura 1.4.2.** Las estructuras de propagación pueden ser calentadas con un gran calentador central, el cual distribuye agua caliente o vapor mediante tuberías (A), o con calentadores individuales, los cuales dispersan calor hacia el interior de cada estructura de propagación (B).

**Sistemas de conservación de calor.** Están disponibles una gran variedad de dispositivos para la conservación de la energía, y van desde un simple retraso en la temperatura durante la noche, hasta sistemas complejos de cubiertas aislantes y térmicas de despliegue eléctrico. Los controles para este tipo de dispositivos pueden ser un interruptor operado por un reloj eléctrico, o un sensor a base de fotoceldas que activa el sistema a medida que empieza a oscurecer. Comúnmente estos mismos sistemas pueden controlar el oscurecimiento o las cortinas de malla sombra (fig. 1.4.1A). Los sistemas de control computarizados normalmente incorporan diferentes tácticas sofisticadas para la conservación de la energía, además del simple despliegue de las estructuras.

Existen estrategias específicas para operar eficientemente los sistemas de calentamiento. La primera es mediante la organización de los diferentes componentes de los sistemas de calentamiento y enfriamiento. La segunda estrategia es la maximización del tiempo en que los invernaderos están en una condición "neutral", es decir, que no existe ningún desgaste para calentarlo ni para enfriarlo. La única limitación es la tolerancia del cultivo a la variación de la temperatura, lo cual variará en función de las especies y el tiempo de crecimiento de las plantas. La tercera estrategia es contar con una separación en los cambios de temperatura, eliminando los ciclos cortos de encendido y apagado que pueden dañar rápidamente el equipo. Un diferencial de temperatura (histéresis) es construido dentro de los termostatos mecánicos y en muchos puede ser ajustado. Un diferencial común es alrededor de 0.8°C (1.5 °F) lo cual significa para el sistema de enfriamiento, **Apagado** es de 1.6 °C (3 °F) menor que en **Encendido**. Un diferencial más alto puede usarse si el cultivo lo tolera. Los diferenciales de cualquier medida pueden ser programados en los sistemas computarizados, los cuales cuentan con estrategias de control más complejas que pueden mantener temperaturas extremadamente precisas sin histéresis.

El Manual para el Control Climático del Invernadero (Acme,1988), ASHRAE (1989), y el Libro Rojo de Ball (Ball,1991) son buenas fuentes para información adicional sobre sistemas de enfriamiento y calentamiento de invernaderos.

### 1.4.2.2 Humedad

En cultivos a cielo abierto, en casas sombra o en áreas de acondicionamiento con sus cortinas laterales levantadas, no es factible el control de la

humedad. El equipo para la humidificación ocasionalmente es utilizado en invernaderos completamente automatizados, especialmente para propagación vegetativa. La deshumidificación no requiere un equipo especial, sin embargo sólo es práctica en estructuras cerradas.

**Humidificación.** Comúnmente la humidificación es más necesaria en climas áridos y particularmente durante el invierno, cuando el aire frío es introducido en la estructura de propagación y calentado posteriormente. La humedad puede ser aumentada en la atmósfera en una variedad de formas. Si es incrementada como vapor, éste habrá absorbido el calor de la vaporización y no enfriará el invernadero. Sin embargo, los sistemas de vapor son costosos y efectivos sólo cuando un sistema de calentamiento de vapor está disponible en el sitio. La humedad también puede incrementarse mediante la apertura del sistema de riego por cortos períodos de tiempo, así como por la evaporación de las paredes húmedas del sistema de enfriamiento.

Los sistemas de nebulización o presurización son muy utilizados para realizar la humidificación (fig. 1.4.3A). La diferencia entre estos sistemas es el tamaño de las partículas. El goteo de los sistemas presurizados es lo suficientemente grande para cubrir la superficie en unos cuantos minutos provocando así que las superficies se humedezcan, mientras que las partículas de la nebulización permanecen suspendidas. Los sistemas de nebulización humidifican mucho mejor, pero son mucho más costosos (tabla 1.4.1). La selección entre estos dos tipos de sistemas dependerá del tipo de cultivo y de las prácticas culturales. El agua probablemente requerirá de ser filtrada para remover sales u otro tipo de partículas suspendidas, lo cual puede taponar las boquillas. Bajo condiciones secas y de intenso calor, un sistema de ventilación típico de invernadero produce constantemente un flujo de aire cada pocos momentos, por lo cual los sistemas de nebulización y presurización deberán tener la capacidad de humidificar el aire seco de reemplazo.

**Deshumidificación.** Aún y cuando una alta humedad es un problema crónico en los climas húmedos, generalmente la deshumidificación en los ambientes de propagación sólo es necesaria después del riego en la mayoría de los climas. Los productores generalmente abren las ventilas para realizar la deshumidificación, siempre y cuando las condiciones ambientales sean favorables, mientras que la ventilación aunada al calentamiento deberán operar a pesar de la humedad exterior. El

calentamiento a base de tuberías por debajo de las mesas es particularmente efectivo en la deshumidificación del follaje de las plantas. Algunos viveros utilizan ventiladores portátiles o sopladores (fig. 1.4.3B) (Refiérase al volumen tres, para obtener mayor información sobre la humidificación y deshumidificación).



A



B

**Figura 1.4.3** El equipo de humidificación incluye boquillas o nebulizadores de alta presión (A), mientras que la deshumidificación puede ser complementada con circulación de aire seco bajo las camas (B).

**Sensores de humedad y controles.** Existe una gran variedad de sensores de humedad. Los **sensores mecánicos** cuentan con filamentos de cabello, los cuales cambian su longitud con los cambios de humedad, detonando los interruptores de encendido y apagado. No son muy precisos (variaciones de 10% en humedad relativa), sin embargo, son lo suficientemente buenos para la mayoría de los propósitos de los invernaderos. Los filamentos de cabello pueden humedecerse sin llegar a estropearse y si se dañan son fácilmente reemplazables y baratos. No obstante, éstos no son compatibles con los modernos sistemas de control computarizado.

**Los elementos con una resistencia eléctrica** han sido impregnados con sales higroscópicas y su resistencia cambia con la humedad. Estos son adecuados para su utilización con controles computarizados, pero son mucho más costosos que aquellos elementos a base de filamentos de cabello, además de que pierden su calibración cuando han sido expuestos al agua corriente. Los nuevos **sensores a base de polímeros** son superiores en este aspecto. Los **sensores de punto de rocío**, calculan la humedad a temperatura ambiente y a la temperatura en la cual se forma el rocío sobre un espejo, el cual reduce su reflectancia. Éstos son muy precisos cuando se mantienen limpios y calibrados, pero son muy costosos y su precisión es mucho mayor a la requerida en un vivero forestal (más información sobre la supervisión de la humedad es proporcionada en el volumen tres de esta serie).

### 1.4.2.3 Luz

Existen tres propiedades de la luz solar que requieren ser modificadas en un vivero forestal: intensidad, calidad y duración. En muchas de las estructuras de propagación a cielo abierto, la luz solar no es controlada, pero en las estructuras de propagación cerradas, las opciones se incrementan a medida que el diseño del vivero es más sofisticado.

**Sombreado.** La intensidad de la luz solar puede reducirse con una malla sombra, listones y cualquier otro tipo de elementos que son aplicados a las cubiertas transparentes. En la actualidad existen sofisticados sistemas retráctiles de sombra que pueden medir la intensidad de la luz solar para maximizar el requerimiento de luz del cultivo durante todo un día y bajo diferentes condiciones de nubosidad (fig. 1.4.1A). Debido a que la luz solar es convertida en calor cuando alcanza al cultivo, la sombra artificial además es utilizada como la primera fase de enfriamiento. Los sistemas especializados de sombra, comúnmente denominados **cortinas oscuras**, son utilizados algunas veces en viveros ubicados en grandes latitudes, con la finalidad de excluir la luz solar durante varias horas durante el día. De esta forma se induce la dormancia en especies sensibles. Sistemas similares son utilizados para ampliar la retención de calor durante las noches de invierno a fin de reducir los costos de calentamiento (tabla 1.4.1).

**Iluminación artificial.** Existen dos tipos de sistemas de iluminación utilizados en los viveros: fotosintética y fotoperiódica. **La iluminación fotosintética** es utilizada para complementar la

intensidad de luz solar durante el invierno en aquellos viveros que se encuentran localizados a grandes latitudes. Sin embargo, los sistemas de iluminación de alta intensidad son costosos de instalar y operar, por lo cual sólo son considerados bajo circunstancias especiales (tabla 1.4.1). La **iluminación fotoperiódica** modifica las horas luz para prevenir que las plantas lleguen a entrar en dormancia, lo cual se realiza mediante la reducción de la duración del período oscuro. Este es el tipo de iluminación artificial más comúnmente utilizado en los viveros que producen en contenedor. La iluminación fotoperiódica ha sido utilizada en los diferentes ambientes de propagación, desde las estructuras a cielo abierto hasta los invernaderos completamente automatizados.

La iluminación fotoperiódica involucra tanto la **duración** (tiempo que la luz se deja encendida) como la **oportunidad** (cuándo son activadas las luces). La duración puede ser tanto continua como intermitente, y la iluminación fotoperiódica es encendida después de que oscurece o antes de que amanezca para extender el número de horas luz o en pequeños intervalos durante la noche (fig. 1.4.4A). La mejor lámpara depende del objetivo buscado. Las lámparas incandescentes, fluorescentes y las de descarga de alta intensidad, varían significativamente en cuanto a intensidad de luz y calidad, además de que cada una requiere de su propio tipo de fijación y controles. Las cortinas oscuras son utilizadas en los viveros ubicados en altas latitudes para acortar la luz del día de manera artificial durante el verano e inducir la dormancia (fig. 1.4.4B).

**Sensores de luminosidad y controles.** El tipo de sistema de control es determinado por el tipo de sistema de luminosidad y de la selección de las lámparas. Por ejemplo, las lámparas fluorescentes y de alta presión de sodio no pueden ser encendidas y apagadas frecuentemente, sin embargo, son muy eficientes cuando operan por largos períodos. Por otro lado, las lámparas incandescentes son utilizadas solamente para luminosidad intermitente. La iluminación fotoperiódica es instalada tanto en sistemas fijos como móviles. Las luces fijas son instaladas tanto en la parte superior de las estructuras como en los ángulos oblicuos alrededor del perímetro del área de producción. Son controladas por fotoceldas y dispositivos a base de sensores. Algunos viveros instalan iluminación fotoperiódica sobre el aguillón del sistema de riego, con la finalidad de producir patrones de iluminación intermitente. Los diseñadores y constructores de viveros deberán establecer contacto con horticultores especialistas en los sistemas de iluminación, además de obtener

información de otros viveros antes de diseñar sus propios sistemas. El libro *Iluminación para el crecimiento de las plantas* (Bickford y Dunn, 1972) es la fuente de información más práctica sobre los sistemas de iluminación hortícola (Los sistemas de iluminación artificial y sombreado se discuten también en el volumen tres de esta serie).



A



B

**Figura 1.4.4** La iluminación fotoperiódica mantiene a las plantas con crecimiento activo mediante el incremento de las horas luz (A), y las cortinas oscuras son utilizadas en los viveros localizados a altas latitudes para reducir las horas luz, e inducir la formación de la yema durante el verano (B)

#### 1.4.2.4 Bióxido de Carbono

El enriquecimiento con bióxido de carbono no es ampliamente practicado en los viveros forestales, pero es relativamente económico en una estructura de propagación completamente automatizada (tabla 1.4.1). Su practicidad depende del tipo y de las condiciones de la estructura, pues es muy difícil mantener niveles adecuados de bióxido de carbono en estructuras perforadas.

**Incremento del bióxido de carbono.** Existen dos formas de suministrar el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a una estructura de propagación: mediante gas

presurizado y mediante combustión de combustibles fósiles (fig. 1.4.5). El  $\text{CO}_2$  puro puede ser inyectado desde un tanque presurizado a través de tuberías perforadas (la técnica más segura), o éste puede ser generado mediante la combustión de gas propano o natural, en quemadores ubicados a todo lo largo de la estructura. El bióxido de carbono puede ser adicionado en cualquier momento durante el día, siempre y cuando las ventilas estén cerradas. La estrategia es iniciar el incremento de los niveles del  $\text{CO}_2$  varias horas antes de que oscurezca, y posteriormente apagar los generadores cuando se abren las ventilas.



**Figura 1.4.5** El quemador de propano incrementa los niveles de bióxido de carbono dentro de las estructuras cerradas de propagación.

**Sensores de bióxido de carbono y controles.** El enriquecimiento con bióxido de carbono es controlado mediante válvulas celenoides que regulan el quemador del tanque, el cual está sincronizado con las ventilas o los ventiladores. La tasa adicional de  $\text{CO}_2$  puede ser establecida mediante la utilización de una estimación, considerando el tamaño y fugas del invernadero, sin embargo, es mejor medir la tasa. Existen en el mercado equipos de prueba que son relativamente

baratos y adecuados para determinar la tasa de enriquecimiento de CO<sub>2</sub>. Una vez que el equipo ha sido calibrado, es útil una verificación periódica, sin embargo, la supervisión continua no es necesaria. Para sistemas de control ambiental sofisticados, los analizadores infrarrojos de gas pueden monitorear y controlar los niveles de CO<sub>2</sub> de una manera muy precisa. El libro *CO<sub>2</sub> Enriquecimiento en el invernadero: principios y prácticas* (Hicklenton, 1988), es la mejor referencia sobre el control hortícola del bióxido de carbono. (Refiérase al volumen tres de esta serie para información más detallada).

#### 1.4.2.5 Riego

Un eficiente y confiable sistema de riego es necesario para todos los viveros que producen en contenedor y, contrastando con otros tipos de equipo para el control ambiental, el sistema básico es similar tanto para las instalaciones a cielo abierto como para los invernaderos completamente automatizados.

**Sistemas de riego.** El riego por aspersión es la norma en los viveros forestales. El riego por goteo no es práctico con contenedores pequeños, mientras que otras técnicas de irrigación tales como el riego por capilaridad no permiten la poda aérea del sistema de raíces. Un sistema de aspersión típico está constituido por una bomba, tanque de presión, tuberías y aspersores. Los viveros ubicados en áreas poco desarrolladas, algunas veces utilizan agua de los sistemas de agua municipales, conectándolos directamente hacia un regulador de presión y de ahí a los aspersores. Para un mejor funcionamiento el agua es bombeada hacia un tanque de presión, el cual sirve como almacén temporal y como amortiguador de presión. Aún y cuando las tuberías galvanizadas fueron utilizadas en viveros viejos, actualmente es más común la utilización de tuberías de polivinil (PVC-plastic polyvinil chloride), dado su bajo costo y sus propiedades físicas deseables. La normatividad de construcción en algunos estados de la Unión Americana, determina el tipo de tubería que deberá ser utilizada, por lo cual es necesario contactar con las representaciones locales (Bartok, 1991).

Dentro del área de propagación es común la utilización de dos sistemas de riego: aspersores fijos o un aguilón móvil (fig. 1.4.6A y B). Los aspersores fijos son establecidos en un patrón de rejilla y son la opción más económica (tabla 1.4.1). Los sistemas de riego de aguilón son más costosos pero aplican el agua de una manera más uniforme y sólo en las áreas de propagación, con lo cual se

reduce el escurrimiento. En la actualidad existe una gran variedad de sistemas de riego de aguilón. Nuevos equipos computarizados proporcionan un control preciso del riego, permitiendo alternarlo en ciertas secciones o, por el contrario, mantener irrigada un área para satisfacer los requerimientos de un cultivo específico (Greenhouse Manager, 1993A). Un mayor detalle sobre el diseño de los sistemas de riego se presenta en Aldrich y Bartok (1989), Pair *et al.* (1983) y Melby (1988).

**Monitoreo y regulación del riego.** Los métodos de riego utilizados en los viveros que producen en contenedor varían considerablemente, en función de los requerimientos del cultivo y del tipo del sistema de riego. Las superficies de producción pequeñas pueden ser regadas manualmente con una manguera, y ésta es la mejor técnica para algunas especies sensibles. El próximo nivel en cuanto a complejidad, es la fijación de un patrón de aspersores que son operados en forma manual. Esto incrementa el tamaño del área de producción que puede ser controlada. Sin embargo, demanda que alguien esté allí para su encendido y apagado. La operación manual tiene algunas ventajas definitivas en cuanto a calidad de su control, dado que el encargado del riego siempre está presente a fin de asegurar que el sistema opere de una manera adecuada, y que las plantas reciban una cantidad de agua apropiada. No obstante, en fines de semana y en días festivos puede ser un inconveniente, por lo que muchos viveros utilizan algún tipo de sistema de riego automatizado.

Una forma muy simple de controlar el riego es mediante un **reloj**, el cual controla un conjunto de válvulas celenoides que activan el sistema en las diferentes secciones del área de producción. Estos controladores pueden ser programados para regar un determinado tiempo en cada sección, lo cual facilita al regador ajustar la cantidad de agua que debe ser aplicada, de acuerdo a las demandas de cada cultivo. Esto permite que se pueda realizar el riego durante la noche y los fines de semana, pero tiene la desventaja de que la cantidad de agua aplicada es la misma a pesar de las condiciones climáticas y del cultivo. Por lo tanto, los encargados del vivero utilizan dichos controladores para intentar proporcionar, mediante alguna estimación, el uso del agua de la planta. Por ejemplo, en algunos viveros se monitorean las pérdidas por evapotranspiración mediante el peso de un contenedor común. Debido a que el agua representa la mayor parte del peso de un contenedor, los viveristas pueden supervisar el uso del agua mediante el pesaje de las charolas y determinar con ello cuándo regar (fig. 1.4.6C).



A



C



B

**Figura 1.4.6.** Los sistemas de riego fijos usan boquillas aspersoras que dispersan el agua en un patrón circular (A); los sistemas móviles tipo aguilón distribuyen una cortina uniforme de agua sobre las áreas de cultivo (B). El muestreo por peso de los contenedores es una forma rápida y fácil de revisar el consumo de agua de las plantas (C).

Los sistemas computarizados de control ambiental utilizan la “demanda” para regular el riego mediante la supervisión de la luz acumulada, el déficit en la presión de vapor o la demanda evaporativa. Las investigaciones con tensiómetros, los cuales miden el potencial mátrico del sustrato, se presentan como promisorios (Whitesides, 1993). Aunque los recientes sistemas computarizados ofrecen nuevas posibilidades, la supervisión personal del riego es la norma en viveros forestales. El riego es una parte crítica de las labores culturales de un vivero, y el uso del agua en las plantas puede cambiar tan rápidamente en los ambientes de propagación, que la confiabilidad sobre el sistema de control completamente automatizado depende de la supervisión regular (Para mayor información sobre sistemas de riego y técnicas de supervisión, ver el volumen cuatro de esta serie).

#### 1.4.2.6 Fertilización

Debido a que el sustrato utilizado en la mayoría de los viveros que producen en contenedor es esencialmente infértil, es necesario el suministro de los 13 nutrientes minerales requeridos para el crecimiento normal de la planta, mediante la fertilización.

**Sistemas de fertilización.** Los métodos de fertilización básicos para los viveros forestales son (1) el suministro de fertilizantes solubles en el agua de riego (fertirrigación), y (2) mediante la incorporación de fertilizantes sólidos al sustrato. Muchos viveros inyectan fertilizantes líquidos a través del sistema de riego debido a que es la forma más fácil y precisa de aplicar y supervisar la

nutrición mineral. Existen dos formas de realizar esta actividad. El fertilizante puede ser incorporado a un tanque de agua, disuelto, y después bombeado sobre el cultivo. Alternativamente el fertilizante puede ser preparado como una solución concentrada, la cual es posteriormente inyectada dentro del sistema de riego (fig. 1.4.7A). Este último es el método más común dado que a concentraciones de 1:100 ó 1:200, el tanque y los inyectores ocupan mucho menos espacio que un tanque de mayores dimensiones, que permita almacenar la solución de fertilizante diluida. Están disponibles una gran variedad de inyectores de fertilizantes, desde los simples sifones con manguera hasta las bombas mecánicas que utilizan agua a presión o electricidad; comparando con otros equipos de vivero, los inyectores son relativamente baratos (tabla 1.4.1). Los inyectores de fertilizante son comúnmente ubicados junto con los controles del riego en el área principal de operaciones. La instalación de dispositivos para prevenir el retroflujo es una excelente idea en las líneas de alimentación, para asegurar que el agua potable no se contamine con el fertilizante; en efecto, esta actividad es un requerimiento legal en muchos sitios.

La segunda técnica de fertilización es la incorporación de fertilizantes de liberación lenta dentro del sustrato, al momento de que se está realizando el mezclado (fig. 1.4.7B). Este método es menos popular, debido a la dificultad existente de obtener una mezcla uniforme de los gránulos fertilizantes en el pequeño volumen de sustrato contenido en las cavidades pequeñas, comúnmente utilizados en los viveros forestales. La otra desventaja es, que una vez que se ha incorporado el fertilizante de liberación lenta, no existe forma alguna de poder controlar la tasa de liberación de los nutrientes. Algunos viveros utilizan una combinación de fertilización de lenta liberación con fertirrigación.

**Supervisión y regulación de la fertilización.** La inyección de fertilizante líquido es controlada con el mismo equipo del sistema de riego. Actualmente están disponibles sistemas ambientales computarizados con controles automatizados, que permiten supervisar la salinidad en las líneas de conducción y están unidas al sistema. Sin embargo, la medición de la salinidad solamente proporciona una idea general de los niveles de fertilización total, no la concentración de nutrientes minerales en forma individual. Aunque existen en la actualidad sensores para los iones de nutrientes específicos, éstos no son prácticos para su operación en los viveros. Los controles de fertirrigación especializados (fig. 1.4.7C) utilizan

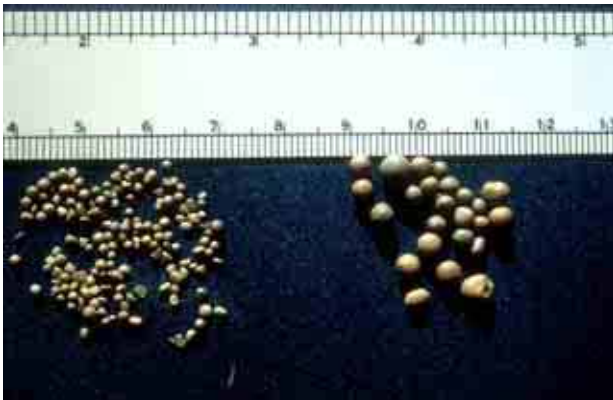
programas de cómputo para regular las concentraciones de los nutrientes individuales como una respuesta proporcional de la salinidad total, pudiendo mantener precisiones de hasta un 10% (Labbate, 1994). Muchos viveristas supervisan la fertilización mediante pruebas de concentración de nutrientes en el agua de riego aplicada, o del agua lixiviada, drenada de los contenedores. Esta no es una forma automatizada de supervisar la cantidad de fertilizante sólido que ha sido incorporado dentro del sustrato (Refiérase al volumen 4 de esta serie para mayor información sobre los métodos de supervisión y fertilización).

#### 1.4.2.7 Sistemas de control ambiental

**Controles independientes y exclusivos.** Estos controladores de función simple (p.e. termostato) regulan una parte del equipo con un simple interruptor de encendido y apagado. Actualmente, alrededor del 90% de los invernaderos aún cuentan con termostatos mecánicos (Greenhouse Manager, 1994a). Un termostato común contiene una terminación bimetálica expuesta que es sensible a los cambios de temperatura, activando un interruptor cuando éste registra alguna variación. Los termostatos son utilizados para controlar el equipo que regula la temperatura, tal como los calentadores, ventiladores y extractores (tabla 1.4.2). Otro tipo de controles independientes y exclusivos no registran el ambiente de propagación en su totalidad, pero utilizan relojes para regular los celonoides de riego, iluminación fotoperiódica o generadores de bióxido de carbono. Éstos pueden operar en forma independiente o ser enlazados en una secuencia. Esta redundancia de función significa que si un dispositivo falla, los restantes se mantienen operando. Tales controles son baratos pero deben ser calibrados en forma rutinaria. Los termostatos no son confiables, y su respuesta puede variar tanto de instrumento a instrumento como durante su vida útil (Nelson, 1991).



A



B



C

**Figura 1.4.7** La inyección de la solución de fertilizante en el sistema de riego (fertirrigación) es una forma eficiente de proveer los nutrientes minerales (A). Los fertilizantes granulares, tales como los gránulos de Osmocote® pueden ser incorporados al sustrato (B). Los sistemas computarizados de fertirrigación están siendo utilizados para un control preciso de la inyección de los nutrientes minerales (C) (C, cortesía de E. Labbate, Sistemas para el Control de Climas, Leamington, ON, EUA.)

**Controladores integrados y análogos.** Están disponibles un gran número de controladores que pueden regular muchas de las variables ambientales (tabla 1.4.2). Éstos utilizan termostatos proporcionales y otro tipo de sensores eléctricos para obtener información del área de producción, contando con circuitos lógicos electrónicos para procesar esta información, formular decisiones y operar una pieza sencilla del equipo para el control ambiental. Los controladores análogos están limitados a un sensor simple y pueden controlar solamente un ambiente de propagación (Ball, 1991). Muchos son sistemas “anticuados”, lo cual significa que no pueden ser programados en forma directa, mientras que en otros es posible hacerlo en forma limitada. Los controladores análogos pueden ser conectados para activar sistemas de alarma, tales como cuando desciende la temperatura por debajo de un punto específico.



**Tabla 1.4.2** Características de los controles ambientales para estructuras de propagación

	Tipo de controles ambientales		
	Discreto/dedicado	Análogo/integrado	Sistema computarizado
<b>Funciones</b>			
Sensores múltiples	No	No	Si
Estructuras múltiples	No	No	Si
Interruptor proporcional	No	Si	Si
<b>Ajustes estacionales</b>			
Tiempo del reloj	Quizá	Quizá	Si
Tiempo solar	No	Quizá	Si
Estaciones climáticas	No	Quizá	Si
Registro y almacenamiento de datos	No	No	Si
Programable	No	Limitado	Si
Intervalo de precio	\$USD 50- 250	\$USD 800-1600	\$USD 3,000 – 50,000 o>
<b>Factores ambientales *</b>			
Temperatura	Calentadores Extractores Ventiladores	Calentadores Extractores Ventiladores Pared húmeda Cortina térmica	Calentadores Extractores Ventiladores Pared húmeda Cortina térmica
Humedad	Sensor de humedad	Calor Extractores Nebulizadores	Calor Extractores Nebulizadores
Luz	Reloj	Luces Malla sombra Malla oscura	Luces Malla sombra Mala oscura
Bióxido de carbono	Reloj	Si	Si
Agua	Reloj	Riego Nebulizadores	Riego Nebulizadores
Nutrientes minerales	Radiométrico Inyector	pH Salinidad	pH Salinidad Nutrientes

(\*) Observe que cada factor ambiental requiere de un equipo adicional discreto o dedicado, o un tipo de control análogo que puede estar integrado. Fuente: Ball (1991), Mackenzie (1993).

Los controladores ambientales comúnmente son vinculados para proporcionar múltiples funciones y operar en **fases**, para mantener la temperatura deseada mediante la activación secuencial de calentamiento o enfriamiento (fig. 1.4.8). Por ejemplo, considere una situación en el invernadero durante las primeras horas de la mañana. En este momento ni los sistemas de calefacción ni los de enfriamiento están operando; es decir, la instalación se encuentra en "neutral". Dado que el invernadero tenderá a calentarse, la temperatura alcanzará el primer punto específico para el enfriamiento y uno o varios extractores se activarán. Si esto proporciona suficiente enfriamiento, no sucederá nada posteriormente, pero si la temperatura continúa incrementando hasta alcanzar el segundo punto específico de enfriamiento, un segundo grupo de extractores se activarán. Si todos los extractores se encuentran activos y la temperatura aún no es la adecuada, entonces el sistema de bombeo iniciará la circulación de agua a través de la pared húmeda y se realizará el enfriamiento por evaporación-la tercera fase del enfriamiento. Como el invernadero

tiende a enfriarse, la secuencia se invierte. Las fases para el calentamiento consisten de una secuencia de calentadores y de ventiladores que distribuyen el calor.

**Control climático computarizado.** La revolución de las computadoras ha cambiado radicalmente la forma en la cual el ambiente de las estructuras de propagación es controlado. El control climático por computadora utiliza microprocesadores, que combinan información de un conjunto de sensores proporcionando una visión integrada de todos los factores en el ambiente de propagación (fig. 1.4.9). Las computadoras pueden detectar y almacenar información climática desde una estación meteorológica cercana, así como de las condiciones atmosféricas y del sustrato dentro de la estructura de propagación. Los índices climáticos tales como el déficit de presión de vapor, fueron difíciles de monitorear en los viveros, pero actualmente esta tarea es posible realizarla mediante equipo de cómputo.



**Figura 1.4.8** Los controles climáticos regulan el calentamiento o enfriamiento en una serie de etapas cercanas al punto deseado de temperatura.

Las computadoras son fundamentales en los invernaderos de alta tecnología para integrar los diferentes equipos de control ambiental. A diferencia de los interruptores de una sola pieza de equipos de encendido y apagado, los controles de clima por computadora pueden modular, lo cual produce un infinito número de ajustes. Éstas además, recopilan y analizan el conjunto de información ambiental de todo el complejo para tomar decisiones “inteligentes” (Argus Control Systems, 1990). Por ejemplo, durante el invierno los sensores de luminosidad le indican a la computadora que el sol se está ocultando, y de esta forma es posible anticipar la demanda de calor antes de que la temperatura descienda (Ball, 1991). El incremento de los costos de la energía y la preocupación sobre la escorrentía del exceso de fertilizantes hacen mucho más atractivos los sistemas de control por computadora. Los ahorros de energía que han sido documentados pueden variar desde un 15 hasta un 30% para viveros comunes y desde un 40 a un 60% para invernaderos de alta tecnología que cuentan con equipos modernos (Whitesides, 1991).

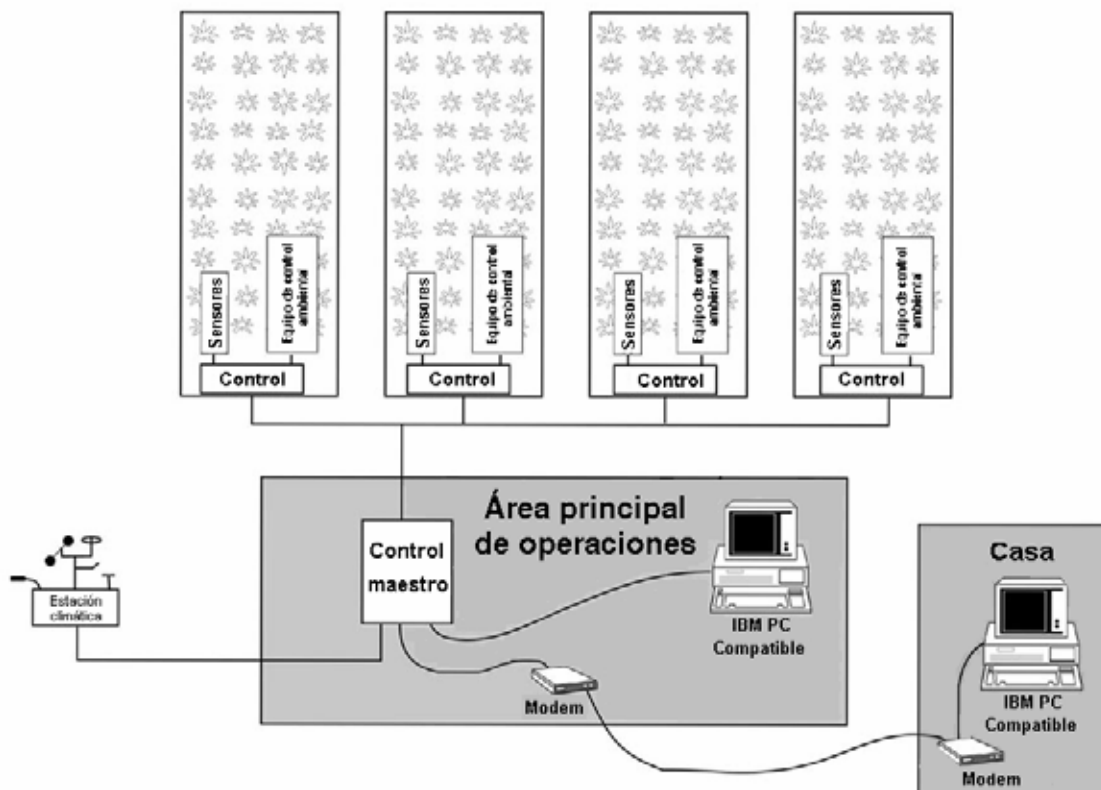
Un sistema común está compuesto de una computadora central, controladores individuales y alarmas, ubicados en diferentes puntos a lo largo

de la estructura de propagación (fig. 1.4.9). Una terminal (computadora) debe ser ubicada en el área principal de operaciones, de forma tal que el personal pueda supervisar en forma instantánea todos los factores ambientales en cada área de propagación, así como analizar toda la información obtenida que permita calcular tendencias y detectar problemas. Muchos viveristas instalan además otras terminales en sus propias casas y con ello, pueden responder a problemas potenciales sin la necesidad de tener que desplazarse hasta el vivero. Una de las grandes ventajas de los controles computarizados es que tienen la capacidad de almacenar en forma precisa qué es lo que realmente está pasando en el vivero, cuya información puede ser utilizada para resolver problemas y para calibrar el equipo de control ambiental (Bartok, 1993). Las computadoras también pueden ser enlazadas a un sistema de alarma más sofisticado, el cual puede ser programado constantemente. Con esta tecnología, las computadoras pueden además identificar la ubicación y naturaleza de un problema, de forma tal que se ahorran problemas al productor.

Los viveros con estructuras de propagación mayores a 2,000 m<sup>2</sup> (21,500 pies<sup>2</sup>) comúnmente pueden justificar el sistema de control computarizado, el cual puede amortizarse en un período de tres a cinco años (Mackenzi, 1993). Los sistemas computarizados vienen en diferentes modelos, ofreciendo una amplia variedad de características (Greenhouse Manager, 1994b). Los diseñadores deberán consultar con otros viveros y distribuidores a fin de asegurarse que los sistemas se acoplan perfectamente a sus requerimientos. Su mantenimiento rara vez resulta un problema dado que las partes de reemplazo pueden ser obtenidas mediante mensajería especializada, además de que las compañías ofrecen soporte especializado vía telefónica.

#### 1.4.2.8 Seguridad en el vivero y equipo de emergencia.

Las plantas de especies forestales son un cultivo valioso, por lo cual es importante tomar una buena decisión para la protección de la inversión con un sistema de seguridad. Las plantas producidas en invernaderos son particularmente suculentas, por lo cual pueden ser dañadas o incluso muertas en unas cuantas horas, ya sea por exceso o reducción de la temperatura. Los sistemas de seguridad poco sofisticados son requeridos en aquellas estructuras de producción simples o a cielo abierto, las cuales pueden requerir solamente una alarma para la detección de bajas temperaturas inusuales.



**Figura 1.4.9** El control computarizado del clima regula con precisión el equipo del control ambiental mediante el monitoreo de las condiciones del tiempo atmosférico, tanto dentro como fuera de las estructuras de propagación, y permite el acceso remoto y el almacenamiento permanente de los datos (modificado de Aarhus,1990; Hummert,1993).

Una gran variedad de sistemas de seguridad están disponibles y pueden alertar al viverista en caso de una falla en el suministro de energía eléctrica, problemas mecánicos con el equipo de control ambiental, presencia de fuego o robo. Estos sistemas son relativamente baratos, variando desde aquellos cuyo valor oscila desde US \$50 para una alarma de temperaturas con una simple campana, hasta aquellas unidades automáticas de marcación telefónica, las cuales pueden ser adquiridas y operadas con un costo cercano a los US \$200 por año. El costo varía con el tipo de sensor y el sistema de alarma. Muchos tipos de sensores están disponibles. Éstos pueden detectar al menos una situación de emergencia, desde un simple termostato o un termistor que detectan un exceso de temperatura, hasta los sensores ultrasónicos, que pueden detectar a un intruso (Bartok, 1987). Los sistemas de alarma varían desde campanas y sirenas hasta alarmas sofisticadas que automáticamente pueden realizar una secuencia de llamadas telefónicas a un número específico, si se da el caso de que la línea esté ocupada o simplemente no respondan. Los sistemas de alarma por computadora pueden

detectar e indicar fallas de equipo específico. Estos "sistemas inteligentes" permiten al productor diagnosticar muchos problemas desde la casa, haciendo que no sea necesario dirigirse hacia el vivero.

Los generadores eléctricos de accionamiento automático son fundamentales para la mayoría de los viveros, dado que una falla en el suministro de energía eléctrica es una desafortunada realidad, especialmente en aquellos sitios lejanos donde están localizados muchos viveros que producen en contenedor. Una falla en el suministro de la energía eléctrica puede ser desastrosa durante los períodos invernales, debido a que muchas estructuras de propagación dependen de la electricidad para la ignición de combustibles y distribución de calor. Contrariamente, en climas cálidos la electricidad es requerida para encender los sistemas de ventilación y las bombas de agua del sistema de enfriamiento. Hay generadores disponibles en las tiendas especializadas de equipo, los cuales deben ser lo suficientemente grandes para operar todo el equipo esencial. Éstos generalmente requieren de una capacidad mínima de un kilowatt (Kw) por cada

184 m<sup>2</sup> de superficie de crecimiento (2,000 pie<sup>2</sup>) (Nelson, 1991). Los generadores pequeños y medianos pueden utilizar gas natural o propano, sin embargo, una maquinaria de mayor tamaño trabaja con diesel. Dado que los motores a gasolina pueden llegar a desgastarse, solamente deben ser considerados para pequeños generadores portátiles que son utilizados en forma regular. Con una adecuada ventilación los generadores pueden ser ubicados en el interior de las estructuras, o fuera, sobre una base de concreto (fig. 1.4.10A). Para la disminución del ruido deberá utilizarse un escape del tipo residencial. Están disponibles sistemas de control completamente automatizados que continuamente registran la línea de voltaje, encendido y apagado automático, así como la recarga de sus baterías sin la necesidad de un operador. Todos los generadores deberán recibir servicio periódicamente, y deberán ser probados a su máxima capacidad de carga, por lo menos una vez al año (Charlton, 1992).

Las estructuras de propagación que se basan en combustibles fósiles para el calentamiento, rara vez tienen sistemas alternativos de calefacción para asegurar que el calor esté disponible en caso de tener problemas en el suministro de combustible. Los problemas con el suministro de gas natural son muy raros, pero los de combustibles o de gas propano deberán ser supervisados y abastecidos regularmente para mantener una reserva adecuada. Los calentadores portátiles a base de radiación pueden ser utilizados como una fuente alterna y económica de calefacción, siempre y cuando pueda proporcionarse una adecuada ventilación (fig. 1.4.10B). Los calentadores del tipo "salamandra" queman queroseno a una tasa de 1.9 a 3.8 litros por hora (0.5 a 1.0 galones por hora) y pueden proteger hasta 140 m<sup>2</sup> (1,500 pies<sup>2</sup>) de área de producción en la estructura de propagación (Nelson, 1991).

Los cultivos que crecen con iluminación fotoperiódica o con cortinas oscuras, son extremadamente sensibles a las fallas de equipo. Por ejemplo, si la iluminación fotoperiódica falla durante una noche, el crecimiento apical puede detenerse y causar que las plantas puedan formar la yema terminal y entrar en dormancia, situación que es difícil o algunas veces imposible de revertir dentro de una estación de crecimiento. La forma más directa de supervisar el sistema de iluminación es la de enlazar una fotocelda hacia los controles, la cual es una característica estándar de la mayoría de los sistemas de alarma por computadora.



A



B

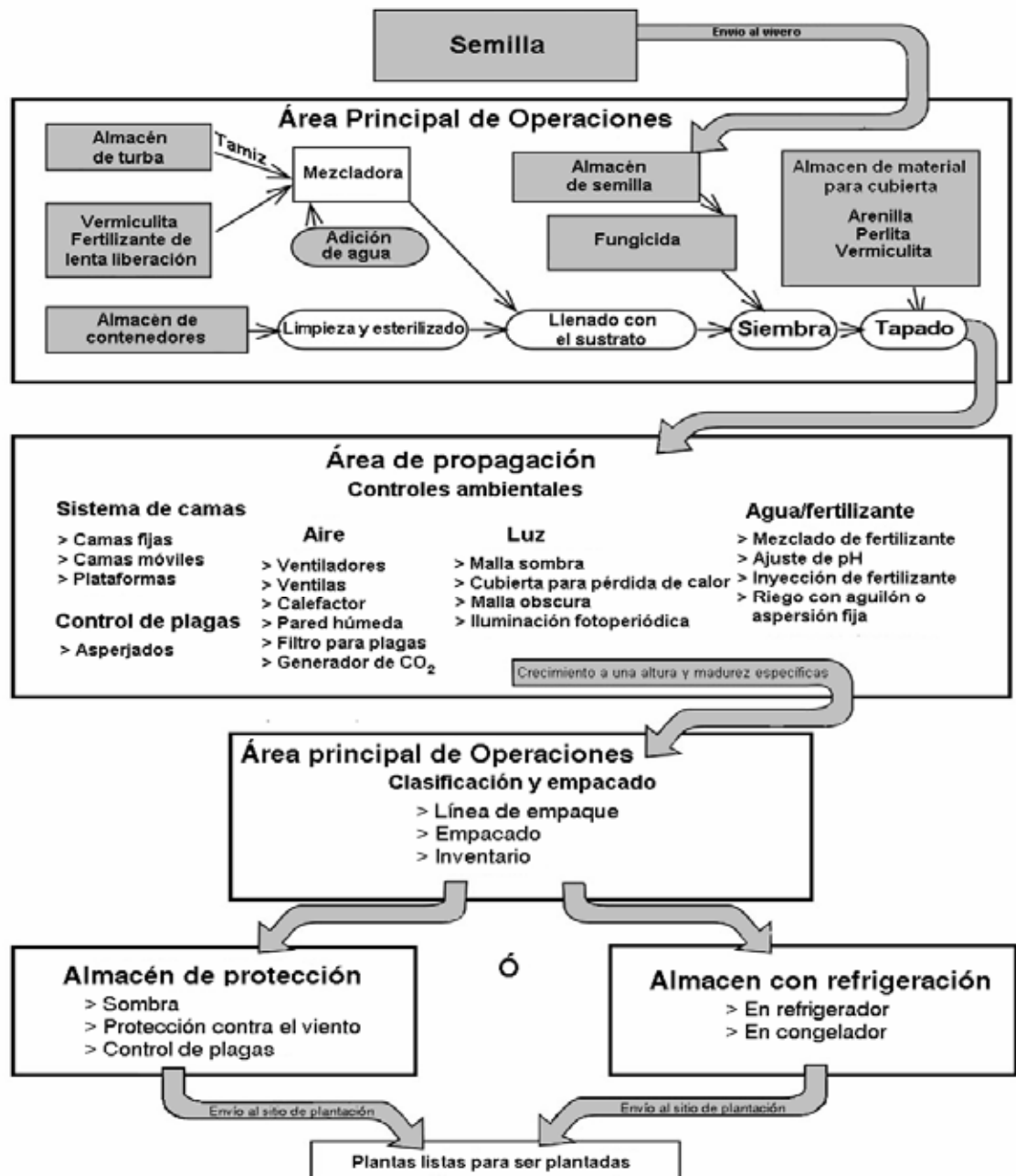
**Figura 1.4.10** Una buena inversión es contar con un generador eléctrico de respaldo, de tamaño suficiente para hacer funcionar el equipo principal de control ambiental (A). Los calentadores portátiles pueden proporcionar protección en un caso de emergencia, pero las estructuras deben ventilarse adecuadamente (B)

### 1.4.3 Mesas y Soportes para Contenedores

El proceso de producción de planta consiste de un conjunto de operaciones secuenciadas que inician cuando la semilla o los propágulos son entregados en el vivero y finaliza cuando la planta es enviada al sitio de plantación (fig. 1.4.11). Sin embargo, antes de que todo esto pueda llevarse a cabo, el área de producción debe contar con algún tipo de sistema de soporte para los contenedores.

estructuras o mesas levantadas, cuya elección es fundamental tanto por consideraciones biológicas como de operación. La forma en la cual las plantas forestales son ubicadas, afectan su crecimiento y desarrollo. Mientras que otros cultivos pueden cultivarse directamente sobre el piso o en camas tradicionales, las especies forestales producidas en contenedor tienen un sistema radical agresivo, cuyo crecimiento es rápido, dirigiéndose hacia fuera de la base del contenedor (fig. 1.4.12A).

La producción en contenedores puede ser cultivada directamente sobre el piso, sobre plataformas,



**Figura 1.4.11** La producción de un cultivo en un vivero forestal que produce en contenedor consiste en una serie de procesos y operaciones secuenciadas (modificado de Conway, 1987).

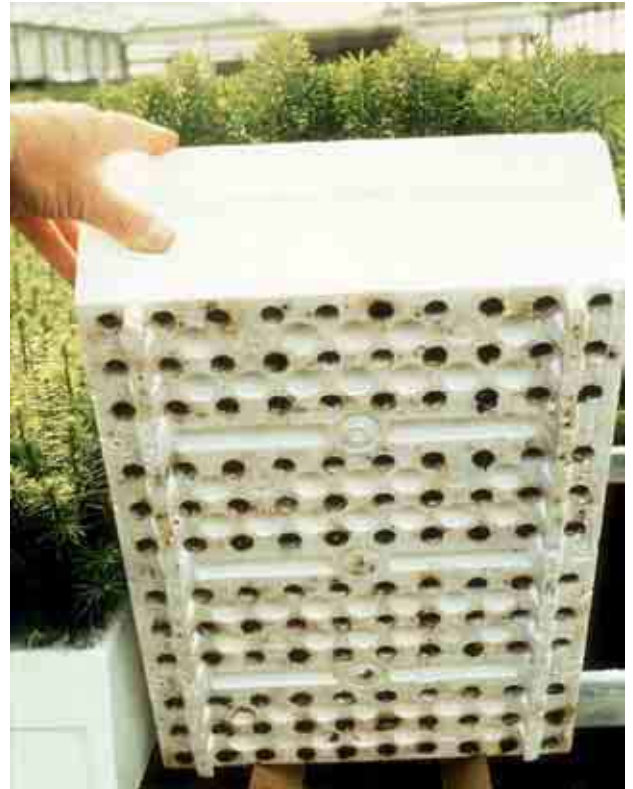
Las raíces de las plantas producidas en contenedor y que se encuentran creciendo sobre la superficie, pueden alcanzar el suelo (fig. 1.4.12B). Estas raíces externas deben ser podadas antes de que la planta sea embarcada, lo cual no sólo demanda mano de obra extra, sino que además reduce la calidad de la planta. Para provocar la desecación de las raíces y que sean **podadas por el aire**, deberá de facilitarse la circulación del aire por debajo de los contenedores. Algunos de éstos han sido diseñados para fomentar la poda aérea (fig. 1.4.12C), mientras que otros deberán de establecerse sobre mesas con algún tipo de malla de alambre o algún otro tipo de soporte para crear la necesaria capa de aire (fig. 1.4.12D).



A



B



C



D

**Figura 1.4.12** Las plantas forestales tienen un sistema radical agresivo (A y B), el cual requiere ser “podado al contacto con el aire” que circula por el espacio debajo de los contenedores. Algunos tipos de contenedores cuentan con soportes especiales (C), pero deberán colocarse sobre mesas diseñadas para facilitar la poda aérea (D).

Desde el punto de vista operativo, los contenedores deberán ser ubicados de forma tal que el uso del área de producción sea eficiente, además de que sean fácilmente manejados. El sistema de soportes de contenedores debe ser compatible con el sistema de manejo; un vivero que ha sido diseñado para mover plantas con un montacargas, tendrá un sistema diferente que aquellos que utilizan bandas transportadoras. Los pasillos

proporcionan acceso para los trabajadores y el equipo, sin embargo, reducen el espacio de producción. Lo más común es contar con pasillos principales de 0.9 a 1.5 m (3 a 5 pies) y pasillos laterales de 0.5 a 0.8 m (1.7 a 2.5 pies) (Aldrich y Bartok, 1989).

#### 1.4.3.1 Plataformas

Los viveros que producen en contenedor que han sido diseñados para maximizar el manejo de materiales, usan algún tipo de plataformas de madera, metálicas o plásticas, que pueden ser manejadas mediante montacargas manuales o mecánicas (fig. 1.4.13A). Las dimensiones de las plataformas deberán ser diseñadas de forma tal que puedan ser fácilmente movidas por el equipo, y que puedan entrar fácilmente por la puerta principal de la estructura de propagación (fig. 1.4.13B). El acceso deberá también ser considerado para aquellas instalaciones como el área principal de operaciones, si es que en ésta se moverán contenedores para la siembra o para el empaque de la planta. Las plataformas deben ser construidas de forma tal que puedan estibarse fácilmente cuando no se están utilizando para ahorrar espacio (fig. 1.4.13C). Los cálculos para el diseño de plataformas que permitan el acomodo del número máximo de contenedores, permitiendo que se puedan manejar dentro de la estructura de propagación, son proporcionados en la sección 1.3.4.3 de este volumen.



A



B



C

**Figura 1.4.13** Los contenedores sobre plataformas son movidos por montacargas (A) dentro del área de propagación (B). Aunque algunos viveros usan comúnmente plataformas de madera, otras son construidas con diseños especiales de metal, que promueven la poda aérea y se pueden empalmar cuando no están en uso (C).

#### 1.4.3.2 Mesas

Las mesas permiten colocar a las plantas en un lugar seguro y cómodo, para realizar entresaca, deshierbe y otro tipo de actividades culturales, incluyendo la inspección de posibles enfermedades y otro tipo de problemas. En las estructuras de propagación que cuentan con sistemas de calefacción y enfriamiento, las mesas permiten una buena circulación del aire por debajo del cultivo. El sistema de calefacción por debajo de las mesas no sólo es más eficiente, sino que además permite elevar la temperatura del aire que se encuentra entre las plantas y en las raíces, estimulando un mejor crecimiento, a la vez que seca su follaje, reduciendo la incidencia de enfermedades foliares. Para lograr una máxima eficiencia de espacio, las mesas deben ser diseñadas específicamente para un tipo de contenedor dado (fig. 1.4.14A), aunque muchos viveros utilizan mesas de tipo estándar, que pueden soportar diversos tipos de contenedores.

**Mesas fijas.** Sus dimensiones en cuanto a superficie varían considerablemente, aunque su altura comúnmente es estándar, de 70 a 80 cm (28 a 32 pulgadas), la cual es la mejor para un trabajo confortable y seguro. En ancho varía de 1.2 a 1.5 m (4 a 5 pies) permitiendo perfectamente a los trabajadores alcanzar los contenedores que se encuentran en la parte media (Aldrich y Bartok, 1989). Muchas mesas de este tipo son hechas, utilizando como base materiales de madera, bloques de concreto, estructuras de metal o de madera (fig. 1.4.14A y B). Si éstas han sido diseñadas para un tipo de contenedor en particular, las superficies de las mesas son construidas de mallas de alambre de alta resistencia (fig. 1.4.12D) o de metal galvanizado expandido (fig. 1.4.14C), de forma tal que cualquier tipo de contenedor pueda ser utilizado. El costo de las mesas fijas puede variar considerablemente, en función del tipo de materiales y de las características del diseño (tabla 1.4.3).

**Mesas móviles.** Las mesas móviles o con rodillos son una innovación reciente. Permiten un excelente acceso incrementando la eficiencia del espacio de producción desde un 10 hasta un 25%. Están construidas con metal o madera y existen dos diseños generales (fig. 1.4.15). El diseño lateral permite el soporte de mesas permanentes; la parte superior de las mesas se mueve lateralmente, de forma tal que se puede crear un pasillo a diferentes intervalos mediante el movimiento de las mesas, ya sea manualmente o con algún equipo especial (fig. 1.4.15B y C). Las mesas tienen una longitud de hasta 61 m (200 pies) y pueden ser desplazadas de esta forma. Cuando el pasillo de acceso no es requerido, las secciones pueden ser desplazadas juntas para producir una cama continua. Los pasillos comúnmente tienen un ancho de 46 cm (18 pulgadas), aunque pueden ser ampliados hasta 69 cm (27 pulgadas), si es necesitado un mayor espacio (Aldrich y Bartok, 1989). Las mesas móviles lado a lado, se caracterizan por contar con un pasillo permanente a la mitad, y las plataformas se mueven con rodillos de extremo a extremo sobre las mesas. Con este diseño, un pasillo lateral puede ser creado donde se requiera y las plataformas pueden, incluso, ser movidas fuera de la pared de la estructura de propagación (fig. 1.4.15 D y E). Las mesas móviles pueden ser fabricadas directamente en el vivero o adquiridas en alguna casa comercial (Greenhouse Manager, 1993); sus altos costos deben ser balanceados contra el incremento en el espacio de producción (tabla 1.4.3).



A



B



C

**Figura 1.4.14** Muchas de las mesas fijas están diseñadas para acomodar un tipo de contenedor en particular (A), mientras que otras sostienen diferentes tipos. Las mesas pueden ser “hechizas”, de materiales fácilmente disponibles (B) o construidas especialmente de aluminio o metal galvanizado para resistir el desgaste y la corrosión (C).



**Tabla 1.4.3** Planeación de la estimación de costos para un equipo común de producción de planta

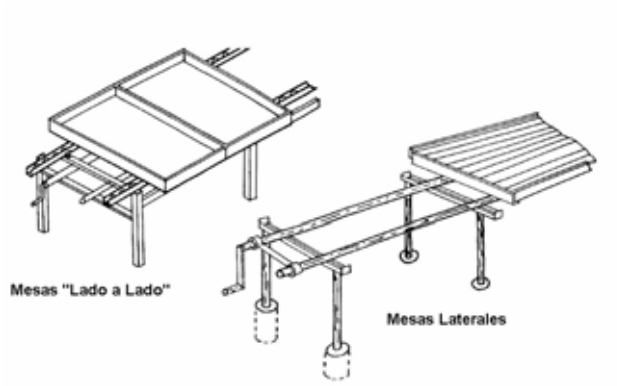
Tipo de equipo	Costo (\$USD)	Información de producción	Fuente
Mesas			
Fijas	16.14 – 48.42	Por m <sup>2</sup> de área	Aldrich y Bartok (1989)
	1.50 – 4.50	Por pie <sup>2</sup> de área	
Móviles	34.43 – 51.65	Por m <sup>2</sup> de área	Aldrich y Bartok (1989)
	3.20 – 4.80	Por pie <sup>2</sup> de área	
Manejo de contenedores			
Banda transportadora	8,000	75 pies + sección de manejo	Chris (1993)
Carga de contenedores			
Lavadora de charolas	5,500	7 – 10 charolas/min	McConkey (1993)
Mezcladora de sustrato	10,000	1.5 m <sup>3</sup> /3 min	McConkey (1993)
		2 yardas <sup>3</sup> /3 min	
Llenadora	13,000	6 – 30 charolas/min	McConkey (1993)
Sembradora			
Caja sembradora con rejilla móvil	100	Hasta 250 charolas/h	ND
Plato de vacío	500	Hasta 500 charolas/h	Speedling (1993)
Tambor de vacío	8,000	50 – 500 charolas/h	Elston (1991)
Precisión	10,500	20 – 200 charolas/h	Elston (1991)
Línea de sembrado automatizada	100,000	500 – 1,000 charolas/h	Reid (1994)
Línea de clasificación y empaque	3,000	Depende del trabajador	McConkey (1993)

### 1.4.3.3 Materiales de construcción

En el ambiente húmedo de los viveros, las estructuras de las plataformas o de las mesas deberán ser construidas de aluminio o de acero galvanizado para resistir la corrosión, o madera previamente tratada para prevenir la pudrición (ver sección 1.3.3.4 para un mayor detalle). Los soportes de las mesas pueden hacerse con una gran variedad de materiales incluyendo madera tratada, tubería metálica o bloques de concreto. Las mesas ya levantadas deberán tener la capacidad de soportar por lo menos 122 kg/m<sup>2</sup> (25 libras/pie<sup>2</sup>). La cubierta de las mesas es hecha de una rejilla de alambre, metal expandido o de tiras de madera para promover un buen drenaje y la poda aérea. Las mallas de alambre tienden a flexionarse si no son sujetadas adecuadamente, mientras que el metal galvanizado expandido aún y cuando es más caro, es más resistente (Langhans, 1980).

Las plataformas y mesas de plástico moldeado han sido recientemente introducidas en el mercado, y algunas están construidas de plástico reciclado o a base de madera con plástico. La superficie de este nuevo tipo de materiales no se astilla y es lisa, de forma tal que los contenedores pueden deslizarse fácilmente. El plástico, además puede limpiarse fácilmente, lo cual es una fuerte ventaja para prevenir el desarrollo de algas y musgo, lo cual permite tener un control sanitario entre cultivos. Las estructuras hechas a base de compuestos de plástico reciclado con madera son de un 20 a un 30% más pesadas que las de madera natural, y algunos tipos son ligeramente más flexibles bajo

temperaturas cálidas. Sus costos son competitivos con aquellas estructuras realizadas a base de madera tratada a presión (Sorvig, 1993).



**Figura 1.4.15** En años recientes, las mesas móviles o deslizables han llegado a ser más populares y son de dos tipos (A). Con el diseño lateral, los extremos de la cama se mueven hacia los lados en forma manual o con una manija especial (B y C), para generar un pasillo temporal. El diseño "Lado a Lado" se caracteriza porque las plataformas se deslizan a lo largo de la estructura de propagación (D) y pueden ser usadas para transportar los contenedores al área de endurecimiento o de empacado (E). (A, adaptado de Aldrich y Bartok, 1989).

### 1.4.4 Equipo para el Manejo de Materiales y Plantas

Después de que el sistema de soporte de los contenedores ha sido seleccionado, deberá decidirse por la mejor forma para mover las plantas y materiales a lo largo del vivero. Cada vivero deberá contar con un sistema para el desplazamiento de materiales desde el almacén hacia las áreas de trabajo y de los contenedores, tanto dentro como fuera del área de crecimiento (fig. 1.4.11). Algunos viveros utilizan el mismo método de transporte a lo largo de todo el proceso, como los diseñados conjuntamente con el sistema de plataformas, incluso algunos llegan a ser muy sofisticados (fig. 1.4.16A y B). Otros viveros utilizan una combinación de equipos.

El sistema de manejo deberá ser diseñado con antelación, es decir, al momento de la planeación del vivero, dado que esto ayudará tanto en el diseño como en la ubicación de las estructuras. En el proceso de diseño de un sistema de manejo, el énfasis deberá ponerse en la reducción de tiempos muertos y en la operación. Un diagrama de flujo deberá ser esbozado para todas las operaciones clave, tales como la siembra y el empaclado. Los constructores novatos deberán visitar otros viveros durante estas operaciones para darse una idea de todo el proceso involucrado. El sistema de manejo deberá ser diseñado de forma tal que tanto el equipo clave como los trabajadores, puedan contar con un flujo constante de materiales. Por ejemplo, una operación crítica en la línea de siembra manual está determinada por la persona que realiza la siembra, y deberá mantenerse con un suministro de contenedores llenos para reducir tiempos perdidos, haciendo con ello que la operación tienda a ser más eficiente. Muchos viveros utilizan bandas transportadoras para movilizar los contenedores ya sembrados hacia el área de propagación, así como la planta en completo desarrollo hacia el área de empaclado. Bartok (1986) proporciona una buena discusión con otras consideraciones para el diseño, eficiente y seguro de los sistemas de manejo.

Los sistemas de manejo comunes utilizan bandas transportadoras, carros eléctricos y plataformas para la movilización de plantas y materiales a través del vivero. Sus costos variarán con el grado de sofisticación del sistema.



A



B

**Figura 1.4.16** Los sistemas de manejo de contenedores mueven plantas del área de propagación al área de endurecimiento (A) y de ahí a los sitios de plantación (B) y algunos son sumamente sofisticados.

#### 1.4.4.1 Bandas transportadoras

Las líneas transportadoras son usualmente utilizadas para agilizar el movimiento de los contenedores durante la siembra o el empaque, así como para mover los contenedores previamente llenados hacia las áreas de propagación. Existen cuatro tipos comunes: de rodillos, de bandas, de cadena y de riel. Las líneas transportadoras con rodillos no tienen tracción y las hay disponibles en secciones de 1.5 a 3 m (5 a 10 pies), sobre las cuales los materiales son desplazados en forma manual (fig. 1.4.17A). Algunas veces éstas son un tanto limitadas debido a que los materiales deben tener soportes lisos o planos, o ser puestos sobre una pieza de madera. La línea a base de bandas (fig. 1.4.17B) cuenta con tracción mediante un motor eléctrico o hidráulico, y está disponible en una gran variedad de anchos y longitudes; los modelos para trabajo pesado pueden manejar desde 136 hasta 182 kg (300 a 400 libras). Este tipo de línea transportadora está disponible en secciones y puede alcanzar una longitud de hasta

30 m (100 pies). Las líneas a base de cadenas son similares pero utilizan cadenas móviles en lugar de bandas, además requieren que los contenedores tengan una base lisa (fig. 1.4.17C). La última categoría es la línea transportadora a base de rieles, la cual no cuenta con tracción y se desplaza sobre un riel colocado en la parte superior de la estructura de propagación (fig. 1.4.17D). Su uso debe ser considerado durante la construcción, dado que las estructuras deberán de soportar un peso adicional (Bartok, 1991b).

Las líneas transportadoras son particularmente útiles durante la siembra y el empaqueo para la movilización de los contenedores a lo largo de la línea y, además, para suministrar materiales a los trabajadores (fig. 1.4.17E). Con un gran equipo automatizado para la siembra y el llenado de los contenedores, los transportadores a base de una banda elevada son utilizados para mantener el suministro de las tolvas con sustrato. Con la gran variedad de las diferentes líneas transportadoras que están disponibles, los diseñadores de viveros deberán considerar cuidadosamente la gran variedad de usos antes de realizar la selección.



A



B



C



D



E

**Figura 1.4.17** Diferentes tipos de líneas transportadoras están disponibles para usarse en cualquier área del vivero. Las líneas de rodillos (A) no son motorizadas, pero las de banda (B) y las de cadena (C) utilizan un motor eléctrico para transportar contenedores o materiales. Las líneas con rieles se sujetan a la estructura de propagación o a los aguilonos del sistema de riego (D). Las líneas transportadoras son un componente esencial para el llenado de contenedores, la siembra y el empaclado (E).

#### 1.4.4.2 Equipo manual y vehículos motorizados.

Una gran variedad de carros provistos de ruedas, remolques, y equipos con motor han sido utilizados para la movilización de plantas y materiales en los viveros. Los viveros pequeños cuentan con carros y montacargas manuales para el manejo de materiales (fig. 1.4.18A). Los montacargas y tractores con aditamentos similares a los de un montacargas tienen muchos usos en los viveros, pero solamente pueden ser utilizados sobre pisos sólidos (asfalto o concreto) que sean capaces de soportarlos (fig. 1.4.18B).

Pequeños carros motorizados con remolques son comúnmente utilizados, pero la operación de motores de combustión interna en lugares cerrados donde labora el personal, es muy peligrosa. Por ello es recomendado el utilizar equipo que sea accionado mediante electricidad o gas propano (fig. 1.4.18C). Los viveros que producen planta en estructuras a cielo abierto, pueden utilizar tractores y remolques accionados mediante combustible, algunos de los cuales han sido modificados para el manejo de contenedores (fig. 1.4.18D).



A



C



D



B

**Figura 1.4.18** Los contenedores e insumos son manejados con un montacargas manual (A), con un montacargas mecánico (B), o un carro eléctrico (C), los cuales pueden ser impulsados con propano o electricidad en áreas cerradas, por razones de seguridad. Los tractores y remolques impulsados con combustibles pueden ser especialmente modificados para transportar plantas en áreas a cielo abierto (D)

## 1.4.5 Equipo para la Producción de Plantas y Suministros

El objetivo de esta sección es proporcionar al constructor y diseñador de viveros una idea de los requerimientos que se tendrán al producir un primer cultivo. El **sistema** de producción de especies forestales en un vivero puede ser dividido en **procesos** separados (p.e. siembra de semilla), que consisten de **operaciones** (p.e. colocación de un número deseado de semillas por contenedor). Cada uno de estos procesos tienen **requerimientos** específicos incluyendo el equipo (p.e. sembradora) y suministros (p.e. semillas y electricidad). (Refiérase a la sección 1.1.4 para mayor discusión sobre este concepto y su terminología).

Para ser más efectivo y de costo eficiente, el equipamiento para la producción de plantas deberá ser seleccionado de forma tal que se pueda adecuar dentro de la secuencia de todo el proceso (fig. 1.4.11). Todas las diferentes etapas en el proceso pueden realizarse en forma manual, por lo que los requerimientos de equipo dependerán del tamaño y complejidad del vivero, así como de los recursos disponibles. La seguridad de los trabajadores es un punto importante a considerar, dado que muchas operaciones pueden llevar a la fatiga y lesiones, especialmente en aquellas tareas que demandan movimientos repetitivos, por lo cual deberán ser mecanizados, de ser posible. El método de propagación para una especie en particular también es un punto a considerar. Con algunos cultivos el equipamiento no puede ser justificado, pero para otros, llega a ser muy recomendable. Por ejemplo, un vivero que produce 2 millones de plantas de pino puede reducir significativamente los costos de producción mediante la adquisición de una sembradora. Si un vivero se especializa en satisfacer órdenes pequeñas de plantas nativas con una gran variedad de tipos y tamaños de semillas, posiblemente sea mejor realizar toda la siembra de forma manual. El intervalo de tiempo en el cual el proceso debe de ser completado es también significativo. Cuando haga una evaluación de las necesidades de equipo, tenga en cuenta qué tan continuamente y tan rápido debe llevarse a cabo el proceso. Si algo se hará constantemente o si es necesario realizarlo en corto tiempo, entonces será conveniente la mecanización. Sin embargo, si el proceso ocurre sólo una o dos veces al año, o si puede extenderse sobre un tiempo considerable, puede ser más rentable si se realiza una mecanización sencilla y se contratan más trabajadores. Lo anterior es particularmente cierto en los países en desarrollo, donde la mano de obra es relativamente barata y

los viveros satisfacen las necesidades de empleo local.

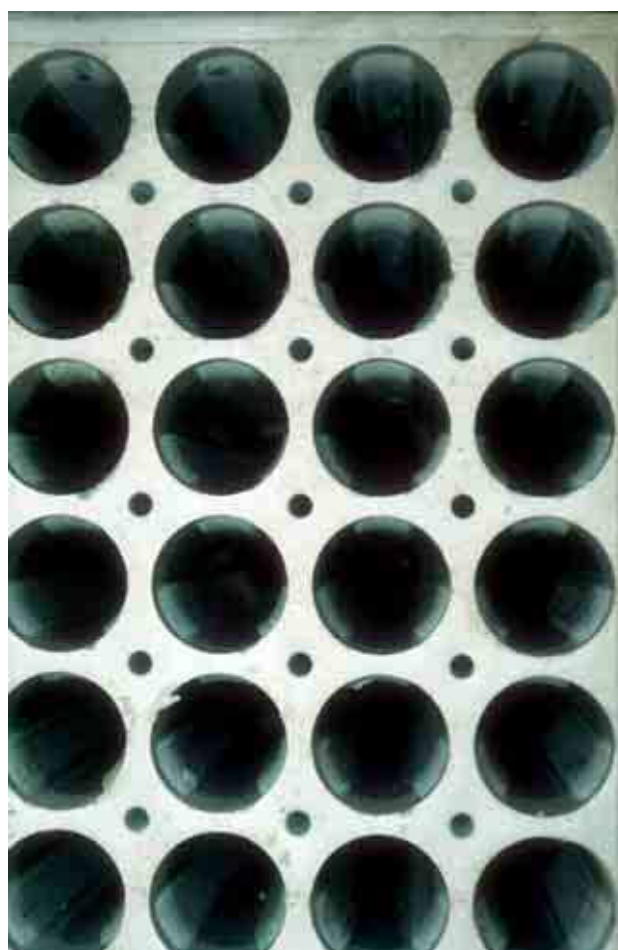
### 1.4.5.1 Contenedores

**Tipos de contenedor.** Se han utilizado una gran cantidad de tamaños y tipos de contenedores en los viveros forestales, y su selección dependerá de las especies que se producirán, del tipo de sistema de vivero y de las condiciones del sitio de producción. Los viveros que producen sus plantas bajo contrato comúnmente cuentan con contenedores cuyas especificaciones están determinadas por el contratista, e incluso algunos clientes pueden suministrar los contenedores. La selección del tipo de contenedor es uno de los aspectos más críticos en el desarrollo de un vivero, dado que afecta el diseño del área de propagación, el tipo de mesas portacharolas y la selección del equipo de producción y de manejo.

Aunque las plantas para mejoramiento genético y otro tipo de material especializado corrientemente se producen en grandes contenedores individuales (fig. 1.4.14C), la mayoría de las especies forestales son producidas en contenedores consolidados conocidos como **bloques** o **charolas** (ver figura 1.3.21). Los contenedores individuales dentro de un bloque son conocidos como **celdas** o **cavidades**. A pesar de que llegan a ser mucho más pequeños en volumen que un contenedor común, utilizado para producir otro tipo de cultivos ornamentales u hortícolas, muchas plantas de especies leñosas tienen sistemas radicales agresivos que pueden desarrollar una espiral en los contenedores normales, especialmente en la base. El espiralamiento de la raíz reduce significativamente la calidad de planta, debido a que se puede causar inestabilidad después de la plantación (fig. 1.4.19A). Para resolver este problema, en los viveros forestales han sido desarrollados contenedores especiales con costillas antiespiralamiento, o que están impregnados con químicos para la poda de las raíces (fig. 1.4.19B). (Una estimación de los costos de los contenedores comunes se proporciona en la tabla 1.5.1 del capítulo cinco de este manual. Una discusión amplia sobre las consideraciones biológicas y operativas en la selección de un contenedor, es proporcionada en el volumen dos de esta serie).



A



B

**Figura 1.4.19.** Muchas especies forestales tienen raíces agresivas que se enroscan en las paredes lisas de los contenedores, lo que causa inestabilidad después de la plantación (A). Los nuevos diseños de contenedores tienen la característica de contar con costillas laterales para forzar físicamente el crecimiento de las raíces hacia abajo, y tienen una cobertura que poda químicamente las raíces conforme crecen (B).

**Limpieza y esterilización de contenedores usados.** Aunque algunos viveros utilizan papel biodegradable o bolsas de plástico de polietileno, la mayoría de los contenedores son más durables y han sido diseñados para ser reutilizados (fig. 1.4.20A). Sin embargo, antes de reutilizarlos, los contenedores deben ser limpiados para extraerles plantas y residuos de sustrato, además de que deben ser esterilizados para eliminar agentes fitopatógenos, musgo, algas y plantas hepáticas. En los viveros pequeños, los contenedores son limpiados en forma manual mediante su sacudido a efecto de remover materiales, para después sumergirlos en un depósito con una solución desinfectante o en agua caliente (fig. 1.4.20B). Los grandes viveros cuentan con un equipo automático denominado **lavadora de charolas**, que utiliza agua a presión que sale de boquillas para limpiar los contenedores y vapor o tanques de inmersión, para su esterilización (fig. 1.4.20C). Aún y cuando hay modelos comerciales, muchos viveros han

desarrollado sus propios sistemas de limpieza, los cuales comúnmente utilizan una sección de bandas transportadoras para el manejo de los contenedores durante este proceso. Considerando costos y seguridad de los trabajadores, el vapor y el agua caliente pueden ser tan efectivos como los esterilizantes químicos (Peterson, 1991). (Los productos químicos utilizados para la esterilización de contenedores son discutidos en el volumen cinco de esta colección).





A



B



C

**Figura 1.4.20** Muchos viveros producen sus plantas en contenedores de reuso, los cuales deben ser almacenados (A), limpiados (B) y esterilizados (C), antes del siguiente cultivo.

### 1.4.5.2 Sustrato artificial

Aunque el suelo natural es utilizado en los países en desarrollo, el “suelo” usado en los modernos viveros que producen en contenedor es, de hecho, un medio artificial, que consta de una mezcla de componentes orgánicos e inorgánicos. (En la tabla 1.1.5 se ejemplifican los costos de un sustrato común. Una discusión a mayor detalle sobre los medios de crecimiento se encuentra en el volumen dos de esta serie).

**Componentes.** La mayoría de los viveros forestales de los Estados Unidos y Canadá utilizan una mezcla 1:1 de vermiculita y turba. La perlita puede adicionarse para incrementar porosidad, y en aquellos viveros donde la turba resulta extremadamente cara, se utilizan la corteza de pino y otros compuestos orgánicos. Una gran variedad de sustratos premezclados pueden ser adquiridos de manera comercial en sacos o bolsas (fig. 1.4.21A). Algunos distribuidores ofrecen mezclas hechizas de acuerdo a las especificaciones del productor, sin embargo, esta opción debe ser cuidadosamente evaluada antes de adquirir cualquier equipo de mezclado. Los fertilizantes de liberación lenta y otro tipo de productos, son comúnmente adicionados en muchas marcas de sustratos premezclados. Algunos de estos productos, tales como la caliza dolomítica, pueden provocar problemas de crecimiento en algunas especies. Por lo tanto, los productores siempre deberán especificar que su sustrato sea preparado sin este tipo de elementos, a menos que sean específicamente requeridos.

Tanto la vermiculita como la turba de musgo pueden ser adquiridas en sacos, los cuales son menos costosos, pudiéndose almacenar hasta que sean necesitados. La vermiculita viene en bolsas de plástico holgadas, pero la turba se presenta en pacas compactadas (fig. 1.4.21B). Debido a que el plástico se deteriora rápidamente con la luz solar, las bolsas deberán ser almacenadas o colocadas bajo algún tipo de cubierta. Aún y cuando el sustrato comercial es considerado como estéril, en años recientes se han llegado a tener algunos problemas con algunas fuentes de turba de musgo, por lo que muchos productores han solicitado la pasteurización de su sustrato con vapor (fig. 1.4.21C). Con un adecuado manejo, el sustrato o sus componentes pueden ser almacenados durante muchos años sin que disminuya su calidad. Sin embargo, en muchos viveros prefieren mezclar su propio medio de crecimiento, no sólo porque resulta más barato, sino también porque les permite tener un control preciso de su composición y calidad.

**Mezclado del sustrato.** El objetivo de este procedimiento es mezclar completamente los componentes sin destruir la estructura física de la turba y la vermiculita, dado que ambas son frágiles. Un sobremezclado reduce la porosidad, lo cual puede traer problemas en el crecimiento de las plantas y potenciales enfermedades de la raíz. Los viveros pequeños realizan el mezclado de los componentes de forma manual, ya sea sobre el piso o en algún tanque. El material mezclado es usualmente paleado y depositado sobre una banda transportadora, que lo deposita en una tolva o depósito, para abastecer a la mesa o al equipo de llenado de los contenedores. Los viveristas que manejan su sustrato en una forma apropiada pueden obtener un mezclado adecuado, y considerar que esta labor es más barata que la adquisición de un equipo de mezclado. Sin embargo, el mezclado manual incorpora una mayor variación dentro de la operación. La variación en la uniformidad del medio de crecimiento y de la compactación dentro del contenedor, es la causa de muchos problemas posteriores durante la etapa de cultivo, dado que afecta tanto la disponibilidad de agua como la de nutrientes minerales.

Existen en el mercado diferentes tipos de equipo de mezclado, y cuando son utilizados adecuadamente pueden producir un medio de crecimiento más uniforme. Las revolventoras de cemento pueden ser usadas para mezclar pequeños lotes de sustrato (fig. 1.4.22A); sin embargo, necesitan una continua supervisión para lograr un mezclado uniforme y que la estructura de las partículas no se destruya. Los viveros grandes pueden justificar la adquisición de una **mezcladora de lotes**, que utilizan paletas y un “sin fin” para mezclar de 0.75 a 3 m<sup>3</sup> (1 a 4 yardas<sup>3</sup>) de sustrato al mismo tiempo (fig. 1.4.22B). Un equipo más especializado y costoso, es el **equipo de mezclado continuo**, que está diseñado para abastecer de sustrato al área de llenado de contenedores, y a las líneas de siembra a tasas mayores de 38 m<sup>3</sup> por hora (50 yardas<sup>3</sup>/hora). Este equipo utiliza mezcladoras de banda que miden los componentes del sustrato desde depósitos separados, y los incorpora en proporciones deseadas (fig. 1.4.22C). Esta mezcladora especializada ha sido diseñada para mezclar fertilizantes incorporados y otro tipo de productos a tasas precisas (Gleason, 1986). Los viveros normalmente utilizan este equipo para el mezclado de grandes volúmenes de sustrato, que son almacenados hasta que son utilizados. Sin embargo, ninguno de estos equipos son infalibles, por lo cual es importante mantener una operación y supervisión adecuadas para lograr obtener un sustrato uniforme y de alta calidad.



A



B



C

**Figura 1.4.21** El medio de crecimiento artificial está compuesto comúnmente por musgo turboso (del género *Sphagnum*) (peat moss) y vermiculita, y existe disponibilidad de bolsas premezcladas para el llenado de los contenedores (A). Algunos viveros adquieren los suministros (B) necesarios para hacer sus propias mezclas. La vermiculita y la perlita son estériles, pero la turba deberá ser tratada con vapor (C) o fumigantes químicos antes de ser utilizada.



A



B



C

**Figura 1.4.22** Pequeñas cantidades de sustrato pueden ser mezcladas manualmente o en revolvedoras de concreto (A), pero los viveros grandes usan un conjunto de mezcladoras de lotes para abastecer continuamente con sustrato la línea de llenado y siembra (B). El equipo de mezclado continuo ha sido diseñado para asegurar un mezclado homogéneo y distribuir los materiales incorporados, sin alterar la estructura física de los componentes (C). (C, cortesía de J. Reid, Inno-Tec, Thunder Bay, ON, EUA).

### 1.4.5.3 Líneas de siembra

La siembra es una de las operaciones más críticas dentro de las actividades del vivero, además una de las que demanda mayor mano de obra. Por lo tanto, muchos viveros utilizan una variedad de equipo para mejorar la calidad de las diferentes tareas en el proceso de siembra, a la vez que se eficientiza el tiempo y se reduce la mano de obra. Algunos viveros integran una secuencia de diferentes tipos de equipo, en lo que se conoce como **línea de siembra**. En forma general, el proceso consiste de cuatro operaciones secuenciadas:

1. Llenado de contenedores (fig. 1.4.23A)
2. Compactación del sustrato (fig. 1.4.23B)
3. Siembra (fig. 1.4.23C)
4. Tapado de la semilla (fig. 1.4.23D).



A



B



C



D

**Figura 1.4.23** La línea de siembra consiste de una serie de operaciones secuenciadas, las cuales pueden ser mecanizadas para incrementar la calidad y velocidad: llenado de contenedores (A), compactado del sustrato en el contenedor para la siembra (B), siembra (C) y tapado de la semilla (D) (*continúa*).



E

**Figura 1.4.23 (continuación)** Aunque algunos viveros arman una línea de siembra con equipos diferentes, es posible adquirir líneas completas automatizadas de siembra, de diferentes marcas, para realizar todo el proceso (E).

El equipo utilizado en cada una de estas operaciones es analizado en las siguientes secciones. Varios fabricantes han desarrollado equipos de siembra automatizados y mecánicamente sofisticados, los cuales combinan una línea de sembrado completa dentro de un proceso secuencial. Los componentes de las diferentes líneas de siembra automatizadas varían entre los fabricantes, sin embargo, todos consisten de una serie de máquinas ensambladas en una secuencia apropiada y típicamente están conectadas con bandas transportadoras (fig. 1.4.23E). La principal ventaja de un equipo de siembra automatizado es su conveniencia, ya que el proceso completo es contenido en un solo paquete que puede ser suministrado por la misma compañía. Muchos ofrecen componentes intercambiables, como las sembradoras de vacío para ajustarse a los diferentes contenedores y semillas. Sin embargo, una línea de siembra automatizada es relativamente costosa, y tiene la desventaja de que alguno de sus componentes puede no trabajar adecuadamente. Los viveros que construyen sus propias líneas de siembra pueden utilizar diferentes tipos de equipo y cambiarlos, en el momento en que nuevos equipos y de mejores características llegan a estar disponibles.

#### 1.4.5.4 Equipo para el llenado de contenedores

En viveros pequeños y medianos, los contenedores pueden ser llenados de sustrato con un equipo muy simple, pero en los viveros grandes la mecanización resulta necesaria para ahorrar tiempo y mano de obra. Una gran variedad de máquinas compactadoras y de llenado están disponibles de manera comercial (Roskens, 1993).

El llenado de contenedores consiste de dos operaciones simultáneas: el llenado de los contenedores con sustrato y la compactación uniforme de éste. Los contenedores pueden ser llenados a mano, sin embargo, esto introduce variaciones no deseables dentro de la operación, además de que es relativamente lento. Muchos viveros usan un llenador hechizo, el cual consiste de un depósito para el almacén del sustrato y de una superficie de llenado donde el medio de crecimiento es compactado en el interior de los contenedores (fig. 1.4.24A). El sustrato fluye hacia la salida del depósito y es distribuido manualmente a lo largo de la superficie del contenedor para llenar las cavidades. Algunas máquinas llenadoras cuentan con un árbol de levas accionado por un motor eléctrico, ubicado en la parte inferior. Esta máquina vibra constantemente hacia arriba y hacia abajo, sacudiendo el contenedor e incrementando

la uniformidad de la compactación y acelerando el proceso de llenado. En la actualidad existen varias llenadoras comerciales que pueden adaptarse a los contenedores forestales (fig. 1.4.24B). Este equipo consiste de un depósito para el manejo de la mezcla de sustrato y de una banda transportadora integral, para el movimiento de la mezcla hacia el área donde se verterá el sustrato en el contenedor. Este último se mueve por otra banda transportadora a la vez que se sacude con un vibrador motorizado. Los excedentes del medio de crecimiento que no han sido utilizados, pueden verterse en el depósito para su reciclamiento.

Después de que los contenedores han sido llenados, se deberá dar forma a la superficie del sustrato y deberá ser compactado para lograr un espacio para la semilla, proceso conocido como **compactación**. Los compactadores pueden ser hechos de madera o plástico y consisten de una placa con pequeñas protuberancias que se ajustan al diámetro de las cavidades, su longitud es igual a la profundidad de siembra deseada. Cuando la placa es presionada sobre la superficie de los contenedores, las protuberancias compactan y moldean el sustrato en cada cavidad (fig. 1.4.24C). Un compactador automatizado utiliza una prensa neumática que cuenta con puntas cónicas o convexas para crear una depresión cónica, la cual obliga a la semilla a depositarse al centro de la cavidad (fig. 1.4.24D). Algunas líneas de siembra automatizadas, cuentan con un tambor rotatorio con protuberancias ubicadas acorde al espaciamiento de las cavidades en el contenedor (fig. 1.4.23B).



A



B



C



D

**Figura 1.4.24** Los equipos hechos para el llenado de contenedores utilizan movimientos vibratorios o de agitación para eliminar las bolsas de aire (A); los modelos comerciales más sofisticados ofrecen el reciclado del sustrato y otras características (B). Los contenedores llenos son presionados para compactar el sustrato y producir un espacio para la semilla manualmente (C) o como parte de la línea mecanizada de siembra (D).

### 1.4.5.5 Equipos de siembra

Aunque la siembra manual es posible para todas las especies forestales, generalmente es considerada un proceso demasiado lento para ser rentable, dado que las labores a desarrollar tienen un costo alto. La mayoría de las coníferas y muchas semillas de especies latifoliadas pueden sembrarse mecánicamente con buena precisión, siempre y cuando la calidad de la semilla sea alta; las semillas muy pequeñas, muy largas o de forma irregular, normalmente son sembradas de forma manual. La operación en el vivero que produce en contenedores requiere limpieza y alta calidad de semilla, con una capacidad de germinación conocida. La semilla limpia simplifica la siembra e incrementa la velocidad y precisión, pues todos los sembradores trabajan mejor con ella. Una germinación alta (mayor al 85%) permite sembrar pocas semillas por cavidad, lo cual reduce el tiempo de sembrado y baja los costos. (Ver capítulo 2 en el volumen seis para información específica sobre calidad de semilla y siembra).

**Sembradora de caja perforada con rejilla móvil.** Una sembradora simple y de bajo costo, es la caja perforada con rejilla móvil, la cual es una caja rectangular con un depósito en un extremo para las semillas y un rejilla de siembra en el otro extremo (fig. 1.4.25A). La rejilla sembradora corresponde a la dimensión exterior del bloque del contenedor o charola, y contiene un plato de fondo con una rejilla agujerada que corresponde al patrón de cavidades en el contenedor. Esto significa que una caja sembradora de este tipo comúnmente se construye para cada tipo específico de contenedor, y si se necesita sembrar diferentes tipos de contenedores, entonces tendrá que tenerse una caja sembradora para cada tipo. La parte superior de la rejilla de siembra es una placa con perforaciones que siguen el mismo patrón del plato del fondo o base, pero compensado lateralmente (fig. 1.4.25B). Las cavidades en la placa son perforadas al tamaño necesario para retener el número de semillas a ser sembradas, usualmente de 2 a 6. Se necesitan placas diferentes para sembrar diferentes números de semillas por cavidad, o por tipo de semilla.

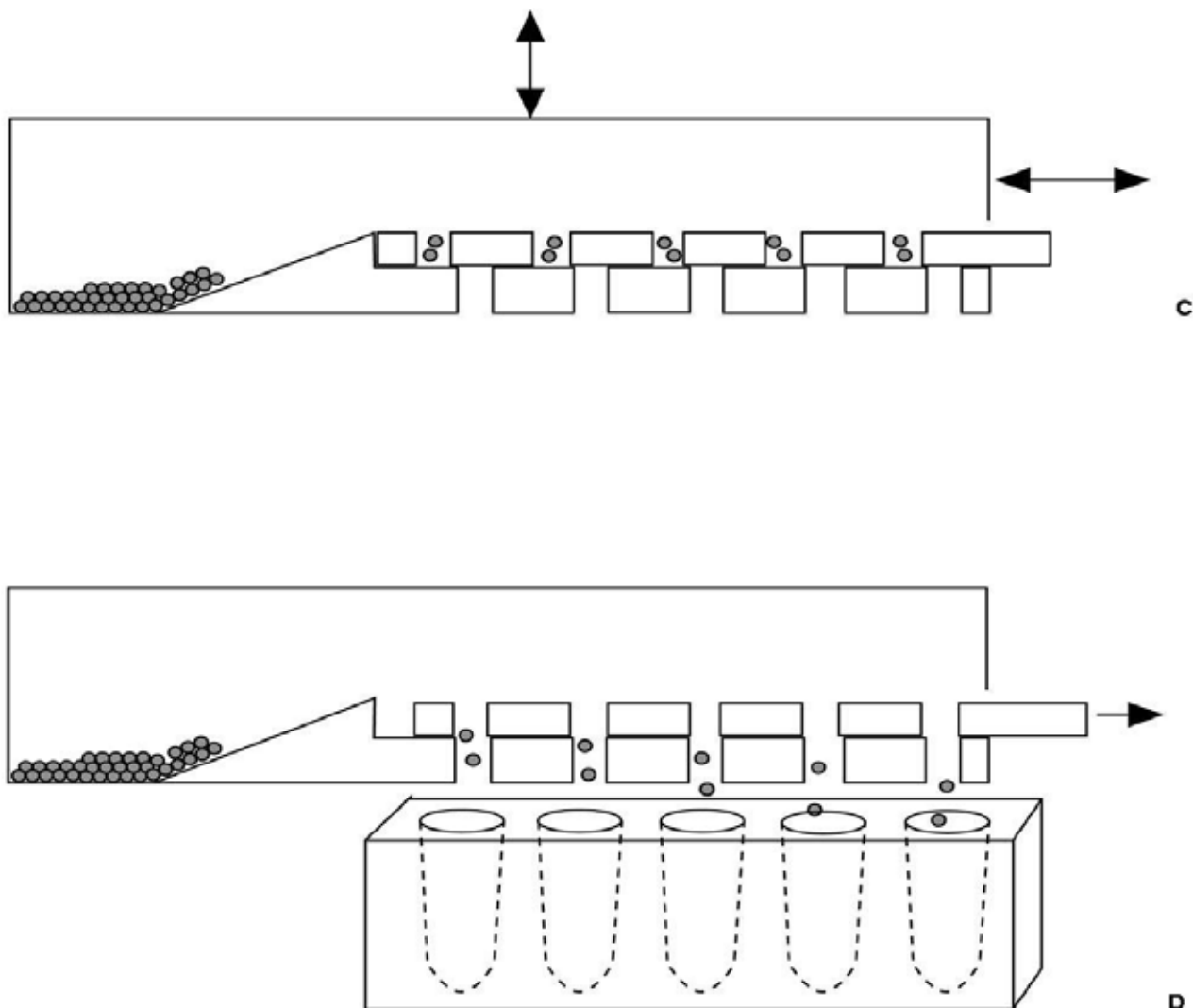
Para manejar la caja sembradora, el operador extiende manualmente la semilla sobre la placa, asegurándose de que cada cavidad sea ocupada (fig. 1.4.25C). El exceso de semilla es barrido y regresado al depósito. Cuando la placa se mueve lateralmente, las cavidades quedan alineadas con aquellas del plato de fondo, y las semillas caen en el contenedor (fig. 1.4.25D). La operación de la caja con rejilla perforada para sembrar requiere práctica,

pero los trabajadores experimentados pueden llevar a cabo siembras aceptables con este dispositivo simple. Estas cajas sembradoras pueden construirse manualmente, de madera, metal o plástico, y también las hay disponibles comercialmente. Su funcionalidad se mejora utilizando semillas más o menos redondas como las de pino, pero se atorarán si están sucias.



**Figura 1.4.25.** La sembradora de placa perforada con rejilla móvil ofrece una simple pero efectiva manera de incrementar la velocidad de siembra y la eficiencia. Las cajas se hacen de acuerdo con cada tipo de contenedor (A), con espacios precisos entre perforaciones en la placa (B) que aseguran que el número deseado de semillas sea depositado en cada celda cuando la rejilla se mueve lateralmente (C y D).





**Figura 1.4.25 (continuación).**- Las cajas se fabrican de acuerdo a cada tipo de contenedor, con espacios exactos entre las perforaciones de la rejilla (B) que aseguran que el número deseado de semillas se ha depositado en cada celda cuando la rejilla se mueve lateralmente (C y D).

**Sembradora de vacío.** La sembradora de vacío (o de succión), consiste de una placa perforada que es conectada a una aspiradora (fig. 1.4.26A). La placa es de la misma medida que el bloque del contenedor, y tiene un patrón de oquedades en la rejilla que corresponde con la posición de las cavidades en el contenedor. El número de perforaciones en cada posición determina el número de semillas por cavidad. Cuando la placa perforada es colocada sobre la charola que contiene la semilla y se produce el vacío, las semillas son retenidas por la placa (fig. 1.4.26B). La estructura se alinea entonces sobre el contenedor y el vacío es interrumpido, permitiendo que las semillas caigan en las cavidades del contenedor (fig. 1.4.26C). La sembradora de vacío

puede ser hecha en casa, y la manufactura es relativamente barata.

La caja perforada de rejilla móvil y la sembradora de vacío son ideales para viveros pequeños y de tamaño mediano, porque se requiere una baja inversión inicial y son sorprendentemente productivas. Ambas son razonablemente precisas en el número deseado de semillas a sembrar por cavidad, pero la mayoría de los viveros usan siembra manual para corregir las deficiencias (fig. 1.4.26D). Las formas reales de producción varían considerablemente debido a las diferencias de líneas de siembra, mano de obra, calidad de semilla y supervisión. Sin embargo, el potencial de producción es de 300,000 a 500,000 cavidades por máquina, por día.



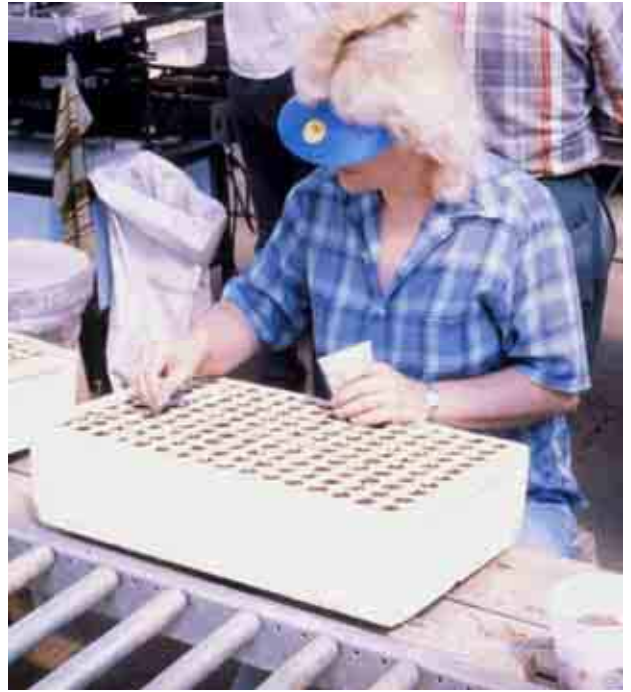
A



C



B



D

**Figura 1.4.26.** La sembradora de vacío (A) succiona las semillas y las retiene en la oquedad que coincide con el mismo patrón de la rejilla y las celdas del contenedor. El número de cavidades determina la densidad de siembra (B). Cuando el vacío se interrumpe, el contenedor es sembrado completamente de una sola vez (C). Tanto la caja perforada con rejilla móvil como la sembradora de vacío requieren supervisión, y a menudo se necesita semilla extra para sembrarla en cavidades vacías (D).

**Sembradoras automáticas y de precisión.** El siguiente nivel de sembradoras corresponde a las mecánicamente más sofisticadas y costosas, pero muy eficientes, que liberan el número exacto de semillas en cada cavidad (Reid,1994). Hay varios modelos de sembradoras automáticas para su adquisición, con una variedad de técnicas de liberación de semilla, y precisiones de siembra del 90% o más. La sembradora de tambor con su característico tambor de vacío, recoge las semillas de una tolva y las deja caer en una hilera al mismo tiempo, cuando el contenedor pasa por debajo sobre la banda transportadora (fig. 1.4.23C). Algunas sembradoras automáticas retienen una o dos semillas a un tiempo en la boquilla de vacío y luego las distribuye, dejándolas caer en los contenedores (fig. 1.4.27A). La mayoría puede ajustarse a diferentes tipos de contenedores con mínimas modificaciones, pero los alimentadores vibratorios pueden manejar diferentes tamaños o formas de semillas mejor que los modelos de vacío. Sin embargo, las sembradoras de vacío son por lo general más rápidas.

Los equipos más sofisticados de siembra son las sembradoras de precisión, las cuales han sido diseñadas para colocar específicamente una semilla por cavidad, eliminando así la necesidad de raleo o trasplante (Reid,1994). La eficiencia de siembra puede ser tan alta como 98% (fig. 1.4.27B). Algunos modelos recogen semillas individuales con placas perforadas de succión (fig. 1.4.27C), algunas usan alimentadores vibratorios para aislar una sola semilla, y sensores electrónicos para controlar la siembra, mientras que otras utilizan solamente la vibración y sistemas de distribución (fig. 1.4.27D). Las sembradoras de precisión debieran ser usadas solamente con semillas de la más alta calidad: limpias, de tamaño uniforme, y de muy alto porcentaje de germinación. Las capacidades de producción de los diferentes modelos varían ampliamente, pero todos son relativamente costosos. Las sembradoras de precisión se pueden justificar en viveros grandes, con líneas eficientes de siembra. La tecnología en la siembra de precisión aún está en desarrollo, por lo que antes de decidir qué sembradora de precisión comprar, los diseñadores de viveros deberán establecer contacto con otros viveros, para entender como funciona este equipo bajo condiciones operativas.

Lo último en siembra de precisión consiste en poner una semilla pregerminada en cada contenedor, asegurando cerca del 100% de celdas ocupadas y eliminando costos por cavidades vacías o por raleos. Los protocolos en investigación sobre pregerminación y los experimentos de siembras en

líquido o gel continúan, y el equipo ya ha sido perfeccionado para algunos cultivos hortícolas. El problema con la mayoría de las especies forestales es que la calidad de la semilla es extremadamente variable, debido a la dificultad para su limpieza y procesamiento, así como la compleja dormancia. Sin embargo, los viveros que producen grandes lotes de planta con limpieza uniforme y altos porcentajes de germinación en la semilla, pueden encontrar un uso para estos nuevos equipos.

#### **Cubrimiento de la semilla (con arenilla).**

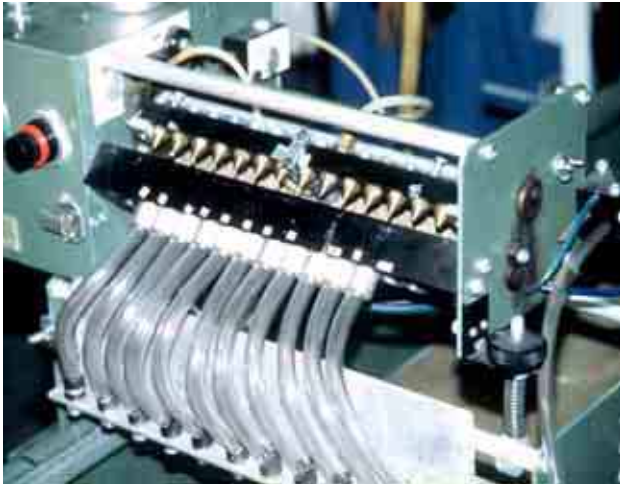
Después de que los contenedores son sembrados, la semilla se cubre con una delgada capa de arena, gravilla, vermiculita, perlita, o algún otro material para cubrir. El cubrimiento de la semilla permite que físicamente ésta sea retenida en el sitio (cavidad), a la vez que evita el crecimiento excesivo de algas, musgo, o hepáticas, las cuales pueden retrasar o inhibir completamente la germinación (fig. 1.4.28A). Materiales blancos como la perlita o la arenisca se recomiendan porque reflejan la luz solar, manteniendo a la semilla a una temperatura y humedad deseable (fig. 1.4.28B). Para cubrir la semilla se aplica una capa uniforme sobre el límite del bloque del contenedor y a la profundidad deseada. Las cubiertas que son demasiado delgadas provocarán que la semilla se seque, mientras que las que son demasiado gruesas pueden inhibir la germinación. La aplicación irregular de la cubierta puede ser peor que todo lo anterior, porque provocará germinaciones desiguales y complicará las prácticas culturales posteriores (fig. 1.4.28C). El cubrimiento algunas veces se hace manualmente, pero a menudo se utiliza maquinaria simple, que es también de fabricación casera (fig. 1.4.28D). Las líneas automatizadas de siembra depositan la cubierta exacta en cada contenedor al pasar por la banda transportadora (fig. 1.4.23D).



A

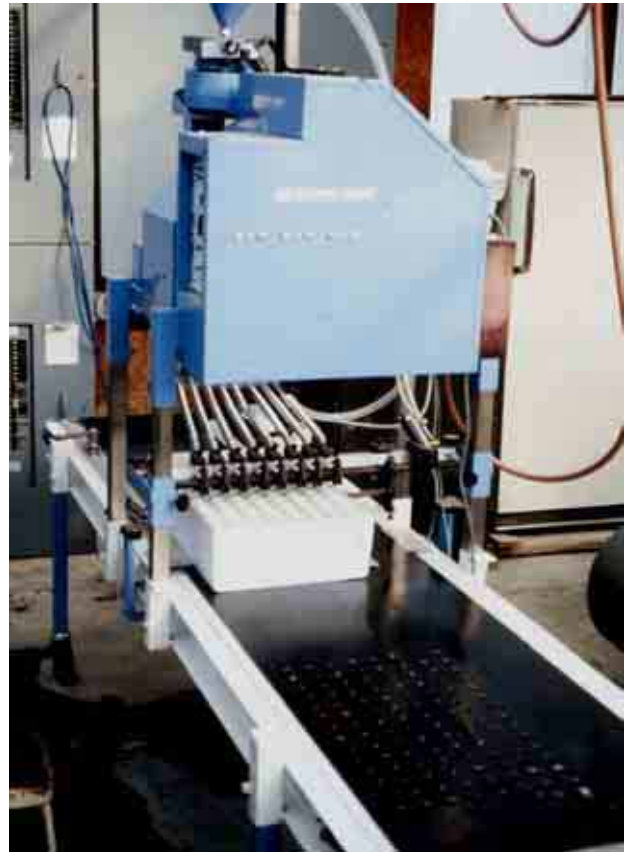


C



B

**Figura 1.4.27.** Las sembradoras automáticas y de precisión ofrecen un excelente control en la densidad de siembra. Los modelos de vacío retienen las semillas en un tambor rotatorio o una boquilla hueca (A) y dejan caer la semilla directamente en el contenedor o bien, usan una serie de tubos (B) para asegurar la colocación exacta (C). En otros modelos sobresale el uso de alimentadores vibratorios y sensores electrónicos para contar con precisión las semillas (D).



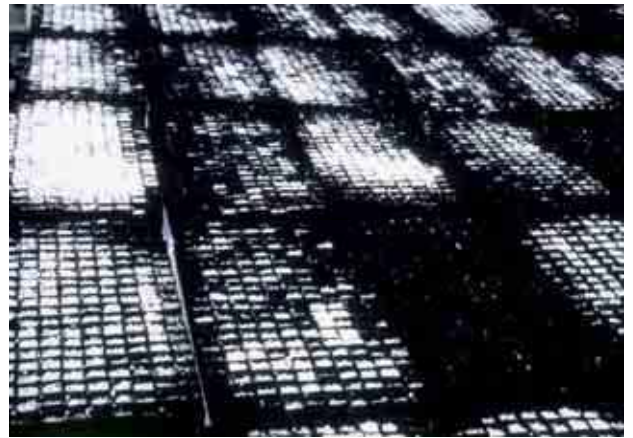
D



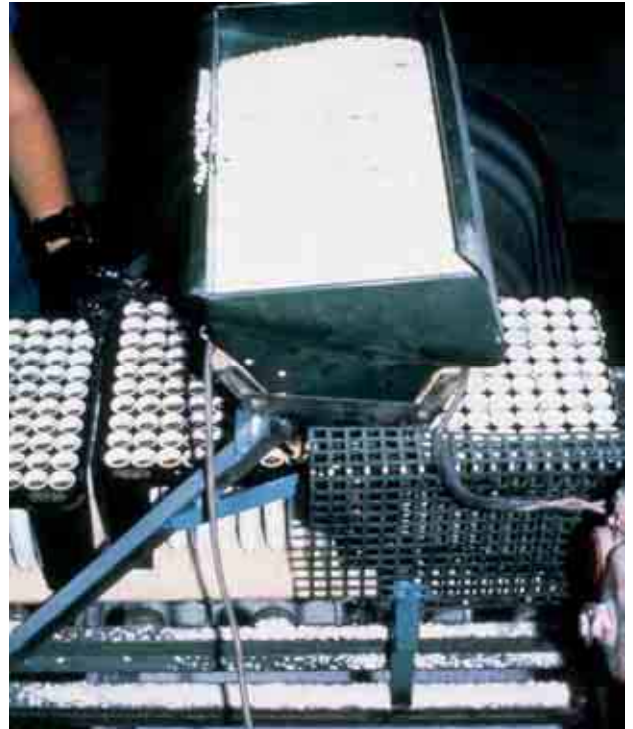
A



B



C

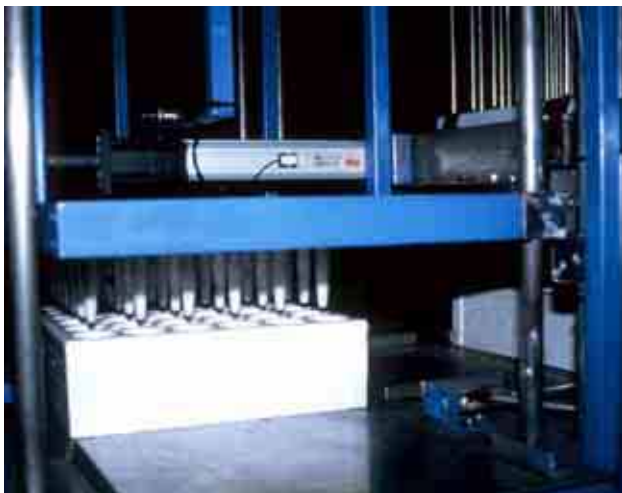


D

**Figura 1.4.28.** El cubrimiento de la semilla la retiene en la cavidad y reduce el crecimiento de algas, musgos y hepáticas (A). Los materiales blancos como la perlita o la gravilla (B) se recomiendan porque reflejan la luz solar y reducen la posibilidad de lesiones por calor. Las aplicaciones irregulares resultan en una germinación variable (C), así que la mayoría de los viveros usan equipos para asegurar el cubrimiento homogéneo de la semilla (D).

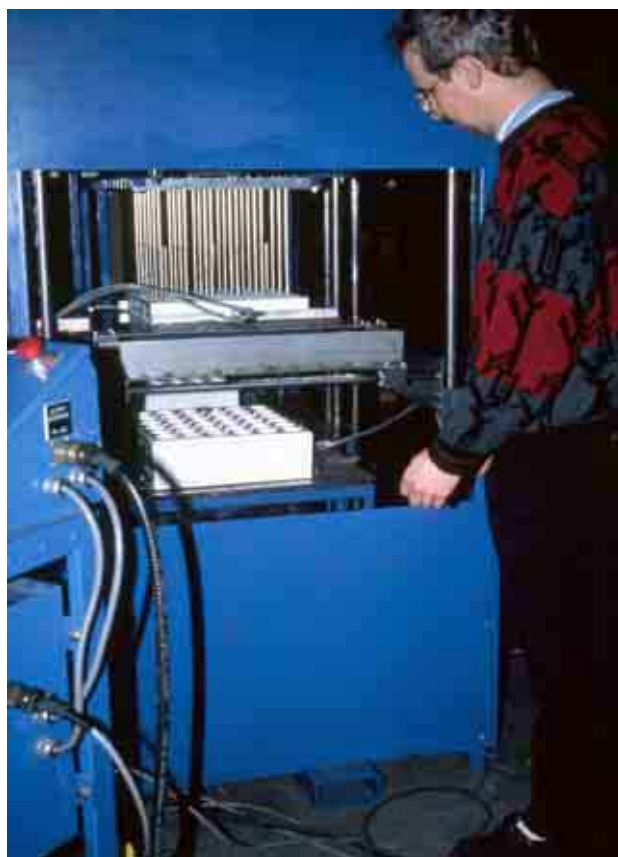
#### 1.4.5.6. Equipo para el trasplante

En la actualidad, el trasplante de plántulas de un contenedor a otro no es una práctica común en los viveros forestales. Sin embargo, algunos viveros manejan el trasplante extra de plántulas para ocupar las celdas vacías durante la fase de germinación, especialmente cuando se tiene poca semilla. En los últimos años, diversos tipos de trasplantadores mecánicos han sido desarrollados para trasplantar cepellones en miniatura con flores y hortalizas a contenedores más grandes (Onofrey,1993). Existe la necesidad de equipos de trasplante para plántulas de especies forestales, porque el espacio de producción en el invernadero es caro y el costo del trasplante manual es elevado. Un trasplantador automático en la etapa de desarrollo, trasplanta plántulas con cepellón en miniatura que crecen en un cultivo intensivo, a contenedores grandes que pueden ser producidos bajo cultivo extensivo (Hodgson,1993). Las plántulas crecen en pocas semanas en contenedores Miniblock®, con un medio de crecimiento especial que es retenido por las raíces en el cepellón. El proceso de trasplante consiste en rellenar con sustrato a los contenedores de mayor capacidad (fig. 1.4.29A), luego se empuja mecánicamente al minicepellón dentro de la cavidad (fig. 1.4.29B). Los ensayos operativos con esta nueva tecnología de propagación comúnmente son como se describió y, los resultados iniciales son promisorios.



A

**Figura 1.4.29.** El trasplante de plántulas de contenedores miniatura a contenedores más grandes es una nueva tecnología promisoriosa. Los contenedores más grandes son rellenos con el sustrato (A) y entonces las plántulas con cepellón pequeño se trasplantan empujando dentro de la cavidad (B). (Cortesía de Beaver Plastics Ltd., Edmonton, AB.)



B

#### 1.4.5.7. Equipo para aplicación de plaguicidas

A pesar de los mayores esfuerzos del productor en la prevención, ocasionalmente será necesario usar plaguicidas para proteger el cultivo. En los viveros que producen especies forestales en contenedor, los plaguicidas típicamente son aplicados como tratamientos a la semilla, en forma de aspersión o de saturación y aerosoles. El mejor método de aplicación dependerá de varios factores: el tipo de plaguicida, las restricciones legales, las características de la plaga en cuestión, la sensibilidad del cultivo, las condiciones ambientales y el tipo de equipo.

Sin embargo, la mayoría de plaguicidas son aplicados por aspersión. Los asperjados foliares se usan para insectos y patógenos visibles, y las saturaciones para problemas de raíz. Ambas técnicas requieren la mezcla del plaguicida con agua, así como la aplicación en el área del problema con aspersoras portátiles o inyectándolo a través del sistema de riego. Los asperjados foliares requieren de una presión de moderada a alta en las boquillas, para asegurar una cobertura uniforme sobre las plántulas, recomendándose una boquilla con un cono sólido o hueco. La saturación requiere baja presión en las boquillas, lo que

permite que el plaguicida se infiltre completamente en el medio de crecimiento. La formulación del plaguicida también afectará el tipo de equipo aspersor porque algunos materiales, tales como los polvos humectantes, deben ser agitados. Bohmont (1993) es una fuente excelente de información en todos los aspectos del uso de plaguicidas. (Ver volumen cinco de esta serie, para información específica sobre estrategias de manejo de plagas, aplicación de plaguicidas, manejo y almacenamiento.)

**Aspersoras portátiles.** Los productores deberán estar supervisando constantemente sus cultivos para que las plagas y enfermedades puedan ser detectadas cuando el problema todavía está confinado en pequeñas áreas. Esas áreas afectadas pueden ser tratadas con aspersoras manuales (fig. 1.4.30A). Las aspersoras portátiles se encuentran de todas las medidas, pero la selección dependerá de la cantidad de plaguicida que necesita ser aplicado. Los productores nunca deberán mezclar más químicos que aquellos que deban ser usados en una aplicación; las aspersiones manuales son ideales para tareas pequeñas; pero para aspersiones más extensivas se necesitan equipos de alta capacidad (fig. 1.4.30B).

La nueva tecnología está revolucionando la aplicación de plaguicidas. Aunque son más caras, las aspersoras de bajo volumen están reemplazando rápidamente a las aspersoras hidráulicas en los viveros (Bartok, 1992). Mientras que las aspersoras tradicionales utilizan grandes volúmenes de plaguicidas diluidos, las aspersoras de bajo volumen usan cantidades relativamente pequeñas del concentrado. Éstas economizan tiempo y dinero porque cubren el cultivo más uniformemente y más rápido, y dado que usan un concentrado, el trabajo y los riesgos potenciales del mezclado son eliminados.

Particularmente, las aspersoras electrostáticas son atractivas para viveros de contenedor porque los modelos pequeños portátiles que están disponibles pueden usarse con seguridad en distancias cortas (fig. 1.4.30C). Estas aspersoras producen pequeñas gotas con una carga positiva y que se dispersan bien porque se repelen una con otra. La cobertura es excelente, pues las gotas son atraídas por la planta, cargada negativamente. Incluso pueden llegar a alcanzar la base de las hojas. Las aspersoras electrostáticas ayudadas por aire son más efectivas que los modelos mecánicos o de gravedad (Lindquist y Powell, 1991).

**Aspersoras de aguilón.** Cuando grandes áreas requieren tratamiento, las aspersoras de aguilón son la manera más eficiente para aplicar plaguicidas. Los viveros con equipo de inyección de fertilizantes también pueden inyectar plaguicidas y otros químicos directamente en el sistema de riego. Ambos métodos tanto de aspersión foliar como de saturación, pueden ser aplicados, dependiendo de la boquilla usada y la duración de la aplicación. Esta técnica también es segura porque el operador no tiene que estar en el invernadero, mientras que la aplicación está en proceso. Aunque también pueden utilizarse sistemas fijos de asperjado, la cobertura deficiente significa mayor gasto de plaguicida y habrá más escurrimiento (Dumroese *et al*; 1992). Los plaguicidas pueden ser aplicados a cultivos a cielo abierto utilizando aspersoras móviles de aguilón (fig. 1.4.30D).

La posible contaminación del agua provocada por plaguicidas agrícolas es una preocupación en aumento, de este modo, algunas compras de equipo para aplicación de plaguicidas deberán considerar la contaminación potencial en adición al costo y la eficiencia.



A



B



C



D

**Figura 1.4.30.** Los plaguicidas líquidos se aplican con aspersoras manuales (A) o equipos de aspersión portátiles de mayor capacidad (B). Los nuevos equipos de bajo volumen tales como la aspersora electrostática (C), usan menos plaguicida y proveen mejor cobertura. Las aspersoras de aguilón con tracción pueden ser usadas para aplicar plaguicidas o fertilizantes líquidos en áreas expuestas a cielo abierto (D).



### 1.4.6. Equipos para la Cosecha.

El siguiente paso en el ciclo de producción, involucra el movimiento de plantas a un área donde pueden ser clasificadas y empacadas para almacenamiento (fig. 1.4.11). Algunos viveros hacen esto en los pasillos de las áreas de propagación, mientras que otros mueven las plantas hacia el área principal u otras áreas de trabajo. La forma en la cual las plantas serán llevadas a los sitios de plantación determina el tipo de cosecha y el sistema de almacenamiento que se requerirá. Hay dos opciones: embarcar las plantas en su contenedor, o removerlas de éste y enviarlas en cajas. Los viveros que guardan sus plantas en almacenes acondicionados, usan camiones equipados específicamente para entregarlas a los sitios de plantación definitiva. Sofisticados equipos han sido desarrollados para manejar la planta en el vivero y cargarla a los camiones para su entrega (fig. 1.4.16 A y B). Cuando las plantas son embarcadas con sus contenedores, pueden diseñarse estibas para protegerlas y prevenir el daño por compactación (fig. 1.4.31A).

**Figura 1.4.31.-** Las plantas que son embarcadas en su contenedor al sitio definitivo de plantación, se colocan en cajas o se almacenan en estibas (A), a fin de protegerlas durante el transporte. Muchos viveros procesan sus plantas en una línea de empaque donde las plantas son extraídas del contenedor, clasificadas, atadas, y empacadas en cajas para almacenamiento o embarque (B).

Sin embargo, no todas las cavidades del contenedor contienen una planta utilizable, y el proceso de eliminación de plantas que son demasiado pequeñas o que tienen otros defectos obvios, es llamado **clasificación o eliminación**. La principal ventaja de la eliminación es que el volumen y el peso de almacenamiento y embarque son menores, y el plantado es más eficiente. Los viveros que pueden producir un alto porcentaje de plantas aceptables pueden evitar el costo extra de la clasificación. La mayoría de los usuarios esperan que sólo plantas aceptables sean embarcadas; así, los viveros juntan la línea de clasificación y la línea de empaque, con el fin de procesar plantas para almacenamiento y embarque.



A



B

### 1.4.6.1. Líneas de clasificación y empaque

El proceso de extraer la planta del contenedor, su clasificación y empaque –comúnmente denominado extracción y envoltura – ha llegado a ser común en años recientes. Este es un proceso que implica mucho trabajo, y algunos viveros combinan la secuencia de las tareas en las líneas de clasificación y empaque, las cuales son conectadas mediante bandas transportadoras (fig. 1.4.31B). Esto puede ser muy simple de organizar, con todas las etapas realizadas a mano, desde la extracción de la planta y su clasificación, hasta la envoltura y acomodo dentro de las cajas de almacenamiento. Los viveros grandes utilizan una variedad de equipos que hacen al proceso más rápido y más eficiente.

En adición a la reducción en los costos del trabajo, la mecanización de la clasificación y empaque ha

llegado a ser necesaria, dada la alta incidencia de lesiones a los trabajadores. Muchas especies forestales tienen raíces muy agresivas y desarrollan un fuerte cepellón al final del ciclo del cultivo. Las raíces de algunas especies se introducen en los intersticios de las paredes de la cavidad, especialmente en contenedores de poliestireno expandido. Esto puede dificultar la remoción de la planta del contenedor, y los trabajadores en la línea de empaque a menudo presentan tendinitis y otras lesiones crónicas en muñeca y antebrazo. Para lograr que la planta salga fácilmente, muchos viveros han desarrollado equipos a su medida. El sacudidor mecánico utiliza un movimiento de sacudida que afloja el cepellón del contenedor (fig. 1.4.32A), como el primer paso en la línea de empaque. Esto es seguido por los extractores de plantas, los que físicamente empujan a un tiempo una hilera de plantas del contenedor, y la depositan sobre la banda de clasificación (fig. 1.4.32B).



A



C



B



D

**Figura 1.4.32.** Se están desarrollando equipos nuevos para hacer más fácil la extracción de la planta del contenedor. El golpeo mecánico (A) afloja la planta con una sacudida y entonces puede ser empujada del contenedor a la banda de clasificación con un extractor (B). Las plantas ya clasificadas y en atados se depositan en una bolsa de plástico (C) o se juntan los cepellones en una envoltura plástica (D). (En México se utiliza plástico adherente para envolver manojos de hasta 25 cepellones (nota del traductor)).

Una vez que los trabajadores han extraído las plantas del contenedor, las inspeccionan visualmente y las colocan sobre la banda clasificadora en manojos de 5 a 25 plantas. El próximo paso es embolsar o envolver los manojos de plantas y colocarlas dentro de las cajas de almacenamiento. Las máquinas para el embolsado (fig. 1.4.32C) mantienen un abasto de bolsas de plástico que automáticamente son infladas por una corriente de aire, haciendo que las plantas entren con facilidad. Las bolsas son de profundidad suficiente para encerrar el cepellón y retardar la desecación; al guardar los brotes sin cubrir se reduce la posibilidad de aparición del moho en el almacén. Otros viveros utilizan una película plástica para envolver los cepellones de las plantas en atados antes de meterlas en cajas (fig. 1.4.32D). El paso final en el proceso de clasificación y empaque involucra el sellado de las cajas, marcándolas con la siguiente información: especie, lote de semilla, número de plantas, y otros datos importantes. Entonces son transportadas al almacén hasta que puedan ser embarcadas (fig. 1.4.11).

#### 1.4.6.2. Almacenamiento

Después que las plantas han sido transportadas al área de almacenamiento, no hay la necesidad de cualquier otro equipo hasta que son embarcadas para su plantación en el sitio definitivo. En el almacén, las plantas deberán colocarse sobre el suelo protegiendo las raíces, las cuales son mucho más susceptibles al congelamiento en comparación con la parte foliar. Deberán agruparse lo más posible para minimizar el espacio, y aislar las raíces con aserrín u otro material (fig. 1.4.33A). Las plantas almacenadas en refrigeración, pueden guardarse en estibas o sujetarlas en plataformas que soporten el peso y eviten la compactación (fig. 1.4.33B). Las cajas para almacenamiento deberán forrarse con una bolsa plástica delgada para retardar la pérdida de humedad, y que permita el intercambio de oxígeno. Propiamente, las plantas empacadas no requieren control de humedad en el almacén. (Los aspectos sobre almacenes para protección y con refrigeración, se discuten en la sección 1.3.5.4, y serán cubiertos en detalle en el volumen siete de esta serie.)



A



B

**Figura 1.4.33.** Las plantas que permanecen durante el invierno en el contenedor, pueden ser protegidas contra temperaturas de congelamiento y vientos secos (A). Las plantas en cajas deben colocarse en estibas durante el almacenamiento y embarque para prevenir daños (B).

### 1.4.7 Resumen

Dos categorías generales de equipos se utilizan en viveros forestales que producen en contenedor. Una amplia variedad de equipos se utilizan para modificar el ambiente de propagación y optimizar los seis factores restrictivos del crecimiento de la planta: temperatura, humedad, luz, dióxido de carbono, agua y nutrientes minerales. El grado de modificación depende del tipo de estructura y equipo de control del ambiente con que se cuenta. Las plantas cultivadas a la intemperie pueden ser abastecidas con riego y fertilización, y la luz y la temperatura pueden ser controladas en un menor grado. Los viveros que usan contenedores y que desarrollan sus plantas en algún tipo de estructura de propagación, tienen la capacidad de controlar todos los factores limitantes. Estos factores pueden controlarse individualmente o, en ambientes completamente controlados, los sofisticados controles (incluyendo sistemas computarizados) balancean todos los factores para producir condiciones que son ideales para la propagación de las plantas. Las especies forestales son un cultivo valioso, así que los viveros usan sistemas de seguridad para detectar fallas en la fuente de electricidad, problemas mecánicos con el equipo del control del ambiente, fuego o robo.

La segunda categoría del equipo que usan los viveros que producen en contenedor, incluye materiales y equipo que se necesita para producir una cosecha de plantas. El cultivo de especies forestales consiste de una secuencia de procesos que empieza cuando la semilla o los propágulos son entregados al vivero y termina cuando las plantas son embarcadas para su plantación al sitio definitivo. Los cultivos en contenedor pueden hacerse directamente sobre el piso, sobre plataformas, estibas, o mesas, y la elección es crítica tanto para los aspectos biológicos como de operación. Biológicamente, las plantas leñosas deben estar soportadas para que la poda de raíces por contacto con el aire se dé y, operativamente, los contenedores deben estar colocados de tal manera que se haga más eficiente su uso en el área de propagación y puedan ser fácilmente manejados y movidos. El sistema de soporte de contenedores debe ser compatible con el sistema de manejo en aquellos viveros que utilizan montacargas y bandas transportadoras, para mover las plantas y los insumos.

Para ser más efectivo y costo eficiente, el equipo para la producción de plantas debe seleccionarse de tal manera que pueda adaptarse a varias secuencias. Todos los diferentes pasos en el proceso pueden ser hechos manualmente, y la

necesidad del equipo depende del tamaño y la complejidad del vivero, así como de la tecnología disponible, financiamiento y mano de obra. Con algunos cultivos el equipamiento no es justificado, pero para otros, sería altamente aconsejable. En la evaluación de la necesidad de equipamiento, los viveristas deben recordar la frecuencia y la rapidez con que ocurre la operación. Si los procesos ocurren frecuentemente o deben hacerse en poco tiempo, puede costear la mecanización. La seguridad del trabajador también se considera porque muchas operaciones pueden conducir a la fatiga y ocasionar lesiones, así que los procesos deben mecanizarse si es posible.

### 1.4.8 Literatura Citada

- Aldrich, R.A.; Bartok, J.W., Jr. 1989. Greenhouse engineering. Bull. NRAES-33. Ithaca, NY: Cornell University, Northeast Regional Agricultural Engineering Service. 203 p.
- Acme. 1988. The greenhouse climate control handbook: Engineering principles and design procedures. Muskogee, OK: Acme Engineering and Manufacturing Company. 23 p.
- Argus Control Systems. 1990. Argus Control System brochure, Sept. 19, 1990. White Rock, BC. 9 p.
- ASHRAE. 1989. ASHRAE Handbook: fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc. 792 p.
- Ball, G.J. 1991. Ball Redbook, 15<sup>th</sup> ed. West Chicago, IL: George Ball Publishing. 802 p.
- Bartok, J.W., Jr. 1994. Don't overlook benefits of HAF. *Greenhouse Manager* 12(11):90-92.
- Bartok, J.W., Jr. 1993a. How to select the right fan and install it properly. *Greenhouse Grower* 11(4): 20-21, 23.
- Bartok, J.W., Jr. 1993b. Computers may help you determine your ideal greenhouse environment. *Greenhouse Manager* 12(4):139.
- Bartok, J.W., Jr. 1992. Economics of low-volume sprayers threaten future of hydraulic systems. *Greenhouse Manager* 10(10): 91.
- Bartok, J.W., Jr. 1991a. Inexpensive and easy to maintain, there's a plastic pipe for every task. *Greenhouse Manager* 9(9): 145-146.
- Bartok, J.W., Jr. 1991b. Cut costs with conveyors. *Greenhouse Grower* 9(13): 26, 28-29.
- Bartok, J.W., Jr. 1987. Alarm system provides inexpensive insurance. *Greenhouse Manager* 6(8): 91-93.
- Bartok, J.W., Jr. 1986. Materials handling basics for greenhouse nursery operations. Publ. GMM-94. Storrs, CT: University of Connecticut, Cooperative Extension Service. 3 p.
- Bickford, E.D.; Dunn, S. 1972. Lighting for plant growth. Kent, OH: Kent State University Press. 221 p.
- Bohmont, B.L. 1983. The new pesticide user's guide. Reston, VA: Reston Publishing Co. 452 p.
- Charlton, A. 1992. Generators can meet your power and budget needs. *The Digger* 36(10): 18.
- Chris Industries Corp. 1992. Personal communication. St. Petersburg, FL.
- Conway, B. 1987. Growing a greenhouse. *Silviculture* 2(2): 18-19.
- Dumroese, R.K.; Page-Dumroese, D.S.; Wenny, D.L. 1992. Managing pesticide and fertilizer leaching and runoff in a container nursery. In: Landis, T. D. tech. Coord. Proceedings, Intermountain Forest Nursery Association; 1991 August 12-16; Park City, UT. Gen. Tech. Rep. RM-211. Ft. Collins, CO. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: 27-33.
- Elston, R. 1991. A look at seeders. *Greenhouse Manager* 10(6): 115-117.
- Gleason, G.S. 1986. Continuous mixing systems for growing media. Pap. 86-1096. In: Proceedings Summer Meeting of American Society of Agricultural Engineers. 1986 June 29-July 2; San Luis Obispo, CA. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers. 11 p.
- Greenhouse Manager*. 1994a. First step: electronic thermostats. *Greenhouse manager* 12(11): 64-67.
- Greenhouse Manager*. 1994b. A look at: environmental computers. *Greenhouse Manager* 12(11): 69-71.
- Greenhouse Manager*. 1993a. A look at: boom irrigation. *Greenhouse manager* 11(10): 80-81.
- Greenhouse Manager*. 1993b. A look at: metal benches and bench tops. *Greenhouse manager*. 12(6): 58-60.
- Hicklenton, P.R. 1988. CO<sub>2</sub> enrichment in the greenhouse: principles and practice. Portland, OR: Timber Press. 58 p.
- Hodgson, T.J. 1993. Personal communication. Edmonton, AB: Beaver Plastics, Ltd.
- Hummert, P. 1993. Personal communication. St. Louis, MO: Hummert International.

Labbate, E. 1994. Personal communication. Leamington, ON: Climate Control Systems.

Langhans, R. W. 1980. Greenhouse management. Ithaca, NY: Halcyon Press. 270 p.

Lindquist, R.K.; Powell, C.C. 1991. Pesticide application alternatives. *Greenhouse Manager* 9(12): 62,64.

Mackenzie, A.J.G. 1993. Personal communication. White Rock, BC: Argus Control Systems, Ltd.

McConkey, J.M. 1993. Personal communication. Sumner, WA: J.M. McConkey, Co.

Melby, P. 1988. Simplified irrigation design. Mesa, AZ: PDA Publishers. 190 p.

Nelson, P.V. 1991. Greenhouse operation and management, 4<sup>th</sup> ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. 612 p.

Onofrey, D. 1993. Today's transplanters. *Greenhouse Grower* 11(11): 70-74.

Pair, C.H.; Hinz, W.H.; Frost, K.R.; Sneed, R.E.; Schiltz, T.J. 1983. Irrigation. Arlington, VA: The Irrigation Association. 686 p.

Peterson, M. 1991. Guidelines for the sanitation of nursery seedling containers. Supplement to FRDA 140. Victoria, BC: Ministry of Forests, Silviculture Branch. 16 p.

Reid, J.I. 1994. Personal communication. Thunder Bay, ON: InnoTec, Inc.

Roberts, W.J.; Giacomelli, G. 1992. Designs on ventilation. *Greenhouse Grower* 10(4): 20,22,24,25.

Roskins, L. 1993. A look at: flat fillers, potting units. *Greenhouse Manager* 12(8): 91-94.

Speedling, Inc. 1993. Personal communication. Sun City, FL: Speedling, Inc.

Sorving, K. 1993. Trading wood for plastic. *American Nurseryman* 177(11): 58-63.

Whitesides, R. 1993. Ways to make watering systems more precise. *Greenhouse Manager* 11(10): 42-44.

Whitesides, R. 1991. Computers are a cost-effective way to maintain your competitive edge. *Greenhouse Manager* 10(2): 56-58, 60, 62, 64.