

**MANUAL DE VIVEROS PARA LA
PRODUCCIÓN DE ESPECIES
FORESTALES EN CONTENEDOR**

VOLUMEN 6

**Propagación de Plantas
Capítulo 4**

**Desarrollo de la Planta:
Fases de establecimiento, rápido
crecimiento y endurecimiento**

Contenido

6.4.1 Introducción	158
6.4.2 Fase de establecimiento	160
6.4.2.1 El ambiente atmosférico.....	160
Temperatura	161
Humedad.....	161
Luz	161
Dióxido de carbono	162
6.4.2.2 El ambiente edáfico	162
Riego	162
Nutrición mineral.....	164
6.4.2.3 Operaciones culturales.....	164
Monitoreo de la germinación.....	164
Deshije	165
Resiembra	165
Trasplante	166
6.4.2.4 Plagas y problemas abióticos	167
Temperaturas extremas.....	167
Damping-off.....	168
Moscos fungosos	169
Criptógamas y malezas.....	169
Aves y roedores	169
6.4.3 Fase de rápido crecimiento	171
6.4.3.1 El ambiente atmosférico.....	171
Temperatura	171
Humedad.....	173
Luz	173
Dióxido de carbono	174
6.4.3.2 El ambiente edáfico	174
Riego	174
Fertilización.....	174
6.4.3.3 Operaciones culturales.....	177
Control cultural de la altura del tallo	178
Poda del tallo	178
Hojas primarias versus hojas secundarias	180
6.4.3.4 Plagas y problemas abióticos	181
Pudrición de la raíz por Fusarium	181
Insectos.....	181
6.4.4 Fase de endurecimiento	182
6.4.4.1 Introducción.....	182
Problemas con plantas no endurecidas	182
Terminología del endurecimiento.....	183
Objetivos de la fase de endurecimiento	184
Factores que afectan el endurecimiento de las plantas.....	186
Programación de la fase de endurecimiento	188
6.4.4.2 Ambiente atmosférico.....	189
Estructuras de propagación	189
Temperatura	190
Humedad.....	192
Luz	192
Dióxido de carbono	193
6.4.4.3 El ambiente edáfico.....	193

Riego	193
Fertilización.....	195
6.4.4.4 Operaciones culturales.....	197
Inoculación con hongos micorrízicos.....	197
Selección de especies	197
Tipos de inóculos micorrízicos	198
¿Cómo y cuándo inocular?	198
Rentabilidad	198
6.4.4.5 Plagas y problemas abióticos	198
6.4.5 Resumen.....	200
6.4.6 Literatura Citada	201
Índice de nombres científicos	205

6.4.1 Introducción

El objetivo de este capítulo es presentar una descripción general de cómo un cultivo común es producido en un vivero forestal. Es claro que el protocolo y la calendarización de la producción variarán con las especies cultivadas y por el tipo de ambiente del vivero; sin embargo, se considera que entrar en los detalles de la producción de un cultivo común será informativo para el viverista principiante. Los protocolos de propagación y calendarización de la producción para una variedad de especies forestales y de conservación son proporcionados en la página web del Servicio Forestal de los Estados Unidos en la siguiente URL:

» willow.ncfes.umn.edu/snti/snti.htm «

El ejemplo considera la propagación por semilla de un cultivo de plantas de coníferas del noroeste de los Estados Unidos producidas en un invernadero totalmente controlado. Este cultivo tomará 17 meses para su producción y envío, y la calendarización de las instalaciones se presenta en el Cuadro 6.4.1A. Las diferentes especies se agrupan en las mesas del invernadero, acorde a sus requerimientos culturales. Las especies de crecimiento

relativamente rápido se producen en una mesa (o banco) y las más lentas en otro (Cuadro 6.4.1B).

El ambiente de propagación y las prácticas culturales requieren ser planeadas para cada una de las tres fases de desarrollo de las plantas: **establecimiento, crecimiento rápido y endurecimiento**. Para cada fase se discutirán los posibles factores limitantes del ambiente de propagación: el **entorno ambiental**, que incluye la temperatura, la humedad, la luz y el dióxido de carbono, y el **ambiente edáfico**, el cual se compone del agua y los nutrientes minerales (Figura 6.4.1). Cabe destacar que el sustrato y el tipo de contenedor son muy importantes, no sólo porque proporcionan una reserva limitada de agua y nutrientes minerales, sino porque son los únicos factores que no se pueden cambiar después de la siembra. Los viveros también contienen una variedad de organismos que afectan a las plantas, por lo que tanto las plagas como los organismos benéficos también serán discutidos para cada fase de desarrollo. Por último, se hablará de las prácticas culturales comunes que se pueden utilizar en cada fase.

Cuadro 6.4.1A La programación de las instalaciones para plantas de coníferas del oeste en el vivero forestal para la investigación de la Universidad de Idaho.

Año uno												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Etapa de crecimiento de las plantas	Estratificación de semillas		Fase de establecimiento			Fase de crecimiento rápido			Fase de endurecimiento			Almacenamiento
Requerimiento de espacio	Refrigerador		Invernadero									Cobertizo de empaque
Requerimiento de mano de obra	Limpieza de contenedores y cuadrilla de llenado		Cuadrilla de siembra	Cuadrilla de entresacado								Cuadrilla de empaque
Equipamiento y suministros	Contenedores, sustratos y fertilizantes		Línea de siembra							Cajas, bolsas de recubrimiento y etiquetas		Línea de empaque

Año dos												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Etapa de crecimiento de las plantas	Planta dormante en almacenamiento			Envío						Pruebas a la semilla para el siguiente cultivo		
Requerimiento de espacio	Cobertizo de empaque	Almacenamiento refrigerado								Cámaras de germinación		
Requerimiento de mano de obra	Cuadrilla de empaque			Cuadrilla de Embarque								
Equipamiento y suministros	Línea de empaque			Bandas transportadoras, camiones de entrega					Obtención de las semillas para el próximo cultivo			

Fuente: Modificado de Wenny and Dumroese (1998).

Cuadro 6.4.1B Vista en planta del esquema de distribución de espacios de un invernadero para un cultivo mixto de plantas de coníferas del oeste, en el vivero forestal y de investigación de la Universidad de Idaho.

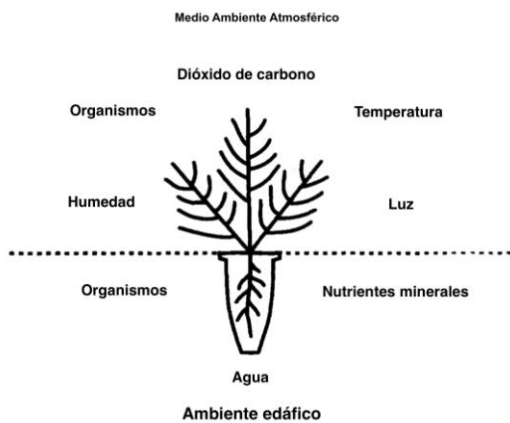
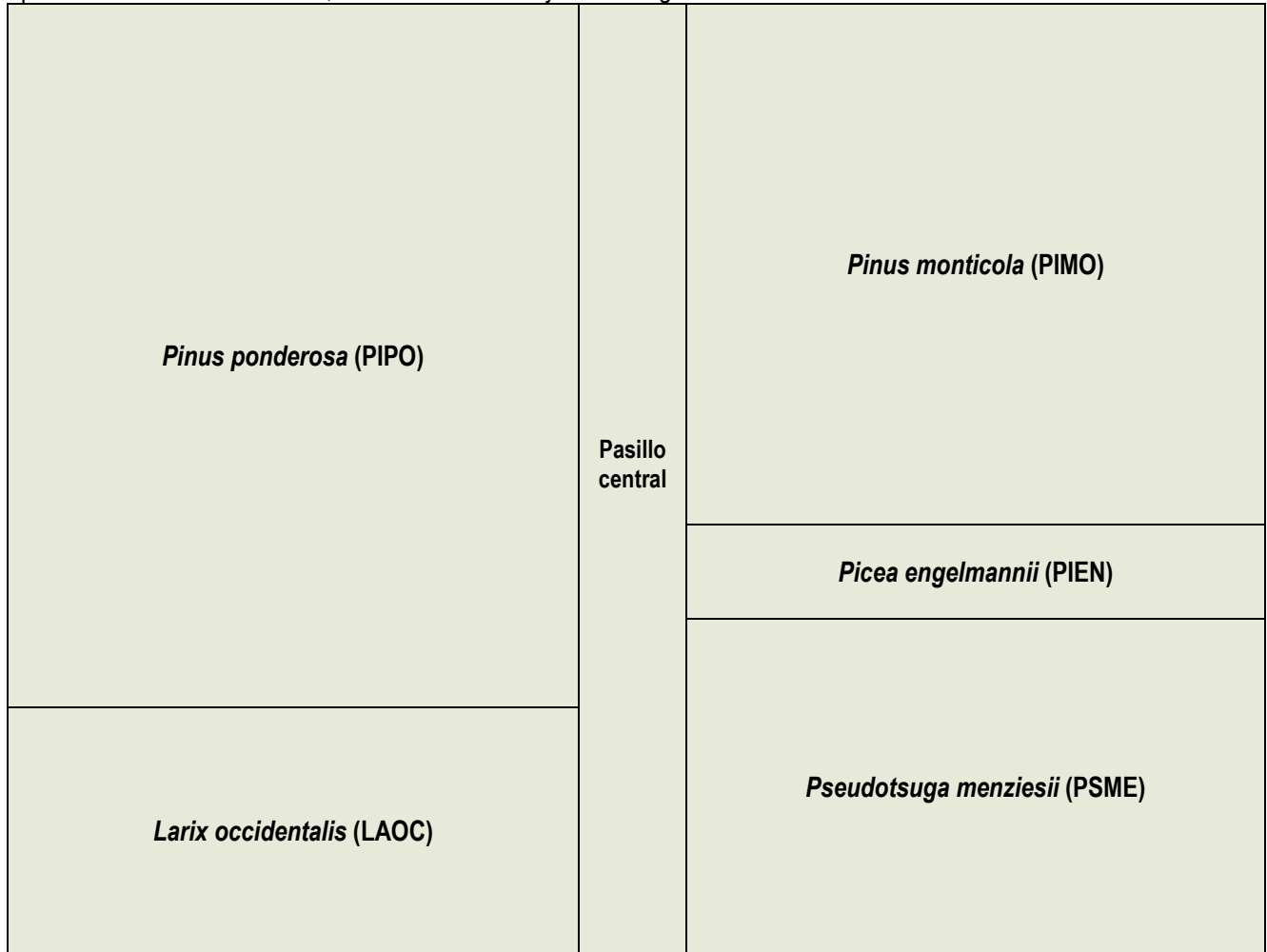


Figura 6.4.1 El ambiente de propagación puede ser dividido en factores atmosféricos y factores edáficos.

6.4.2 Fase de establecimiento.

Inicia cuando se siembran las semillas y continúa hasta que las plantas están bien establecidas en sus contenedores. Con semillas de buena calidad, la germinación debe ponerse en marcha y las plántulas emergentes serán visibles en la segunda semana (Figura 6.4.2A). Sin embargo, la germinación a menudo continúa en la tercera o cuarta semana, especialmente con lotes de semillas de menor vigor. Las plantas de coníferas ("emergentes") empujan hacia afuera del sustrato las cubiertas seminales hasta que éstas alcanzan la etapa de "jaula de pájaros" (Figura 6.4.2B). Después de esto, las plantas no crecen significativamente en altura y la mayor parte de su energía se desvía al crecimiento de raíces. La radícula crece rápidamente hacia abajo, comúnmente hasta alcanzar el fondo del contenedor al momento que se elimina la cubierta seminal (Figura 6.4.2C). Al final de la fase de establecimiento se forma una roseta de agujas primarias en el centro de los cotiledones.

El objetivo cultural de la fase de establecimiento es generar condiciones ambientales óptimas para lograr un soporte sano y condiciones adecuadas de las plantas, con el mínimo de cavidades de producción vacías. Los productores deben tener cuidado porque las plantas jóvenes son particularmente susceptibles a las plagas y daños por prácticas culturales. Los problemas que se presentan durante la fase de establecimiento son difíciles, pero no imposibles de corregir. Por ejemplo, si la baja calidad de las semillas provocan un número considerable de contenedores vacíos, el retraso causado por la resiembra se traducirá en un cultivo de tamaño variable. Las plantas de resiembra estarán siempre rezagadas en la tasa de crecimiento debido a la competencia con sus vecinos.

6.4.2.1 El ambiente atmosférico

Aunque es importante tener todos los factores potencialmente limitantes a niveles óptimos, la germinación en los viveros de contenedores se ve afectada principalmente por tres factores: temperatura, humedad y luz.



A



B

Figura 6.4.2 La germinación y la emergencia de las semillas comúnmente es variable aunque debe completarse dentro de 3 ó 4 semanas (A). Las plantas de coníferas muestran una germinación epigea con los contenedores levantando la cubierta seminal sobre el sustrato para formar lo que comúnmente es llamado "jaula de pájaro" (B). Después de esto, el tallo detiene el crecimiento visible mientras que la raíz crece rápidamente hacia la base del contenedor (C).

Temperatura. Las temperaturas cálidas son necesarias para estimular una germinación rápida y completa, por lo que los productores suelen mantener el invernadero ligeramente más cálido de lo normal durante el primer mes del ciclo de cultivo. Aunque existe cierta variación entre las especies, una temperatura ambiente de 27 °C (80 °F) durante el día ha demostrado ser un buen equilibrio entre la germinación óptima y la conservación de energía. Los sistemas de calefacción en los invernaderos pueden mantener una temperatura de ± 2 °C (3.5 °F), que se convierte en un rango de 25 a 29 °C (77 a 84 °F). La mayoría de los productores usan diferentes puntos de ajuste durante el día y la noche, y la experiencia ha demostrado que esta práctica puede ahorrar costos de calefacción sin una pérdida significativa en crecimiento. Por ejemplo, en el invernadero forestal de la Universidad de Idaho se redujo la temperatura a 5 °C (10 °F) en la noche (Cuadro 6.4.2). Dado que las semillas comienzan a germinar rápidamente bajo condiciones cálidas-húmedas, se pueden desarrollar variaciones en el tamaño de las plantas si éstas se tardan más de dos días para llenar la estructura de propagación. Una manera de superar esta condición es mantener los contenedores secos y fríos hasta que todos ellos son colocados en el área de propagación, y posteriormente se encienden los calentadores y se riega el cultivo.

Después de que finaliza la germinación, la temperatura durante el día se puede bajar a 24 - 27 °C (75 - 80 °F) durante el resto de la fase de establecimiento (Cuadro 6.4.2). Se debe tener en cuenta que todos estos valores corresponden a la temperatura del aire, aunque también es importante la temperatura del sustrato que rodea a las semillas. Los sistemas de calefacción que mantienen cálido el ambiente de producción, como los tubos de distribución de calor debajo de las mesas o los calentadores de radiación colocados en la parte superior, promueven una germinación más rápida y uniforme y el crecimiento inicial de las plantas. (Los sistemas de calefacción se discuten a detalle en la sección 3.1.2 y las temperaturas objetivo operacionales y los

rangos para una variedad de especies durante la fase de establecimiento, se pueden encontrar en el Cuadro 3.1.2 del volumen 3 de esta serie).

Humedad. Las semillas germinadas se pueden secar rápidamente en el ambiente de producción de un vivero de contenedores con mucha luz, por lo cual los productores deben estar especialmente atentos. La evaporación es la causa principal de la pérdida de humedad, aunque una **humedad relativa (HR)** de 70 a 80% (Cuadro 6.4.2) mantendrá bajas las tasas de evaporación y retardará las enfermedades fungosas, en especial el *damping-off*. La humedad se controla con frecuentes nebulizaciones ligeras, que mantienen el sustrato en torno a las semillas "húmedo, pero no mojado." (Consultar la siguiente sección de riego para más detalles). Aunque la HR es una medición útil, el **déficit de presión de vapor (DPV)** es el factor más importante a monitorear. (La HR operacional y los valores objetivo y rangos del DVP para una variedad de especies durante la fase de establecimiento, se pueden encontrar en los Cuadros 3.2.5 y 3.2.6 del volumen 3 de esta serie).

Luz. Tres atributos de la luz afectan a las plantas: **la intensidad, la duración y la calidad.** Aunque las investigaciones han demostrado que algunas especies germinan mejor a intensidades de luz moderada, la mayoría de las coníferas comerciales pueden tolerar plena luz del sol durante la fase de establecimiento. Este hecho no es apreciado por muchos productores novatos que asumen que las especies tolerantes a la sombra como la *Tsuga heterophylla*, naturalmente requieren condiciones de sombra durante la germinación. Esta creencia probablemente se desarrolló a partir de la práctica de hacer mucho tiempo, del uso de marcos de sombra sobre los semilleros en los viveros a raíz desnuda, que eran más para el control de la temperatura superficial del suelo que los niveles de luz. En los viveros de contenedores, el tipo y el color de las cubiertas de las semillas y el riego, pueden controlar la temperatura de la superficie, por lo cual se recomienda la luz de manera plena. De hecho, se recomienda que algunas pequeñas plantas de especies nativas se pueden sembrar sin

cubiertas a las semillas para asegurar que reciban suficiente luz durante la germinación (Emery, 1988).

La calidad de la luz ha demostrado ser un importante factor para la germinación de las semillas. Luz con longitudes de onda en el espectro rojo (660 nm) promueve la germinación de las semillas del pino del sur, mientras que la luz roja lejana (730 nm) la inhibe. Sin embargo, esto tiene poca importancia práctica, ya que no hay suficiente luz roja en la luz del sol y en todos los tipos de iluminación del fotoperiodo (Barnett and Brissette, 1986).

Aunque la intensidad y la calidad de la luz en la práctica no son importantes, la duración – longitud del día o “fotoperiodo” – tiene un efecto significativo sobre la germinación de las semillas y en el crecimiento inicial de muchas especies. Por ejemplo, mientras que la tasa como la germinación total de semillas de *Pinus taeda* fueron mucho mejores en condiciones de iluminación fotoperiódica, el mismo tratamiento no tuvo efecto sobre el *Pinus elliotii* (Jones, 1961). Aunque no todas las especies o fuentes de semillas de determinadas especies pueden requerirlo, el uso de iluminación fotoperiódica ayudará a superar las diferencias de crecimiento entre plantas individuales y dará lugar a un cultivo más uniforme. Por lo tanto, muchos productores encienden las luces de los cultivos después de que se ha finalizado la siembra y se dejan hasta que se inicia el endurecimiento. El vivero forestal de la Universidad de Idaho suministra 500 lux (50 pie-candela) de iluminación incandescente aplicada de forma intermitente durante toda la noche (Cuadro 6.4.2). (Una discusión completa de los tipos de iluminación fotoperiódica y otros ejemplos de los sistemas de iluminación operacionales puede encontrarse en la sección 3.3 del volumen 3 de esta serie).

Dióxido de carbono. Aunque el beneficio del dióxido de carbono (CO₂) no es efectivo hasta que no haya suficiente tejido fotosintético para absorberlo, el costo de operación de los generadores de CO₂ es mínimo y por lo tanto, la mayoría de los productores los encienden al

inicio del ciclo de producción. Un nivel de CO₂ de entre 750 partes por millón (ppm) y 1,000 ppm es un valor común requerido, y los generadores se encienden por varias horas antes del amanecer y continúan funcionando aún y cuando las rejillas de ventilación estén cerradas. El vivero de la Universidad de Idaho no utiliza generadores de CO₂, aunque fomenta una buena circulación del aire dentro del invernadero (Cuadro 6.4.2). (Una discusión completa sobre el manejo y monitoreo del CO₂ durante la fase de establecimiento se puede encontrar en la sección 3.4.3 del volumen 3 de esta serie).

6.4.2.2 El ambiente edáfico

Riego. Los contenedores sembrados deben ser irrigados a fondo hasta que alcanzan una completa saturación e inmediatamente después, se colocan en el área de producción. Sin embargo, algunos tipos de turba son difíciles de humedecer por lo que puede ser necesario aplicar un agente humectante con el riego inicial si éste no estaba ya incluido como una corrección al sustrato. Si no se usa el humectante, pueden pasar varios días de riego para hidratar completamente el sustrato (Wood, 1994).

Posterior a este remojo inicial, los riegos posteriores deben ser frecuentes pero de corta duración hasta que se completa la germinación y emergencia. El exceso de riego inunda los macroporos que proporcionan oxígeno a las semillas en germinación, por lo que deben aplicarse ligeras nebulizaciones para mantener el sustrato “húmedo pero no mojado” (Cuadro 6.4.2). El riego adecuado permite que las cubiertas de las semillas se sequen entre riegos, lo que ayuda a controlar el *damping-off* y evita el desarrollo de musgo y algas. Como se mencionó en la sección de humedad anterior, el riego se utiliza para mantener la humedad, así como el suministro de agua a la germinación de semillas y jóvenes emergentes.

Cuadro 6.4.2 Segmento de 5 semanas de la programación de prácticas culturales durante la fase de establecimiento para plantas de coníferas del oeste, en el vivero forestal de la Universidad de Idaho (la línea oscura vertical refleja un cambio en los valores del ambiente).

Cliente: T. Planter	Especies: PIPO, PIMO, PSME, LAOC, PIEN			Fuente de semillas: N. Idaho	
Especificaciones requeridas: Altura = 12 – 18 cm		Diámetro del tallo = 3 a 4 mm			
Mes	Marzo	Abril	Abril	Abril	Abril
Semanas de siembra	3	4	5	6	7
Ambiente de propagación	Invernadero				
Etapa de crecimiento de la planta	Fase de establecimiento				
Procesos culturales y operativos		Entresacado			
Mano de obra: tamaño de cuadrilla (personas-horas)		4 – 6 personas, dependiendo del desarrollo de las plantas			
Temperatura: día Valor requerido (rango)	27°C (23 a 30) 80°F (75 a 85)	26°C (23 a 27) 78°F (75 a 85)			
Temperatura: noche Valor requerido (rango)	20°C (18 a 21) 68°F (65 a 70)				
Humedad relativa: Valor requerido (rango)	Ambiente				
Luz: ambiente	Luz solar plena				
Luz: fotoperiodo Intensidad y duración	Luminosidad por 24 horas usando luces incandescentes intermitentes que producen una intensidad de 500 lux (50 pie-candelas) al nivel de la planta				
Dióxido de carbono Tasa y momento	Ambiente				
Riego: Cantidad y frecuencia	Mantener el sustrato húmedo pero no mojado Mantener el peso de los contenedores a 85 – 90% del peso húmedo				
Fertilización: Dosis de nitrógeno (N) y frecuencia	Fertirrigar 2 veces por semana con una solución inicial (50 ppm N)				
Manejo de plagas: monitoreo de plaguicida y dosis	Verificar diariamente para <i>damping-off</i> : aplicar plaguicidas sólo si los daños exceden el umbral económico				

Fuente: Modificado de Wenny and Dumroese (1998).

Después de que la mayoría de las plantas han superado la etapa de la jaula de pájaro, se puede iniciar un programa regular de riego. Algunos productores confían en un método de calendarización basado en experiencias previas, como el de dos riegos por semana. En el vivero de la Universidad de Idaho se utiliza el peso de los contenedores para ayudar a determinar la cantidad de agua a aplicar por riego (Cuadro 6.4.2). El **peso húmedo** a plena saturación se determina en el momento de la saturación inicial, y el **peso objetivo** (cuando se requiere el riego) se expresa como un porcentaje del peso húmedo. Por ejemplo, las plantas de *Picea glauca* deben regarse cuando el peso de los contenedores se ha reducido a 80% del peso húmedo (Wood, 1994). (El procedimiento para obtener el peso de los contenedores se describe a detalle en la sección 4.2.6 del volumen 4 de esta serie).

Nutrición mineral. Algunos productores prefieren incorporar una pequeña cantidad de fertilizante de lenta liberación en el sustrato para suministrar nutrientes a los germinantes jóvenes. El riego por aspersión que contiene nutrientes minerales inyectados (conocido como **fertirrigación**) comúnmente no se aplica durante la etapa de germinación debido a que las plantas reciben adecuados nutrientes minerales de las reservas de las semillas, además del mayor riesgo por *damping-off* o daños por sales. Sin embargo, una vez que los germinantes están plenamente establecidos, se inicia la fertirrigación. Algunos productores usan un programa de alimentación constante en los que los fertilizantes se inyectan con cada riego; otros fertirrigan una o dos veces por semana con el riego normal suministrado según sea necesario. Además de la amplia gama de los 13 nutrientes minerales, las soluciones de fertirrigación comúnmente contienen un ácido débil tal como el ácido fosfórico, que ayuda a mantener el pH del sustrato en el rango de 5.0 a 6.0.

Cada una de estas fertirrigaciones debe durar lo suficiente para lixiviar las sales del fertilizante no utilizadas del contenedor; esto debería ser seguido de un enjuague con agua corriente para eliminar las sales del follaje

suculento y evitar las quemaduras por sales. La mayoría de los productores, entre ellos el vivero forestal de la Universidad de Idaho, utilizan una solución de fertilizante bajo en nitrógeno (por ejemplo, 50 a 100 ppm), durante la fase de establecimiento dado que las plantas son demasiado pequeñas (Cuadro 6.4.2). Recientemente, los productores están comenzando a probar un programa de fertilización exponencial en el cual la concentración de nutrientes se incrementa gradualmente durante la estación de crecimiento y las plantas crecen en tamaño (Timmer *et al.*, 1991). Por ejemplo, las aplicaciones de una fertilización exponencial producen plantas aceptables de *Pseudotsuga menziesii* con 60% menos de N al inicio de la temporada de crecimiento (Dumroese *et al.*, 1995). (Las instrucciones completas sobre cómo formular y supervisar la fertirrigación se pueden encontrar en la sección 4.1.6 del volumen 4 de esta serie).

6.4.2.3 Operaciones culturales

La fase de establecimiento es un tiempo de ansiedad en el vivero ya que es cuando las plantas jóvenes son más susceptibles a las lesiones por prácticas culturales y ataque de plagas. Por lo tanto, los productores deben estar particularmente atentos e inspeccionar sus cultivos diariamente (Cuadro 6.4.2).

Monitoreo de la germinación. Después de aproximadamente 2 semanas, los contenedores recién sembrados deben ser inspeccionados para determinar si la germinación se está realizando de manera normal. La cobertura de la semilla se puede dispersar cuidadosamente a los lados e inspeccionar las semillas con una lupa de 5 a 10 aumentos. La ausencia completa de semillas en un alto número de contenedores indica un problema de la siembra o la depredación por aves. Si las semillas aparecen hinchadas y agrietadas, probablemente sean saludables debiendo ser devueltas al recipiente y recubriéndolas nuevamente. Si parecen no estar listas para germinar, entonces se extrae de los contenedores una pequeña muestra y se cortan por la mitad con una navaja de afeitar de un solo filo. Las semillas bisectadas se inspeccionan con una lupa. Las semillas sanas

serán de color blanco a crema y con una textura firme, similar en apariencia a la “carne” del coco. Las semillas enfermas serán de color marrón o negro, o con una textura suave. (Una clave de diagnóstico ilustrada para los problemas de las semillas se proporciona en el apartado 5.1.3 del volumen 5 de esta serie).

Deshije. Comúnmente se siembran 2 o más semillas por cavidad para reducir al mínimo las posibilidades de cavidades vacías. Los germinantes adicionales deben ser extraídos lo antes posible, y se utilizan dos técnicas: tirar y recortar.

- **Jalado-** Esta técnica consiste en extraer con la mano cuidadosamente las semillas adicionales germinadas en cada cavidad. El jalado debe hacerse antes de que las plántulas desarrollen raíces laterales o ello dificultará su remoción sin dañar a la planta que quedará en el cultivo. Los trabajadores deben ser entrenados para eliminar las plantas pequeñas o menos vigorosas, y tener cuidado de no dañar las restantes durante el proceso. Las plántulas extraídas se recolectan en bandejas y se eliminan del área de producción.
- **Recorte** - Esto implica el uso de pequeñas tijeras de punta para cortar las plántulas adicionales de cada celda (Figura 6.4.3A). Las plántulas pueden ser recortadas a una edad mucho más avanzada, en comparación con la técnica de jalado. Las plántulas recortadas deben ser recogidas en bandejas y eliminadas para evitar la posibilidad de alguna enfermedad. Sin embargo, se ha demostrado que dejar los tallos recortados y las raíces en el contenedor no es perjudicial.

El entresacado debe ser realizado tan pronto como sea posible para minimizar los efectos provocados sobre el desarrollo de las plántulas – competencia por agua, nutrientes y eventualmente, la luz disminuirá rápidamente el crecimiento. Los efectos de dejar múltiples plántulas en las cavidades de los contenedores han sido evaluadas en *Pinus palustris*, *P. taeda* y

P. elliottii (Barnett and Brissette, 1986). El efecto más marcado fue el tamaño: con 2 ó 3 plantas creciendo en la cavidad, tuvieron 50% o menos biomasa que las cultivadas con sólo una por cavidad, al final de 14 semanas en el invernadero (Figura 6.4.3B). Curiosamente, este efecto de competencia dentro de la cavidad aún persiste después de la plantación para una de las especies: las plantas de *Pinus palustris* que no fueron entresacadas para dejar sólo una por cavidad, tuvieron una supervivencia más pobre después de 3 años en el campo (Figura 6.4.3C).

Resiembra. Si la germinación es irregular, entonces debe tomarse rápidamente la decisión de, si volver a sembrar nuevos contenedores para paliar el déficit, sembrar germinantes o trasplantar emergentes en las cavidades vacías. Como regla general, si el porcentaje de cavidades vacías es entre 5 y 15%, una alternativa viable es la resiembra con semillas germinadas o el trasplante de emergentes de las charolas de siembra (Barnett and Brissette, 1986). Si más de 15% de las cavidades están vacías, el déficit debe ser atendido con la siembra de contenedores adicionales. Si los productores anticipan un problema en la germinación, entonces pueden sembrar inicialmente contenedores adicionales para compensar las cavidades vacías esperadas – el **factor de sobresiembra**. Esta es una de las ventajas de los contenedores de celdas individuales, como los RL Single Cells®, ya que pueden ser **consolidados** – las cavidades vacías pueden ser removidas y sustituidas por cavidades que contienen plántulas emergentes. Sin embargo, con los envases de bloque, la sobresiembra desperdicia valioso espacio de producción. Los contenedores de resiembra siempre estarán a la zaga de la primera siembra y a menudo tienen que dejar que sigan desarrollándose en la época de crecimiento para alcanzar el mismo tamaño (Figura 6.4.4A).

Trasplante. Otra de las estrategias para el manejo de la germinación variable es trasplantar semillas pregerminadas o emergentes jóvenes en las cavidades vacías de los contenedores. La resiembra con semillas germinadas o el trasplante debe hacerse tan pronto como se hagan evidentes las cavidades vacías, que por lo general sucede entre los 10 a 14 días después de la siembra. Algunos productores siembran semillas adicionales en charolas de germinación o siembran intencionalmente un número de semillas por celda, y luego trasplantan las semillas germinadas adicionales en las cavidades vacías. Los productores deben aceptar que las plantas trasplantadas siempre serán menores que las de las siembras originales (Figura 6.4.4B). En un estudio con pinos del sur, las plantas trasplantadas de semillas germinadas fueron siempre menores que aquellas sembradas directamente, especialmente para el pino de

hoja larga (Cuadro 6.4.3). Usando germinantes con radículas largas ayudó en cierta medida al tamaño de la planta, pero por desgracia estas plántulas son más difíciles de trasplantar correctamente. De hecho, los viveros que rutinariamente trasplantan emergentes de las charolas de germinación ("repique") encontraron que el corte de la raíz en cerca de 50% de la longitud original aumentó la supervivencia y el crecimiento después del trasplante (Singh *et al.*, 1984). Sin embargo, con plántulas de *Pinus banksiana* y *Picea mariana*, no se recomienda el trasplante como una práctica rutinaria, debido a la alta incidencia de deformidades de la raíz y los altos costos de mano de obra (Scarratt, 1991). (El procedimiento correcto para la manipulación y posicionamiento de los germinantes y trasplante de emergentes se pueden encontrar en la sección 6.2.8 de este volumen).



A

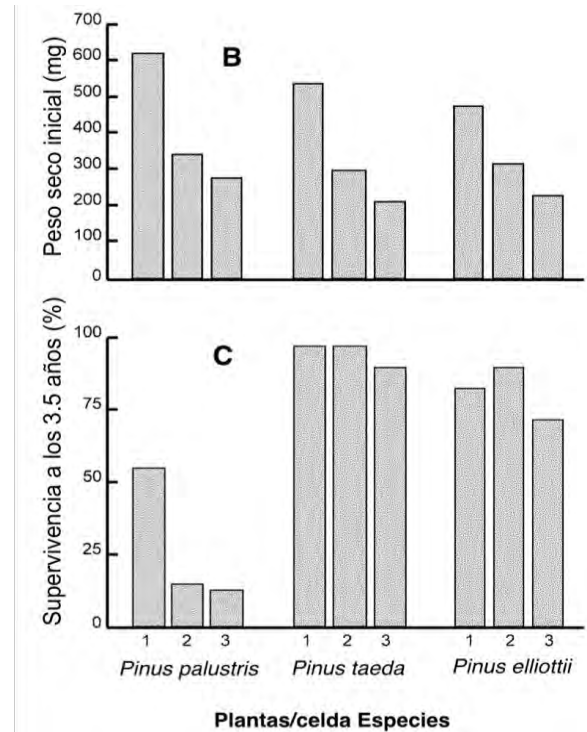


Figura 6.4.3 Las plantas múltiples deben ser extraídas para dejar una por cavidad mediante el jalado o recorte (A). Esta actividad debe realizarse tan pronto como sea posible ya que las plantas de los pinos del sur entresacadas fueron significativamente mayores que aquellas no entresacadas (B). Para el *Pinus palustris* los efectos adversos de siembras múltiples se mantuvieron en el sitio de plantación, donde las plantas individuales (C) sobrevivieron mucho mejor que aquellas donde se sembraron de 2 a 3 por cavidad (B y C, modificadas de Barnett and Brissette, 1986).



A



B

Figura 6.4.4 La resiembra para corregir una germinación deficiente provocará que un grupo de semillas siempre sean menores que aquellas sembradas originalmente (izquierda en primer plano en **A**). El trasplante de emergentes en cavidades vacías genera un estrés temporal por trasplante, y provoca que estas plantas se queden rezagadas del resto de plantas en el contenedor (**B**).

6.4.2.4 Plagas y problemas abióticos

Debido a que las semillas en germinación y las plántulas recién emergidas son muy susceptibles al estrés ambiental y a las plagas del vivero, los productores deben estar especialmente atentos durante la fase de establecimiento. Una descripción de las enfermedades comunes, las plagas de insectos y el estrés abiótico de semillas en germinación y plántulas jóvenes, se pueden encontrar en la sección 5.1.3 de volumen 5 de esta serie, pero los productores deben estar particularmente alertas para los siguientes problemas abióticos y plagas.

Temperaturas extremas. Debido a su limitado sistema de raíces, los germinantes jóvenes son muy susceptibles a la sequía y a daños por el calor directo a los tejidos suculentos de hipocotilo. Se utilizan comúnmente los recubrimientos a las semillas de colores claros y riegos ligeros frecuentes o "nebulizaciones" para mantener bajas las temperaturas alrededor del tallo. Las semillas emergentes son más susceptibles a lesiones por calor, pero se vuelven más tolerantes a medida que crecen y se desarrollan los tejidos de la corteza. La temperatura en la superficie del suelo puede ser monitoreada mediante la colocación de la punta de un termómetro justo debajo de la cobertura de la semilla y se supervisa con

frecuencia durante los climas soleados. En algunos viveros se establecen directrices para ayudar a los trabajadores a determinar a qué temperatura superficial deben iniciar el enfriamiento mediante el riego, y la temperatura crítica se eleva a medida que las plantas crecen (Cuadro 6.4.4).

En aquellos viveros que elevan las plantas en las instalaciones a cielo abierto, las heladas de finales de primavera también pueden provocar daños. Las plántulas recién emergidas no son muy resistentes al frío y deben ser protegidas de las temperaturas bajo cero. Las plántulas de *Pinus sylvestris* de 20 a 30 días de haber germinado, pueden físicamente ser dañadas por una breve exposición de 2 horas a temperaturas por debajo de los -4.5°C (24°F). Después de esta exposición, se encontró que los cotiledones incluso visualmente sanos y las agujas primarias tuvieron daño celular que se reflejó en una reducción de las tasas de crecimiento (Holopainen, 1988; Holopainen and Holopainen, 1988). Por lo tanto, los productores deben estar preparados para cubrir físicamente su producción o aplicar riegos para evitar daños por frío. (La protección de la producción contra las heladas mediante el riego se discute en el volumen 7 de esta serie).

Cuadro 6.4.3 Cuando se realiza resiembra en las cavidades vacías, los germinantes más grandes son los más capaces de competir con las plantas de mayor edad de la siembra original.

Longitud de la radícula del germinante en el trasplante (cm)	Plantas a 15 semanas de desarrollo			
	<i>Pinus echinata</i>		<i>Pinus palustris</i>	
	cm	mg	mm	mg
1.5 – 2.0	8.61 a	137 a	1.12 a	168 a
3.0 – 3.5	9.36 a	173 b	1.20 a	210 b
4.5 – 5.0	9.48 b	188 b	1.28 a	237 c
Control (siembra directa)	9.93 b	280 c	1.48 b	342 d

Fuente: modificado de Pawuk (1982)

Cuadro 6.4.4 La temperatura de la cobertura de las semillas es enfiada con riegos para prevenir daños al tallo por calor, y las temperaturas permisibles son incrementadas gradualmente a medida que crecen las plantas (0 a 100 días desde la siembra).

Especies/ecotipos	Temperatura de la superficie						
		0 días	20 días	40 días	60 días	80 días	100 días
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (costero)	°C	32	32	32	35	40	45
	°F	90	90	90	95	104	113
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (interior)	°C	32	32	32	35	40	48
	°F	90	90	90	95	104	118
<i>Picea glauca X engelmannii</i>	°C	32	32	32	35	38	43
	°F	90	90	90	95	100	110
<i>Thuja plicata</i>	°C	32	32	32	35	38	43
	°F	90	90	90	95	100	110
<i>Pinus contorta</i>	°C	32	32	32	45	50	50
	°F	90	90	90	113	122	122

Fuente: Green Timbers Nursery (1993)

Damping-off. La enfermedad más común durante la fase de establecimiento es conocida por el nombre tradicional de "*damping-off*", y hay dos diferentes tipos: pre-emergencia y post-emergencia. El *damping-off* de pre-emergencia es provocado por varios hongos patógenos y se produce antes de que emerjan las plántulas del sustrato. Desafortunadamente, esta afectación a menudo es confundida por la mala calidad de las semillas, por lo que los productores deben excavar cuidadosamente una muestra de semillas después de un par de semanas e inspeccionarlas con una lupa. La presencia del micelio de apariencia algodonoso

confirma la presencia de hongos de *damping-off* (Figura 6.4.5), aunque aquellas semillas con una germinación lenta deben también ser cortadas por la mitad con una navaja de afeitar, para ver si sus contenidos lucen saludables. El interior de las semillas sanas debe aparecer de color blanco a color crema, mientras que el de las semillas en descomposición es oscuro y de textura acuosa.

Los síntomas del *damping-off* de post-emergencia son más evidentes: la plántula emergente se cae debido a una constricción en la superficie del sustrato. Si la causa es un

hongo, el hipocótilo y la raíz aparecen descoloridos o en descomposición. El **damping-off** también puede ser causado por el calor o por daños químicos; en este caso, el hipocótilo se daña justo en la superficie del sustrato, pero la raíz no se descompondrá. (Una clave de daños y fotografías en color para ayudar a diagnosticar las diferencias, se puede encontrar en la sección 5.1.3 de volumen 5 de esta serie).

Moscas fungosas. Una de las plagas de insectos más graves en la fase de establecimiento son las larvas del mosco fungoso de alas negras. Los moscos adultos (*Bradysia* spp.) se encuentran comúnmente en los invernaderos y, a pesar de que no se alimentan directamente de las plantas, se ha demostrado que son vectores de esporas de otros hongos patógenos, como *Fusarium* spp. y *Botrytis* spp. (James *et al.*, 1994). Las larvas se alimentan de muchos tipos de materia orgánica, incluidas semillas y plántulas, y puede convertirse en un problema grave, sobre todo cuando se produce un exceso de riego y un mal manejo del agua. La larva permanece oculta en el sustrato, por lo que la aparición de los adultos volando alrededor del cultivo es el primer signo de una infestación del mosco fungoso. Algunos productores monitorean las poblaciones relativas con tarjetas adhesivas amarillas y usan esta información para decidir cuándo se justifica el control. (Las claves de daños, fotografías en color, identificación más específica e información de control se pueden encontrar en la sección 5.1.4 del volumen 5 de esta serie).

Criptógamas y malezas. Una vez que se introducen las criptógamas-algas, musgos y líquenes y las malas hierbas en los contenedores, no existe una forma fácil o barata de eliminarlas. Éstas compiten seriamente con las plantas por el agua, los nutrientes minerales y, eventualmente por la luz. Este problema no se produce durante la fase de establecimiento a menos que los contenedores no hayan estado limpios y el sustrato no sea estéril. En un caso, las malas hierbas se convirtieron en un problema serio a partir de semillas que los ratones llevaron dentro de las bolsas almacenadas del sustrato.

Las esporas de algas, musgos, líquenes y pequeñas semillas de malas hierbas también pueden introducirse en el agua de riego que no se filtra. Esto puede ser un problema especialmente grave cuando se utiliza el agua de estanques u otras fuentes superficiales. Aunque estas plagas de plantas eventualmente invaden el vivero mediante las esporas diseminadas por el aire, no deben convertirse en un problema antes de que las plantas crezcan lo suficiente como para lograr el cierre de copas y sombrear completamente la superficie del sustrato. Debido a que también son plantas, es difícil encontrar herbicidas que maten tanto a las criptógamas como a las malas hierbas, sin dañar el cultivo.

Aves y roedores. Las semillas sembradas, especialmente aquellas grandes como las de los pinos, son muy atractivas para los ratones y las aves. Ambos perturban a las semillas que se encuentran cubiertas durante su búsqueda por ellas, aunque las aves suelen llevárselas antes de comérselas, mientras que los roedores dejan las cubiertas seminales de las semillas vacías, detrás de los contenedores. Por lo general la entrada de las aves se puede prevenir mediante el enmallado de las ventilas del invernadero, y asegurándose de que las puertas se cierren a tiempo. En los complejos de producción a cielo abierto, es eficaz cubrir los contenedores sembrados con grandes mallas, hasta que la germinación ha finalizado. Es casi imposible evitar en su totalidad que entren pequeños roedores a la estructura de producción. Sin embargo, el establecimiento de pequeñas trampas de cebo con semillas extra alrededor del perímetro de la zona de cultivo se exhiben cuando existe un problema. Se han utilizado repelentes químicos a las semillas, pero no se recomiendan ya que pueden reducir la germinación. Una vez que se ha detectado el problema de roedores, los cebos envenenados y trampas de resorte pueden ser eficaces si se usan de manera segura y adecuada. (Claves de daño, fotografías en color y la identificación más específica e información de control se pueden encontrar en la sección 5.1.3 del volumen 5 de esta serie).



Figura 6.4.5 Las semillas cubiertas con un micelio algodonoso (ver la flecha) confirman la infección del hongo que impide la germinación, una condición conocida como “*damping-off* de pre-emergencia”

6.4.3 Fase de rápido crecimiento

La fase de crecimiento rápido comienza cuando el brote terminal en el medio de los cotiledones comienza a crecer rápidamente y continúa hasta que la mayor parte del cultivo alcanza la altura requerida. Con el ejemplo de los cultivos de coníferas occidentales en el vivero forestal de la Universidad de Idaho, esta fase inicia en 8 semanas después de la siembra y continúa durante otros 3 meses (Cuadro 6.4.1). Aunque el crecimiento del brote terminal es la característica predominante de la fase de rápido crecimiento, las ramas laterales inferiores también se expanden sin formar yemas (Figura 6.4.6A). Es durante la fase de rápido crecimiento que el beneficio real del cultivo en los viveros de contenedores es dramáticamente visualizado, ya que el crecimiento del tallo puede ser de dos a tres veces más que el de una planta normal en la naturaleza (Figura 6.4.6B). Dependiendo de las especies y del ambiente de propagación, el crecimiento en altura puede no ser continuo, y en su lugar consistiendo de una serie de incrementos o desarrollos. Dado que gran parte de los recursos energéticos van al brote, el cambium lateral se vuelve también más activo y el crecimiento en diámetro del tallo aumenta lentamente. Las raíces continúan su expansión y crecimiento, y podrán ocupar toda la cavidad del contenedor al final de la fase de rápido crecimiento.

El objetivo cultural durante la fase de rápido crecimiento es mantener en niveles óptimos todos los factores ambientales en el ambiente de propagación. Dado que las plantas son todavía muy suculentas, los productores deben reducir al máximo cualquier tipo de estrés ambiental o cultural, innecesario. A medida que las plantas crecen y se vuelven más fuertes, el potencial de mortalidad total disminuye, aunque el cultivo sigue siendo susceptible a daños abióticos o por plagas. Por ello, los productores deben aún programar recorridos regulares de exploración en el área de propagación y buscar áreas de bajo vigor, retraso en el crecimiento y otras daños.

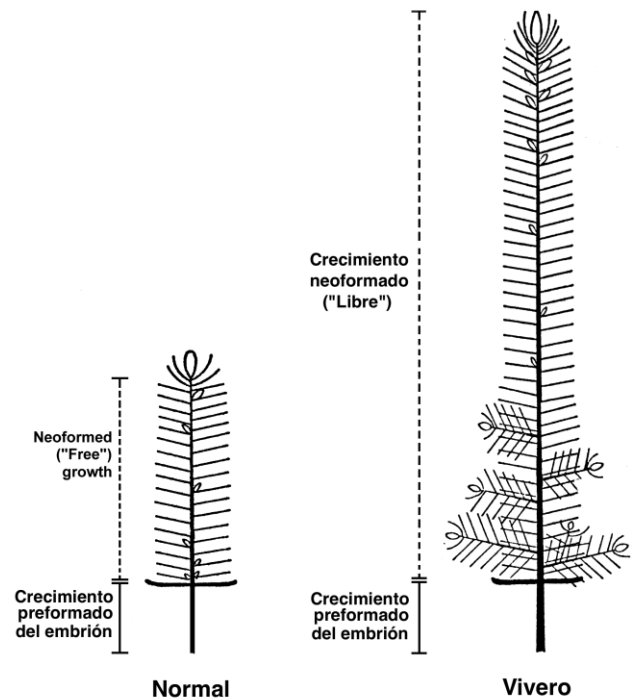
6.4.3.1 El ambiente atmosférico

Temperatura. Tanto la temperatura objetivo como el rango de temperatura admisible durante la fase de rápido crecimiento dependerán del tipo de ambiente de propagación y de las especies. Los invernaderos totalmente controlados pueden mantener durante el día y la noche temperaturas con variaciones de un par de grados, mientras que las instalaciones a cielo abierto están a merced del clima local. En las instalaciones a cielo abierto se han producido retrasos graves de crecimiento a finales de primavera o verano con climas fríos y nublados, y es difícil, si no imposible, forzar el cultivo para compensar las pérdidas de crecimiento durante el resto de la temporada. Por otra parte, el control de crecimiento en altura puede ser un verdadero problema con las diferentes especies en la misma estructura de propagación, especialmente con especies de rápido crecimiento, como *Larix occidentalis* o *Populus* spp. Incluso con especies de crecimiento relativamente lento como el abeto azul de Colorado (*Picea pungens*), el crecimiento del tallo es directamente proporcional a la temperatura (Figura 6.4.7A), por lo cual las plantas pueden rápidamente superar las alturas requeridas en condiciones cálidas.

Las temperaturas diurnas y nocturnas óptimas son una de las principales razones del crecimiento acelerado en los invernaderos modernos. Sin embargo, más cálido no necesariamente es mejor. Por ejemplo, un régimen de producción "cálido" de 20 a 27°C (68 a 80°F) produjo más plantas de 3 diferentes coníferas comerciales y de mejor calidad que aquellas producidas con un régimen "caliente", con temperaturas alcanzando un rango de 30 a 35°C (86 a 94°F). Estas diferencias se atribuyeron a los efectos inhibidores de las temperaturas más altas en el metabolismo de las plántulas, y una menor resistencia al daño por frío en el otoño (Owston and Kozlowski, 1981).



A

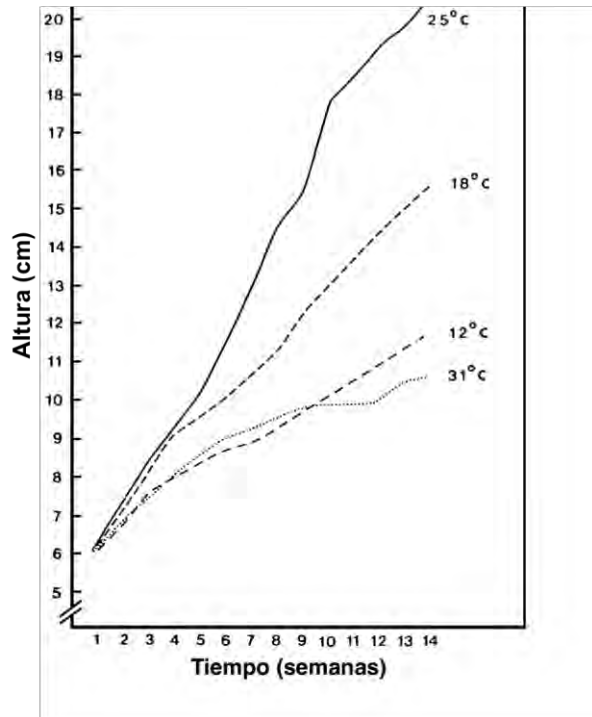


B

Figura 6.4.6 La expansión de la brote terminal es la característica principal de la fase de rápido crecimiento (A). Debido a las condiciones ideales de crecimiento, las plantas de vivero pueden crecer mucho más grandes que aquellas en forma natural (B) (Modificado de Powell, 1982).

Los resultados operativos han demostrado que muchas especies pueden ser producidas en la misma estructura de propagación y la mayoría crecerán aceptablemente bajo un rango de temperaturas relativamente amplio. En el ejemplo de los cultivos en el vivero forestal de la Universidad de Idaho, las temperaturas objetivo se mantienen durante el día en el rango de 21 a 24°C (70 a 75°F), con una disminución durante la noche de aproximadamente 5°C (10°F) (Cuadro 6.4.5A). Al inicio de la temporada, aún es necesario el calentamiento por la noche y temprano por la mañana, hasta que la luz del sol calienta el invernadero. Sin embargo, a principios del verano el enfriamiento se convertirá en un problema en los invernaderos completamente cerrados, debido a la luz solar intensa y los días

más largos. El enfriamiento por convección con rejillas de ventilación es suficiente en climas templados, aunque el enfriamiento con evaporación, cubiertas malla-sombra o nebulización es necesario en ambientes semiáridos. Los ventiladores de flujo horizontal promueven el movimiento de aire lateral y ayudan a eliminar áreas de calor o frío en el invernadero (Figura 6.4.7B). (Los sistemas de calefacción y enfriamiento se discuten a detalle en la sección 3.1.2 y las temperaturas objetivo operacionales, y los rangos para una variedad de especies durante la fase de rápido crecimiento se pueden encontrar en la Cuadro 3.1.2 del volumen 3 de esta serie).



A



B

Figura 6.4.7 La importancia de una temperatura adecuada es bien ilustrada por el crecimiento del brote de estas plantas de *Picea pungens* – ambas, tanto las temperaturas demasiado cálidas y demasiado frías reducen el crecimiento (A). Los ventiladores de flujo horizontal (B) promueven el movimiento de aire lateral y ayudan a eliminar puntos de calor o frío dentro del invernadero, así como suministran dióxido de carbono a las plantas (A, modificado de Young and Hanover, 1978).

Humedad. Debido a que las raíces se han extendido en todo el sustrato, las plantas son menos susceptibles a la humedad repentina o al estrés por calor, por lo que la humedad relativa se puede reducir a un rango requerido de 60 a 80%. Este nivel de humedad moderada es suficiente para mantener las pérdidas evapotranspiracionales suficientemente bajas para promover la expansión y división celular, pero no tan elevada como para promover enfermedades fúngicas. Un déficit de presión de vapor de aproximadamente 1.0 kPa es un objetivo razonable durante la fase de rápido crecimiento.

En el vivero forestal de la Universidad de Idaho no se supervisa con regularidad la humedad relativa, aunque mantiene las condiciones ambientales (Cuadro 6.4.5A). Debido a que la humedad relativa es dependiente de la temperatura, pueden ser necesarias cortas nebulizaciones ya sea para enfriar a las plantas como para aumentar la humedad a un rango requerido durante los días calurosos, cuando los ventiladores están en frecuencia. Un momento crítico para monitorear la humedad es hacia el final de la fase de rápido crecimiento, cuando las coronas de las plantas comienzan a cerrarse, ya que la humedad se mantendrá cerca de 100% al interior del dosel, las cuales son condiciones ideales para los patógenos foliares como el *Botrytis* spp. (La humedad relativa operacional y el déficit de presión de vapor requeridos, así como los rangos para una variedad de especies durante la fase de rápido crecimiento se pueden encontrar en los Cuadros 3.2.5 y 3.2.6 del volumen 3 de esta serie).

Luz. La intensidad de luz raramente se vuelve una limitante durante la fase de rápido crecimiento, dado que los niveles de luz siguen superando el punto de saturación de luz para la mayoría de las plantas, incluso en días nublados. Con los niveles extremadamente altos de luz solar, los tejidos jóvenes suculentos de especies que demandan sombra, podrían ser dañados por la solarización, aunque el sobrecalentamiento es un problema más común. La intensidad de la luz de saturación varía considerablemente según la especie, sin

embargo, un rango de valores para las especies de árboles comunes se proporciona en el Cuadro 3.3.4 del volumen 3 de esta serie.

La duración de la luz es fundamental para mantener altas tasas de crecimiento durante esta fase, y la iluminación fotoperiódica se utiliza para extender la duración del día. En el vivero forestal de la Universidad de Idaho se utiliza luz fotoperiódica intermitente de manera continua durante la noche, para mantener el crecimiento activo de las plántulas (Cuadro 6.4.5A). La confiabilidad del sistema de iluminación debe ser revisado regularmente porque si las luces fallan por sólo una o dos noches, las especies o ecotipos sensibles pueden detener su crecimiento en altura y formar yema dormante. La duración del día también afecta el tipo de follaje que se produce en algunas especies - ver la sección siguiente sobre agujas primarias vs. secundarias. (Una discusión completa de los tipos de iluminación fotoperiódica y otros ejemplos de sistemas de iluminación operacional se puede encontrar en la sección 3.3.4 del volumen 3 de esta serie).

Dióxido de carbono. Si un invernadero está equipado para ello, los generadores de CO₂ deben seguir operando durante las madrugadas en la fase de rápido crecimiento. Aunque el tiempo en que estén operando será menor ya que el calentamiento solar hará que se abran antes las ventilas, las altas tasas de fotosíntesis requerirá un suministro constante de CO₂. Además de los generadores, los ventiladores de flujo de aire horizontal ayudan a promover un buen intercambio de CO₂ en el área de producción, además del enfriamiento (Figura 6.4.7B). En el vivero de la Universidad de Idaho se depende de la frecuente ventilación para mantener los niveles adecuados de CO₂ en el ambiente (Cuadro 6.4.5A) (Una completa discusión en el manejo y monitoreo del CO₂ durante la fase de rápido crecimiento puede encontrarse en la sección 3.4.3 del volumen 3 de esta serie).

6.4.3.2 El ambiente edáfico

Riego. Durante la fase de rápido crecimiento, las plantas deben regarse de forma regular para prevenir cualquier estrés hídrico que

pueda limitar el crecimiento. Sin embargo, el exceso de riego puede ser tan dañino como la falta de agua. La humedad disponible para la planta se controla por el tipo de sustrato y el volumen del contenedor, por lo que las tasas de riego y la sincronización debe ser ajustado para los diferentes tipos de contenedor y especies. Plantas de *Pseudotsuga menziesii* exhibieron un crecimiento óptimo y el desarrollo morfológico cuando se mantuvo el sustrato en un rango de humedad moderada de 29 a 53% de contenido de agua (Khan *et al.*, 1996). En el vivero forestal de la Universidad de Idaho se monitorea el peso del contenedor ("bloque") para mantener la humedad del sustrato de modo que los contenedores pesen alrededor de 80 a 85% de la norma de peso húmedo (Cuadro 6.4.5A) durante esta fase. Se debe aplicar agua suficiente en cada riego de manera que el exceso de sales se lixivien del recipiente. (Una discusión detallada para monitorear el riego se discute en la sección 4.2.6 en el volumen 4 de esta serie).

Fertilización. Las plantas responden al tipo, la frecuencia y el momento de la fertilización. Durante esta fase, la fertilización adecuada es una de las maneras más fáciles y menos costosa para acelerar el crecimiento. Por otro lado, los productores deben aplicar fertilizantes cuidadosamente para evitar la potencial contaminación del ambiente.

La mayoría de los viveros calculan el uso de sus fertilizantes basados en el nivel de nitrógeno (N) y se recomienda una tasa promedio de 150 ppm, para la mayoría de las especies durante la fase de rápido crecimiento. Por supuesto, los otros 12 nutrientes minerales esenciales también deben ser suministrados a una concentración adecuada. El vivero de la Universidad de Idaho utiliza una tasa promedio de N de 120 ppm para su solución base de fertirrigación (Cuadro 6.4.5A). Especies de crecimiento más lento, como el *Pinus monticola* requerirán mayores dosis de fertilización (200 ppm N) que aquellas de crecimiento más rápido como el *Larix occidentalis*, que puede requerir de sólo 60 ppm de N (Cuadro 6.4.5B). Incluso los diferentes ecotipos de una especie pueden responder un tanto diferente a la fertilización.

Por ejemplo, cuando se cultivaron seis ecotipos de plantas de *Pseudotsuga menziesii* se produjeron en el mismo invernadero, aquellas de las regiones costeras en Washington

requirieron menores dosis de N que las de Montana (Figura 6.4.8A).

Cuadro 6.4.5A Segmento de 5 semanas de la programación de prácticas culturales durante la fase de rápido crecimiento para plantas de coníferas del oeste, en el vivero forestal de la Universidad de Idaho.

Cliente: T. Planter	Especies: PIPO, PIMO, PSME, LAOC, PIEN			Fuente de semillas: N. Idaho	
Especificaciones requeridas:	Altura = 12 – 18 cm			Diámetro del tallo = 3 a 4 mm	
Mes	Mayo	Mayo	Mayo	Mayo	Junio
Semanas de siembra	8	9	10	11	12
Ambiente de propagación	Invernadero				
Etapa de crecimiento de la planta	Fase de rápido crecimiento				
Procesos culturales y operativos	Inventario				
	Medición de alturas y diámetros del tallo de las plantas cada dos semanas				
Mano de obra: tamaño de cuadrilla (personas-horas)	1 – 2 personas, conforme se requiera				
Temperatura: día Valor requerido (rango)	22 °C (21 a 24) 72 °F (70 a 75)				
Temperatura: noche Valor requerido (rango)	18 °C (16 a 19) 63 °F (60 a 65)				
Humedad relativa: Valor requerido (rango)	Ambiente				
Luz: ambiente	Luz solar plena				
Luz: fotoperiodo Intensidad y duración	Luminosidad por 24 horas con luces incandescentes intermitentes de 500 lux, y aplicación a las plantas de solución de crecimiento (ver Cuadro 6.4.5B)				
Dióxido de carbono Tasa y momento	Ambiente				
Riego: Cantidad y frecuencia	Saturación total + 10% para lixiviado Mantener el peso de los contenedores a 80 – 85% del peso húmedo				
Fertilización: Dosis de nitrógeno (N) y frecuencia	Fertirrigar 2 veces por semana con una solución de crecimiento (120 ppm N); varía por especies (ver Cuadro 6.4.5B)				
Manejo de plagas: monitoreo de plaguicida y dosis	Realizar recorridos en el vivero y verificar las plantas dos veces por semana				

Fuente: Modificado de Wenny and Dumroese (1998).

Cuadro 6.4.5B Vista en planta del esquema de distribución de espacios de un invernadero para un cultivo de plantas de coníferas del oeste, en el vivero forestal de investigación de la Universidad de Idaho, mostrando los ajustes en las dosis de fertirrigación, basado en el nivel de nitrógeno (N) y programado para diferentes especies.

<p style="text-align: center;"><i>Pinus ponderosa</i> (PIPO)</p> <p>Fertilización con solución de crecimiento por 7 a 10 semanas a 100 ppm de N, y posteriormente cambiar a una solución para su endurecimiento</p>	Pasillo central	<p style="text-align: center;"><i>Pinus monticola</i> (PIMO)</p> <p>Fertilización con solución de crecimiento por 7 a 12 semanas a 200 ppm de N, y posteriormente cambiar a una solución para su endurecimiento</p>
<p style="text-align: center;"><i>Larix occidentalis</i> (LAOC)</p> <p>Fertilización con solución de crecimiento por 7 a 10 semanas a 60 ppm de N, y posteriormente cambiar a una solución para el endurecimiento</p>		<p style="text-align: center;"><i>Picea engelmannii</i> (PIEN)</p> <p>Fertilización con solución de crecimiento por 7 a 11 semanas a 120 ppm de N, y posteriormente cambiar a una solución para el endurecimiento</p>
<p style="text-align: center;"><i>Pseudotsuga menziesii</i> (PSME)</p> <p>Fertilización con solución de crecimiento por 7 a 10 semanas a 120 ppm de N, y posteriormente cambiar a una solución para el endurecimiento</p>		

Fuente: modificado de Wenny and Dumroese (1998).

El vivero forestal de la Universidad de Idaho ha producido en un invernadero cinco especies de coníferas del noroeste manipulando las dosis de N y la longitud del período de fertilización. El *Pinus monticola* es de las especies de crecimiento más lento; *Picea engelmannii*, *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus ponderosa* tienen tasas de crecimiento intermedias, mientras que el *Larix occidentalis* es el de rápido crecimiento. Entre más lenta sea la especie en crecer, las plantas reciben más N y por un período de tiempo más largo (Cuadro 6.4.5B).

El momento de la fertilización es crítico. La absorción de nutrientes comienza en cuestión de minutos, pero sus efectos sobre el crecimiento de plantas no son evidentes durante días. Este efecto, es especialmente crítico para ciertas especies como el abeto, que muestran un crecimiento libre después de un período de crecimiento predeterminado. Por ejemplo, las plantas del *Picea abies* produjeron tanto un crecimiento predeterminado como el crecimiento libre del brote cuando se inició la fertilización al comienzo de la temporada de crecimiento (Figura 6.4.8B).

El monitoreo de las tasas de crecimiento de los brotes proporciona un buen indicador de qué tan bien están respondiendo las plantas, y las muestras de tejido foliar también pueden ayudar a determinar si son apropiados los niveles de fertilización. Si una especie se queda por debajo de las curvas del crecimiento requerido, el incremento del nivel de N puede acelerar el crecimiento de los brotes y ayudar a alcanzar el crecimiento requerido al final de la estación de crecimiento – para obtener un ejemplo, consulte la Figura 6.1.10 en el capítulo 1 de este volumen. (Una discusión completa de los niveles ideales nutricionales y los procedimientos de fertilización se proporcionan en el volumen 4 de esta serie).

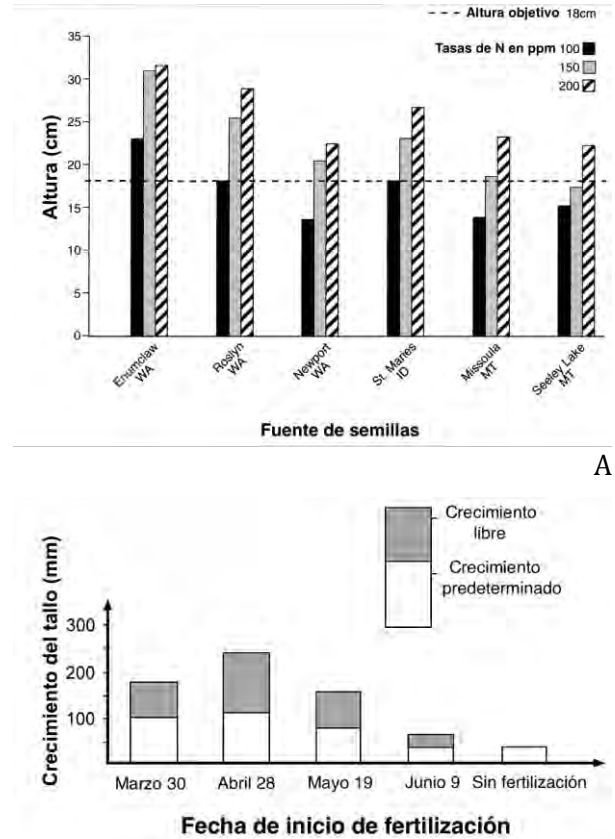


Figura 6.4.8 La fertilización con nitrógeno (N) es una de las principales formas para controlar el crecimiento en altura; en este ejemplo (A), el ecotipo de *Pseudotsuga menziesii* de la costa oeste de Washington puede recibir una tasa menor de N que aquellas procedentes de la parte este del estado, o de las montañas de Montana. La fertilización se refleja rápidamente en el cultivo, evidenciándose por el incremento tanto del crecimiento predeterminado del tallo, como del crecimiento libre, en las plantas de *Picea abies* (B). (A, modificado de Thompson, 1995; B, modificado de von Wuehlisch and Muhs, 1991).

6.4.3.3 Operaciones culturales

Aunque el objetivo cultural principal de la fase de rápido crecimiento es promover el crecimiento del brote, también es importante para producir una planta bien balanceada, con un diámetro robusto del tallo (cuello) y las raíces que están bien distribuidas a lo largo del cepellón. Sin embargo, éstas preocupaciones son secundarias dado que tanto el crecimiento de la raíz como el diámetro del tallo, se fomentarán durante la fase de endurecimiento.

Control cultural de la altura del tallo. Uno de los errores más comunes durante la fase de rápido crecimiento es permitir que continúe el crecimiento del tallo por mucho tiempo, dando como resultado plantas demasiado altas para su correspondiente diámetro del tallo (Figura 6.4.9A). Estas plantas demasiado altas son indeseables debido a que se secan rápidamente en el vivero y además, son físicamente difíciles de manejar y costoso su plantado. Por último, debido a su excesiva relación tallo/raíz, éstas son sujetas a un alto estrés hídrico después del trasplante o su plantación.

Los controles culturales clave para producir un tallo fuerte son (1) la densidad de crecimiento de las plantas (2) la luz, y (3) la dosis de fertilización de N. A medida que la densidad se incrementa, la regla básica es que a mayor distancia entre las plantas, mayor será su diámetro del tallo, dado que es menos probable que crezca demasiado alta (Figura 6.4.9B). La baja intensidad de luz en las plantas excesivamente densas provocará que crezcan de manera desproporcionada en altura ("estirar"). Por supuesto, una vez que se han sembrado las semillas no hay manera de controlar la densidad, a menos que se estén utilizando contenedores individuales que pudieran ser espaciados posteriormente en sus mismos bastidores. Esto generalmente no es económico (e imposible con los contenedores de bloque), por lo que la mejor solución es elegir un contenedor con el volumen y el espaciamiento adecuados para producir las plantas con las especificaciones deseadas. No se recomienda el uso tradicional de toldo de malla sombra a temperaturas más bajas, ya que disminuye la luz disponible; si las altas temperaturas son el problema, se debe utilizar un riego ligero o nebulizaciones. La fertilización con nitrógeno es uno de los factores culturales que puede ser controlado fácilmente en cualquier vivero. El nitrógeno actúa como el "acelerador" en un automóvil - cuanto más se aplica, más rápido crece el tallo. También es importante la concentración adecuada de N para las especies que se cultivan y el tipo de fertilizante nitrogenado. Por ejemplo, fertilizantes con alto contenido de amonio o

urea producirán plantas más altas de muchas especies, que aquellas con una mayor proporción de nitrato.

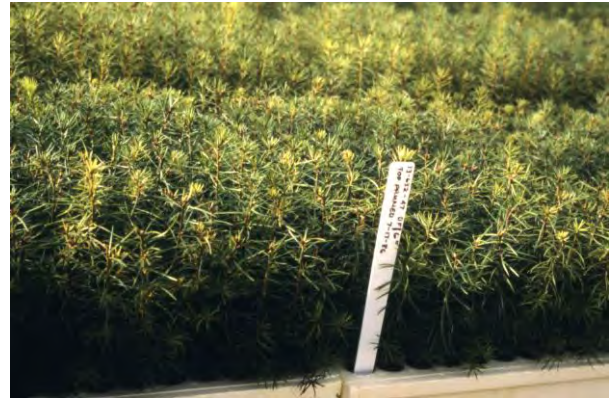
Poda del tallo. Desafortunadamente, el excesivo crecimiento del tallo es un problema difícil de controlar. Algunas especies de coníferas como *Thuja plicata*, pueden ser podadas del tallo con facilidad, siempre y cuando se haga antes de que el tejido se vuelve demasiado leñoso. Esta poda es más difícil con otras, como *Psudotsuga menziesii*, porque el momento para hacerlo es crítico (Figura 6.4.9C). En la mayoría de los casos, la ventana cultural disponible cuando el tejido del tallo es lo suficientemente suave para tolerar la poda es de sólo unas pocas semanas. Los brotes que se podan en el tejido leñoso se dañan permanentemente y, a menudo exhiben un crecimiento anormal (Figura 6.4.9D). Otras coníferas, como *Pinus palustris*, pueden ser podadas varias veces durante la fase de rápido crecimiento (Barnett and McGilvray, 1997). La mayoría de especies de hoja ancha son mucho más tolerantes a la poda del tallo y pueden ser podados sin daños. Sin embargo, los productores deben esforzarse para controlar la tasa de crecimiento de la altura del tallo y sólo usar la poda cuando sea absolutamente necesaria.



A



B



C



D

Figura 6.4.9 La excesiva altura del tallo es un problema común durante la fase de rápido crecimiento, especialmente bajo temperaturas altas y con una fertilización alta en nitrógeno (A). El volumen de las cavidades y el espaciamiento entre éstas, afectan fuertemente el diámetro del tallo y la relación tallo/raíz (B). La poda del tallo puede ser usada aunque la ventana para el tratamiento es sólo de unas cuantas semanas (C). La poda en los tejidos leñosos pueden provocar deformaciones del tallo (D).

Hojas primarias versus secundarias. Además del aumento en la tasa de crecimiento, una de las diferencias más visibles entre las fases de establecimiento y de rápido crecimiento es la naturaleza del follaje de las plantas. Varias especies de coníferas y algunas maderas duras, producen hojas primarias o acículas desde el meristemo apical en medio de los cotiledones, que son muy diferentes de follaje maduro. Por ejemplo, las acículas primarias de las plantas de pino son planas y con un parecido a agujas (Figura 6.4.10A/B), mientras que las hojas primarias en los enebros son picos cortos. Algunos clientes prefieren que sus plantas tengan hojas secundarias (Rose *et al.*, 1990), por ejemplo, las plantas de *Pinus contorta* con acículas secundarias tienen mejor desempeño en la plantación (van Steenis, 1993). Algunas especies de pino producen normalmente las acículas principales durante el primer crecimiento de los brotes y bajo un fotoperíodo natural, y continuarán haciéndolo a lo largo de la primera estación de crecimiento.

Los tratamientos fotoperiódicos como los días cortos ("bloqueo") que se aplican durante el verano por pequeños lapsos como de 2 semanas, provocarán la formación de acículas secundarias en algunas especies de pinos, como *Pinus sylvestris* (Rosvall-Ahnebrink, 1982). En un ensayo de vivero, dos tipos de plantas morfológicamente diferentes de *Pinus contorta* fueron creadas mediante la manipulación del fotoperíodo. Las plantas con la mayoría de acículas primarias fueron producidas en invernadero, con un fotoperíodo natural, mientras que las plantas con la mayoría de acículas secundarias fueron el resultado de disponer de invernaderos con iluminación adicional (Omi *et al.*, 1993; Omi and Eggleston, 1993). Las plantas con acículas primarias fueron significativamente más cortas y con mayor número de raíces, que aquellas que tuvieron acículas secundarias (Figura 6.4.10B). Sin embargo, este efecto es específico de la especie, dado que otros pinos como *Pinus monticola*, se vieron afectados por los tratamientos con luz.

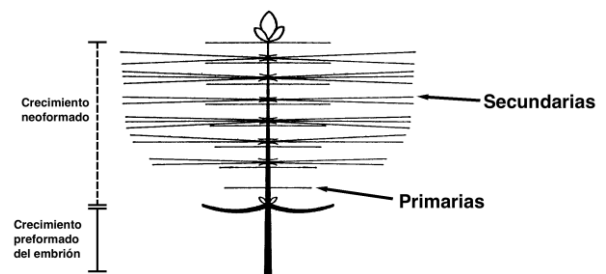
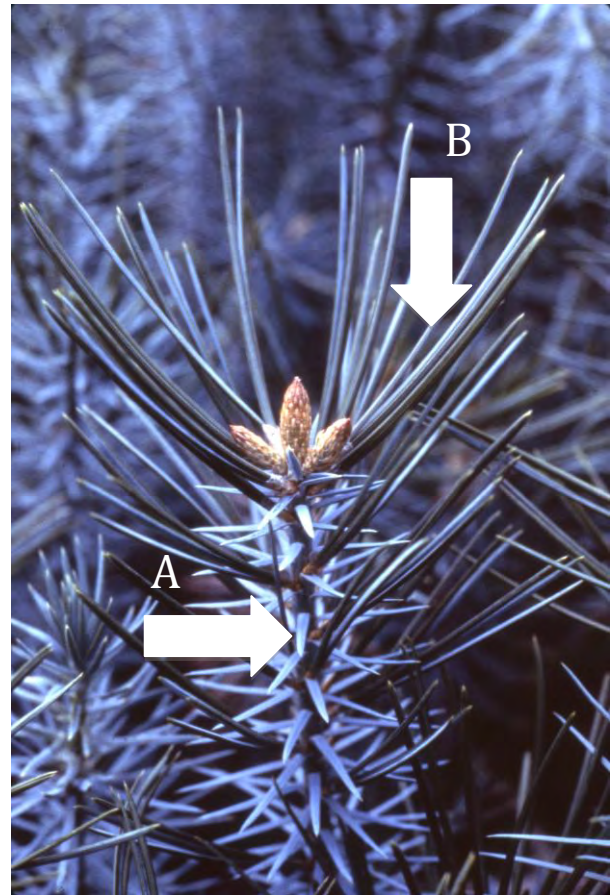


Figura 6.4.10 Las especies como este pino piñonero produce primero acículas puntiagudas primarias (A), seguido de acículas secundarias fasciculadas, que se forman en las axilas de las primarias (B) (Dibujo modificado de Powell, 1982).

6.4.3.4 Plagas y problemas abióticos

Pudrición de la raíz por *Fusarium*. Una de las enfermedades más comunes de las plantas de coníferas del noroeste durante la fase de rápido crecimiento, es la pudrición de la raíz causada por *Fusarium* spp. Estos hongos ubicuos comúnmente son introducidos al vivero en los sustratos, en los recipientes contaminados o en las semillas (Figura 6.4.5). En ocasiones *Fusarium* spp. ataca a las semillas en germinación provocando el *damping-off*, pero con más frecuencia produce infecciones menores a la raíz sin síntomas obvios. Sin embargo, las temperaturas cálidas favorecen al hongo *Fusarium* y la avanzada pudrición de la raíz se desarrolla a menudo durante las condiciones cálidas y húmedas de la fase de rápido crecimiento. Posteriormente, durante las primeras etapas del endurecimiento, los síntomas foliares a menudo se desarrollan después de algunos días con alta temperatura y estrés hídrico (Sutherland, 1990). La pudrición de la raíz por *Fusarium* es difícil de diagnosticar debido a que la mayoría de los viveristas no son conscientes de que tienen un problema hasta que se desarrolla el típico enroscado de las acículas necróticas (James *et al.*, 1991). Cuando se examinan los sistemas radicales de las plantas sintomáticas, la corteza se pela

fácilmente para revelar un tejido podrido de color café. La pudrición de la raíz por *Fusarium* puede propagarse de planta en planta a través de esporas dispersadas por el viento o el agua (Figura 6.4.11), resultando en los focos de la enfermedad. (Claves de daños, fotografías a color y la identificación más específica e información de control se pueden encontrar en la sección 5.1.4 del volumen 5 de esta serie).

Insectos. Aunque los insectos no son un problema serio en los viveros que realizan buenas prácticas de prevención de plagas, algunas pueden provocar pequeños problemas localizados. Las larvas del gusano tejedor (esto es, los gusanos), las moscas grúa, los gorgojos de raíz y los moscos fungosos se alimentan de los sistemas radicales; sólo los adultos de los moscos fungosos son fácilmente visibles. Cuando el tipo de daño al mascar es diagnosticado, el lector debe referirse a las claves de daños en la sección 5.1.4 del volumen 5 de esta serie. Las chinches *Lygus* (*Lygus* spp.) y los trips (o arañuelas) pueden también provocar un crecimiento distorsionado del tallo en focos localizados de plantas. (Claves de daños, fotografías en color y la identificación más específica e información de control se pueden encontrar en la sección 5.1.4 del volumen 5 de esta serie).

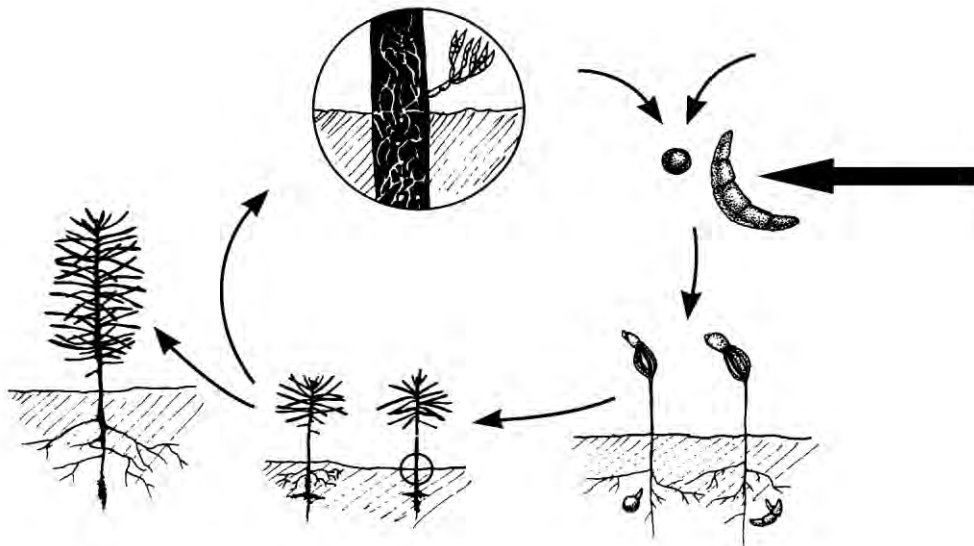


Figura 6.4.11 El hongo del género *Fusarium* provoca la pudrición de la raíz de las plantas de coníferas; las esporas (ver flecha) son dispersadas por el agua o el viento (modificado de Sutherland, 1990).

6.4.4 Fase de endurecimiento

6.4.4.1 Introducción

El endurecimiento es uno de los periodos más importantes de los cultivos de plantas forestales y de conservación, ya que deben estar preparadas para soportar una gran cantidad de estrés después de dejar el vivero. Por ejemplo, las plantas de coníferas del oeste de los Estados Unidos deben de “levantarse” cuando están en dormancia, almacenarse por largos periodos en refrigeración, transportadas a largas distancias, y después plantadas en ambientes relativamente difíciles, sin un cuidado después de la plantación. En Ontario, el éxito o fracaso de los cultivos de abetos casi siempre pueden atribuirse a la falta de prácticas de endurecimiento (Odlum, 1992). En el sur de los Estados Unidos, las plantas en contenedor debidamente endurecidas han mostrado que sobreviven y crecen mejor que aquellas que no lo están (Cuadro 6.4.6).

Problemas con plantas no endurecidas. Los problemas por endurecimiento pueden no ser evidentes en el cultivo del vivero, y con frecuencia no aparecen hasta que las plantas son almacenadas o después de que se plantan. Es relativamente fácil producir un cultivo de plantas para alcanzar las especificaciones de altura y diámetro del tallo, pero es mucho más difícil endurecerlas para soportar el estrés del

manejo, el almacenamiento y la plantación. Esto se evidencia por las diversas pérdidas catastróficas en los últimos años, provocadas por producciones sin un debido proceso de endurecimiento. Los viveros forestales que producen en contenedor en la Columbia Británica, han perdido más de 20 millones de plantas durante una ola de frío temprana, en octubre de 1985, valorada en 4.5 millones de dólares canadienses. Un par de años después, el Ministerio de Recursos Naturales de Ontario reportó una pérdida de 7 millones de plantas de *Picea mariana*, por un valor aproximado de 1 millón de dólares canadienses, lo cual fue atribuido a la mala calidad de las plantas (Lewis, 1988). En febrero de 1996, una producción de 400,000 plantas en contenedor de *Pinus palustris*, siendo hibernadas en instalaciones al aire libre en el sur de Mississippi, fueron expuestas a inesperadas temperaturas bajas. Después de la congelación, las plantas todavía se veía bien, así que el vivero las envió, sin darse cuenta de que las raíces habían muerto. El problema se hizo evidente varias semanas después de la plantación, cuando las plantas comenzaron a morir, en tales casos, el impacto económico también incluye los costos del transporte y la plantación, lo que supera con creces el valor nominal de las plantas.

Cuadro 6.4.6 Las plantas de *Pinus taeda* que recibieron suficiente endurecimiento mostraron una mejor resistencia al daño por frío y se desarrollaron significativamente mejor después de la plantación.

Periodo de endurecimiento (semanas)	Resistencia al frío (LT ₅₀)		Desempeño en la plantación	
	°C	°F	Supervivencia (%)	Crecimiento del tallo (cm)
0	- 4.3	24.3	28	3.9
2	- 6.4	20.5	52	10.1
6	213.6	7.5	76	18.2

Fuente: Modificado de Mexal *et al.* (1979)

LT₅₀ = la temperatura letal en la cual el 50% de las plantas murieron

Aunque la mortalidad de las plantas es el resultado más dramático de una producción sin endurecimiento, otros tipos de lesiones subletales pueden no ser evidentes en forma inmediata. Las raíces crecen cuando las temperaturas son favorables (Figura 6.4.12A) y, dado que están expuestas, pueden ser fácilmente dañadas por las temperaturas cálidas o frías (Figura 6.4.12B). Las plantas con daños subletales de la raíz no presentan síntomas inmediatamente, pero pueden declinar gradualmente con el tiempo o pueden ser víctimas de algún patógeno oportunista. Las plantas de coníferas suelen reflejar problemas por el endurecimiento como el "shock de trasplante", con una clorosis característica, síntomas de defoliación y el consecuente pobre desempeño durante la primera estación de crecimiento.

Terminología del endurecimiento. La terminología utilizada para describir el proceso de endurecimiento puede ser bastante intimidante. Por ejemplo, un sistema reciente para categorizar la dormancia utiliza términos complicados como "endodormancia fotoperiódica" y "ecodormancia hidracional" (Lang, 1987). Aquí se prefieren definiciones más simples. En los viveros forestales y de conservación, los términos "dormancia" y "endurecimiento" se usan a menudo indistintamente, pero hay importantes diferencias. El **endurecimiento** se puede definir como una condición de la durabilidad o la resistencia al estrés (Landis, 1988). Aunque el endurecimiento se puede referir a un estrés específico, es lógico pensar que las plantas que son resistentes al frío son también resistentes a los diferentes tipos de estrés que encontrarán durante el manejo, el almacenamiento y la plantación. La resistencia al frío es útil desde el punto de vista operativo, ya que es relativamente fácil de monitorear. El **endurecimiento o aclimatación** se puede definir como el proceso de inducción de la resistencia al frío y se presenta conjuntamente con el proceso de dormancia.



A



B

Figura 6.4.12 Las raíces no entran a un verdadero estado de dormancia y por lo tanto, crecerán en el momento en que las temperaturas sean favorables (A). Debido a que muchas de estas raíces están fuera del cepellón, pueden fácilmente ser dañadas por el estrés por humedad o por temperatura (B).

La **dormancia** puede ser definida como la incapacidad del tejido de la planta para crecer, incluso bajo condiciones ambientalmente favorables (Lavender, 1985). **Es necesario considerar que la dormancia se refiere a un tejido meristemático específico (yemas, meristemos laterales o puntas de las raíces), mientras que el endurecimiento se refiere a los brotes o raíces, y lo que es más significativo operacionalmente, a menudo toda la planta.** Se debe tener en cuenta que gran parte de la literatura publicada sólo se ocupa de la dormancia de la yema y, aunque eso es importante, los viveristas deben encargarse de toda la planta. Existe un cierto traslape entre la dormancia y el endurecimiento, de hecho, la dormancia es un requisito previo para un alto nivel de endurecimiento. Aunque los tejidos sin dormancia pueden endurecerse hasta cierto punto, las plantas no podrán alcanzar un endurecimiento total si se encuentran creciendo (Weiser, 1970). Los mayores niveles de endurecimiento se alcanzan después de que la planta ya ha pasado por esta etapa (Figura 6.4.13).

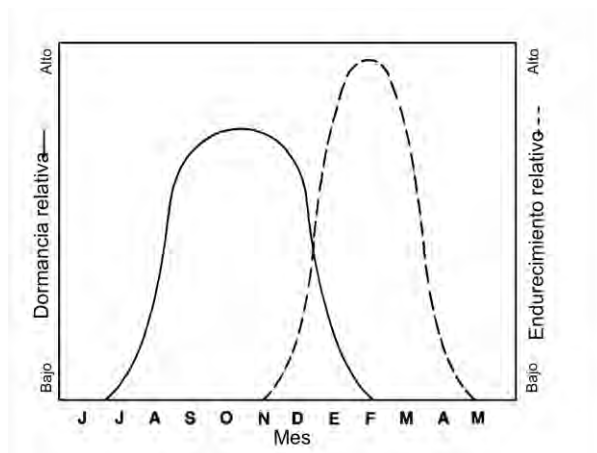


Figura 6.4.13 La dormancia y el endurecimiento están relacionados en el tiempo, debido a que las plantas deberán detener su crecimiento activo antes de que alcancen un endurecimiento total (modificado de Lavender, 1985).

Objetivos de la fase de endurecimiento. Una fase de endurecimiento bien planeada puede tener diferentes objetivos:

1. **Manipular la morfología de las plantas -**

El primer objetivo de la fase de endurecimiento es detener el crecimiento del brote y promover la formación de las yemas, fomentando al mismo tiempo el crecimiento del diámetro del tallo y las raíces. De hecho, el cultivo crecerá muy poco en altura durante la fase de endurecimiento, lo que permite a los fotosintatos trasladarse hacia el tallo y a los meristemos de la raíz (ver Figura 6.1.8 en este volumen). Al final de la fase de rápido crecimiento, las plantas son desproporcionalmente altas para su diámetro y el sistema radical, por lo que la fase de endurecimiento debe ser utilizada para desarrollar un tallo robusto y consecuentemente, una mejor relación tallo/raíz. Dado que algunos clientes prefieren acículas maduras en sus cultivos de coníferas, el desarrollo de acículas secundarias puede ser otro objetivo cultural (ver sección 6.4.3.3). La mayoría de las coníferas occidentales desarrollan yemas dormantes que contienen primordios preformados de los brotes para la próxima temporada de crecimiento (Figura 6.4.14A). Aunque no en todas las especies se desarrolla una yema terminal, muchos clientes prefieren que sus plantas la tengan. Del mismo modo, la presencia de numerosos brotes laterales se considera deseable, ya que le ayudará a desarrollar una corona completa de la siguiente temporada (Figura 6.4.14 B).

2. **Aclimatar las plantas para el ambiente natural** - Las plantas producidas en contenedores han sido producidas a un ritmo acelerado durante la fase de rápido crecimiento y por lo tanto, son muy suculentas y susceptibles a una gran variedad de estrés. Para los cultivos que se plantarán durante el verano u otoño, éste es el objetivo principal de la fase de endurecimiento, el cómo las plantas deben

aclimatarse rápidamente al sitio de plantación cuando salen del vivero.

3. **Desarrollar la resistencia al estrés por manejo, almacenamiento y transporte** - Una vez finalizada la fase de endurecimiento, el cultivo debe, o bien trasladarse al almacenamiento protegido o cosecharse y empacarse para su envío. Para el ejemplo de los cultivos con coníferas occidentales, las plantas se extraen del contenedor de crecimiento, se envuelven o empaquetan en películas de plástico y luego se almacenan en refrigeración por 2 a 4 meses (Cuadro 6.4.1). Por lo tanto, las plantas deben ser resistentes al calor, el frío, al estrés hídrico, y ser capaces de tolerar golpes mecánicos.

4. **Fortalecer la planta para la supervivencia y el crecimiento después de la plantación** - Una vez que las plantas son cosechadas, éstas no serán capaces de producir sus alimentos mediante la fotosíntesis, hasta que se establezcan en el sitio de plantación. Esto significa que deben haber acumulado suficientes reservas de alimentos para mantenerse durante un período de días, para el caso de una plantación “caliente” durante el verano, o meses en el caso de que sean almacenadas en congelación, para su plantación durante la primavera en lugares de gran altitud.



A



B

Figura 6.4.14 Una yema terminal firme en una planta de *Pinus ponderosa* es un buen indicador de la dormancia del brote y endurecimiento (A). Numerosas yemas laterales, como en estas plantas de *Pseudotsuga menziesii* (B) se desarrollarán en las ramas laterales durante la siguiente estación.

Factores que afectan el endurecimiento de las plantas. Hay una serie de factores que pueden afectar el endurecimiento de las plantas en los viveros de contenedores, y tres son particularmente notables:

1. **Factores genéticos** – Bajo las mismas condiciones ambientales, las diferentes especies pasan por el proceso de endurecimiento a diferentes niveles. Incluso dentro de especies, hay diferencias genéticas entre ecotipos para el endurecimiento. Por ejemplo, las plantas de cuatro coníferas del noroeste que crecen juntas en condiciones naturales, mostraron un ritmo diferente de endurecimiento bajo condiciones de vivero. *Picea glauca* x *P. engelmannii* no sólo endurece más rápidamente, sino que también alcanzó un mayor nivel de resistencia al frío, que las otras especies (Figura 6.4.15).
2. **Tipo de tejido** – Los tallos, las yemas y el follaje de una planta se endurecen a diferentes niveles (Figura 6.4.16). Parte de la razón de esta respuesta variable es debido a la naturaleza física de los

diferentes tipos de células. Las células meristemáticas con paredes delgadas son más vulnerables a los daños por frío, en comparación con aquellas maduras con paredes gruesas. Por lo tanto, en los brotes, el meristemo terminal es el más comúnmente dañado por las bajas temperaturas, dado que es el último en dejar de crecer y en consecuencia, alcanzar un nivel de endurecimiento. Una de las áreas más sensibles en las plantas producidas en contenedor es el cuello de la raíz. La verdadera razón de ello es incierta. Ya sea que el tejido es el último en endurecer o que el tejido es más similar al tejido de la raíz, y por lo tanto, menos tolerante al frío. Otra consideración es que esta área del cuello de la raíz físicamente está protegido por el contenedor y por el follaje bajo de la planta y por lo tanto, nunca llegará a ser tan resistente como otras partes del tallo.

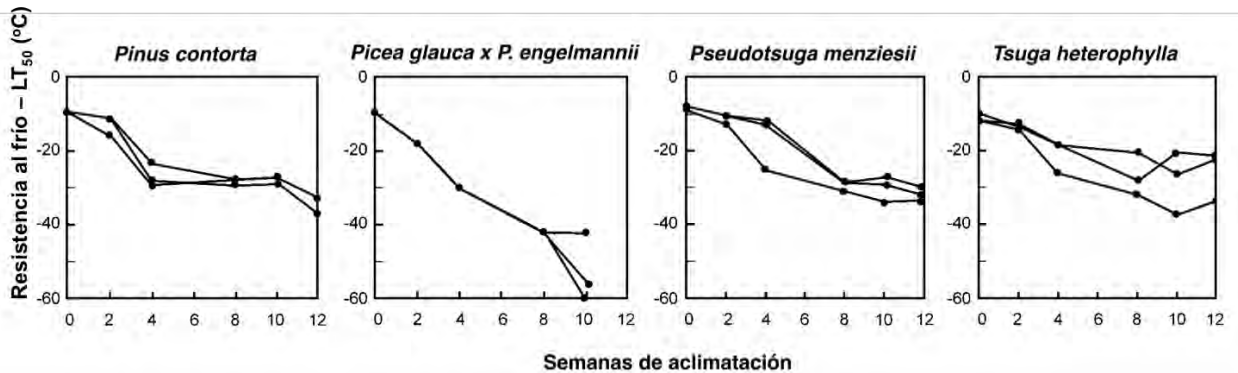


Figura 6.4.15 Las pruebas de resistencia al frío (endurecimiento) de cuatro ecotipos de cuatro coníferas del noroeste, mostraron que los niveles de endurecimiento variaron tanto entre especies como en ecotipos (modificado de Simpson, 1990).

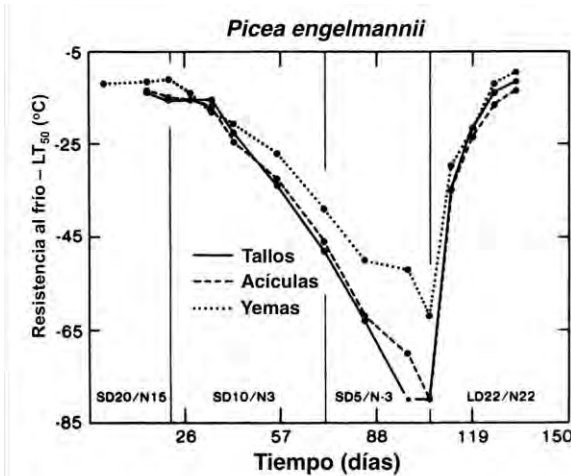


Figura 6.4.16 El tejido del tallo, la yema y las acículas de las plantas de *Picea engelmannii* endurecidas a diferentes niveles en respuesta a un fotoperíodo corto (SD) y disminución de las temperaturas de día/noche.

Los sistemas radicales de las plantas nunca llegan a ser tan resistentes como los tallos, y algunas especies, como *Pinus palustris*, no se endurecen totalmente. Las raíces maduras de las plantas de coníferas comerciales de climas con inviernos fríos, son capaces de alcanzar una resistencia moderada al frío, entre -10 y -15 °C (5 a 14 °F), durante el final del otoño y el invierno. Las nuevas raíces son mucho menos resistentes que las maduras, mientras que aquellas jóvenes de color blanco endurecen poco o nada (Figura 6.4.12B). Dado que las raíces crecerán cada vez que la temperatura del suelo lo permiten, éstas pueden ser dañadas durante heladas repentinas. Debido al riego frecuente, los daños a la raíz no siempre son evidentes en la producción de contenedores bajo condiciones de vivero, pero puede ser devastador después de la plantación. Por ejemplo, los daños por frío en plantas de *Picea abies* dieron lugar a una reducción de 50% en la capacidad de crecimiento de la raíz, y de 40% en el crecimiento de los brotes (Lindstrom and Nystrom, 1987).

3. **Etapa de crecimiento** - La resistencia al frío se desarrolla en un patrón estacional común de los ambientes naturales. Las plantas se endurecen gradualmente a través de una serie de etapas en el otoño, aunque pierden esa resistencia rápidamente durante la primavera (Figura 6.4.16). Se han desarrollado varios modelos para describir el crecimiento y los ciclos de endurecimiento en las plantas. Uno de los más populares es el modelo de etapas del grado de crecimiento, que muestra anualmente el ciclo de crecimiento de la planta, como una serie de diferentes etapas (Fuchigami and Nee, 1987), que puede ser descrito en términos de dormancia del brote, endurecimiento y la resistencia al estrés (Burr, 1990). El modelo representa el ciclo anual de crecimiento de la planta como una onda senoidal, a partir del rompimiento de la yema con el 0° , y terminando con el mismo rompimiento de la yema en la siguiente temporada (360°) (Figura 6.4.17). El crecimiento del brote activo se produce en la primera mitad (superior) del ciclo con la formación de las yemas que ocurre a 180° . La segunda mitad (inferior) pasa a través de la dormancia del brote, la cual de hecho se inició durante la etapa de 90° a 180° , y finaliza con la fase de post dormancia, de 315° a 360° . Una vez más, se debe tener en cuenta que este modelo sólo se refiere a los brotes y no considera la dormancia o la resistencia al frío de los meristemos laterales o de las raíces. En particular, se ha demostrado que las raíces crecen cada vez que las temperaturas son favorables y por lo tanto, no tienen una verdadera dormancia como tal. Por lo tanto, los viveristas deben utilizar el modelo del grado de crecimiento como una guía para un marco conceptual, aunque se tiene que considerar que se tiene que ver la dormancia de las plantas y su resistencia al frío desde un cierto sentido holístico.

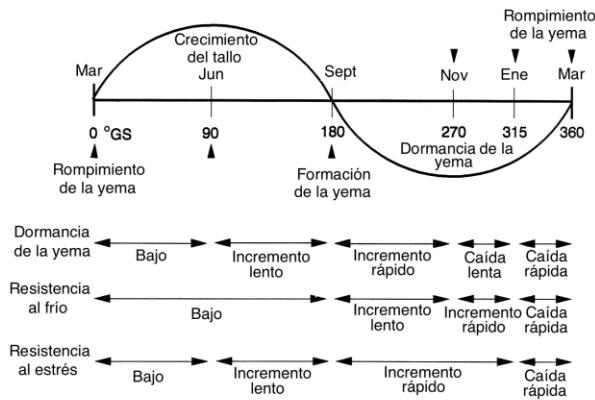


Figura 6.4.17 Una de las mejores formas de ilustrar los procesos de endurecimiento y dormancia es el modelo de etapas del grado de crecimiento, el cual divide el ciclo anual en 360 grados (modificado de Fuchigami and Nee, 1987).

Programación de la fase de endurecimiento.

Para efectos prácticos, la fase de endurecimiento se puede dividir en dos períodos de tiempo consecutivos: inducción a la dormancia y acondicionamiento al estrés. En un programa de crecimiento normal, las plantas en contenedor deben alcanzar la dormancia antes de que puedan desarrollar una plena resistencia al frío (Weiser, 1970). Ya que los objetivos para estas dos etapas son diferentes, los regímenes culturales serán diferentes. En la fase de inducción de la dormancia se "obliga" a que el brote terminal entre en dormancia, al tiempo que fomenta el diámetro del tallo y el crecimiento de las raíces. Para la mayoría de las coníferas occidentales en el ejemplo de cultivo descrito anteriormente, se forman las yemas laterales y terminales, incrementan en tamaño y se cubren con escamas de la yema muy cerradas.

Una vez que la dormancia del brote se ha alcanzado, el cultivo puede soportar el estrés. Las plantas se endurecen de forma natural mediante su exposición a las condiciones ambientales, aunque es posible obtener un mayor nivel de resistencia al estrés en un tiempo más corto, mediante la imposición de tratamientos especiales culturales en el vivero. Sin embargo, estos tratamientos no deben ser demasiado severos, ya que las plantas excesivamente estresadas en realidad suelen ser menos resistentes. Las plantas que tienen

bajos niveles de reservas fotosintéticas no pueden aclimatarse adecuadamente (Weiser, 1970). La cantidad relativa de tiempo para inducir la dormancia y el acondicionamiento al estrés, varía con las especies cultivadas y el tipo de régimen de endurecimiento. Se encontró que con la combinación de 3 semanas de temperaturas cálidas y un fotoperiodo corto para inducir la dormancia, seguida de 3 semanas de frío con un fotoperiodo corto para desarrollar una resistencia al estrés, fue la mejor combinación para *Picea glauca x P. engelmannii*. Por otra parte, el *Pinus contorta* requiere un periodo mayor de acondicionamiento al estrés (5 a 7 semanas) para un periodo total de endurecimiento de 8 a 10 semanas (Simpson and Macey, 1992).

Uno de los conceptos más críticos en el cultivo de plantas en contenedor es la programación de tiempo suficiente para que la fase de endurecimiento, aunque ello no es apreciado por los viveristas con poca experiencia, especialmente aquellos principiantes que producen sus primeros cultivos. Un adecuado endurecimiento lleva tiempo, y un error común es no proporcionarlo. Esto sucede a menudo cuando se produce más de un cultivo por temporada o cuando los productores tratan de forzar un crecimiento adicional en altura, con aquellos cultivos que crecen más lentamente de lo esperado.

Muchos productores no aprecian el hecho de que el crecimiento del tallo y el sistema radical requieren un suministro constante de fotosintatos, por lo cual, la fase de endurecimiento debe programarse cuando exista suficiente energía solar para alimentar este crecimiento. Si bien es posible lograr un acondicionamiento al estrés durante finales del otoño y principios del invierno, simplemente no hay suficiente luz solar en esta época del año para fomentar el crecimiento del diámetro y el de la raíz. Después de que las plantas alcanzan la altura requerida al final de la fase de rápido crecimiento, éstas necesitan unos 2 meses para continuar produciendo tejidos del tallo y las raíces, y posteriormente endurecer lo suficiente para tolerar el estrés provocado por la cosecha, el almacenamiento, el transporte y

su plantación. Mexal *et al.* (1979) encontraron que las plantas de contenedores de *Pinus taeda* requieren al menos 6 semanas de endurecimiento, mientras que las plantas de *Pseudotsuga menziesii* expuestas a una secuencia de tratamientos de endurecimiento, requirieron de 18 semanas para alcanzar un completo endurecimiento (Figura 6.4.18). Para el ejemplo de las coníferas del oeste del vivero forestal de la Universidad de Idaho, la fase de endurecimiento comúnmente duró de 2 a 4 meses (Cuadro 6.4.1).

6.4.4.2 Ambiente atmosférico

En esta sección se discutirán los mismos factores ambientales potenciales que limitan el crecimiento, como en las fases de establecimiento y rápido crecimiento, pero, además, los viveros suelen cambiar la estructura de propagación para iniciar la fase de endurecimiento.

Estructuras de propagación. Mientras que las fases de establecimiento y de rápido crecimiento son a menudo más fáciles en las estructuras de propagación totalmente controladas, como los invernaderos, éste no siempre es el caso para el endurecimiento. Es difícil inducir en el invernadero un completo endurecimiento. Por ejemplo, las plantas de *Pinus sylvestris* que fueron endurecidas en el invernadero, incluso con tratamientos de un corto fotoperiodo, sufrieron más daños posteriores a la plantación, que aquellas que recibieron tratamientos ambientales (Figura 6.4.19). Tradicionalmente, los viveristas que producen sus cultivos en invernadero mueven sus plantas a cobertizos con malla sombra, o en complejos a cielo abierto, al final de la fase de rápido crecimiento, de forma tal que la producción sea expuesta al entorno ambiental. Los productores con estructuras cubiertas de polietileno, algunas veces eliminan el techo del invernadero para lograr el mismo efecto. Los ambientes semi-controlados, como los cobertizos, son estructuras ideales para el endurecimiento porque es fácil enrollar los costados y exponer los cultivos a las condiciones ambientales. Los modelos más recientes de este tipo de estructuras semicontroladas cuentan con techos retráctiles

que son controlados por computadora. El techo puede ser abierto al comienzo de la fase de endurecimiento y cerrado en el caso de heladas. El vivero forestal de la Universidad de Idaho actualmente endurece sus plantas en el invernadero de propagación (Cuadro 6.4.7). Algunas especies de rápido crecimiento, como *Larix occidentalis*, se mueven a estructuras de crecimiento a cielo abierto, para iniciar la fase de endurecimiento. (Ver la sección 1.3.2 del volumen uno de esta serie para una completa discusión de los atributos de los diferentes ambientes de propagación).

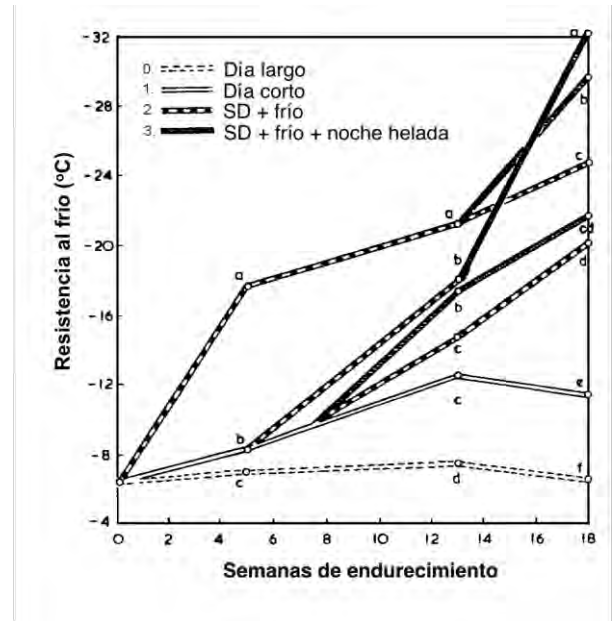


Figura 6.4.18 Las plantas de *Pseudotsuga menziesii* alcanzaron su máxima resistencia al frío cuando fueron expuestas a una secuencia de cortos fotoperiodos (SD) y temperaturas frías, seguidas por una helada. Un endurecimiento completo requirió de 18 semanas (modificado de Timmis and Worrall, 1975).

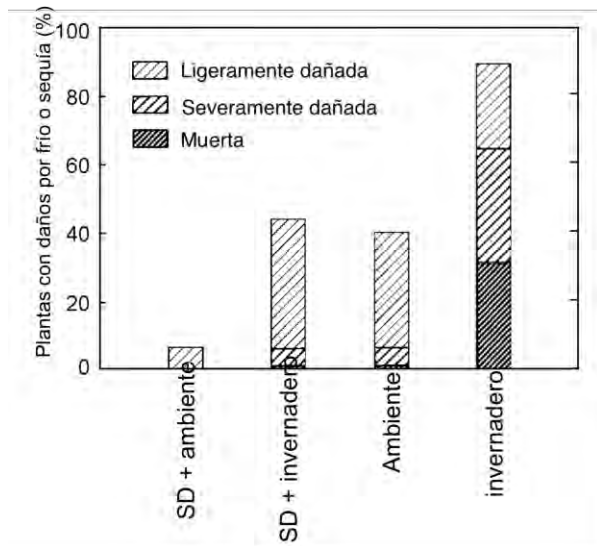


Figura 6.4.19 Las plantas de *Pinus sylvestris* que fueron endurecidas en un invernadero por 6 semanas sufrieron el mayor daño por frío o por deshidratación, después de la plantación durante el otoño, comparadas con aquellas que fueron tratadas con fotoperiodos cortos (SD) y condiciones ambientales (modificado de Rosvall – Ahnebrink, 1982).

Independientemente del tipo de ambiente de propagación, son cuatro los factores especialmente críticos para inducir y mantener el endurecimiento de las plantas de especies forestales y de conservación: la temperatura, la humedad, los nutrientes minerales y el fotoperiodo (Figura 6.4.20). Los tratamientos de endurecimiento se aplican de forma simultánea o en secuencia. Las plantas de *Pseudotsuga menziesii* alcanzaron el endurecimiento máximo cuando se exponen a temperaturas frías, cortos fotoperiodos y finalmente, a una exposición a temperaturas por debajo de cero (Figura 6.4.18). Contrariamente, sólo uno de estos factores es importante para el proceso de la pérdida de la resistencia al frío – la temperatura (van den Driessche, 1969) – lo cual es crítico durante el período de almacenamiento (ver el volumen 7 de esta serie).

Temperatura. Debido a que la temperatura tiene un efecto tan dominante en los procesos fisiológicos, el control de la temperatura en el área de propagación durante el día y la noche, es crucial para el proceso de endurecimiento. La exposición a temperaturas frías que simulan

las condiciones normales de descenso, afectan en muchos aspectos de la dormancia de las plantas y la resistencia al frío, y comúnmente es eficaz una combinación de bajas temperaturas y fotoperiodos cortos. Por ejemplo, un cambio repentino a fotoperiodo corto bajo temperaturas cálidas, seguidas de un cambio a temperaturas frías, induce la dormancia y desarrolla la máxima resistencia al estrés de las coníferas del norte (Simpson and Macey, 1992).

Inducción a la dormancia. Debido a que el objetivo de esta etapa es detener el crecimiento en altura, pero promoviendo el desarrollo del tallo y su diámetro, las temperaturas se reducen en forma gradual en el área de crecimiento. Esto tiene el efecto de mantener tasas suficientes de fotosíntesis y de respiración para promover el diámetro del cuello de la raíz y el crecimiento del sistema radical. El cambio a temperaturas frías afecta el momento del cese del crecimiento y de la formación de la yema, y el inicio de la dormancia (Fuchigami and Nee, 1987), así como el número de primordios que se forman en el desarrollo de la yema (Templeton *et al.*, 1993). Temperaturas moderadamente cálidas son necesarias para permitir el incremento del número y tamaño de los primordios; por ejemplo, se encontró que las temperaturas nocturnas de 15 a 20 °C (59 a 68 °F) promueven la formación y desarrollo de la yema en plantas de *Picea glauca* (Odlum, 1992).

El efecto final de la temperatura durante la fase de endurecimiento es la liberación de la dormancia. La dormancia de la yema de la mayoría de las plantas leñosas es liberada mediante una exposición prolongada a temperaturas ligeramente por encima del punto de congelación de - 5 a 7 °C (40 a 45° F). Este tratamiento de tiempo y temperatura se conoce comúnmente como el **requerimiento de frío** (Burr *et al.*, 1989). Otras especies requieren la exposición a la congelación. Por ejemplo, dos especies de plantas de abedul rompieron la yema más rápida y completamente cuando se expusieron a temperaturas bajo cero, después de alcanzar una dormancia completa (Rinne *et al.*, 1997).

Cuadro 6.4.7 Segmento de 5 semanas de la programación de prácticas culturales durante la fase de endurecimiento para plantas de coníferas del oeste, en el vivero forestal de la Universidad de Idaho (la línea oscura vertical refleja un cambio en los valores del ambiente).

Cliente: T. Planter	Especies: PIPO, PIMO, PSME, LAOC, PIEN			Fuente de semillas: N. Idaho	
Especificaciones requeridas:	Altura = 12 – 18 cm		Diámetro del tallo = 3 a 4 mm		
Mes	Sept	Sept	Oct	Oct	Oct
Semanas de siembra	24	25	26	27	28
Ambiente de propagación	Invernadero				
Etapa de crecimiento de la planta	Fase de endurecimiento				
Procesos culturales y operativos	Medición de alturas y diámetros del tallo de las plantas cada dos semanas				
Mano de obra: tamaño de cuadrilla (personas-horas)	1 – 2 personas, conforme se requerido				
Temperatura: día Valor requerido (rango)	13 °C (10 a 16) 55 °F (50 a 60)		7 °C (4 a 10) 45 °F (40 a 50)		
Temperatura: noche Valor requerido (rango)	10 °C (8 a 12) 50 °F (45 a 55)		4 °C (1 a 7) 40 °F (35 a 45)		
Humedad relativa: Valor requerido (rango)	Ambiente, ventilación después del riego para prevenir condensación				
Luz: ambiente	Luz solar plena				
Luz: fotoperiodo Intensidad y duración	Ninguna, sólo la luz ambiental				
Dióxido de carbono Tasa y momento	Ambiente, pero estimular el intercambio de aire y ventilar siempre que sea posible				
Riego: Cantidad y frecuencia	Sustrato completamente saturado + 10% para lixiviado Regar cuando el peso de los contenedores alcance 70 – 80% del peso húmedo				
Fertilización: Dosis de nitrógeno (N) y frecuencia	Fertirrigar 2 veces por semana con una solución de endurecimiento (50 ppm N)				
Manejo de plagas: monitoreo de plaguicida y dosis	Estar alerta por el desarrollo de <i>Botrytis</i> Deseche cualquier planta enferma y realice tratamiento puntual con plaguicidas cuando el daño exceda el umbral				

Fuente: Modificado de Wenny and Dumroese (1998).

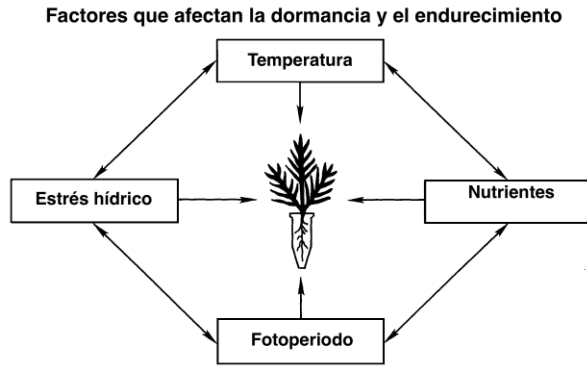


Figura 6.4.20 Los cuatro factores ambientales son modificados durante la fase de endurecimiento para inducir la dormancia y endurecimiento de las plantas.

Durante la fase de endurecimiento, en el vivero forestal de la Universidad de Idaho se redujeron en forma gradual, las temperaturas diurnas y nocturnas en el invernadero, con valores de entre 5 y 10 °F hasta que alcanzaron las temperaturas deseadas (Cuadro 6.4.7). Esto comienza el proceso de aclimatación, pero mantiene las temperaturas lo suficientemente cálidas como para desarrollar el diámetro del tallo y el crecimiento de la raíz (Wenny and Dumroese, 1998).

Acondicionamiento al estrés. La mayoría de las plantas de zonas templadas deben ser capaces de tolerar temperaturas por debajo del punto de congelación durante el almacenamiento para pasar el invierno o después de la plantación. Cuando cerca de 90% del cultivo ha alcanzado la altura deseada, y se ha completado la formación de la yema, las temperaturas pueden ser disminuidas para comenzar el acondicionamiento de las plantas. Para el desarrollo de la resistencia al frío de *Pseudotsuga menziesii*, las temperaturas nocturnas han demostrado ser más importantes que las temperaturas diurnas (van den Driessche, 1969), así como para *Picea abies* y *Pinus sylvestris* (Aronsson, 1975). Un hecho interesante aunque no muy apreciado es que algunas especies pueden ser endurecidas a temperaturas bajo cero sin someterlas a estas temperaturas. Por ejemplo, Tinus (1974) fue capaz de endurecer completamente varias coníferas occidentales y tolerar temperaturas de - 30 °C (22 °F), con una temperatura máxima

diurna de 10 °C (50 °F) y una temperatura nocturna justo por encima de la congelación.

Alrededor de la primera semana de noviembre, el vivero forestal de la Universidad de Idaho continuó con el proceso de endurecimiento mediante la exposición de las plantas a la temperatura ambiente. Esto las prepara para las gélidas temperaturas que experimentarán al final del otoño y durante el almacenamiento. Para evitar que se congelen los cepellones y para proteger el sistema de riego, las temperaturas en el invernadero no deben bajar de 28 °F (- 2 °C) (Wenny and Dumroese, 1998). (Las temperaturas operacionales requeridas y los rangos para una variedad de especies durante la fase de endurecimiento, se pueden encontrar en el Cuadro 3.1.2 del volumen 3 de esta serie).

Humedad. Durante la fase de endurecimiento, la humedad relativa se mantiene en los niveles ambientales, lo que ayuda a preparar a las plantas para las condiciones que enfrentarán en los sitios de plantación. Los riegos se realizan durante las primeras horas de la mañana, y el invernadero se ventila inmediatamente después de agotar el aire húmedo, ayudando a secar el follaje de las plantas (Cuadro 6.4.7). Este es un procedimiento crítico para evitar la condensación, lo cual favorece el desarrollo de los hongos. Los sopladores de mochila para secar las hojas y estimular el desarrollo del diámetro del tallo funcionan bien (la humedad relativa operacional y el déficit requerido de la presión de vapor, así como los rangos para una variedad de especies durante la fase de endurecimiento, se pueden encontrar en los Cuadros 3.2.5 y 3.2.6 del volumen 3 de esta serie).

Luz. Tanto la intensidad de luz como su duración son importantes para el proceso de endurecimiento, y la duración del día (fotoperiodo) es un factor crítico para las especies y los ecotipos de latitudes más al norte y altas elevaciones. Las especies pueden incluso tener ecotipos fotoperiódicos. Las plantas de *Pinus sylvestris* de las latitudes del norte detuvieron el crecimiento de los brotes hasta 50 días antes que aquellas de lugares más al sur

(Oleksyn *et al.*, 1992). Las especies de climas costeros y latitudes más bajas se ven menos afectadas por los tratamientos de reducción del fotoperiodo.

Inducción de la dormancia. El tratamiento de fotoperiodo corto es uno de los factores ambientales más importantes en las coníferas occidentales, que desencadenan la terminación del crecimiento del brote y la formación de las yemas. La luminosidad fotoperiódica extiende las horas luz naturales durante la fase de rápido crecimiento, y en ocasiones con el simple hecho de apagar estas luces inducirá rápidamente la formación de la yema. Los viveristas deben ser conscientes de que esto es muy relativo, comparado con un fotoperiodo absoluto, que es más efectivo. Por ejemplo, las plantas que fueron producidas bajo un fotoperiodo de 24 horas de forma intermitente, iniciaron el endurecimiento con un tratamiento de 18 horas, a pesar de que este último es la duración normal del día durante el verano. Para las plantas de latitudes septentrionales que se plantan durante el verano, se han utilizado cortinas de bloqueo para acortar la duración del día, de 8 o 10 horas con la finalidad de inducir la dormancia. Con el *Pinus sylvestris* se ha demostrado que los días cortos son el tratamiento cultural más importante para inducir la dormancia y la resistencia al frío (Figura 6.4.19). El efecto del fotoperiodo corto puede presentarse rápidamente. Las plantas del abedul respondieron a tratamientos de acortamiento del fotoperiodo después de sólo 5 días, logrando frenar el crecimiento del tallo el cual cesó por completo después de 10 días (Rinne *et al.*, 1997). Como se mencionó con anterioridad, la intensidad de la luz solar debe mantenerse lo suficientemente alta durante esta etapa de la fase de endurecimiento, para promover el crecimiento de las yemas, tallos y raíces.

Acondicionamiento al estrés. Los fotoperiodos cortos también ayudan a inducir la resistencia al frío en muchas especies, especialmente cuando se combinan con bajas temperaturas. Se encontró que un fotoperiodo corto (8 horas) indujo los niveles de resistencia al frío en *Pinus taeda* comparativamente con las

plantas que fueron aclimatadas en ambientes naturales (Mexal *et al.*, 1979). En el vivero forestal de la Universidad de Idaho se apagan las luces fotoperiódicas al inicio de la fase de endurecimiento. Esto, combinado con pocos nutrientes y el estrés por humedad, disminuyen el crecimiento en altura, promueve las yemas terminales, e inicia el proceso de aclimatación al estrés (Cuadro 6.4.7). (Wenny and Dumroese, 1998). (El manejo cultural de la luz durante la fase de endurecimiento se discute en la sección 3.3.3.4 del volumen 3 de esta serie).

Dióxido de carbono. El dióxido de carbono no tiene un efecto significativo en el proceso de endurecimiento, por lo que los viveros que usan generadores los dejan operando durante la etapa de inducción de la dormancia. Sin embargo, los niveles altos de dióxido de carbono retardan la abscisión foliar normal de algunas especies de hoja ancha, por lo cual, los generadores deben ser apagados al principio del acondicionamiento al estrés. En el vivero forestal de la Universidad de Idaho no se utilizan los generadores de dióxido de carbono, pero lo ventilan para fomentar un adecuado intercambio de aire (Cuadro 6.4.7) (Wenny and Dumroese, 1998). (Una completa discusión sobre el manejo y monitoreo del CO₂ durante la fase de endurecimiento, se puede encontrar en la sección 3.4.3 del volumen 3 de esta serie).

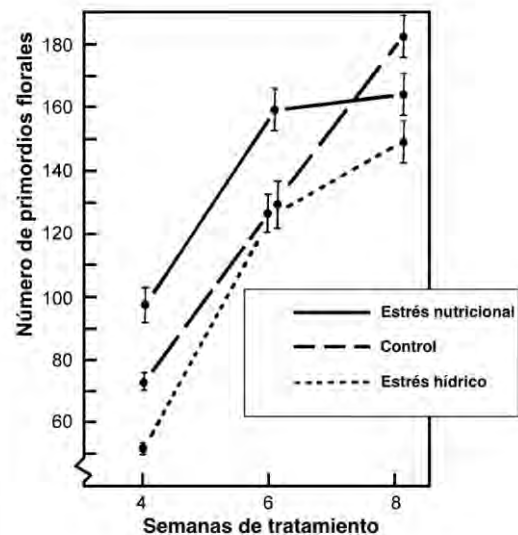
6.4.4.3 El ambiente edáfico

Riego. Un estrés hídrico moderado ha demostrado reducir el crecimiento del tallo, así como promover la dormancia y la resistencia en algunas especies producidas en contenedor, como *Picea pungens* y *Pseudotsuga menziesii*. Sin embargo, en otras especies incluso un estrés hídrico moderado puede ser perjudicial para el proceso de endurecimiento. Por ejemplo, el estrés hídrico no tuvo ningún efecto en la inducción de la dormancia de *Tsuga heterophylla* y, de hecho, inhibe los efectos benéficos de otros tratamientos de dormancia (O'Reilly *et al.*, 1989). El estrés hídrico leve debe considerarse como una técnica de endurecimiento sólo para especies que han mostrado una buena respuesta y para aquellas en las que otros tratamientos son ineficaces.

Inducción de la dormancia. La inducción de niveles moderados de estrés hídrico a la planta se puede lograr mediante la retención del riego y la reducción de la humedad. Este truco consiste en permitir que las plantas se sequen hasta que estén a punto de marchitarse. Posteriormente, deben ser irrigadas y mantenidas bajo un estrés hídrico leve por varias semanas. Sin embargo, este procedimiento es más un arte que una ciencia, y requiere una vigilancia constante para asegurarse de que el estrés no alcanza niveles perjudiciales. Cuando esto sucede, los tejidos meristemáticos apicales donde las células se dividen y alargan activamente, se lesionan. En el caso de un estrés leve, los meristemos se recuperan, pero cuando el estrés alcanza niveles severos, el daño puede ser a largo plazo ("puntas marchitas") (Figura 6.4.21A). Por ejemplo, un tratamiento moderado de estrés hídrico de la planta (EHP) de -1.5 MPa induce la formación de yemas y dispara la dormancia en plantas de *Picea pungens*, pero, si el estrés alcanza altos niveles de PMS de -1.8 a -2.0 MPa, se presenta un daño foliar (Young and Hannover, 1978). Tratamientos periódicos de estrés hídrico de -1.7 MPa resultó ser eficaz en la inducción de la formación de la yema terminal en *Picea glauca*, aunque el número de primordios aciculares fue significativamente menor (Figura 6.4.21B). Tinus (1974) concluyó que el estrés hídrico debe ser considerado como un tratamiento de afectación temporal, y no debe mantenerse por más tiempo del necesario (una completa discusión de la terminología del estrés hídrico y sus tratamientos se pueden encontrar en la sección 4.2.2 del volumen 4 de esta serie).



A



B

Figura 6.4.21 El estrés hídrico leve es efectivo con algunas especies para reducir el crecimiento del brote, aunque el tejido meristemático en las yemas o acículas desarrolladas puede ser dañado por varios tipos de estrés (A). Un tratamiento de endurecimiento de 2 semanas de estrés hídrico moderado o sin fertilización, reduce el número de primordios de la yema en las plantas de *Picea glauca* (B)(B, modificado de Macey and Arnott (1986).

Acondicionamiento al estrés. El estrés hídrico en combinación con otras prácticas culturales, en ocasiones se utiliza para el endurecimiento de algunas especies de plantas. Una secuencia de estrés hídrico moderado (-1.0 MPa a mediodía), seguido de un fotoperiodo acortado y un régimen de fertilización bajo en nitrógeno, fue recomendado para ecotipos costeros de *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus ponderosa* (Lavender and Cleary, 1974). Sin embargo, en otro estudio el estrés hídrico por sí solo ha demostrado ser ineficaz en el endurecimiento de plantas costeras de *Pseudotsuga menziesii*, a menos que sea aplicado posteriormente un período de temperaturas frías (Tanaka and Timmis, 1974).

El monitoreo del peso de los contenedores es una forma popular de regular el riego en muchos viveros que producen en contenedor del oeste, por lo que esta técnica es particularmente útil durante el proceso de endurecimiento. Dado que las plantas transpiran, el peso de los contenedores disminuye hasta un nivel predeterminado, cuando las plantas son regadas. Se pueden desarrollar escalas del peso de los contenedores, a partir de la experiencia y la observación, o de las curvas de retención de humedad del sustrato, y proporcionar un método visual y repetible para determinar cuándo el estrés hídrico ha alcanzado un nivel leve. Por ejemplo, en el vivero forestal de la Universidad de Idaho se permite que el peso de los contenedores caigan a 70 u 80% del peso húmedo antes de regar (Cuadro 6.4.7) (Wenny and Dumroese, 1998). Por supuesto, esto variará considerablemente entre especies y con las condiciones del clima (para más detalles ver la sección 4.2.7 en el volumen 4 de esta serie).

Fertilización. De manera lógica la reducción de los niveles de nutrientes minerales en el sustrato disminuirá el crecimiento de los brotes, y se usa la reducción o incluso la eliminación temporal de la fertilización para promover la dormancia y la resistencia de las plantas. Así como el alto contenido de nitrógeno (N) es uno de los principales factores culturales usados para estimular el crecimiento de los brotes durante la fase de rápido

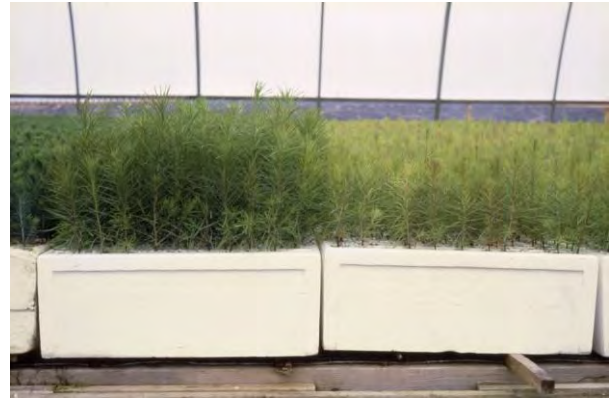
crecimiento, la reducción del nivel de N es una forma lógica y eficaz para controlar la altura e inducir el endurecimiento (Young and Hannover, 1978). En los viveros de contenedores se han desarrollado fertilizantes especializados para el periodo de endurecimiento, aunque los ensayos operativos recientes han demostrado que en realidad no son necesarios. El nitrato, en lugar de amonio y el aumento de los niveles de calcio también han demostrado ser benéficos en soluciones de fertilización para el endurecimiento. Algunos fertilizantes de lenta liberación, incorporados en el sustrato pueden provocar problemas durante el período de endurecimiento, ya que la liberación continua de N puede retrasar tanto la formación de la dormancia así como el endurecimiento. Sin embargo, este no es el caso con fertilizantes más recientes de liberación controlada, que dan beneficios de crecimiento después de la plantación.

Inducción de la dormancia. En general, la aplicación continua de fertilizantes altos en N promueve el crecimiento del tallo y la succulencia de las plantas en contenedor. Por ejemplo, las plantas de *Acer rubrum* cultivadas con altos niveles de N (300 ppm), mantuvieron sus hojas por aproximadamente 3 semanas, que aquellas producidas a tasas normales (Gilliam *et al.*, 1980). La reducción de la concentración de N en la solución de fertirrigación es una técnica cultural estándar al inicio de la fase de endurecimiento, y en algunos viveros se evita la total aplicación de nitrógeno durante unas cuantas semanas para inducir el estrés. El estrés con nitrógeno se usa comúnmente para las especies, como *Larix occidentalis*, que crecen rápidamente en altura, pero no responden a otras técnicas de endurecimiento (Figura 6.4.22A). La eliminación de la fertilización durante 2 semanas redujo el número de primordios (yemas) en las plantas de *Picea glauca* (Figura 6.4.21B), aunque Bigras *et al.* (1996) no encontraron evidencia de que la fertilización nitrogenada tuvo algún efecto sobre el número de primordios de *Picea mariana*. La inducción del estrés con N en plantas de *Picea pungens* provocó la formación

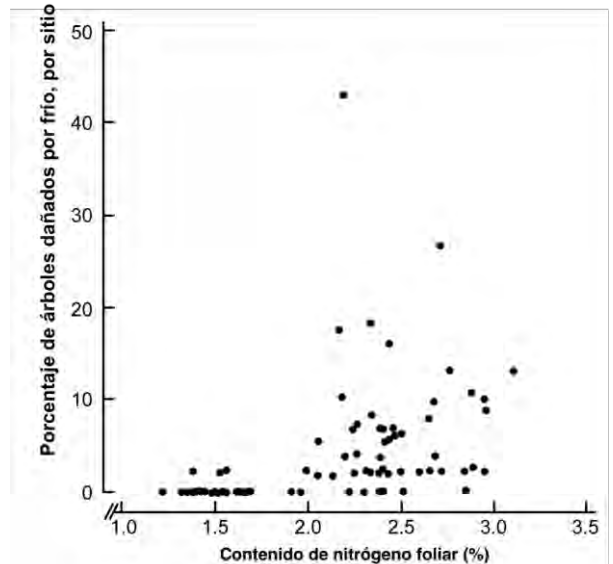
de las yemas, pero éstas fueron pequeñas y descoloridas (Young and Hannover, 1978).

Acondicionamiento al estrés. Es ampliamente conocido que los altos niveles de fertilización, especialmente de N, provocan que las plantas tengan un crecimiento tardío durante el otoño, cuando éstas son más susceptibles al daño por frío. Pellett and Carter (1981) hicieron una revisión exhaustiva de la literatura y concluyeron que las plantas producidas con dosis normales de fertilización, serán más resistentes al frío, y por lo tanto, resistentes al estrés, que aquellas cultivadas con niveles de fertilización, ya sea muy bajos o excesivamente altos. Esto ha sido confirmado con la investigación con plantas de coníferas comerciales. Aunque esto varía con las especies, las soluciones de fertirrigación con una concentración de N de 50 a 100 ppm durante la fase de endurecimiento, debe producir plantas con una concentración de N foliar en el intervalo de 2.0 a 2.5%.

Las plantas deficientes en nutrientes tienen problemas con la dormancia y son tan susceptibles al frío y otros tipos de estrés, como las que han sido sobrefertilizadas. Las plantas de *Picea mariana* producidas con una fertilización subóptima de nitrógeno foliar, son menos resistentes que aquellas que tenían niveles más altos (Bigras *et al.*, 1996). La misma conclusión fue obtenida en un estudio con plantas bien fertilizadas de *Pinus sylvestris* las cuales tuvieron menos daños por frío que aquellas que tuvieron niveles deficientes de nutrientes (Rikala and Repo, 1997). Sin embargo, la sobrefertilización es un problema muy común en los viveros de contenedores, tal como ha sido demostrado con numerosos estudios donde las plantas con alto contenido de nitrógeno sufren más daños por frío que aquellas cultivadas con una fertilización más moderada (Figura 6.4.22B). (Ver la sección 4.1.10 en el volumen 4 de esta serie, para mayor información sobre los efectos del uso de fuertes fertilizaciones).



A



B

Figura 6.4.22 El estrés con nitrógeno es utilizado para controlar el crecimiento en altura con especies de rápido crecimiento, como *Larix occidentalis*; las plantas de la derecha han sido estresadas (A). Una fertilización alta en nitrógeno (contenido foliar > 2.0%) reduce la resistencia al frío de las plantas, tanto en el vivero como en la plantación (B) (B, modificado de Aronsson, 1980).

En el vivero forestal de la Universidad de Idaho al inicio de la fase de endurecimiento se utiliza un leve estrés hídrico y nutricional, para promover la formación de las yemas e iniciar el proceso de aclimatación al frío, continuando con el estrés hídrico hasta la cosecha (Cuadro 6.4.7) (Wenny and Dumroese, 1998). Los fertilizantes foliares se pueden utilizar para recargar las reservas de las plantas después del estrés nutricional, y como una forma de

fertilizar cuando los riegos no son requeridos, con el fin de mantener un estrés hídrico leve (Montville *et al.*, 1996).

6.4.4.4 Operaciones culturales

Hay algunas operaciones culturales especiales durante la fase de endurecimiento, más allá de los procedimientos normales descritos previamente. Sin embargo, muchos clientes están solicitando que sus plantas sean inoculadas con microorganismos benéficos, como los hongos micorrízicos. Aunque existen tres momentos posibles para inocular (en la siembra, durante el ciclo de cultivo, o durante la plantación), el uso de fertilizantes con un bajo contenido de N, así como la presencia de un gran número de puntas de las raíces, hacen de la fase de endurecimiento un momento ideal.

Inoculación con hongos micorrízicos. Es probable que se haya hecho más investigación sobre las micorrizas que de cualquier otro aspecto cultural en los viveros. Más aún, la mayoría de los viveristas o no están seguros acerca de si sus plantas tienen micorrizas, o no tienen idea de cuáles son los organismos involucrados. Una micorriza es la estructura anatómica que resulta de la asociación simbiótica entre la raíz de una planta y un hongo. Hay dos tipos principales que se distinguen por su morfología: las ectomicorrizas (ECM) y las endomicorrizas - que se conocen más correctamente como micorrizas vesiculares-arbusculares (VAM). El tipo presente en el vivero dependerá de qué especies se estén cultivando. Las ECM son las micorrizas que más a menudo se observan en los viveros forestales y de conservación, debido a sus cuerpos fructíferos de hongos (Figura 6.4.23A), o la cubierta de color de las hifas de los hongos, con micelios circundantes, los cuales se pueden ver con una lupa en las raíces cortas de alimentación (Figura 6.4.23B).

Al considerar la inoculación con micorrizas, los productores deben pensar en lo que esperan ganar. Los beneficios de las micorrizas se pueden separar en los efectos en el vivero y los efectos en la plantación. La experiencia en muchos viveros ha sido que los cultivos de alta

calidad pueden ser producidos sin inoculación micorrízica, ya que el ambiente del vivero suministra todos los requerimientos para el crecimiento de la planta. La otra ventaja importante en el vivero con la micorrización es la protección contra los patógenos de las raíces, aunque con un sustrato estéril y los contenedores, estas plagas no deberían ser un gran problema. Uno de los beneficios de la micorrización que más se promociona es el incremento de la supervivencia y el crecimiento en los sitios de reforestación. Y, por supuesto, uno de los beneficios más importantes es desde el punto de vista de marketing ya que las plantas con micorrizas bien desarrolladas son consideradas ampliamente por proceder de un vivero de alta calidad.

Al considerar un programa de inoculación en el vivero, deben tenerse en cuenta varias cosas:

1. Las especies apropiadas de hongos para cada cultivo
2. El tipo de inóculo más apropiado para el sistema del vivero
3. La técnica y el momento adecuado
4. Rentabilidad

Selección de especies. Hay dos rutas posibles para tomar a la hora de seleccionar un hongo micorrízico para la inoculación: (1) la selección de especies adaptadas a una amplia gama de hospederos o condiciones del lugar, y (2) la selección de las especies adaptada a un hospedero específico o a un tipo particular de sitio de plantación. Obviamente, el primer paso consiste en seleccionar una especie que puede colonizar a la planta deseada. La mayoría de los hongos VAM y especies ECM como *Cenococcum geophilum*, *Pisolithus tinctorius* y *Thelephora terrestris*, tienen un amplio rango de hospederos. Los hongos micorrízicos ampliamente adaptados tienen grandes ventajas, dado que muchos cultivos en los viveros pueden inocularse al mismo tiempo, y las plantas inoculadas se pueden adaptar a una amplia variedad de condiciones de los sitios de plantación. Por otro lado, los hongos micorrízicos de hospederos o sitios específicos, producirán el máximo desempeño de las plantas en una condición dada.

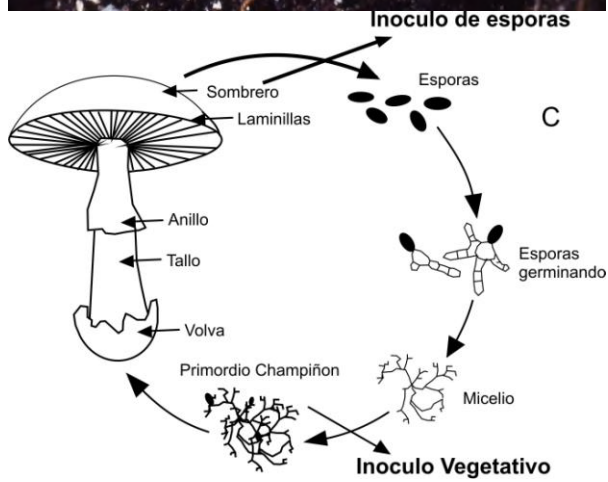


Figura 6.4.23 –Los Hongo Ectomicorrizico pueden verse fructificar en contenedores (A) o su Micelio observa de manera obvia sobre la superficie del cepellón. (B) Existen dos maneras de aplicar las ectomicorrizas en las plántulas producidas en contenedores; esporas y micelios vegetativos. (C) (C, modificado de Molina y colaboradores 1993).

Tipos de inóculos micorrízicos. Hay dos categorías básicas de inóculos que se utilizan actualmente en los viveros forestales y de conservación: las esporas y el inóculo vegetativo (Figura 6.4.23C). Las esporas de los hongos ECM se obtienen de los cuerpos fructíferos obtenidos de las áreas naturales o el inóculo vegetativo que se produce a partir de micelios de hongos cultivados bajo un proceso cultural básico en sustratos artificiales. En la actualidad están disponibles de forma comercial tanto el inóculo de esporas como el inóculo vegetativo. Varias empresas han desarrollado sofisticadas técnicas de cultivo de hongos ECM en sustratos artificiales. Otras empresas recogen los cuerpos fructíferos de los hongos ECM, cosechan las esporas y las venden a los viveros.

¿Cómo y cuándo inocular? En los viveros de contenedores, las esporas de los hongos ECM se pueden aplicar a las semillas antes de la siembra. Inóculo vegetativo de ECM o los hongos VAM se pueden incorporar al sustrato antes del llenado de los contenedores. Las esporas de hongos ECM también se pueden aplicar en una suspensión de agua, ya sea a mano, o a través del sistema de riego existente, iniciando tan pronto como las plantas tienen suficientes raíces para una colonización exitosa. Muchas prácticas culturales en los viveros, especialmente las altas dosis de fertilización, inhiben el desarrollo de las micorrizas, por lo que la inoculación durante la fase de endurecimiento, con su menor fertilización nitrogenada tiene algún mérito. La desventaja es que las raíces pueden estar ya infectadas con otros hongos micorrízicos, especialmente el ubicuo *Thelephora terrestris*, que se desarrolla en el entorno del vivero.

Rentabilidad. La inoculación micorrízica debe tener sentido desde una perspectiva económica, así como desde el punto de vista biológico. Si se cree que la inoculación mejorará la calidad de la planta, se debe realizar un análisis de costo-beneficio. El costo total de la inoculación (incluyendo el precio del inóculo y los costos de aplicación) deben ser comparado con los beneficios, ya sea en el vivero o en el sitio de plantación. Los ahorros asociados con

una menor fertilización, la reducción de las enfermedades, y una mayor supervivencia y crecimiento de las plantas, requieren ser documentados. La comercialización de plantas que han sido inoculadas con un hongo micorrízico específico, puede ser un beneficio significativo. Un vivero podría anunciar que sus plantas fueron micorrizadas y enfatizar los beneficios asociados, al igual que lo hacen para el tamaño de las plantas, origen de la semillas y su vigor.

La decisión de inocular plántulas es complicado. Así que, a menos que haya una buena comprensión de las diversas combinaciones hongo/hospedero y el proceso de inoculación, un consultor para la micorrización puede ser útil. (Una discusión exhaustiva de las micorrizas en los viveros se puede encontrar en el volumen 5 de esta serie).

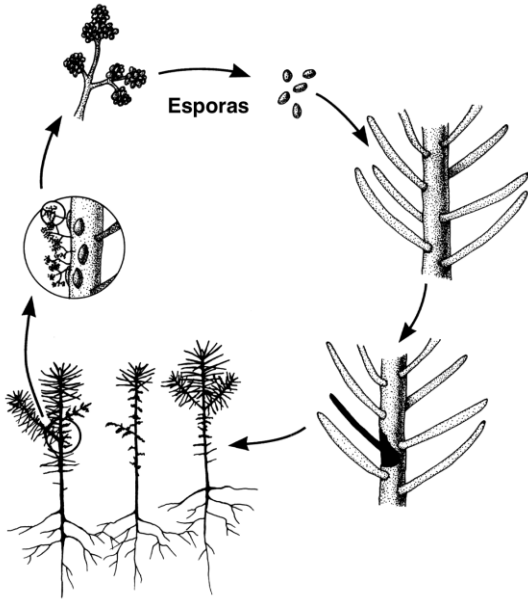
6.4.4.5 Plagas y problemas abióticos

La principal plaga durante la fase de endurecimiento es el hongo *Botrytis cinerea*, la cual provoca un tizón foliar llamado moho gris. Debido a que este hongo prospera en condiciones húmedas y con baja intensidad de luz, se convierte en un problema mayor al momento en que se cierra el dosel. *Botrytis* tiene un amplio rango de hospederos, incluyendo la mayoría de las malezas, por lo que sus esporas están en todas partes alrededor del vivero (Figura 6.4.24A). Otra razón por la cual esta enfermedad es tan frecuente en la fase de endurecimiento, es que las temperaturas más bajas favorecen la condensación de la humedad, que promueve tanto la germinación de las esporas como el crecimiento del micelio del hongo (Figura 6.4.24B). Los focos de la enfermedad se pueden desarrollar rápidamente y por lo tanto es necesaria una exploración frecuente (Figura 6.4.24C, Cuadro 6.4.7).

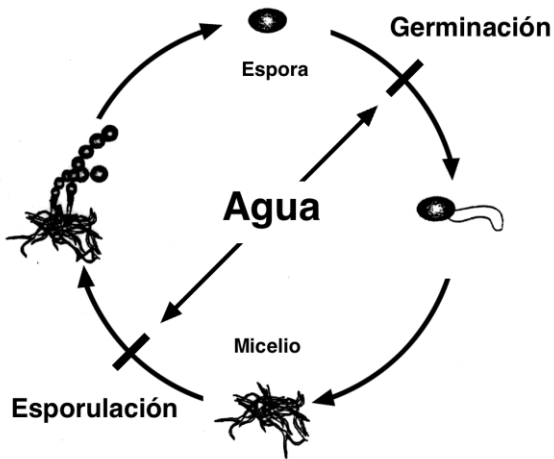
Los fungicidas pueden ser eficaces en la prevención del desarrollo de la enfermedad, aunque hacen poco para erradicar las infecciones existentes. Además, hay cepas de *Botrytis* que se han vuelto resistentes a muchos fungicidas comunes, por lo que es necesario el uso de varios productos químicos en rotación

para un control eficaz. El manejo integrado de plagas (MIP) es una mejor opción, ya que los controles culturales han probado ser muy efectivos. El uso de contenedores con más espacio entre las cavidades, el manejo de los tiempos de riego, proporcionar una buena ventilación y la eliminación individual de plantas enfermas, pueden reducir en gran medida las posibilidades de desarrollar un problema serio (Russell, 1990). Algunos

productores inyectan un agente tensioactivo durante el riego que ayuda que el follaje se seque más rápido. El vivero forestal de la Universidad de Idaho ha reducido en gran medida el uso de fungicidas, a través de un agresivo programa de MIP (Dumroese *et al.*, 1990), y utiliza controles culturales como aspirar acículas muertas de *Larix occidentalis*, para reducir las infecciones por *Botrytis* (Dumroese and Wenny, 1992).



A



B



C

Figura 6.4.24 El moho gris es una enfermedad provocada por el hongo *Botrytis cinerea*, el cual es muy común durante la fase de endurecimiento. Éste se puede dispersar rápidamente por esporas (A), lo cual es fomentado por prácticas de riego deficientes (B). Una cuidadosa exploración del follaje senescente en plantas densas debe realizarse de manera frecuente (C). (A, modificado de Russell, 1990).

6.4.5 Resumen

Una vez que un vivero ha decidido propagar una especie o un grupo de plantas, es necesario desarrollar protocolos de propagación y los programas de crecimiento. Se dió seguimiento a un cultivo típico de las plantas de coníferas occidentales, desde su siembra hasta el endurecimiento. Las especies deben ser agrupadas en el área de cultivo, acorde a sus necesidades culturales. Deben ser planificados tanto el ambiente de propagación y las prácticas culturales necesarias para cada una de las tres fases de desarrollo de las plantas: establecimiento, rápido crecimiento y endurecimiento.

La discusión de los posibles factores limitantes del ambiente (temperatura, humedad, luz y dióxido de carbono), y el ambiente edáfico (agua y nutrientes minerales), proporcionan a los productores una idea de cómo maximizar el crecimiento y mejorar la calidad de las plantas. Las secciones de las operaciones culturales comunes, las plagas y el estrés abiótico auxilian a los productores a prevenir problemas en cada fase del ciclo de cultivo.

6.4.6 Literatura Citada

- Aronsson A. 1975. Influence of photo - and thermoperiod on the initial stages of frost hardening and dehardening of phytotron-grown seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Studia Forestalia Suecica* 128: 1-20.
- Aronsson A. 1980. Frost hardiness in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.): 2. Hardiness during winter and spring in young trees of different mineral nutrient status. *Studia Forestalia Suecica* 155: 1-27.
- Barnett JP, McGilvray JM. 1997. Practical guidelines for producing longleaf pine seedlings in containers. Gen. Tech. Rep. SRS-14. Asheville, NC: USDA Forest Service, Southern Research Station. 28 p.
- Barnett JP, Brissette JC. 1986. Producing southern pine seedlings in containers. Gen. Tech. Rep. SO-59. New Orleans: USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 71 p.
- Bigras FJ, Gonzalez A, D'Aoust AL, Hebert C. 1996. Frost hardiness, bud phenology and growth of containerized *Picea mariana* seedlings grown at three nitrogen levels and three temperature regimes. *New Forests* 12(3): 243-259.
- Burr KE. 1990. The target seedling concepts: bud dormancy and cold-hardiness. In: Rose R, Campbell SJ, Landis TD, eds. Target seedling symposium. Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations. Gen. Tech. Rep. RM-200. Ft. Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: 79-90.
- Burr KE, Tinus RW, Wallner SJ, King RM. 1986. Comparison of four cold hardiness tests on three western conifers. In: Landis TD, ed. Western Forest Nursery Council and Intermountain Nursery Association Meeting, Combined Proceedings. Gen. Tech. Rep. RM-137. Ft. Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: 80-87.
- Burr KE, Tinus RW, Wallner SJ, King RM. 1989. Relationships among cold hardiness, root growth potential and bud dormancy in three conifers. *Tree Physiology* 5(3): 291-306.
- Dumroese RK, Wenny DL. 1992. Reducing Botrytis in container-grown western larch by vacuuming dead needles. *Tree Planters' Notes* 43(2): 30-32.
- Dumroese RK, Wenny DL, Page-Dumroese DS. 1995. Nursery waste water: the problem and possible remedies. In: Landis TD, Cregg B, tech. coords. National Proceedings, Forest and Conservation Nursery Associations. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-365. Portland, OR: USDA Forest Service, Pacific Northwest Station: 89-97.
- Dumroese RK, Wenny DL, Quick KE. 1990. Reducing pesticide use without reducing yield. *Tree Planters' Notes* 41(4): 28-32.
- Emery DE. 1988. Seed propagation of native California plants. Santa Barbara, CA: Santa Barbara Botanic Garden. 115.
- Fuchigami LH, Nee CC. 1987. Degree growth stage model and rest-breaking mechanisms in temperature woody perennials. *HortScience* 22(5): 836-845.
- Gilliam CH, Still SM, Moor S, Watson ME. 1980. Effects of three nitrogen levels on container-grown *Acer rubrum*. *HortScience* 15(5): 641-642.
- Green Timbers Nursery. 1993. Personal communication. Surrey, BC: British Columbia Ministry of Forests, Green Timbers Nursery.
- Holopainen JK. 1988. Growth and visible responses of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings to simulated summer frost. *European Journal of Forest Pathology* 18(2): 85-92.
- Holopainen JK, Holopainen T. 1988. Cellular responses of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings to simulated summer frost. *European Journal of Forest Pathology* 18(3/4): 207-216.

- James RL, Dumroese RK, Wenny DL. 1991. Fusarium diseases of conifer seedlings. In: Sutherland JR, Glover SG, eds. Proceedings, First Meeting of IUFRO Working Party S2.07-09, Diseases and Insects in Forest Nurseries. Info. Rep. BC-X-331. Victoria, BC: Forestry Canada, Pacific Forestry Centre: 181-190.
- James RL, Dumroese RK, Wenny DL. 1994. Fungi carried by adult fungus gnats (Diptera: Sciaridae) in Idaho greenhouses. Pest Rep. 94-5. Missoula, MT: USDA Forest Service, Northern Region. 10 p.
- Jones L. 1961. Effect of light on germination of forest tree seed. Proceedings of the International Seed Testing Association 26(3): 437-452.
- Khan SR, Rose R, Haase DL, Sabin TE. 1996. Soil water stress: its effects on phenology, physiology, and morphology of containerized Douglas- fir seedlings. New Forests 12(1): 19-39.
- Landis, T.D. 1988. Cold hardiness: conditioning plants to promote hardiness and dormancy. The Digger (January 1988): 17-19.
- Lang GA. 1987. Dormancy: a new universal terminology. HortScience 22(5): 817-820.
- Lavender DP. 1985. Bud dormancy. In: Duryea ML, ed. Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Corvallis, OR: Oregon State University, Forest Research Laboratory: 7-15.
- Lavender DP, Cleary BD. 1974. Coniferous seedling production techniques to improve seedlings establishment. In: Tinus RW, Stein WI, Balmer WE, eds. Proceedings, North American Containerized Forest Tree Symposium; 1974 August 26-29; Denver, CO. Pub. 68. Great Plain Agricultural Council: 177-180.
- Lewis FA. 1988. Who killed cock robin? Silviculture Magazine 3(1): 18-19.
- Lindstrom A, Nystrom C. 1987. Seasonal variation in root hardiness of container-grown Scots pine, Norway spruce, and lodgepole pine seedlings. Canadian Journal of Forest Research 17: 787-793.
- Macey DE, Arnott JT. 1986. The effect of moderate moisture and nutrient stress on bud formation and growth of container-grown white spruce seedlings. Canadian Journal of Forest Research 16(5): 949-954.
- Mexal JG, Timmis R, Morris WG. 1979. Cold-hardiness of containerized loblolly pine seedlings. Southern Journal of Applied Forestry 3: 15-19.
- Molina R, O'Dell T, Luoma D, Amaranthus M, Castellano M, Russell K. 1993. Biology, ecology, and social aspects of wild edible mushrooms in the forests of the Pacific Northwest: a preface to managing commercial harvest. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-309. Portland, OR: USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 42 p.
- Montville ME, Wenny DL, Dumroese RK. 1996. Impact of foliar fertilization on container-grown ponderosa pine seedling viability. Western Journal of Applied Forestry 11(4): 114-119.
- Odlum KID. 1992. Hardening and overwintering container stock in Ontario: practices and research. In: Donnelly, F.P.; Lussenburg, H.W. comp. Proceedings of the 1991 Forest Nursery Association of British Columbia Meeting, Prince George, BC: 29-35.
- Oleksyn J, Tjoelker MG, Reich PB. 1992. Growth and biomass partitioning of populations of European *Pinus sylvestris* L. under simulated 50° and 60° degrees N daylengths: evidence for photoperiodic ecotypes. New Phytologist 120(4): 561-574.
- Omi SK, Eggleston KL. 1993. Photoperiod extension with two types of light sources: effects on growth and development of conifer species. Tree Planters' Notes 44(3): 105-112.
- Omi SK, Eggleston KL, Marshall JD, Wenny DL. 1993. Primary vs. secondary needle development in lodgepole pine: update on current investigations from Coeur d' Alene Nursery. In: Proceedings, 12th Annual Meeting of the Forest Nursery Association of British Columbia; 1992 September 12-October 1; Penticton, BC. Vernon: BC Ministry of Forests: 35-42.

- Owston PW, Kozlowski TT. 1981. Growth and cold hardiness of container-grown Douglas-fir, noble fir, and Sitka spruce seedlings in simulated greenhouse regimes. *Canadian Journal of Forest Research* 11: 465-474.
- O'Reilly C, Arnott JT, Owens JN. 1989. Effects of photoperiod and moisture availability on shoot growth, seedling morphology, and cuticle and epicuticular wax features of container-grown western hemlock seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 19: 122-131.
- Pawuk WH. 1982. The effects on growth of transplanting germinating seeds into containers. *Tree Planters' Notes* 33(1): 38-39.
- Pellett HM, Carter JV. 1981. Effect of nutritional factors on cold hardiness of plants. *Horticultural Reviews* 3: 144-171.
- Powell GR. 1982. A comparison of early shoot development of seedlings of some trees commonly raised in the Northeast of North America. In: *Proceedings, Northeastern Area Nurserymen's Conference, 1982 July 25-29; Halifax, NS. Truro, NS: Nova Scotia Department of Lands and Forests: 1-25.*
- Rikala R, Repo T. 1997. The effect of late summer fertilization on the frost hardening of second-year Scots pine seedlings. *New Forests* 14: 33-44.
- Rinne P, Hanninen H, Kaikuranta P, Jalonen JE, Repo T. 1997. Freezing exposure releases bud dormancy in *Betula pubescens* and *B. pendula*. *Plant, Cell and Environment* 20(9): 1199-1204.
- Rose R, Carlson WC, Morgan P. 1990. The target seedling concept. In: Rose R, Campbell SJ, Landis TD, eds. 1990. *Target seedling symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations; 1990 August 13-17; Roseburg, OR: Gen. Tech. Rep. RM-200. Ft. Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: 1-8.*
- Rosvall-Ahnebrink G. 1982. Practical application of dormancy induction techniques to greenhouse-grown conifers in Sweden. In: Scarratt JB, Glerum C, Plexman CA, eds. *Proceedings, Canadian Containerized Tree Seedling Symposium. COJFRC Symp. Proc. O-P-10. Sault Ste. Marie, ON: Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Centre: 163-170.*
- Russell K. 1990. Gray mold. In: Hamm PB, Campbell SJ, Hansen EM, eds. *Growing healthy seedlings: identification and management of pests in Northwest forest nurseries. Spec. Pub. 19. Corvallis, OR: Oregon State University, Forest Research Laboratory: 10-13.*
- Scarratt JB. 1991. Effect of early transplanting upon growth and development of spruce and pine seedlings in paperpot containers. *New Forests* 4(4): 247-259.
- Simpson DG. 1990. Frost hardiness, root growth capacity, and field performance relationships in interior spruce, lodgepole pine, Douglas-fir, and western hemlock seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 20(5): 566-572.
- Simpson DG, Macey DE. 1992. Development of physiological quality in interior spruce and lodgepole pine seedlings. In: Donnelly FP, Lussenburg HW, comp. *Proceedings of the 1991 Forest Nursery Association of British Columbia Meeting, Prince George, BC: 78-85.*
- Singh O, Sharma HP, Sharma SK. 1984. Effect of root clipping on the growth of transplanted spruce seedlings. *Journal of Tree Science* 3(1/2): 149-152.
- Sutherland JR. 1990. Fusarium root rot. In: Hamm PB, Campbell SJ, Hansen EM, eds. *Growing healthy seedlings: identification and management of pests in Northwest forest nurseries. Spec. Pub. 19. Corvallis, OR: Oregon State University, Forest Research Laboratory: 8-9.*

Tanaka Y, Timmis R. 1974. Effects of container density on growth and cold hardiness of Douglas- fir seedlings. In: Tinus RW, Stein WI, Balmer WE, eds. Proceedings, North American Containerized Forest Tree Symposium; 1974 August 26-29; Denver, CO. Pub. 68. Denver: Great Plains Agricultural Council 181186.

Templeton CWG, Odium KD, Colombo SJ. 1993. How to identify bud initiation and count needle primordia in first-year spruce seedlings. *Forestry Chronicle* 69(4): 431-437.

Thompson G. 1995. Nitrogen fertilization requirements of Douglas- fir container seedlings vary by seed source. *Tree Planters' Notes* 46(1): 15-18.

Tinus RW. 1974. Characteristics of seedlings with high survival potential. In: Tinus RW, Stein WI, Balmer WE, eds. Proceedings, North American Containerized Forest Tree Symposium. 1974 August 26-29; Denver, CO: Pub. 68. Denver: Great Plains Agricultural Council 276-282.

Timmer VR, Armstrong G, Miller BD. 1991. Steady-state nutrient preconditioning and early outplanting performance of containerized black spruce seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 21 : 585-594.

Timmis R, Worrall J. 1975. Environmental control of cold acclimation in Douglas- fir during germination, active growth, and rest. *Canadian Journal of Forest Research* 5: 464-477.

van den Driessche R. 1969. Influence of moisture supply, temperature, and light on frost-hardiness changes in Douglas- fir seedlings. *Canadian Journal of Botany* 47:1765-1772.

van Steenis E. 1993. Lodgepole pine culture: current trends in B.C. In: Proceedings, 12th Annual Meeting of the Forest Nursery Association of British Columbia; 1992 September 12-October 1; Penticton, BC. Vernon; BC Ministry of Forests: 93-96.

von Wuehlisch GV, Muhs HJ. 1991. Environmental influences on juvenile shoot growth in *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 6: 479-498.

Weiser CJ. 1970. Cold resistance and acclimation in woody plants. *HortScience* 5(5): 403-410.

Wenny DL, Dumroese RK. 1998. Personal communication. Moscow, ID: University of Idaho, College of Forestry, Wildlife, and Range Sciences.

Wood B. 1994. Conifer seedling grower guide. Smoky Lake, AB. Environmental Protection. 73 p.

Young E, Hanover JW. 1978. Effects of temperature, nutrient, and moisture stresses on dormancy of blue spruce seedlings under continuous light. *Forest Science* 24(4): 458-467.

Índice de nombre científicos

- Abies fraseri* 6, 19
Abies lasiocarpa 69, 90
Abies procera 64
Abies spp. 63, 75, 81, 97
Acacia spp. 72, 75
Acer circinatum 44, 45, 50, 78
Acer rubrum 78, 195
Acer saccharinum 73
Acer saccharum 73, 78
Acer spp. 64, 85, 98, 138
Aesculus spp. 63, 72
Alnus rubra 60, 74
Alnus spp. 45
Aralia spp. 141
Araucaria hunsteinii 73
Arctostaphylos spp. 76
Arctostaphylos nevadensis 76, 115
Artemisia spp. 20
Betula spp. 13, 72, 75
Carex pachystachya 45
Carex spp. 144
Carica papaya 140, 141
Carya ovata 44, 45, 49
Carya spp. 45, 63, 72
Castanea dentata 120
Castilleja spp. 20
Casuarina spp. 72
Ceanothus velutinus 78
Cercis canadensis 78, 84
Chamaecyparis nootkatensis 126, 130
Chamaecyparis thyoides 106
Chorea spp. 72
Citrus spp. 72, 143
Corpus nuttallii 121
Cowania stansburiana 147
Crataegus spp. 75, 85, 140
Dipterocarpus spp. 72
Eucalyptus grandis 60
Eucalyptus sideroxylon 128, 130
Eucalyptus spp. 72, 76, 97, 103
Fagus spp. 63, 72, 81
Fagus sylvatica 73, 83
Fraxinus americana 109
Fraxinus spp. 75
Gaultheria spp. 99
Gleditsia triacanthos 75, 78
Hardwickia binata 99
Hopea spp. 72
Juglans californica 97
Juglans nigra 60
Juglans spp. 63, 72
Juncus effusus 144
Juncus spp. 12, 144
Juniperus scopulorum 78, 84, 85, 86, 121, 131
Juniperus spp. 13, 17, 97
Juniperus virginiana 75, 178, 185, 186, 189, 190, 192, 193, 195
Purshia spp. 64
Purshia tridentata 44, 45, 51, 121
Quercus alba 74, 83
Quercus douglasii 53
Quercus falcata 73
Quercus macrocarpa 19
Quercus macrophylla 21
Quercus rubra 60, 73
Quercus spp. 63, 72, 75, 97, 138
Rhus diversiloba 4
Rhus spp. 99, 140, 141
Rhus trilobata 78
Ribes spp. 123, 128
Robinia psuedoacacia 60
Robinia spp. 63, 75
Rubus spp. 140
Salix scouleriana 121, 126, 128
Salix spp. 72, 73, 123, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 151
Scirpus spp. 76, 144
Sequoia sempervirens 146
Shorea robusta 73
Syringa spp. 146
Taxodium distichum 85
Thuja plicata 87, 168, 178
Tilia spp. 13, 75, 85
Tsuga heterophylla 90, 106, 161, 186, 193
Tsuga spp. 63
Ulmus Americana 123
Ulmus spp. 13



Esta publicación contó con la autorización y apoyo correspondiente del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.



COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

La edición e impresión de esta manual corrió a cargo de la Gerencia de Reforestación, de la Coordinación General de Conservación y Restauración de la CONAFOR

Tiraje: 00000 Ejemplares



Mayo 2013



COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

