



Fases de cultivo: Endurecimiento

René Escobar R.

INTRODUCCIÓN

La fase de endurecimiento es una etapa crucial del proceso de producción de plantas en vivero, pues es en ella en donde el viverista establece o induce los diferentes tipos de atributos que califican a las plantas y que deberán tener para vencer los diferentes factores limitantes en un sitio específico de plantación. Durante la permanencia de las plantas en el vivero en las dos primeras fases del cultivo, el manejo está enfocado a proporcionar las mejores condiciones para su establecimiento y crecimiento en altura; cuando se ha logrado entre un 80 a 90% de la altura final deseada, se inicia la fase de endurecimiento, la que a su vez, se puede dividir en varias etapas dependiendo del nivel o grado de endurecimiento que las plantas requieran. Para cumplir con esto, adecuadamente el viverista debe:

- Conocer el comportamiento del crecimiento de la o las especies que está cultivando en el vivero.
- Conocer el efecto de la interacción de las principales labores de manejo en la fisiología del crecimiento de las especies que cultiva.
- Identificar los principales factores limitantes que tendrán que vencer las plantas que se están preparando.
- Obtener, del plantador o forestador, información fidedigna de las principales condiciones edafoclimáticas del sitio a plantar, de la época y tipo de plantación que realizará.

Con la información indicada arriba, el viverista estará en condiciones de definir los atributos morfológicos, fisiológicos y del comportamiento, que deberán tener las plantas para asegurar una buena tasa de supervivencia y crecimiento inicial, en las diferentes áreas edafoclimáticas a las cuales estarán destinadas. Al respecto, mien-

tras más amplia sea la diversidad de clima y suelo que deba abastecer con plantas un vivero, generalmente más complejo y más caro será el manejo en esta fase de viverización de las plantas.

En la fase de endurecimiento se reconocen dos sub etapas. La primera de ellas se conoce como inducción de la dormancia o detención del crecimiento en altura. Ésta se inicia, como ya se mencionó, cuando las plantas han alcanzado entre un 80 y 90% de la altura final esperada. La segunda sub etapa es la de resistencia al estrés o de inducción de atributos del comportamiento. En ésta, las plantas se preparan para soportar el proceso de cosecha y toda la manipulación que ello implica: almacenaje, transporte, establecimiento e inicio del crecimiento en terreno (Landis et al. 1999). El endurecimiento de las plantas es una fase cuya intensidad de manejo está condicionada por la época o por las características climáticas de la época en la cual se vaya a realizar la plantación. Si la plantación se hace en verano, cuando las plantas aún están creciendo o en pleno crecimiento, sólo deben ser preparadas para soportar el transporte hasta el lugar de plantación y no requieren ser endurecidas. Si se planta a inicios del otoño se requiere un proceso de endurecimiento moderado en el cual basta con la inducción de la dormancia. Si se planta en invierno o inicios de primavera, las plantas requieren del proceso completo, porque deben tolerar las inclemencias del clima en el sitio de plantación y además, ser capaces de soportar almacenajes refrigerados o frigorizados, según corresponda. En este capítulo se analizarán los factores que tienen mayor influencia sobre las diferentes variables que califican a las plantas, las labores culturales o de manejo que afectan al proceso de endurecimiento y algunas de sus interacciones.

FACTORES AMBIENTALES Y DE MANEJO

En la Figura 1, se muestran los diferentes factores ambientales y de manejo que individualmente y a través de su interacción, influyen o determinan el proceso de endurecimiento. En viveros que producen plantas a cielo abierto, el viverista tiene mayor control sobre el contenido del agua así como también, sobre los niveles y relación entre nutrientes. Cuando se trabaja bajo condiciones de ambiente controlado se ejerce control, además, sobre la temperatura ambiental y la cantidad de horas luz del cultivo. El manejo de la interacción de estos factores será determinante en los diferentes tipos de atributos que logren las plantas al final del proceso de producción.

Estrés hídrico

Durante la fase de endurecimiento, el riego se restringe drásticamente y se somete a las plantas a un estrés sucesivo y creciente para inducir respuestas de tipo morfológico, fisiológico y del comportamiento, que les permitirán soportar diferentes tipos de estrés durante las etapas de cosecha, almacenaje, transporte y establecimiento definitivo en terreno.

Fotoperíodo

En la naturaleza, las plantas inician su receso vegetativo cuando las horas de luz a las que está expuesto su follaje disminuye. En vivero, la disminución natural o artificial de la cantidad de horas de luz es un factor importante en el inicio del proceso de endurecimiento. Acortamientos del fotoperíodo de 12 a 8 horas, entre otras manifestaciones, induce a una mayor lignificación en el tallo de las plantas y genera un aumento en el contenido de carbohidratos solubles totales en el follaje de éstas (Zapata 1999, Zapata et al. 2000).

Nutrientes

Durante la fase de pleno crecimiento el esquema de manejo de fertilización, es rico en nitrógeno y en los restantes elementos nutritivos involucrados en el desarrollo de los diferentes órganos de las plantas. Debido a la movilidad interna natural de los distintos elementos, en dicha fase del crecimiento, se busca o se debe tratar de llevarlas a niveles de "consumo de lujo" en el follaje. Durante la fase de endurecimiento por el contrario, se restringe la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva y como se analizará más adelante, se utilizará como un factor restrictivo del crecimiento primario de las plantas (Escobar 1998).



Figura 1. Factores ambientales y de manejo que interactúan en el proceso de endurecimiento de plantas en vivero.

Temperatura

La temperatura es un factor ambiental determinante en la regulación de procesos fisiológicos tales como la transpiración y respiración; ambos procesos están íntimamente ligados al crecimiento de las plantas. El manejo de la temperatura en vivero, en interacción con la velocidad del viento sobre el follaje y contenido de agua en las plantas, tendrá un efecto directo sobre la tasa de transpiración del cultivo. El manejo de la temperatura nocturna en un invernáculo permite que el viverista intervenga sobre el proceso de respiración de las plantas y por lo tanto, en la relación tasa de fotosíntesis - tasa de respiración, tan importante en el crecimiento y cantidad de reservas acumuladas (Escobar 1999, Escobar 2000).

COMPORTAMIENTO DEL CRECIMIENTO DE DISTINTOS ÓRGANOS DE LAS PLANTAS EN VIVERO

Uno de los aspectos importantes a tener en cuenta para manejar el proceso de endurecimiento de las plantas en el vivero es conocer, detalladamente, el comportamiento del crecimiento en altura, diámetro del cuello y sistema de raíces de la especie que se está cultivando. Este patrón de comportamiento siempre será el mismo en cualquier especie, las diferencias que puedan ocurrir entre viveros serán debido a distintas prácticas de manejo.

En la Figura 2 se muestra el comportamiento del crecimiento de la altura, diámetro del cuello y el crecimiento radical durante la permanencia de una planta en vivero (Landis et al. 1999). En ella, se observa que inicialmente se produce un crecimiento rápido de raíces, vital para la fase de establecimiento de las plantas y cuya tasa de incremento, decrece y permanece constante para volverse a incrementar al final del periodo de viverización o fase de endurecimiento. El crecimiento del tallo en altura, se inicia una vez que las plantas forman sus primeras hojas verdaderas; y a partir de ese momento, experimenta un incremento hasta lograr una tasa máxima que luego decrece gradualmente. En coníferas, el comportamiento del crecimiento del tallo en altura, tiene una relación muy estrecha con la concentración de los macroelementos en el follaje, aspecto que es fundamental para manejar, posteriormente, los equilibrios nutritivos en las plantas. Durante esta etapa del crecimiento, los niveles de N, P y K en el follaje son altos, los que decrecen producto de la translocación que experimentan a órganos de reserva (Escobar y González 1987, Escobar et al. 1984). Por otra parte, en el mismo órgano, al final del periodo de crecimiento suben los niveles de Ca y Mg. Respecto del crecimiento del diámetro del cuello, este es constante y creciente, logrando la máxima tasa de incremento después del periodo de máxima tasa de incremento del crecimiento en altura, lo que ocurre alrededor de la mitad del periodo de endurecimiento. Para cada tipo de crecimiento mencionado, el viverista dispone de herramientas de manejo para controlarlos (Escobar y González 1987).

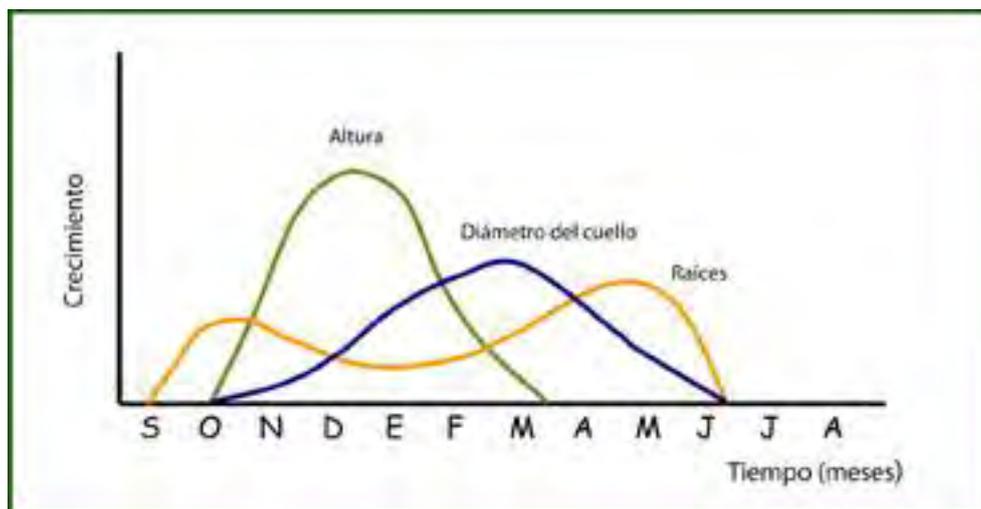


Figura 2. Crecimiento típico a lo largo del año de la altura, diámetro del cuello y raíces de plantas cultivadas en vivero (adaptado de Landis et al. 1999).

ETAPAS DEL PROCESO DE ENDURECIMIENTO

El proceso de endurecimiento tiene varias etapas secuenciales que van produciendo diferentes efectos en las plantas y, por lo tanto, distintos grados de endurecimiento. Al respecto, éste deberá ser más severo mientras mayores sean los factores limitantes del sitio a plantar y más severas las condiciones climáticas (Escobar 2004).

Inducción de atributos morfológicos

Detención del crecimiento en altura

Una vez que las plantas han alcanzado, en promedio, alrededor del 80 a 90% de la altura final deseada se inicia la primera etapa del proceso de endurecimiento, la que tiene como objetivo detener el crecimiento en altura. Como se trata de un proceso gradual, el viverista se debe dar un margen de seguridad que, dependiendo de la especie y del grado de endurecimiento requerido, puede oscilar entre un 20 a un 10% de la altura final programada. Para conseguir detener el crecimiento en altura, básicamente, se utilizan dos herramientas de manejo:

- Estrés hídrico sucesivo y creciente a las plantas.
- Disminución del contenido de nitrógeno en la dieta nutritiva.

A lo anterior, se pueden agregar el manejo de la época de siembra pero que, al momento de detener el crecimiento, es una medida menos eficiente.

Manejo del Estrés hídrico

Durante la fase de pleno crecimiento el cultivo se ha mantenido con alta cantidad de agua en el sustrato y en el interior de las plantas. En esta etapa, normalmente, el riego se repite cuando el sustrato ha perdido entre un 50 a un 75% del "agua aprovechable" en el contenedor, o cuando la planta ha alcanzado valores de potencial hídrico, en el tallo, de -0,8 a -1,0 MPa. En cambio durante la fase de endurecimiento, se debe buscar que la planta, gradualmente, soporte vivir bajo condiciones de menor disponibilidad de agua, tanto en el sustrato como en su interior. Para ello, de manera sucesiva y creciente, se va

disminuyendo su cantidad en el sustrato y se va incrementando el grado de estrés hídrico en su interior (Copman et al. 2008). Las diferentes especies tienen distintas capacidades de soportar la falta de agua, por lo que cada viverista debe manejar o conocer la máxima tolerancia al estrés hídrico que tienen las diferentes especies que cultiva. Este valor máximo de potencial hídrico (valor negativo) está referido a la cantidad mínima de agua en el tallo con que las plantas de una especie determinada, puedan vivir sin que sufran daños irreversibles o afecten a su comportamiento en terreno. Una manera práctica de conocer este punto o estado de la planta, es la siguiente:

- Se toman 2 a 3 bandejas con plantas.
- Se las riega hasta goteo o hasta saturación.
- Después de 2 a 3 horas, se les toma el peso (Peso 1).
- Se dejan al ambiente hasta que las plantas muestren primeros signos de marchitez.
- Se les pesa nuevamente (Peso 2).
- La diferencia entre Peso 1 y 2 es el "agua aprovechable", que se ha evapotranspirado en el tiempo transcurrido.
- Para riego rutinario la bandeja nunca más debe llegar nuevamente a ese peso.
- Para endurecimiento, es el punto para iniciar las tres primeras semanas de estrés.

Para manejar el nivel de estrés a través de la evaluación del potencial hídrico (Figura 3), se determinan valores de potencial, en la planta, a los cuales se volverá a aplicar un riego, el que siempre debe ser a capacidad de contenedor. Por ejemplo, en pino radiata (*Pinus radiata*) el endurecimiento es exitoso cuando se utiliza el siguiente esquema:

- 1ª a 3ª semana de iniciado el proceso, repetir riego cuando el potencial baja a -1,3 MPa
- 4ª a 6ª semana repetir riego a -1,8 MPa
- 7ª a 8ª semana repetir riego a -2,0 MPa

Posteriormente, los riegos se repiten cuando las plantas logran valores de potencial hídrico que oscilan entre -2,0 y -2,3 MPa. Utilizando el mismo criterio de evaluación, se ha determinado para eucalipto blanco o medicinal (*Eucalyptus globulus*) que contenidos de agua menores a -1,3 MPa afectan, negativamente, su tolerancia al frío.



Figura 3. Porción de tallo en la cámara Schölander para determinación del potencial hídrico de la planta.

Cuando no se dispone de equipos especializados para determinar el agua en las plantas, un buen método para inducir estrés hídrico controlado es a través del control del peso de las bandejas, como se explicó anteriormente. Para ello, se pueden utilizar balanzas de plataforma (Figura 4) o básculas de las cuales se cuelga la bandeja (dinamómetros). Esta última resulta ser más cómoda ya que permite el desplazamiento del operario a través de las diferentes partes del vivero en las que estén ubicadas las bandejas de control. Algunos viveristas construyen estructuras similares a arneses con las que cuelgan a las bandejas desde el dinamómetro. Por ejemplo, en contenedores de 130 cc y 16 cm de profundidad, durante el proceso de endurecimiento el riego se repite:

- en las tres primeras semanas, cada vez que se ha perdido el 100% del “agua aprovechable”.
- entre la cuarta y sexta semana, después de 24 a 48 horas desde que se ha perdido el 100% del “agua aprovechable”.
- entre la sexta y octava semana, se repite después de 72 a 96 horas en que se ha perdido el 100% de “agua aprovechable”.

Posteriormente, los riegos se repiten cada 5 y 7 días luego de haberse agotado el 100% del “agua aprovechable” en el contenedor. La cantidad de días que transcurren entre riegos varía con relación al volumen y profundidad del contenedor; las condiciones ambientales del vivero y la especie. Contenedores de menor volumen y profun-

didad pierden el agua más rápido, por lo que requieren mayor periodicidad de riego. Viveros con mayores tasas de evapotranspiración logran antes las bajas condiciones de humedad del sustrato, que aquellos con baja tasa de pérdida de agua en el sustrato y plantas. Las distintas especies tienen diferentes eficiencias a la absorción y aprovechamiento del agua. Por ejemplo, el eucalipto blanco o medicinal consume más rápidamente el agua, en un contenedor de igual volumen y longitud, que el pino radiata, pero esta especie es más eficiente en la absorción de nutrientes con menor cantidad de agua en el sustrato que la primera.



Figura 4. Balanza de plataforma para la determinación del contenido de humedad de las plantas cultivadas en bandejas.

Incremento del crecimiento en diámetro

Como ya se planteó en el capítulo acerca de los atributos morfológicos relacionados con la calidad de los plantines, el diámetro del cuello es el atributo que mejor correlaciona con la supervivencia y el crecimiento inicial en el terreno. El crecimiento de las plantas en vivero es máximo una vez que ha terminado el incremento del crecimiento en altura (Figura 2). En orden de importancia, el viverista, para manejar el diámetro del cuello, debe considerar la profundidad y el volumen del contenedor, la fertilización, el riego y la época de siembra. A los cinco factores anteriores, en especies de rápido crecimiento, se debe agregar el manejo del tallo, que incluye dos labores: poda del tallo y poda de ramas laterales.

Profundidad del contenedor

González (1996), en un estudio en el cual probó nueve contenedores de diferentes profundidades para el cultivo de eucalipto blanco o medicinal demuestra, de manera consistente, que la profundidad del contenedor tiene una fuerte incidencia en el crecimiento en diámetro del cuello de las plantas. Viel (1997) obtuvo resultados similares trabajando con pino radiata. En líneas generales, mientras más profundo es el contenedor, mayor es el crecimiento en diámetro del cuello de las plantas.

Volumen del contenedor

El volumen del contenedor tiene una relación directa con el crecimiento del diámetro del cuello de las plantas en vivero. Mientras mayor es el volumen del contenedor, mayor es el crecimiento en diámetro del cuello, habiéndose llegado a determinar coeficientes de correlación de 0,92 (González 1996).

Fertilización

El nivel y frecuencia de aplicación de la fertilización en vivero afecta al crecimiento en diámetro de las plantas. A mayores dosis de N y P en el fertirriego, mayor es el crecimiento en diámetro del cuello (Monsalve et al. 2009).

Riego

Cuando la cantidad de agua aplicada en el riego es la adecuada, el crecimiento en diámetro es mayor. Esto sucede cuando la humedad del sustrato se mantiene de manera tal que la planta no entre en estrés pero tampoco soporte niveles de saturación. Al respecto, las especies y condiciones de cultivo (cielo abierto o invernáculo) son determinantes para decidir como manejar el riego (Pinto 1999). Respecto a las especies, éstas presentan diferentes eficiencias a la absorción de nutrientes según la condición de humedad del sustrato. Respecto al ambiente, en el cultivo a cielo abierto hay mayor tasa de evapotranspiración que en invernáculos, donde no se regula la velocidad del viento en su interior (Donoso 1999).

Época de siembra o edad

Plantas de una misma especie, sembradas temprano en

la temporada de viverización, logran mayores diámetros del cuello que aquellas que se siembran a mediados o fines de la temporada de siembra (Lema 1987).

Densidad de cultivo

En producción de plantas a raíz desnuda, la densidad del cultivo en vivero es inversamente proporcional al crecimiento en diámetro del cuello; numerosos son los estudios que demuestran que a menor densidad de cultivo las plantas logran un mayor diámetro del cuello. Sin embargo, en plantas producidas en contenedores, varios estudios muestran que la distancia entre plantas no afecta al diámetro del cuello. González (1996), en un estudio con eucalipto blanco o medicinal, utilizó nueve espaciamientos diferentes entre plantas cuyos rangos extremos estaban entre 3,7 y 6,7 cm. Al término del estudio, concluyó que la distancia entre plantas no había afectado al diámetro del cuello, mostrando con ello, que existen otros aspectos relacionados con los contenedores y con el manejo en vivero que afectan más al comportamiento de esta variable.

Manejo del tallo

El manejo del tallo es una labor cultural ampliamente utilizada en la producción de plantas de rápido crecimiento. La fundamentación fisiológica de su empleo está basada en generar, de manera artificial, un desorden hormonal en las plantas lo mismo que con el manejo radical. Las plantas, en forma natural para mantener un crecimiento armónico, tienen una cantidad de auxinas que están en perfecto equilibrio en su interior. Las zonas de mayor concentración son el ápice caulinar y el radicular. Si se corta o elimina uno de estos, la planta reacciona redistribuyendo las auxinas remanentes para lograr nuevamente el equilibrio en su interior. Durante la translocación, la planta manifiesta una serie de cambios físicos y bioquímicos que contribuyen al proceso de endurecimiento. Por ejemplo, en latifoliadas desaparecen los estomas del haz y disminuyen su número en el envés, aparecen ramas laterales y las hojas, gradualmente, se van poniendo más coriáceas (Figura 5). En las coníferas, crece el follaje secundario y desaparecen los braquiblastos. Tanto en una clase como en la otra aumenta significativamente el diámetro (Escobar 1994).



Figura 5. Secuencia del cambio de textura que se produce en la hoja de plantas de eucalipto medicinal (*Eucalyptus globulus*) durante el proceso de endurecimiento.

La poda del tallo consiste en cortar el mismo a la longitud final esperada. Para esto, durante el proceso de pleno crecimiento es conveniente estimular el crecimiento en altura hasta un 50% por encima de la altura final deseada. La poda del tallo trae consigo un aumento del área foliar debido a la proliferación de ramas laterales lo que, normalmente, provoca problemas de falta de luz en la base del tallo, produciendo una clorosis en las hojas basales. Esto se puede solucionar podando las ramas laterales. En latifoliadas, las ramas laterales se deben eliminar cuando las hojas basales comienzan a cambiar de color, esto producirá un aumento significativo en el crecimiento en diámetro del cuello.

Incremento del crecimiento radical

El sistema radical es la variable morfológica cuyo crecimiento culmina más tarde en el proceso de viverización (Figura 2) debido a que ocurre después que las plantas inician el proceso de translocación de solutos, desde el follaje hacia el tallo y las raíces. Una vez que culmina el crecimiento en altura, los niveles de nitrógeno disminuyen en el follaje y aumentan en el tallo y las raíces (Escobar y González 1987, González et al. 1988). Para mejorar el crecimiento y volumen radical, el viverista dispone de las siguientes herramientas que puede utilizar durante el manejo de plantas en vivero:

Profundidad del contenedor

Es una de las características que mayor influencia tiene sobre el volumen y la biomasa radical. Cuanto mayor sea

la profundidad del contenedor mayor será la biomasa radical y mejor preparada estará la planta para ser utilizada en zonas áridas (González 1996, Salgado 1995).

Porosidad de aireación

La falta de aireación afecta negativamente el crecimiento de las raíces finas (Coopman 2001, Viel 1997). Esto puede ocurrir cuando el riego es excesivo, cuando el tamaño de partículas del sustrato es muy pequeño o cuando la capacidad de retención de agua de alguno de sus componentes es muy alta.

Poda química

En la actualidad, prácticamente todos los contenedores en su interior poseen estrías en el sentido longitudinal. El objetivo de éstas es guiar al sistema radical hacia el fondo, evitando el espiralamiento, fenómeno típico de los contenedores de paredes lisas. Sin embargo, esta estructura de diseño no es suficiente para obtener un buen sistema radical. Un sistema será, anatómicamente, de mayor calidad cuanto más fibroso sea; es decir cuanto más raíces finas, menores a 1 mm de diámetro tenga, y éstas salgan desde una raíz principal claramente diferenciada. Es normal observar que las raíces laterales de plantas, cultivadas en contenedores de plástico, crezcan pegadas a sus paredes, generando lo que se conoce como "efecto sauce" u "hombreras" (Figura 6). Estas plantas, cuando son llevadas a terreno con estrés hídrico estival, tienen problemas de supervivencia y, en suelos expuestos al viento, presentan problemas de estabilidad en plantación. Por otra parte, cuando el contenedor está

fabricado con espuma de poliestireno expandido, el sistema radical de varias especies, tiende a entrecruzarse en las cavidades, generando serios problemas para su cosecha o extracción. Los problemas anteriores se resuelven pintando las paredes internas de los contenedores con cobre mezclado con látex acrílico. El cobre, adherido a las paredes del contenedor, inhibe el crecimiento de los extremos de las raíces que entran en contacto con el mismo, lo cual genera un sistema radical secundario que sale desde un eje central (Figura 6). Las diferentes especies requieren distintas concentraciones de Cu para lograr una buena poda, por lo que es recomendable probar diferentes dosis del elemento en la mezcla. La poda química, en algunas especies, afecta positivamente el diámetro del cuello, la biomasa del tallo y el área foliar, pero en todos los casos mejora la estructura del sistema radical y el comportamiento de las plantas en terreno (Quilodrán 1998). Una buena mezcla para inducir la poda química en contenedores se puede lograr con la siguiente proporción de componentes:

- 8 kg de Sulfato de Cu u Oxicloruro de Cu
- 19 litros de látex acrílico
- 75 litros de agua.



Figura 6. Cepellón (A) y sistema radical (B) de una planta de pino cultivada sin poda química mostrando el efecto sauce u hombreras. Cepellón (C) y sistema radical (D) de una planta de pino cultivada con poda química.

Manejo de la luminosidad

En muchos viveros ubicados en zonas de alta luminosidad se utilizan sombras sobre el cultivo para disminuir la temperatura del sustrato o impedir la radiación directa sobre el follaje de las plantas. Para ello, normalmente, se

utilizan mallas plásticas de diferentes grados de interceptación de la luminosidad que oscilan entre un 50 y 80%. En algunos casos se las utiliza sólo durante la fase de establecimiento, en otros hasta el término de la fase de pleno crecimiento y a veces durante todas las fases de desarrollo. En un estudio realizado por Escobar y Espinosa (1988) con pino radiata y eucalipto blanco o medicinal, se determinó que bastaba una semana de exposición del cultivo a la sombra, con 50% de interceptación de la luz, para afectar negativamente a todos los atributos morfológicos de las plantas de ambas especies, especialmente el sistema radical. En general, las especies intolerantes colonizadoras son más sensibles a esta labor de manejo, que aquellas más tolerantes que aparecen más tarde en la sucesión vegetal.

Estimuladores de crecimiento radical

Generalmente en cultivos realizados bajo sombra, siembras tardías o que han soportado agua en exceso, las plantas tienen problemas para formar un buen cepellón. El problema, en algunos casos, se puede resolver utilizando estimuladores de crecimiento radical.

Resistencia a la flexión

Para determinar empíricamente si las plantas están endurecidas, los viveristas y forestadores al término del periodo de viverización, suelen caminar por el costado de un mesón con plantas y pasar la palma de su mano sobre el tercio superior del tallo. Si las plantas, después de flectadas, vuelven rápidamente a su posición original, se consideran debidamente endurecidas. El concepto se basa sobre el hecho de que mientras más resistente sea una planta a la flexión, mayor resistencia tendrá al estrés hídrico y al frío. En plantas a raíz cubierta, se busca que cuando sean sacadas del contenedor y tomadas del tercio superior del tallo, no se flecten (Figura 7). Cisternas (2005) en un primer intento por cuantificar el grado de rigidez de las plantas, calculó la resistencia a la flexión de éstas a través del momento flector o de resistencia (MF) y del módulo de elasticidad o rigidez (MOE). Además, diseñó un prototipo para ser utilizado en vivero y calcular la resistencia a la flexión a través del momento flector o de resistencia.



Figura 7. Planta de eucalipto medicinal (*Eucalyptus globulus*) producida en un contenedor de 130 cc, con el tallo endurecido y resistente a la flexión.

Inducción de dormancia de yemas

Algunas especies de coníferas y de latifoliadas de hoja ancha, por ejemplo el pino radiata, el pino muricata (*Pinus muricata*), el eucalipto blanco, el eucalipto nitens (*Eucalyptus nitens*) y el quillay (*Quillaja saponaria*), no forman yemas terminales, acumulando sus reservas de crecimiento en su sistema radical y a nivel del cuello, en órganos denominados lignotubérculos. Además estas especies normalmente tienen un periodo de dormancia muy corto de seis a ocho semanas. Sin embargo la mayoría de las especies que crecen naturalmente en climas templados - fríos y fríos, acumulan una buena parte de sus reservas, y por lo tanto el futuro potencial de crecimiento inicial del tallo o crecimiento preformado, en las yemas terminales y laterales del tallo. Las coníferas generalmente acumulan sus reservas en las yemas del ápice caulinar y las latifoliadas en las yemas ubicadas en las axilas de las hojas (Figura 8). Las yemas terminales de una conífera serán de mejor calidad mientras mayor sea el tamaño de éstas. Para lograr una buena acumulación de reservas en las yemas, se requiere que la planta disponga de las mejores condiciones posibles para realizar fotosíntesis; por ello es bueno realizar siembras tempranas y no estresar hídrica ni nutricionalmente a las plantas durante la fase de pleno crecimiento. Una vez iniciado el proceso de endurecimiento, se deben evitar fertilizaciones nitrogenadas tardías y condiciones ambientales que desendurezcan a las plantas, tales como aumentos del fotoperíodo, riegos excesivos y aumento de la temperatura ambiente. También es importante cuidar que las plantas logren acumular una cantidad de horas de frío

suficientes para entrar en reposo (para mayor detalle ver el capítulo sobre Extracción y manejo Post-cosecha). Durante la fase de endurecimiento, en producciones bajo ambiente controlado, manejando la temperatura nocturna, se puede manipular el equilibrio entre la tasa de fotosíntesis neta y la tasa de respiración, tratando de que sea mayor la primera.



Figura 8. A) Yemas laterales y yema principal de coihue de Chiloé (*Nothofagus nitida*) conteniendo las reservas de crecimiento por haberse formado durante la fase de endurecimiento. B) Yemas laterales y terminales ya brotadas.

Inducción de atributos fisiológicos

Niveles nutricionales

El estatus nutricional es uno de los atributos fisiológicos más utilizados en el proceso de evaluación de calidad de plantas en vivero. Éste está referido al nivel de los diferentes nutrientes esenciales que las plantas absorben desde el medio de crecimiento y que almacenan en sus diferentes órganos. El tejido más utilizado para la determinación del estado nutricional es el follaje porque es el muestreo menos invasor, se puede repetir en el tiempo

en una misma población de plantas y es el más fácil de recolectar. También se puede determinar el nivel nutricional en ápices, tallos y raíces. La muestra para el análisis debe ser representativa de la respectiva población para lo que debiera estar conformada de varias sub muestras. Dependiendo del laboratorio, se requieren entre 40 y 100 g de materia verde para determinar los 13 elementos esenciales. La muestra siempre debe ser sometida al mismo proceso de manipulación e, idealmente, ser analizada en un mismo laboratorio. El laboratorio brinda los resultados en términos de porcentaje de materia seca para los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S), y en partes por millón para los micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Zn, B, Mo, y Cl). Los niveles nutricionales del follaje sirven para:

- Conocer el estatus o nivel nutricional.
- Determinar como evolucionan los distintos elementos a través del proceso de viverización y precisar los esquemas de fertilización a utilizar.
- Corregir eventuales problemas de carencia o exceso de alguno de los elementos.
- Precisar la relación entre los diferentes elementos.

Es importante tener presente que el mejor momento para obtener muestras de tejido para la determinación de nutrientes, es cuando la mayor cantidad de elementos se encuentran en la concentración más alta. Debido a la función que cumplen los distintos elementos minerales en las plantas, estos se movilizan entre sus diferentes órganos en el tiempo y una fecha de muestreo inadecuada puede inducir a error a la persona que está interpretando el análisis (Tabla 1). Para evaluar los niveles nutricionales en el vivero, se debe hacer el análisis al término de la fase de endurecimiento y esos valores son los que el viverista debe informar al forestador. Este, a su vez, debe entender que los análisis posteriores entregarán, seguramente, resultados distintos por la movilidad de los nutrientes en las plantas. Respecto de plantaciones nuevas, la mejor época para la determinación de nutrientes en los tejidos, es a fines del periodo de crecimiento.

Tabla 1. Porcentaje de los principales macronutrientes en el follaje de plantas de eucalipto medicinal (*Eucalyptus globulus*) durante su cultivo en envase, en Chile.

Elemento	Época de muestreo			
	Febrero	Marzo	Abril	Septiembre
N	3,5	2,2	2	1,2
P	2,2	0,18	1,6	0,14
K	1,6	1,4	1,5	1,1
Ca	0,3	0,4	0,5	0,61
Mg	0,25	0,3	0,35	0,41

En la literatura existen muchas tablas que proporcionan valores de referencia para determinar si algún elemento se encuentra en niveles adecuados. Generalmente entregan, para un mismo elemento, un valor inferior y uno superior y, algunas, además entregan valores deficitarios y de consumo de lujo. Antes de utilizar los valores de una tabla para evaluar el estatus nutricional de una muestra, es necesario saber si ésta fue confeccionada para plantas de vivero, para plantaciones menores a cinco años o para plantaciones en estado de latizal o adultas, ya que todos los niveles y los criterios para establecer los rangos o valores de referencia son distintos. Si las tablas son para plantines de vivero, es necesario saber si se confeccionó para plantas producidas a raíz desnuda o en envase y además para qué especie. Es probable que los niveles nutricionales que se estimen adecuados para coníferas del norte de la Argentina sean diferentes, para algunos elementos, a los de la Patagonia, América del Norte u Oceanía, por lo tanto es conveniente hacer estudios específicos.

La herramienta de manejo para proporcionar un nivel adecuado de nutrientes a las plantas producidas en envases en vivero es la fertilización. A través de ella, en las distintas fases de viverización, se aplican diferentes dietas nutritivas las que van proporcionando los distintos elementos esenciales a las plantas. Durante la fase de establecimiento, la fertilización es rica en P, por su efecto estimulante en el desarrollo radicular, y pobre o nula en N, por su efecto inhibitor del proceso de germinación de semillas de muchas especies. En la fase de pleno crecimiento, la dieta es rica en N y completa en cuanto a elementos aplicados. Generalmente se aplican dos tipos de dietas, una contiene N, P, K y S y la otra Ca, Mg y macro-

nutrientes. En la primera, se puede utilizar una relación 3: 2: 1 o 3: 2: 3 de N, P, K; ambas funcionan bien respecto del crecimiento, pero la segunda es más eficiente en la inducción de la tolerancia al frío y el potencial de crecimiento radical. Normalmente, el P no se mezcla con Ca y Mg porque precipita.

Respecto de la forma de aplicación, se suelen utilizar dos modalidades. Una consiste en aplicar una concentración media de N (100 – 200 ppm) con alta frecuencia (3 a 4 veces/semana) y la otra, implica aplicar concentraciones crecientes (50 – 100 – 150 – 200 y más ppm), según la biomasa alcanzada por las plantas, y con menor frecuencia (1 a 2 veces/semana). Si bien es cierto que ambas logran el objetivo, la primera modalidad utiliza más agua y para algunas especies es menos eficaz.

Al final de la fase de pleno crecimiento, los nutrientes deben estar en niveles de consumo de lujo o al menos, en el rango superior de la tabla de referencia. Esto es porque el contenido de algunos de ellos bajará en forma natural con el tiempo, tendencia que se intensificará con labores de manejo, tales como poda de las raíces, detención del crecimiento en altura y manejo del tallo, entre otras (Escobar y González 1987). Durante las últimas cuatro semanas de la fase de pleno crecimiento, se deben realizar análisis fitoquímicos periódicos y subir o bajar en la dieta nutritiva aquellos elementos que estén por debajo o sobre los valores de referencia. Durante este periodo, se sugiere el empleo de sales con no más de dos elementos para preparar la dieta y evitar utilizar mezclas comerciales completas, sobre todo cuando se debe bajar alguno de los nutrientes en la dieta. Para evitar deficiencias o problemas de consumo de lujo, se debe conocer muy bien el requerimiento de agua o el punto de humedad del contenedor en el cual la especie cultivada logra la máxima tasa de absorción y en el que pierde eficiencia. Esto es propio de cada especie y por ello la necesidad de que, en cada caso, el viverista conozca el efecto de la interacción riego- fertilización.

Equilibrios nutritivos

Aunque hasta ahora es un criterio poco utilizado, se estima que el equilibrio nutritivo cada vez adquirirá mayor relevancia en la evaluación de calidad de plantas, ya que resuelve un problema que no es explicado por

la simple lectura e interpretación de los niveles nutricionales que brinda el análisis de laboratorio. El laboratorio entrega un valor numérico y el que lo interpreta, dice si está, o no, en el rango establecido en una tabla de referencia. Si el valor es inferior al valor mínimo del rango, se estima que el elemento es deficitario y, por el contrario, si está por arriba del valor máximo, el elemento en cuestión se considera en consumo de lujo. Sabido es que, para una misma especie, la demanda de determinados elementos es diferente según el objetivo que se persiga con ella. Por ejemplo, una planta de pino radiata, destinada a producir madera, requiere de diferentes contenidos de nitrógeno y otros elementos en el follaje, para lograr una mayor tasa de crecimiento en altura, que para incrementar la fructificación en un huerto semillero. Una planta de eucalipto blanco o medicinal en vivero, con diferentes relaciones entre el peso atómico del nitrógeno y el potasio, puede tener mejor o peor tolerancia al frío y diferencias importantes en su capacidad para emitir nuevas raíces (Escobar 2007).

En la Figura 9, se muestran bandejas con plantas de eucalipto blanco o medicinal que estuvieron expuestas a una helada de -9,4 °C. Solo el 2% de las plantas de la bandeja A sufrió daño por frío en el follaje, mientras que en la bandeja B el daño fue del 42%. Cuando se comparó el potencial de crecimiento radical de ambas bandejas, se observó que las de la bandeja A produjeron 55 raíces nuevas y las de la bandeja B, 24. En ambos casos, según el análisis foliar, las plantas se encontraban en rangos normales de nutrición para la especie, sin embargo, las de la bandeja A tenían niveles más altos de potasio. La relación sobre la base del peso atómico entre este elemento y el nitrógeno, era 74:26 para la bandeja A y de 87:13 para la bandeja B. También se entregan las diferencias para la relación N:P:K y N:P:K:Ca:Mg. Los viveristas que utilizan esta herramienta de evaluación de sus plantas están más preocupados de nutrirlas bien que de fertilizarlas. El concepto anterior es el que refrenda por qué existen diferencias entre especies y entre viveros que producen una misma especie pero para diferentes áreas edafoclimáticas.



Figura 9. Plantas de eucalipto medicinal (*Eucalyptus globulus*) luego de ser expuestas a una helada de -9.4 °C. A) Sin daño por tener en el follaje más de un 20% de potasio. B) Dañadas por el frío por tener menos del 20% de potasio.

Para lograr un equilibrio nutritivo adecuado, es indispensable realizar análisis foliares a fines de la fase de pleno crecimiento y, desde ese momento, hacer fertilizaciones tendientes a subir o bajar determinados elementos para que al término de la fase de pleno crecimiento, las plantas alcancen lo que se denomina óptimo provisional experimental (OPE). Este es el nivel que da una relación (entre elementos) que tiene una alta correlación con algún atributo importante, tal como el diámetro, la altura, etc. Para ello, es importante que cada viverista sea capaz de preparar sus propias mezclas de fertilizantes, determinar las relaciones porcentuales sobre la base del peso atómico de los elementos, interpretarlos y conocer el OPE en función de la variable con la que se han establecido las relaciones binarias o terciarias entre los diferentes elementos. Para determinar las relaciones binarias base peso atómico, éstas se deben expresar en unidades equivalentes por lo que se transforman los valores porcentuales, o las ppm de cada nutriente, en átomo miligramos (Sánchez 1991).

Macronutrientes: átomo miligramo de X = (% de X * 1000) / PA de X

Micronutrientes: átomo miligramo de X = (ppm de X * 0,1) / PA de X

Donde:

X = Elemento analizado

%X = Porcentaje en follaje de macro elemento X

ppmX = Partes por millón del micro elemento X

PA X = peso atómico del elemento X

Por ejemplo si en el análisis foliar el valor de N es 2,0% y el de K es 1,42% y los pesos atómicos son 14,0 y 39,1, respectivamente, la relación N: K es la siguiente:

$$\begin{matrix} \text{N} & : & \text{K} \\ 79,7\% & : & 20,3\% \end{matrix}$$

Cuando en eucalipto blanco o medicinal el potasio es inferior a 20% la planta es sensible al frío y tiene menor potencial de crecimiento radical.

Carbohidratos solubles totales (CST)

Los carbohidratos constituyen la principal fuente de reservas de energía de las plantas que se producen en un vivero. Ellos se almacenan cuando la tasa de producción fotosintética, o fotosintato, es mayor que la tasa de uso de los mismos. Sabido es que las plantas leñosas almacenan reservas en forma de almidón y sacarosa, también

en la forma de hemicelulosa, proteínas y grasas. Los carbohidratos solubles totales son aquellos que son acumulados y fácilmente translocados a otras partes de la planta para su metabolismo. Entre ellos se distinguen a la glucosa, sacarosa, fructuosa, rafinosa y el polisacárido almidón (Jayawickrama et al. 1992). Se considera que existe correlación entre incrementos de los niveles de ciertos carbohidratos y el endurecimiento de las plantas a bajas temperaturas, lo cual puede estar vinculado también a una acumulación de aminoácidos, ácidos orgánicos, proteínas y lípidos. La reducción del fotoperíodo también produce un incremento en el contenido de carbohidratos. Al respecto, se ha determinado un promedio de 7,3 mg/gpf (miligramos/gramos de peso fresco) y 12,1 mg/gpf, para pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y abeto rojo (*Picea abies*) sometidos a diferentes niveles de fotoperíodo (Aronsson et al. 1976). En eucalipto blanco o medicinal se obtienen, en promedio, valores de 34,9 mg/mpf con manejo del fotoperíodo durante 15 días (Zapata 1999).

Los contenidos de carbohidratos acumulados en raíces y tallos durante el proceso de endurecimiento constituyen un recurso vital para el posterior establecimiento y crecimiento de las plantas. Las reservas acumuladas en vivero tienen un papel fundamental en el establecimiento post trasplante, ya que hasta que la planta logra establecerse en terreno, ésta vive a expensas de sus reservas. Por otra parte, en condiciones críticas de plantación en las cuales la tasa fotosintética se encuentra reducida, es cuando las reservas determinan la capacidad de superar la fase de enraizamiento, ya que si se consumen antes de reiniciar su actividad fisiológica la planta muere. Debido a esto la concentración de almidón y azúcares solubles generalmente son tomadas en cuenta para evaluar la calidad de una partida o lote de plantas del vivero.

Para evitar pérdidas de carbohidratos, las plantas se deben sembrar temprano y no estresarlas nutricional ni hídricamente durante la fase de pleno crecimiento. El vivero debe estar expuesto la mayor cantidad de tiempo a la máxima luminosidad del lugar; si las horas luz fotosintéticamente activas son pocas, se debe aumentar el fotoperíodo artificialmente. Si se trabaja con ambiente controlado se debe tratar de inhibir alguno de los factores ambientales que regulan el proceso de respiración; normalmente en invernáculo, se estila bajar la temperatura nocturna. Dado que el proceso de almacenaje disminuye la concentración de carbohidratos en los distintos órga-

nos de las plantas, se debe cuidar que éste sea lo estrictamente necesario y realizarlo cuando las plantas hayan logrado acumular la cantidad de horas de frío necesarias para el tipo de almacenaje a que serán expuestas (Escobar A.1999 y 2005).

Potencial hídrico

El contenido de agua o estado hídrico en las plantas ha sido reconocido empíricamente desde hace siglos, distinguiendo simplemente una planta marchita de otra no marchita. La marchitez es un signo visible en plantas que han estado expuestas a condiciones de estrés hídrico acentuado. Sabido es que la falta de agua en los tejidos de una planta provoca una serie de alteraciones en distintos procesos fisiológicos, tales como cierre de estomas, reducción de la tasa de fotosíntesis y aumento de la sensibilidad al daño por frío. También se puede alterar el proceso de transpiración y translocación de solutos, se interrumpe el metabolismo de carbohidratos y proteínas y aumenta la susceptibilidad al ataque de insectos y patógenos.

En resumen, casi todos los aspectos relacionados con el crecimiento de las plantas son afectados por la carencia de agua. Mientras la planta permanece en el vivero puede estar sometida a un estrés hídrico porque el esquema de riego así lo determina durante el proceso de endurecimiento, pero jamás, debería sufrir estrés por otras razones. En forma natural el contenido de agua de las plantas es variable durante el día, siendo alrededor del medio día hasta la media tarde el momento con menor contenido.

Inducción de atributos del comportamiento en terreno

La experiencia demuestra que plantas producidas en un mismo vivero, pero cosechadas en distinta época, suelen presentar diferencias importantes de comportamiento en terreno. También se ha observado que plantas con iguales atributos morfológicos (altura y diámetro del cuello), y fisiológicos, establecidas en terreno en igual fecha, pueden comportarse de distinta manera en distintos diferentes. Esto es una clara evidencia que la forma y estado fisiológico de las plantas, por sí solos, no explican el

comportamiento de las mismas. Lo anterior, ha llevado a diferentes investigadores en el mundo a desarrollar otros criterios y metodologías que complementen a los anteriores para evaluar la calidad de las plantas. Entre estos están los atributos del comportamiento, que predicen como se comportará, bajo determinadas condiciones ambientales, una partida de plantas. Entre ellos se pueden mencionar el potencial de crecimiento radical (PCR), la tolerancia al frío y la tolerancia al estrés hídrico, entre otros. Los atributos del comportamiento, al igual que cualquiera de los otros, pueden ser modificados durante la fase de endurecimiento en vivero.

Potencial de crecimiento radical

El potencial de crecimiento radical es la capacidad que tiene un sistema radical para producir raíces nuevas después de ser extraída de su lugar de cultivo y plantada nuevamente en un lugar con condiciones óptimas para el crecimiento. El potencial de crecimiento radical es considerado uno de los métodos más confiables para evaluar la viabilidad y vigor de una partida de plantas. Su principal inconveniente como método de evaluación es la prolongada duración del análisis que requiere de 28 a 30 días (Ritchie y Tanaka 1990). Existen diferentes métodos para determinar el potencial de crecimiento, aunque probablemente el más utilizado es el de cámaras aeropónicas debido a que permite un muy buen control de la temperatura y la disponibilidad de agua (Figura 10). El potencial de crecimiento radical está altamente correlacionado con la tasa de supervivencia y crecimiento de las plantas llevadas a campo (Decarli 1999). Se caracteriza por ser cambiante en el tiempo, debido a la importancia que en ella tiene la cantidad de horas de frío acumuladas por las plantas (Bustos 1999, Escobar A. 1999, Escobar A. 2005). Además es afectado por el estatus nutricional y la relación N/K en el follaje (Escobar 2007), la temperatura y contenido de humedad del sustrato (Peña 1996, Mendoza 1997, Barrientos 1999) y el potencial hídrico de las plantas al momento de ser trasplantada (Peña 1996, Escobar A. 2005).



Figura 10. Nuevas raíces de plantas de pino cultivadas en una cámara aeropónica para determinar el potencial de crecimiento radical.

En general, se puede considerar que el potencial de crecimiento radical es afectado por las distintas labores de manejo que el viverista realiza durante la fase de endurecimiento, cosecha, almacenaje y transporte de plantas. Una planta equilibrada nutricionalmente, con una adecuada cantidad de horas de frío acumuladas (propio de cada especie), y con un alto contenido de agua tendrá siempre mejor potencial de crecimiento radical que aquellas que no cumplan con alguna de las condiciones anteriores. El equilibrio nutritivo se logra durante los últimos 45 días del endurecimiento. Las horas de frío acumuladas son propias del clima en el cual esté ubicado el vivero y de la época de plantación o de cosecha de plantas. La cantidad de agua interna, depende del manejo que se haga del agua de riego 24 horas antes de cosechar las plantas, de las condiciones de almacenaje y del transporte hasta el lugar de plantación. En plantaciones ejecutadas a fines de invierno o inicios de primavera, realizadas en caliente, es decir cosecha y plantación inmediata, una fertilización como las que se aplican en el momento de pleno crecimiento, realizada siete días antes de la cosecha, tiene un efecto estimulante sobre el potencial de crecimiento radical (Venegas 2000). El potencial de crecimiento radical es utilizado por muchos forestadores para definir a qué vivero comprar plantas. Éste examen no sólo indica la capacidad de las plantas de emitir nuevas raíces, sino que también nos da idea de su estatus nutricional, debido a que cuando las plantas inician el crecimiento radical, se ocasiona una translocación de N desde el follaje hacia la raíz, que es la zona de demanda. Si las plantas tienen buenos niveles de N se

produce un buen crecimiento radical sin cambios notables en la parte aérea. Si los niveles de N son deficitarios o se encuentran en zona de hambre oculta, pueden aparecer signos de deficiencias en las hojas basales (Escobar y Pereira 2001).

Tolerancia al estrés hídrico

Las plantas presentan dos tipos de respuestas al estrés hídrico, lo toleran o lo evitan. Para evitarlo, la planta utiliza estrategias para reducir su impacto. Este es el caso cuando las plantas elongan sus raíces hasta encontrar las napas freáticas, de manera que éstas no permanezcan en el perfil superficial de suelo seco. Algunas especies del género *Eucalyptus* utilizan como estrategia eliminar follaje con el objeto de disminuir la superficie de transpiración (Coopman et al. 2008). En la tolerancia, la planta debe ser capaz de resistir la falta de agua. Aclimatarlas para que soporten estrés hídrico es un proceso complejo que conlleva una serie de cambios de tipo morfofisiológicos. Plantas que durante el proceso de endurecimiento han sido sometidas a estrés hídrico tienden a soportar mejor la sequía que aquellas que no lo fueron. Hoy se considera determinante someter a las plantas a estrés hídrico en la última fase de viverización y del grado o intensidad del mismo dependerá su resistencia a la sequía. Diferentes especies soportan distintos niveles de estrés, por lo tanto es importante conocer cada especie que se esté cultivando.

Además de la inducción de la resistencia a la sequía a través del esquema de manejo del riego, hay labores como la poda del tallo que le dan a la planta una mayor resistencia a la falta de agua en el suelo, permitiendo tasas de fotosíntesis netas a menos contenido de humedad (Villalobos 2006). El manejo de tallo es más eficaz cuando además de la poda del tallo, posteriormente, se eliminan los rebrotes de ramas laterales. En especies de hoja ancha el manejo del tallo origina hojas más coriáceas, desaparecen los estomas ubicados en el haz y disminuye su cantidad en el envés, modificaciones todas que le permiten a la planta soportar mejor condiciones de sequía.

Tolerancia al frío

De todos los atributos del comportamiento, este es el que requiere de un manejo más intenso e integrado durante la fase de endurecimiento de las plantas. Se trata de una característica deseada en plantas producidas para establecer plantaciones en climas templados fríos y fríos, durante el invierno o inicios de primavera. Se puede manejar, en plantas que naturalmente soportan bajas temperaturas, como es el caso de las coníferas que se plantan en la Patagonia, o inducir e incrementar en especies que naturalmente soportan temperaturas bajas moderadas. Para este último caso, podemos citar el eucalipto blanco o medicinal que, en forma natural, soporta hasta -5 °C y con manejo en vivero, se le puede hacer que tolere -10 °C a raíz cubierta, y hasta -12 °C, a raíz desnuda. Una misma especie, subespecie o variedad puede presentar diferentes grados de tolerancia al frío (Moraga et al. 2006). Como la tolerancia al frío se puede modificar mediante manejo silvícola, es una característica que tiene una duración determinada en el tiempo. En cambio, la resistencia al frío, sí es una característica perdurable en el tiempo, como ocurre por ejemplo, con la araucaria o pehuén (*Araucaria araucana*), la lenga (*Nothofagus pumilio*) y el ñire (*N. antarctica*) que son especies, naturalmente, muy resistentes al frío (Moraga et al. 2006).

Para que una planta termine siendo frío tolerante debe haber pasado por todas las etapas ya descritas del proceso de endurecimiento. La tolerancia al frío se inicia con la aplicación del estrés hídrico cuando se inicia la detención del crecimiento en altura (Benavente 2005). Al mismo tiempo, el manejo de la fertilización nitrogenada es determinante. Al respecto, en el follaje de las plantas, el N debe quedar en niveles de consumo de lujo al término de la fase de pleno crecimiento ya que, en forma natural, experimentará un descenso. El nivel ideal mínimo de nitrógeno en el follaje no debería ser menor a 1,7%. Con valores de hasta 1,4% las plantas no muestran signos de deficiencia de N en el vivero, pero están en zona de hambre oculta, lo que se notará cuando inicien el crecimiento radical en terreno o cuando se realice el examen de potencial de crecimiento radical (Escobar 2007). En la dieta de fertilización durante la fase de endurecimiento se debe reducir drásticamente el contenido de N y su relación base peso atómico con el K no debe ser mayor al 75%, o aún mejor 70%. Por otra parte, la fertilización con

N no debería prolongarse más allá del término de la fase de endurecimiento; las fertilizaciones tardías aumentan la susceptibilidad de las plantas al daño por frío. Es preferible quedar con niveles de N por debajo del óptimo antes que tratar de corregirlos tardíamente ya que el riesgo de daño por frío aumenta considerablemente.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aronsson, A., Ingestad, T. y L. Löf. 1976. Carbohydrate metabolism and frost hardiness in pine and spruce seedling grown at different photoperiods and thermoperiods. *Physiologia Plantarum*. 36: 127 – 132.
- Benavente, M. 2005. Efecto de tres diferentes niveles de estrés hídrico en vivero, en la frío resistencia de plantas de *Eucalyptus globulus* Labill, en vivero. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto. Silvicultura, Fac.de Cs. Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Barrientos, C. 1999. Crecimiento de raíces de plantas de *Nothofagus obliqua* y *Nothofagus alpina* a distintas temperaturas. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto. Silv. Fac. Cs. Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Bustos, R. 1999. Efecto de las horas frío acumuladas sobre el potencial de crecimiento radicular en plantas de *Pinus radiata*. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto. Silv. Fac. Cs. Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Cisternas, C. 2005. Relación entre módulo de elasticidad y tolerancia al frío en plantas de *Eucalyptus globulus* Labill. Manejadas bajo cinco niveles de estrés hídrico. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto Silv. Fac. Cs. Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Coopman, R.R. 2001. Efecto del tipo de contenedor en las porosidades del sustrato, variables morfofisiológicas y aspectos del manejo en vivero, de plantas de *Pinus radiata* D. D, propagadas a partir de estacas. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto. Silv. Fac. Cs. Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Coopmann, R., Jara, J., Bravo, L., Sáez, K., Mella, G. y R. Escobar. 2008. Changes in morpho – physiological attributes of *Eucalyptus globulus* plants in response to different drought hardening treatments. *Electronic Journal of Biotechnology* 11(2) 1 – 10.
- Decarli, N. 1999. Efecto del potencial de crecimiento radicular en la tasa de supervivencia y crecimiento inicial de plantas de *Eucalyptus nitens*. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto. Silv. Fac. Cs. Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Donoso, A. 1999. Determinación de la eficiencia en el uso de agua y relación de atributos morfofisiológicos en plantas de *Eucalyptus globulus* Labill, producidas a raíz cubierta. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto. Silv. Fac. Cs. Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Escobar, R. 1994. La Planta ideal. IV Silvotecna, Producción de plantas, Seminario internacional. Mininco/Fundación Chile. 25 – 25 de Noviembre. Concepción, Chile.
- Escobar, R. 1998. Nutrición y fertilización forestal en viveros Forestales. *Agroanálisis* 8: 6-10.
- Escobar, R. 1999. Nutrición y fertilización en viveros Forestales (Parte II). *Agroanálisis* 9: 8-12.
- Escobar, A. 1999. Efecto del almacenaje en frío sobre atributos morfofisiológicos en plantas de *Pinus radiata* D. Don. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto. Silv. Fac. Cs. Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Escobar, R. 2000. Fase de endurecimiento etapa crucial para plantas de vivero. *Agroanálisis*. 12:21-25.
- Escobar, R. 2004. Proceso de endurecimiento de plantas forestales en vivero. En: Taller de Producción de plantas y estándares de calidad. INFOR, Concepción 2 y 3 de Diciembre.
- Escobar, A. 2005. Efecto del almacenaje refrigerado y horas frío acumuladas sobre época de cosecha y atributos morfofisiológicos y del comportamiento de plantas de *Pinus radiata* D. Don. Tesis de Grado Magíster en Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Escobar, R. 2007. Manual de viverización: *Eucalyptus glo-*

- bulus* a raíz cubierta. Gobierno de Chile (CORFO) Proyecto INNOVA – Chile, INFOR (Centro Tecnológico de la planta Forestal). Concepción. Chile. 229 p.
- Escobar, R. y M. Espinosa. 1988. Efecto de la intensidad luminosa en plántulas de *Eucalyptus globulus* producidas a raíz desnuda y raíz cubierta. Simposio Manejo Silvícola del Género *Eucalyptus*. CORFO/ INFOR. Viña del Mar.
- Escobar, R., González, G., Millán, J. y C. González. 1984. Evolución estacional de nutrientes en Pino insigne. IV Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo. Vol. 2. Universidad Austral de Chile. CONICYT-CONAF.
- Escobar, R. y C. González. 1987. Evolución de nutrientes en plantas de pino radiata durante el acondicionamiento. Simposio sobre Silvicultura y Mejoramiento Genético de Especies Forestales. Vol. IV (205-218). CIEF. B. Aires, Argentina.
- Escobar, R. y G. Pereira. 2001. Fertilización de precosecha en vivero: Efecto del potencial de crecimiento radicular en *Eucalyptus globulus*. En: Actas de simposio internacional IUFRO: Desarrollando el futuro del *Eucalyptus*. 10-15 - de septiembre. Valdivia, Chile.
- Escobar, R., Escobar, A., Sánchez, M., Ríos, D., Pereira, G. y A. Mendoza. 2004. Utilización del Potencial de Crecimiento Radicular como método indirecto para determinar la mejor época de plantación de especies forestales. En: II Congreso Chileno de Ciencias Forestales. 10-12 noviembre. Valdivia, Chile.
- González, C., Escobar, R. y M. Lachica. 1988. Evolución estacional de elementos nutritivos minerales en pino radiata. *Agrochimica*, Vol XXXII-N.1, Febrero 1988.
- González, P.M. 1996. Efecto del tipo de contenedor en distintos atributos morfológicos de plantas de *Eucalyptus globulus Labill*. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto. Silv. Fac. Cs. Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Jayawickrama, S., McKeand, S., Jett, J. y E. Young. 1992. Rootstock and scion effects on carbohydrates and mineral nutrients in loblolly pine. *Canadian Journal Forest Research*. 22: 1966 – 1973.
- Landis, T., Tinus, W. y P. Barnett. 1999. The Container Tree Nursery Manual. Volumen 6, Seedling propagation. *Agric. Handbook*. 674. Washington, DC: USDA Forest Service. 166 p.
- Lema, G.M. 1987. Época de siembra y uso de semisombra en producción de plantas de *Eucalyptus globulus* Labill ssp. *globulus* 1- 0 a raíz desnuda. Tesis Ingeniería Forestal. Fac. Cs. Agronómicas, Veterinarias y Forestales. Dpto de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción. Chillán, Chile.
- Mendoza, Q.A. 1997. Influencia de la temperatura en el potencial de crecimiento radicular en plantas de: *Pinus radiata*, *Eucalyptus nitens* y *Eucalyptus globulus*. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto. Silv. Fac. Cs. Forestales. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Moraga, P.; Escobar, R. y S. Valenzuela. 2006. Resistance to freezing in three *Eucalyptus globulus* Labial subspecies. *Electronic Journal of Biotechnology* 9 (3) 310 – 314 ISI.
- Monsalve, J., Escobar, R., Acevedo, M., Sánchez, M. y R. Copman. 2009. "Efecto de la concentración de nitrógeno sobre atributos morfológicos, potencial de crecimiento radicular y estatus nutricional en plantas de *Eucalyptus globulus* producidas a raíz cubierta. *Bosque* 30 (2) 88 – 94.
- Peña, C.I. 1996. Potencial de crecimiento radicular de plantas de *Pinus radiata* D. Don con diferente potencial hídrico. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto. Silv. Fac. Cs. Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Pinto, M.J. 1999. Comparación de tres esquemas de riego en viverización de plantas de *Eucalyptus globulus* producidas a raíz cubierta. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto. Silv. Fac. Cs. Forestales. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Quilodrán, A.C. 1998. Efecto de la concentración de carbonato de cobre en la poda química de raíces de plantas producidas en contenedores. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto. Silv. Fac. Cs. Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Ritchie, G. A. y Y. Tanaka. 1990. Root growth potencial and the target seedling pp. 37 – 51. En: Rose, R., Campbell, J.

y T. Landis (Editores). Target Seedling Symposium: Proceeding combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations. 13 – 17 August 1990. Rosenberg , Oregon. USDA For. Serv. Rocky Mt. And range Exp.. Stn., Fort Collins, Colorado, Gen, Tech. Rep. RM – 200.

Salgado, M. 1995. Supervivencia y crecimiento de plantas de *Eucalyptus globulus* Labill. plantadas en diferentes sectores de la VI región. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto. Silv. Fac. Cs. Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

Sánchez, O.M. 1991. Fertilización de apoyo en *Eucalyptus globulus* Labill. ssp globulus. . Tesis Ingeniería Forestal. Fac. Cs. Agronómicas, Veterinarias y Forestales. Dpto. de Cs. Forestales. Universidad de Concepción. Chillán, Chile.

Venegas, G. 2000. Efecto de la fertilización de pre cosecha sobre el potencial de crecimiento radicular de plantas de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto. Silv. Fac. Cs. Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

Viel, L.R. 1997. Efecto de la altura del contenedor y porosidad del sustrato en el crecimiento y desarrollo de plantas de *Pinus radiata* D. Don. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto. Silv. Fac. Cs. Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

Villalobos, M. 2006. Tolerancia a la sequía de plantas de *Eucalyptus globulus* Labill. En respuesta a diferentes regímenes de aclimatación. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto. Silv. Fac. Cs. Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

Zapata, J. 1999. Efecto del manejo del fotoperíodo en el potencial de crecimiento radicular, conductividad electrolítica y carbohidratos totales en *Eucalyptus globulus*. Tesis Ingeniería Forestal. Dpto. Silv. Fac. Cs. Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

Zapata, J., Sánchez, M., Escobar, R. y D. Ríos. 2000. Efectos del cambio en el fotoperíodo sobre atributos morfofisiológicos de plantas de *Eucalyptus globulus* Labill. en vivero. En: XII Reunión de la Sociedad de Botánica de Chile y XXVII Jornadas Argentinas de Botánica. Concepción, 5 al 8 de Enero.