



Calidad de plantines: Atributos fisiológicos

John G. Mexal

INTRODUCCIÓN

El rol del viverista es producir plantines en número y calidad suficientes para cumplir con las necesidades del cliente que va a forestar, a un costo razonable. La calidad de los plantines será fundamental para su supervivencia en plantación y crecimiento a largo plazo en la forestación (South et al. 1988). En consecuencia, la fase de producción en vivero de cualquier programa de forestación es extremadamente importante. Los plantines de calidad pueden reducir la necesidad de costosos esfuerzos para replantar y acortar el tiempo de rotación en varios años, lo cual también redundará en un beneficio económico significativo. Hay mucha información disponible sobre el impacto que las prácticas culturales en el vivero tienen sobre la morfología de los plantines y el consecuente desempeño en plantación (Duryea 1985, Duryea y Brown 1984, Rook 1980, Rose et al. 1990, Wakeley 1954). La determinación de la calidad de una planta forestal involucra la evaluación de otras características, además de realizar mediciones de su morfología, las cuales se discutieron en el capítulo anterior. Ya en 1935 Wakeley (1949) observó una

diferencia de hasta un 26% en la supervivencia entre plantines morfológicamente idénticos de pino taeda (*Pinus taeda*). Sugirió entonces que una mejor comprensión fisiológica de las “clases” de plantines llevaría a un éxito mayor en las forestaciones. De esta manera se convirtió no sólo en un pionero de la clasificación de plantines, sino que también sentó las bases para la posterior investigación sobre fisiología de los mismos. Las áreas de la fisiología que se desarrollaron a partir de entonces incluyen la nutrición de los plantines, la tolerancia a la sequía, la rustificación o resistencia al frío y la acumulación de hidratos de carbono. Estos atributos están entre los que fueron identificados por Colombo et al. (2001b) como los factores críticos para el éxito de la forestación. Se dividen en factores morfológicos, fisiológicos y químicos (Figura 1). Mexal (en el capítulo anterior) ya ha desarrollado el tema de los atributos morfológicos. El objetivo de este capítulo es discutir los atributos fisiológicos y químicos que pueden afectar la calidad de los plantines, y por ende, el éxito de la forestación. La discusión se centrará en especies de similares latitudes que el pino ponderosa (*Pinus ponderosa*). Dado que algunos de los atributos fisiológicos

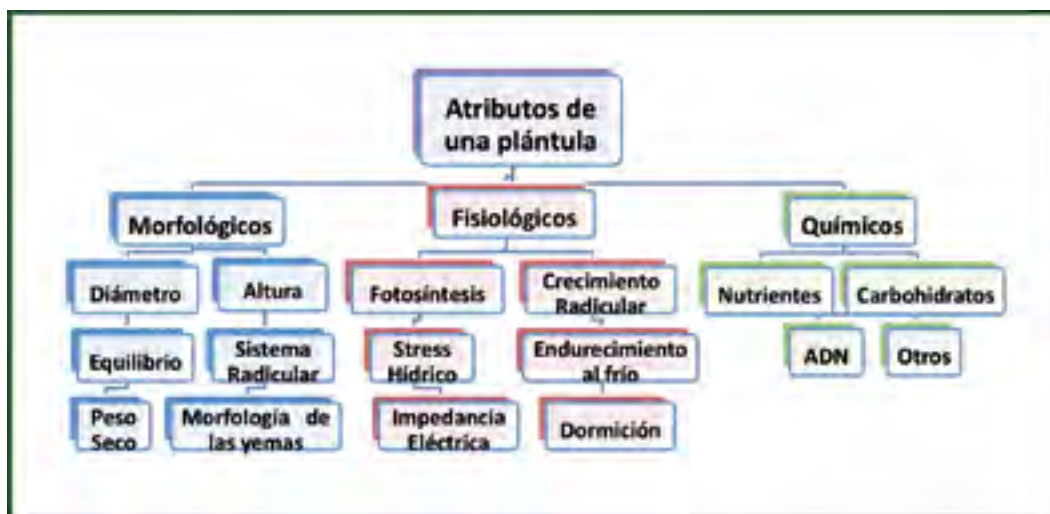


Figura 1. Componentes de la calidad de plantines de un vivero (Colombo et al. 2001).

se relacionan con la resistencia al frío, la dormancia y la tolerancia al estrés, serán necesarias algunas definiciones.

La resistencia al frío es la capacidad de sobrevivir a temperaturas por debajo de 0 °C. Generalmente se expresa como la temperatura a la cuál muere el 50% de las plantas (TL₅₀). Se determina sometiendo el tejido gradualmente a una temperatura mínima, luego se vuelve a subir la temperatura y se mide la respuesta (mortalidad, necrosis de tejido, pérdida electrolítica) (Burr et al. 2001). En algunos casos también se define como la temperatura que es letal para el 10% (TL₁₀) o el 90% (TL₉₀) de las plantas.

La dormancia es la suspensión temporaria de crecimiento visible (Lang et al. 1987). Estos investigadores clasificaron la dormancia en ecodormancia y endodormancia (también paradormancia la cual es irrelevante en esta discusión). La ecodormancia está regulada por factores ambientales, tales como la temperatura extrema, la deficiencia de nutrientes o el estrés hídrico. Una vez que se reduce el estrés, se reanuda el crecimiento. La endodormancia en cambio está regulada por factores fisiológicos, dados por ejemplo por acumulación de horas de frío, unidades térmicas, fotoperiodo, y el crecimiento no se puede reanudar sólo por el restablecimiento de un ambiente favorable.

La tolerancia al estrés se relaciona con el nivel de dormancia. El estrés puede ser una temperatura por debajo de 0 °C, por encima de 40 °C, desecación, poda de raíz durante la recolección o la exposición a toxinas. Las plantas en dormición son más resistentes a todos estos factores de estrés.

RESISTENCIA AL FRÍO

La resistencia al frío es variable entre especies, lugar de origen, tipo de tejido, edad y estación. Por ejemplo, el pino radiata (*Pinus radiata*) es menos resistente al frío que el pino ponderosa o el pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*). El pino radiata puede tener resistencia cercana a -15 °C, mientras que el pino oregón puede hacerlo hasta -25 °C (Figura 2). De hecho hay una diferencia de entre 4 °C y 10 °C en la resistencia al frío de acuerdo a la procedencia de la planta (Hawkins et al. 2001, Wenny et al. 2002) (Figura 2).

No sólo hay diferencias de resistencia entre especies, basada en la genética, y dentro de la misma especie, sino también entre tejidos de una misma planta. Los tallos de pino ponderosa pueden resistir hasta -60 °C (Bigras et al. 2001), al tiempo que las acículas pueden resistir más que los tallos (Repo et al. 2001). Sin embargo, las raíces sólo

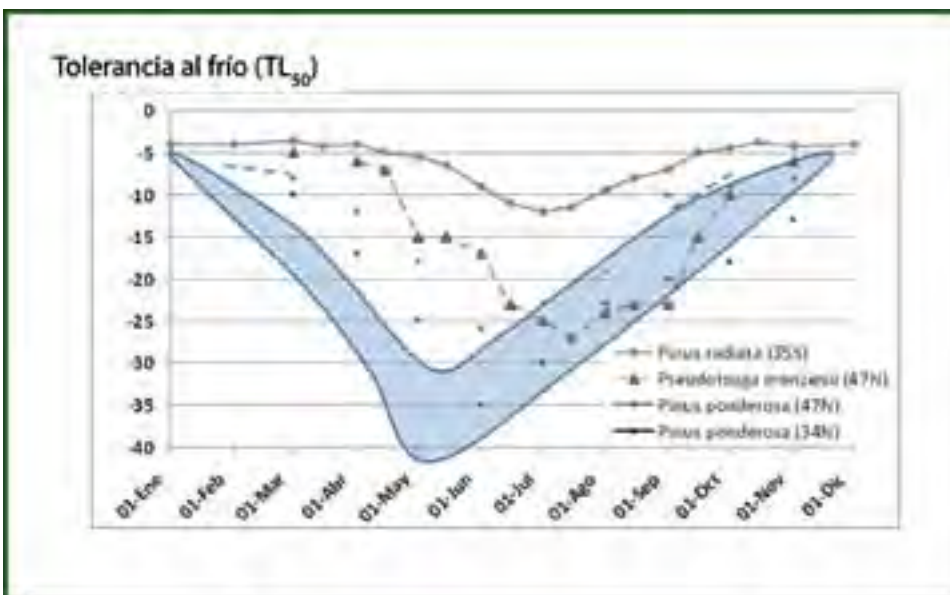


Figura 2. Cambio estacional en la tolerancia al frío de pino radiata (*Pinus radiata*) (Greer et al. 2001), pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*) (Colombo et al. 2001) y dos variedades geográficamente distintas de pino ponderosa (*Pinus ponderosa*) (Wenny et al. 2002). Las fechas de los estudios realizados en el hemisferio norte se transformaron en sus equivalentes para latitudes australes.

pueden resistir -12 °C (Bigras et al. 2001); e incluso raíces que aparentemente no han sufrido daño por las bajas temperaturas pueden sufrir reducción en el potencial de crecimiento (Lindström y Nyström 1987). Por este motivo, es de suma importancia proveer protección para las bajas temperaturas.

Los plantines se rustifican o endurecen en forma natural al bajar la temperatura y las horas de luz solar. La mayor resistencia al frío ocurre durante la mitad del invierno, luego los plantines van perdiendo gradualmente esta condición a medida que los días se hacen más largos y cálidos. Se suele suponer que el endurecimiento máximo requiere una yema terminal bien formada y de hecho, en las coníferas de latitudes nórdicas, la formación de yemas precede al endurecimiento (Figura 3). La relación entre

formación de yemas y endurecimiento al frío puede tener una correlación, aunque débil; ya que hasta la fecha no se ha determinado ninguna relación causal.

Aunque la rustificación sucede naturalmente, no es un proceso pasivo. Por el contrario, al igual que la dormancia, el endurecimiento o rustificación es un proceso fisiológico activo. Así, un estrés severo, debido a la falta de agua o nutrientes, puede disminuir la capacidad de rustificación de los plantines al frío. Incluso un ambiente cálido de invernáculo puede retardarla. Sin embargo, los viveristas pueden estimular la rustificación exponiendo los plantines a condiciones naturales, como fotoperíodos cortos (Figura 4a) o un estrés hídrico suave (Figura 4b). Estas prácticas pueden aumentar la resistencia al frío en unos 5 °C.

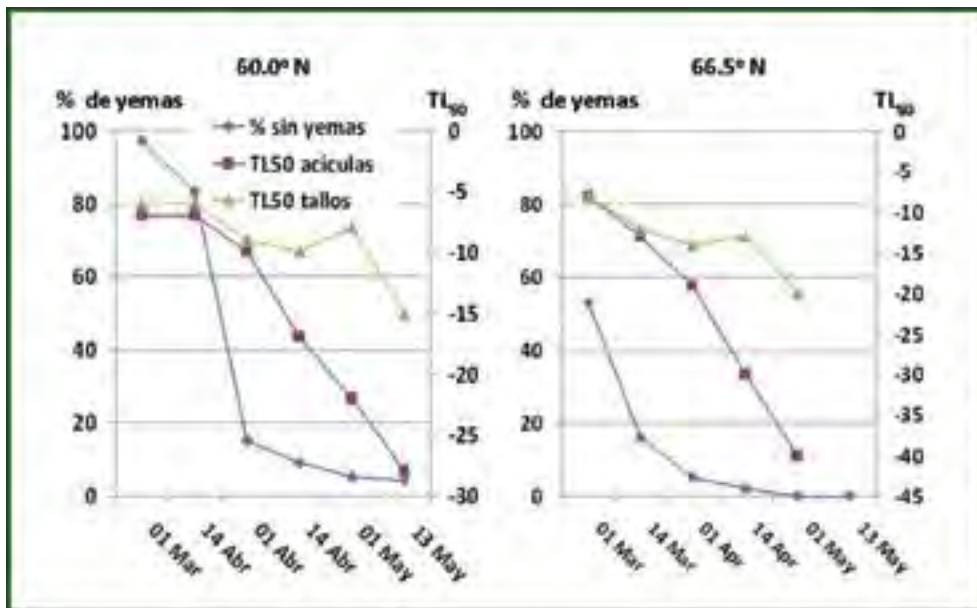


Figura 3. El cambio en la resistencia al frío de tallos y acículas de pino silvestre (*Pinus sylvestris*) entre los 60° y 66,5° de latitud N. muestra una baja correlación con el momento de formación de yemas (Repo et al. 2001). Las fechas de los estudios realizados en el hemisferio norte se transformaron en sus equivalentes para latitudes australes.

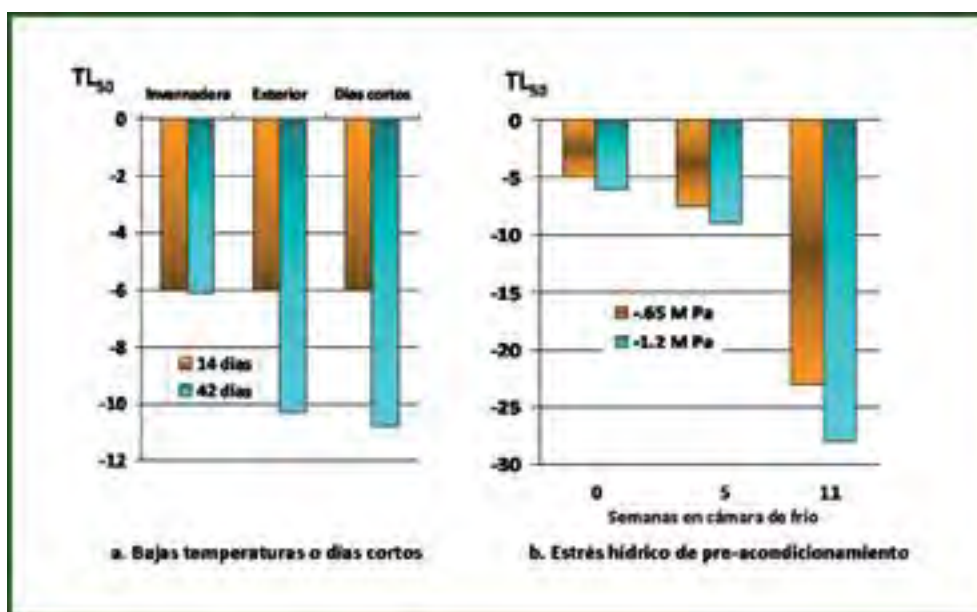


Figura 4. Aumento de la resistencia al frío por medio de exposición a bajas temperaturas o días cortos para pino taeda (*Pinus taeda*) (Mexal et al. 1979) (a), o por leve estrés hídrico para pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*) (Timmis y Tanaka 1976) (b). TL= Temperatura letal

Un aspecto del manejo de un vivero que tiene el potencial de afectar la rustificación de los plantines es la fertilización. La sabiduría popular sugiere que la nutrición debería disminuirse hacia el otoño para provocar la reducción del crecimiento y el aumento de la resistencia al frío. Sin embargo, Bigras y colaboradores (2001) analizaron 80 estudios relacionados a la fertilización de plantines durante la rustificación, de los cuales sólo el 30% informó una disminución en la resistencia al frío con un aumento en la fertilización (Tabla 1). Incluso los estudios que involu-

craban el uso de fertilizantes balanceados (N-P-K) o Potasio informaban de un aumento de la resistencia al frío. La respuesta al potasio es fácilmente comprensible, ya que es muy móvil y fácilmente puede lixiviarse del sustrato. Existe una correlación inversa entre la transpiración de los plantines y el contenido de potasio de las acículas, y una correlación positiva entre éste y la eficiencia en el uso del agua (Bradbury y Malcolm 1977). Entonces, una mejor regulación estomática lógicamente llevaría a un mejor desempeño de todas las respuestas fisiológicas.

Tabla 1. Porcentaje y número de estudios relacionados con la resistencia al frío en respuesta a distintos tipos de fertilización en tallos de plantines de coníferas (Bigras et al. 2001).

Respuesta al fertilizante	N-P-K	Solo N	Solo P	Solo K	Todos
Porcentaje de estudios que muestran:					
Mayor resistencia al frío (+)	50%	17%	22%	48%	31%
Resistencia al frío sin cambios (0)	25%	24%	39%	32%	29%
Menor resistencia al frío (-)	25%	31%	39%	20%	30%
+/-/0 Cambio	0%	24%	0%	0%	9%
Nº de Estudios	8	29	18	25	80

Timmis (1974) demostró que la fertilización balanceada da como resultado una mayor resistencia al frío en plantines de pino oregón. Además, Rikala y Repo (1997) probaron que la fertilización al final de la temporada aumenta el contenido foliar de nitrógeno y la resistencia al frío de pino silvestre (*Pinus sylvestris*). Irwin y colaboradores (1998) demostraron que en el caso del pino elliotii (*Pinus elliotii*) si la disminución natural del contenido de nitrógeno que se produce en el otoño no se eleva mediante fertilización se reduce el crecimiento durante la siguiente primavera. Xu y Timmer (1999) están a favor de aumentar el contenido de nutrientes para promover el crecimiento en plantación, especialmente en sitios secos. Dumroese (2003) propone una concentración de nitrógeno foliar de 2,5% para maximizar la resistencia al frío, la relación raíz/tallo y el desempeño en plantación. Estos resultados son razonables dado que la rustificación y la dormancia son procesos fisiológicos que requieren energía producida por la fotosíntesis.

POTENCIAL DE CRECIMIENTO RADICAL

El potencial de crecimiento radical (PCR), que en inglés se denomina RPG porque en ese caso la sigla corresponde a las palabras: *root regeneration potential*, estima la capacidad de la plántula de formar nuevas raíces en forma

rápida una vez llevada al campo luego de la plantación. El PCR se mide bajo condiciones controladas de temperatura (20 °C) y humedad adecuadas. El PCR puede estimarse midiendo el largo total de raíces nuevas, contando el número de raíces nuevas >10mm, o a través de un índice de crecimiento radical estimado según el número de raíces (Burdett 1979). Los valores de PCR tienden a aumentar en el otoño hasta una meseta que continúa a lo largo del invierno y vuelve a disminuir al final del invierno, principios de primavera. El almacenamiento en frío, sin congelamiento, puede disminuir los valores de PCR (Rhea 1977).

Independientemente del método que se use para cuantificar el PCR (largo de raíces nuevas, número de raíces nuevas, índice) la relación general entre dicho parámetro y la supervivencia en plantación es directamente proporcional y en forma de curva (Figura 5). Grossnickle (2000) halló que los plantines de *Picea spp.* con menos de 2 raíces nuevas tienen menos de un 40% de supervivencia, mientras que aquellos con menos de 20 raíces nuevas tienen de 60 a 90% de supervivencia, y plantines con más de 20 raíces nuevas tienen una supervivencia de 75 al 100% (Figura 5 C). En resumen, muy pocas raíces dan una baja supervivencia, algunas raíces podrían ser un problema y muchas raíces, entre 20 y 100, tienen un desempeño igualmente bueno.

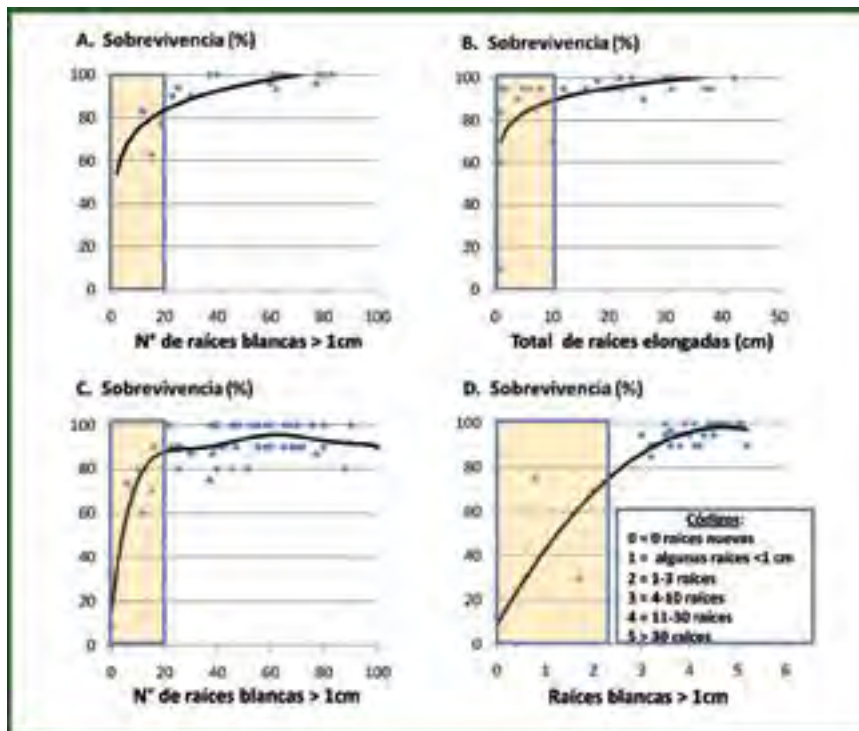


Figura 5. El potencial de crecimiento de raíces está directamente correlacionado con la supervivencia de: A) pino de Alepo (*Pinus halepensis*) (Vallas Cuesta, et al. 1999), B) pino taeda (*Pinus taeda*) (a raíz desnuda) (Feret 1985), C) *Picea sp.* (Grossnickle 2000), y D) *picea glauca* (*Picea glauca*) (Colombo 2006).

Algunos autores han propuesto un umbral crítico por debajo del cual no deberían plantarse los plantines. Simpson y colaboradores. (1988) hablan de un umbral de 10 raíces nuevas >10mm para varias especies. Sin embargo, sus datos eran tan variables como los que se muestran en la Figura 5. Más recientemente, Stone y colaboradores (2003) postularon que el umbral crítico para abeto blanco americano (*Abies concolor*) es 20 cm de nuevo crecimiento radical para sitios húmedos y 40 cm para sitios más secos. Evidentemente, la mayor parte de los estudios de PCR se han llevado a cabo en sitios medios ya que se ha observado una excelente supervivencia en casi todos los valores de PCR, excepto en los muy bajos (Figura 5).

Desafortunadamente, casi todos los estudios de PCR brindan poca información, más allá de la recomendación de "Plantar / no plantar" cuando los valores de PCR están dentro del rango normal (Ritchie y Tanaka 2000). Colombo (2006) encontró resultados más útiles para pino rojo (*Pinus resinosa*) (Figura 6) en el cual hay una respuesta lineal de la supervivencia al PCR. Aunque el estudio fue a escala pequeña, da evidencia que plantines con un índice radical de 0 a 1, 2, 3,6 y 4 tienen una supervivencia menor al 40%, 40 al 60%, 80% y más de 80%. Ésta es la curva más útil para el viverista y para un programa de forestación. Se espera que en el futuro se reafirmen estas predicciones.

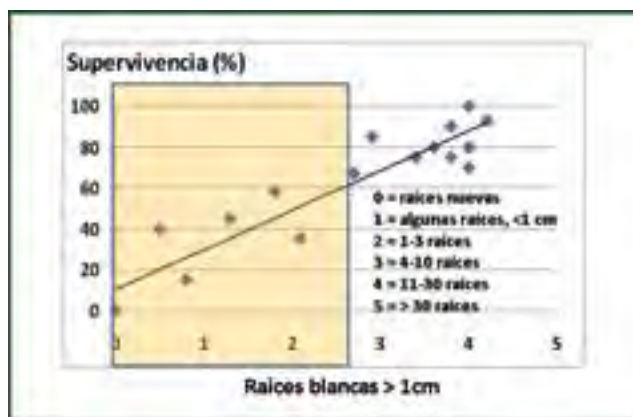


Figura 6. Relación entre el PCR y el prendimiento de pino rojo (*Pinus resinosa*) (Colombo 2006).

Se ha discutido mucho sobre la razón por la cual el PCR no se adopta como el criterio principal para determinar la calidad de los plantines. Por un lado, el ensayo es llevado a cabo bajo condiciones ideales de fotoperíodo

largo, temperatura intermedia, y humedad adecuada, mientras que los plantines son plantados en suelos fríos, muchas veces con humedad por debajo de la ideal. Otro argumento es que el ensayo requiere entre 10 y 28 días para completarse, período durante el cual la fisiología de los plantines puede haber cambiado. Otro, es que el ambiente controlado nunca podrá imitar las condiciones de plantación, tales como la temperatura, el viento, la humedad del suelo y la insolación (Landis et al. 2009). Sin embargo es vital que los investigadores de fisiología de plantines continúen buscando mejorar los actuales indicadores de desempeño del PCR.

AGUA

El agua es requerida para la transpiración, la cual no sólo enfría la superficie foliar, sino que también transporta los nutrientes desde las raíces hacia las hojas. El agua es necesaria para mantener la turgencia de las células permitiendo la expansión y el crecimiento, y también se requiere una pequeña cantidad de agua para la reacción química de la fotosíntesis. Durante las fases de establecimiento y crecimiento rápido, los plantines son mantenidos en condiciones libres de estrés para acumular tanta biomasa como sea posible (para mayor detalle ver capítulos acerca de las fases del cultivo). No obstante, durante la fase de endurecimiento suele aplicarse un leve estrés hídrico (>1,2 MPa) para reducir el crecimiento en altura, inducir el desarrollo de yemas y promover la rustificación (Timmis y Tanaka 1976). Sin embargo no hay evidencia que un estrés suave aumente el PCR. De hecho, niveles severos de estrés (<1,8 MPa) reducen el PCR (VillarSalvador et al. 1999), lo que requiere hidratar el sistema radical antes de enviar los plantines al sitio de plantación. Généré y Garriou (1999) probaron que el contenido de humedad del sistema radical tiene un impacto decisivo sobre la supervivencia y el crecimiento de pino oregón, especialmente en sitios pobres (Figura 7). Mientras que un leve estrés redujo la relación altura-diámetro (A:D), e incrementó el rendimiento en plantación, si no se restauraba la humedad el sistema radical antes de la plantación se perdía la mejora en la calidad de los plantines. La mejor supervivencia y crecimiento fue observada en los plantines con la relación A:D más baja y con mayor contenido de humedad en el sistema radical al momento de la plantación.

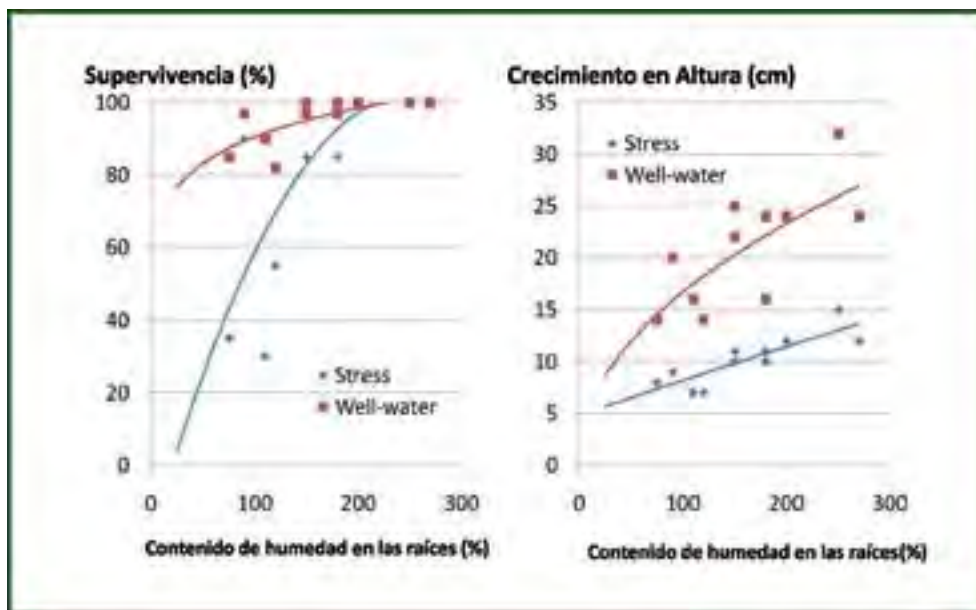


Figura 7. El contenido de humedad del sistema radical, expresado como % del peso seco, de plantines de pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*), en el momento de ser plantados, está altamente correlacionado con la supervivencia y el crecimiento en altura (Génére y Garriou 1999).

FLUORESCENCIA DE CLOROFILA

Durante la fotosíntesis, una pequeña cantidad de la luz capturada por las hojas de la plántula (de 3 a 5%) se libera como radiación fluorescente (Landis et al. 2009). Aunque es invisible al ojo humano, los fotosensores pueden detectar esta fuente de energía. Esto sirve para evaluar la calidad de los plantines dado que los cloroplastos dañados tienen un patrón de fluorescencia distinto al de los cloroplastos sanos. El sistema fotosintético de plantines con cloroplastos sanos está en buenas condiciones y por lo tanto presentarán un buen comportamiento cuando se los lleve a plantación. Aunque la técnica ha estado disponible por más de 20 años, las investigaciones no han sido concluyentes hasta la fecha. Los datos probablemente más intrigantes han sido publicados por L'Hirondelle et al. (2007). Ellos relacionaron el desempeño a campo de cuatro especies de coníferas del oeste de Canadá con la fluorescencia de clorofila y con el PCR. Los datos para cada especie individual y sus atributos de desempeño fueron algo débiles, pero al combinar los datos de las cuatro especies que provenían de tres lugares dis-

tintos, se observó que un mejor criterio para determinar la calidad de los plantines podría surgir al combinar las mediciones de PCR con las de fluorescencia de clorofila.

PÉRDIDA ELECTROLÍTICA DEL SISTEMA RADICAL

Las células de las plantas dañadas, que han perdido la integridad de sus membranas, tienen una pérdida continua de contenido celular, lo que aumenta la conductividad eléctrica del medio circundante. Las células intactas muestran una fuga menor. Si las células dañadas son células de la raíz, además de la pérdida electrolítica del sistema radical, las plantas también deberían tener menor PCR y supervivencia. Por lo tanto, cuanto mayor es la conductividad eléctrica provocada por la pérdida electrolítica, más bajo tenderán a ser el PCR y la supervivencia. En inglés la pérdida electrolítica del sistema radical se denomina *root electrolyte leakage* y se la reconoce

por la sigla REL. McKay (1998) determinó la relación entre la supervivencia de plantas de *Picea sp.* y *Larix sp.* con el PCR y la pérdida de electrolitos de las mismas (Figura 8). La pérdida electrolítica y el PCR representan similar proporción de la variación de la supervivencia (de 10 a 47%).

Pero las determinaciones de la pérdida electrolítica son más sencillas de realizar y los resultados se obtienen en menos de 24 horas, pero debe ser calibrado para cada especie y estación.

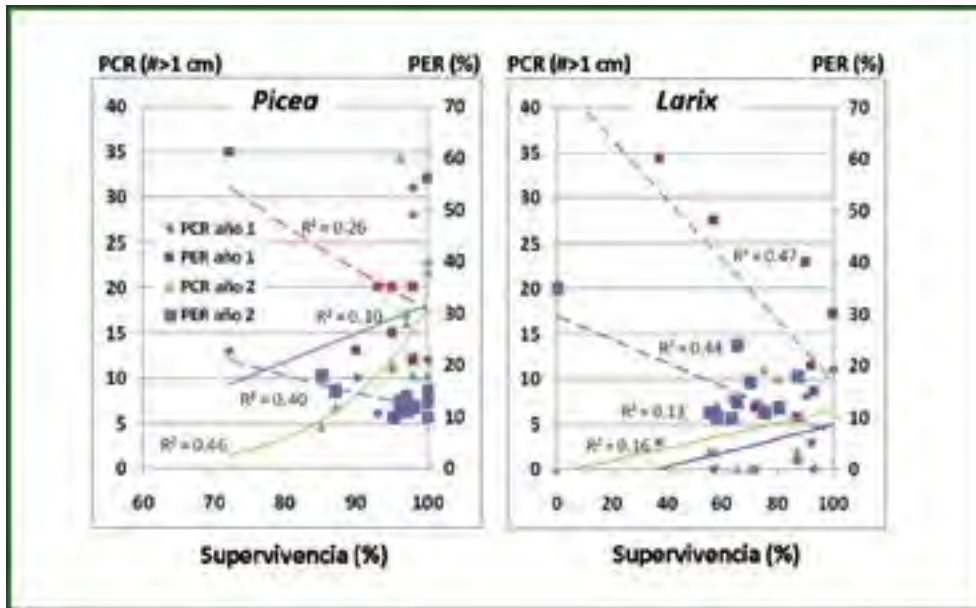


Figura 8. Coeficiente de determinación entre la supervivencia y el potencial de crecimiento de raíces (PCR) y la pérdida electrolítica del sistema radical (PER) en *Picea sp.* y *Larix sp.* (McKay 1998).

ÍNDICE MITÓTICO

El índice mitótico se define como el porcentaje de células en un meristema (yema o extremo de la radícula) que están en el proceso de división o fase de mitosis. Los meristemas activos tienen un mayor porcentaje de células que se están dividiendo y por ende, un índice mitótico más alto (O'Reilly et al. 1999). Durante el invierno, una yema de tallo en dormición tendrá poca o nula actividad mitótica. Asimismo, una yema que no esté en dormición, como por ejemplo en los meristemas de la raíz, se dividirá siempre que las condiciones lo permitan (suelo tibio). La técnica de determinar el índice mitótico lleva tiempo (Landis et al. 2009), pero permite cuantificar adecuadamente el nivel y la progresión de la dormancia en las yemas terminales.

HIDRATOS DE CARBONO

Los hidratos de carbono son el producto de la fotosíntesis y uno de los primeros compuestos en estudiarse en la investigación de la calidad de plantines. El supuesto es que el crecimiento de la raíz, mientras el tallo está en dormición, depende de los hidratos de carbono almacenados. De hecho, Puttonen (1986) demostró que en el pino silvestre el contenido de glucosa y la supervivencia están correlacionados (Figura 9). Desafortunadamente, al igual que con los estudios de PCR, un pequeño cambio en el contenido de glucosa, por ejemplo 1 punto porcentual, produce un cambio de 40% en la supervivencia y un incremento de casi nueve veces en el crecimiento en altura. Los hidratos de carbono (glucosa, sacarosa, almidón, y los no estructurales), aunque parecen interesantes intuitivamente, han producido pocos resultados promisorios.

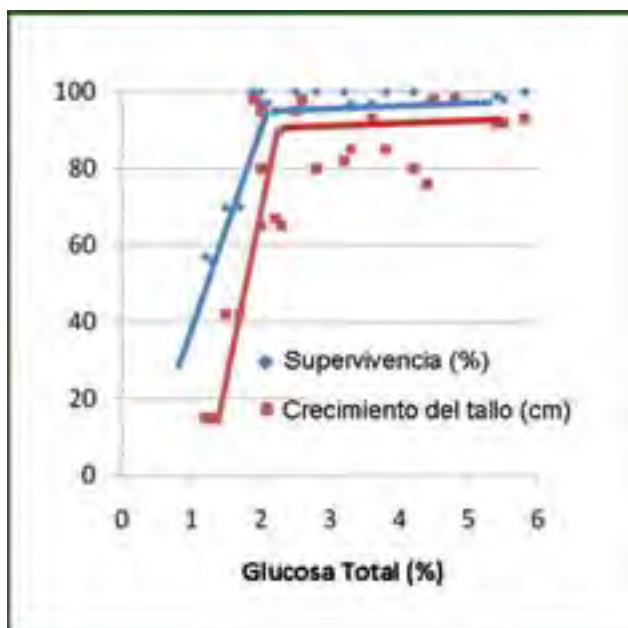


Figura 9. Relación entre el contenido de hidratos de carbono, la supervivencia y el crecimiento del tallo en pino silvestre (*Pinus sylvestris*) (Puttonen 1986).

NUTRIENTES

Se ha discutido el tema de los nutrientes al tratar la resistencia al frío en este capítulo y también se toca el tema en otras secciones de este libro.

GENÉTICA

Las respuestas fisiológicas de un plantín al ambiente están determinadas por los genes que se activan o se expresan. Los cambios en la expresión genética podrían usarse para una mejor selección, para evaluar genotipos especiales o mejorar la determinación de la calidad de los plantines. Recientemente se desarrolló un paquete tecnológico para establecer ensayos que predicen la rusticación de pino silvestre y pino oregón basado en los genes que se expresan o se reprimen (Balk et al. 2007). A medida que se identifiquen más genes, como por ejemplo los responsables de la tolerancia a la sequía, del crecimiento radical, de la dormancia, etc. y se estudien más especies, la genética podría convertirse en una herramienta valiosa para los viveristas en todo el mundo.

CONCLUSIÓN

La producción de plantines en contenedores ha realizado importantes avances en los últimos 30 años. Tal como Tinus y Owston (1984) han afirmado, gran parte de estos avances se basan en una mejor comprensión de la fisiología de los plantines obtenida a través de la investigación. En consecuencia, los programas de producción de plantines en envase han madurado más rápido que los viveros que los producen a raíz desnuda. Las mejoras continuas se apoyan en esfuerzos sostenidos de investigación, especialmente en el campo de la calidad de plantines. Puttonen (1996) sugirió lo que él consideró “la llave maestra” para el éxito de la forestación en el futuro: disponer de excelentes sistemas de computación, y trabajar fundamentalmente con la fluorescencia de clorofila, la genética y la morfología de plantines. Por lo menos hasta ahora, parece que tenía razón en la mitad de sus afirmaciones respecto del uso de la genética y la morfología. La morfología, que expresa la fisiología de los plantines en respuesta al ambiente, es hasta ahora y probablemente continúe siendo en el futuro cercano, un componente integral, si no el más importante, de la determinación de la calidad de plantines. La genética probablemente se vuelva más importante a medida que se identifiquen los genes relacionados con los distintos aspectos de la calidad. A estos enfoques puede agregarse el uso de un componente de la condición de la raíz, ya sea PCR o REL. Para que la producción de los viveros continúe mejorando, la investigación sobre la fisiología deberá seguir brindando herramientas. Las mejoras, producto de la investigación, se traducirán en mayores éxitos en los programas de forestación.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Balk, P.A., Bronnum, P., Perks, M., Stättin, E., van der Geest, L.H.M. y M.F. van Wordragen. 2007. Innovative cold tolerance test for conifer seedlings, p 9-12. En: L.E. Riley, Dumroese, R.K. y T.D. Landis (Coordinadores Técnicos), National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations—2006. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Proceedings, RMRS-P-50.

Bigras, F.J., Ryyppö, A., Lindström, A. y E. Stättin. 2001. Cold acclimation and deacclimation of shoots and roots

- of conifer seedlings, p 57-88. En: F.J. Bigras y S.J. Colombo (Editores), *Conifer Cold Hardiness*. Kluwer Academic Publ., The Netherlands.
- Bradbury, I.K. y D.C. Malcolm. 1977. The effect of phosphorus and potassium on transpiration, leaf diffusive resistance and water-use efficiency in Sitka spruce (*Picea sitchensis*) seedlings. *Journal of Applied Ecology* 14:631-641.
- Burdett, A.N. 1979. New methods for measuring root growth capacity: their value in assessing lodgepole stock quality. *Canadian Journal of Forestry Research* 9:63-67.
- Burr, K.E., Hawkins, C.D.B., L'Hirondelle, S.L., Binder, W.D., George, M.F. y T. Repo. 2001. Methods for measuring cold hardiness of conifers, p 369-401. En: F.J. Bigras y S.J. Colombo (Editores), *Conifer Cold Hardiness*. Kluwer Academic Publ., The Netherlands.
- Colombo, S. 2006. The effect of lifting and handling on plant quality: the Ontario perspective, p 39-46. En: MacLennan, L. y J. Fennessy (Editores), *Plant Quality. A key to success in forest establishment*. Proc. Of the CO-FORD Conf., Sept. 20-21, 2005, Tullow, Co Carlow. CO-FORD, Dublin.
- Colombo, S.J., Sampson, P.H., Templeton, C.W.G., McDonough, T.C., Menes, P.A., DeYoe, D. y S.C. Grossnickle. 2001. Assessment of nursery stock quality on Ontario, p 307-323. En: Wagner, R.G. y S.J. Colombo (Editores), *Regenerating the Canadian forest: principles and practice for Ontario*. Markham, Ont., Fitzhenry and Whiteside.
- Dumroese, R.K. 2003. Hardening fertilization and nutrient loading of conifer seedlings, p 31-36. En: L.E. Riley, Dumroese R.K. y T.D. Landis (Coordinadores Técnicos), *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations- 2002*, Ogden, UT. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Proceedings RMRS-P-28.
- Duryea, M.L. (Editor). 1985. Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Forest Research Lab., Oregon State University, Corvallis, OR. 143 p.
- Duryea, M.L. y G.N. Brown (Editores). 1984. Seedling physiology and reforestation success. *Martinus Nijhoff/ Dr. W. Junk Publ.*, Dordrecht, 326 p.
- Feret, P.P. y R.E. Kreh. 1985. Seedling root growth potential as an indicator of loblolly pine field performance. *Forest Science* 31:1005-1011.
- Généreé, B. y D. Garriou. 1999. Stock quality and field performance of Douglas fir seedlings under varying degrees of water stress. *Annals of Forest Science* 56:501-510.
- Greer, D.H., Leinonen, I. y T. Repo. 2001. Modelling cold hardiness development and loss in conifers, p 437-460. En: F.J. Bigras y S.J. Colombo (Editores), *Conifer Cold Hardiness*. Kluwer Academic Publ., The Netherlands.
- Grossnickle, S.C. 2000. *Ecophysiology of northern spruce species: The performance of planted seedlings*, NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario, Canada 409 p.
- Hawkins, B.J., Russell, J.H. y J.T. Arnott. 2001. Cold hardiness of yellow-cedar (*Chamaecyparis nootkatensis* (D. Don) Spach), p 531-554. En: F.J. Bigras y S.J. Colombo (Editores), *Conifer Cold Hardiness*. Kluwer Academic Publ., The Netherlands.
- Hines, F.D. y J.N. Long. 1986. First- and second-year survival of containerized Engelmann spruce in relation to initial seedling size. *Canadian Journal of Forestry Research* 16: 668-670.
- Irwin, K.M., Duryea, M.L. y E.L. Stone. 1998. Fall-applied nitrogen improves performance of 1-0 slash pine nursery seedlings after outplanting. *Southern Journal of Applied Forestry* 22:111-116.
- Landis, T.D., Dumroese, R.K. y D.L. Haase. 2009. Seedling processing, storage, and outplanting, Vol. 7. *The Container Tree Nursery Manual*. Agriculture Handbook 674. Washington, DC: US Department of Agriculture, Forest Service, 119 p.
- Lang, G.A., Early, J.D., Martin, G.C. y R.L. Darnell. 1987. Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience* 22(3):371-377.

- L'Hirondelle, S.J., Simpson, D.G. y W.D. Binder. 2007. Chlorophyll fluorescence, root growth potential and stomatal conductance as estimates of field performance potential in conifer seedlings. *New Forests* 34:235-251.
- Lindström, A. y C. Nyström. 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.
- McKay, H.H. 1998. Root electrolyte leakage and root growth potential as indicators of spruce and larch establishment. *Silva Fennica* 32:241-252.
- Mexal, J.G., Timmis R. y W.G. Morris. 1979. Cold-hardiness of containerized loblolly pine seedlings. *Southern Journal of Applied Forestry* 3:15-19.
- O'Reilly, C., McCarthy, N., Keane, M., Harper, C.P. y J.J. Gardiner. 1999. The physiological status of Douglas fir seedlings and the field performance of freshly lifted and cold stored stock. *Annals of Forest Science* 56:297-306.
- Puttonen, P. 1986. Carbohydrate reserves in *Pinus sylvestris* seedling needles as an attribute of seedling vigor. *Scandinavian Journal of Forestry Research* 1: 181-193.
- Puttonen, P. 1996. Looking for the "silver bullet"—can one test do it all? *New Forests* 13: 9-27.
- Repo, T., Nilsson, J., Rikala, R., Ryyppö, A. y M. Sutinen. 2001. Cold hardiness of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), p. 463-493. En: F.J. Bigras y S.J. Colombo (Editores), *Conifer Cold Hardiness*. Kluwer Academic Publ., The Netherlands.
- Rhea, S.B. 1977. The effects of lifting time and cold storage on root regenerating potential and survival of sycamore, sweetgum, yellow poplar and loblolly pine seedlings. Master of Science Thesis, Clemson University, 108 p.
- Rikala, R. y T. Repo. 1997. The effect of late summer fertilization on the frost hardening of second-year Scots pine seedlings. *New Forests* 14:33-44.
- Ritchie, G.A. y Y. Tanaka. 2000. Root growth potential and the target seedlings, p. 37-52. En: Rose, R., Campbell, S.J. y T.D. Landis (Editores), *Target Seedling Symposium. Proceedings Combined Meeting Western Forest Nursery Association*. USDA Forest Service General Technical Report RM-200.
- Rook, D.A. 1980. Techniques for evaluating planting stock quality. *New Zealand Journal of Forest Science Special Issue* 10(1)1-303.
- Rose, R., Campbell, S.J. y T.D. Landis. 1990. Target seedling symposium. *Proceedings Combined Meeting Western Forest Nursery Association*. USDA Forest Service General Technical Report RM-200, 286 p.
- Simpson, D.G., Vyse, A. y C.F. Thompson. 1988. Root growth capacity effects on field performance, p 119-121. En: *Proceedings Combined Western Nursery Council, Forest Nursery Association*, Vernon, BC, Canada. USDA Forest Service General Technical Report RM-167.
- South, D.B., Mexal, J.G. y J.P. van Buijtenen. 1988. The relationship between seedling diameter at planting and long-term growth of loblolly pine in east Texas, p. 192-199. En: *Proceedings 10th North American Forest Biology Workshop*, Vancouver, B.C. Canada, July 20-22.
- Stone, E.C., Cavallaro, J.I. y E.A. Norberg. 2003. Critical RGC-expected survival models for predicting survival of planted white fir (*Abies concolor* Lindl.) seedlings. *New Forests* 26:65-82.
- Timmis, R. 1974. Effect of nutrient stress on growth, bud set and hardiness in Douglas-fir seedlings, p 187-193. En: R.W. Tinus, W.I. Stein y W.E. Balmer (Editores), *Proceedings of the North American Containerized Forest Tree Seedlings Symposium*, Denver, CO. Great Plains Agriculture Council Publication 68.
- Timmis, R. y Y. Tanaka. 1976. Effects of container density and plant water stress on growth and cold hardiness of Douglas-fir seedlings. *Forest Science* 22:167-172.
- Tinus, R.W. y P.W. Owston. 1984. Physiology research made forestation with container-grown seedlings successful, p 143-156. En: Duryea, M.L. y G.N. Brown (Editores), *Seedling Physiology and Reforestation Success*. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publ., Dordrecht.

Villar-Salvador, P., Ocaña, L., Peñuelas, J. y I. Carrasco. 1999. Effect of water stress conditioning on the water relations, root growth capacity, and the nitrogen and non-structural carbohydrate concentration of *Pinus halepensis* Mill. (Aleppo pine) seedlings. *Annals of Forest Science* 56:459-465.

Wakeley, P.C. 1949. Physiological grades of southern pine nursery stock. *Society of American Foresters Proceedings* 1948:311-322.

Wakeley, P.C. 1954. Planting the southern pines. USDA Monograph 18, 233 p.

Wenny, D.L., Swanson, D.J. y R.K. Dumroese. 2002. The chilling optimum of Idaho and Arizona ponderosa pine buds. *Western Journal of Applied Forestry* 17(3):117-121.

Xu, X.J. y V.R. Timmer. 1999. Growth and nitrogen nutrition of Chinese fir seedlings exposed to nutrient loading and fertilization. *Plant and Soil* 216:83-91.