

# Efecto de la fertilización y endurecimiento en vivero en el establecimiento de plantaciones de *Pinus radiata* D.Don.

ORTEGA<sup>1</sup> U.; J. MAJADA<sup>1</sup>; J. SANCHEZ-ZABALA<sup>2</sup>; N. RODRIGUEZ-ITURRIZAR<sup>2</sup>; K. TXARTERINA<sup>3</sup>; J. AZPITARTE<sup>4</sup> & M. DUÑABEITIA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Estación Experimental “La Mata”, Sección Forestal, SERIDA, Apdo. 13, 33820 Grado (Asturias). [jmajada@serida.org](mailto:jmajada@serida.org)

<sup>2</sup> Dpto. Biología Vegetal y Ecología, F. Ciencia y Tecnología, UPV/EHU. Apdo.644, 48080 Bilbao (Bizkaia).

<sup>3</sup> BASALAN, Avda. Madariaga 1, 1º Dpto. 9, 48014 Bilbao (Bizkaia).

<sup>4</sup> Asociación de Forestalistas de Bizkaia, Bº Gumuzio, 48960 Galdakao (Bizkaia).

## Resumen

En base a la importancia de la gestión nutricional e hídrica en vivero, se ha establecido como objetivo el estudio de la gestión de riego y fertilización en el desarrollo en contenedor de *Pinus radiata*, así como su efecto sobre la supervivencia y crecimiento de la planta tras su establecimiento en campo. Para ello se planteó un diseño de fertilización diferenciando tres fases: germinación, crecimiento y endurecimiento. Durante la fase de crecimiento, se emplearon programas de nutrición exponencial definidos “a priori” para producir plantas en condiciones nutricionales subóptimas (N1) y óptimas (N2). De esta forma al final del período de producción se dispusieron de dos lotes de planta para la aplicación de técnicas de endurecimiento mediante estrés hídrico controlado (2 niveles) y aporte de potasio mediante control nutricional (3 niveles). Los resultados indican que al final de la fase de vivero, la fertilización nitrogenada condiciona el crecimiento de las plantas, tanto en altura como en biomasa. Estas diferencias se mantienen tras el trasplante a campo, observándose que tanto los crecimientos como la supervivencia son superiores en las plantas producidas con la mayor concentración de N, independientemente de cual sea su tratamiento posterior.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, una gran proporción de la planta forestal destinada a repoblación es producida en contenedor, sistema productivo que presenta como ventaja la posibilidad de controlar los principales factores que determinan el desarrollo, siendo la nutrición mineral y el riego los factores más importantes (LANDIS *et al.*, 1989). La nutrición afecta en gran medida a las características de las plantas obtenidas, influyendo en la respuesta de estas después de su trasplante a campo y pudiendo también existir interacciones entre el tipo de contenedor, época de sembrado y el método de fertilización (FRAYSSE & CREMIÈRE, 1998).

La estrategia de fertilización para la producción de planta en contenedor (fertilización de base y/o fertirrigación a lo largo del cultivo), va a depender de las plantas a producir, de las condiciones climáticas del vivero y de las infraestructuras y medios disponibles (LANDIS *et al.*, 1989). La incorporación de fertilizantes de lenta liberación (FLL) al sustrato persigue hacer coincidir la liberación de los nutrientes con el periodo de crecimiento activo de la planta. Este sistema reduce los costos de producción y los riesgos de pérdida de nutrientes por lixiviado en cultivos a cielo abierto, pero presenta como desventajas la imposibilidad de controlar la concentración y balance de nutrientes en el medio de crecimiento, a la vez que resulta difícil conseguir una distribución uniforme del fertilizante en el sustrato. La fertirrigación de aplicación lineal o exponencial, aunque de más difícil control, suple las carencias del abonado en sustratos con FLL. El incremento exponencial en la aplicación de nutrientes es una modalidad de fertilización que persigue emparejar la adición de nutrientes con los requerimientos de la planta durante el crecimiento exponencial, lo cual induce una condición nutricional estacionaria en las plantas manteniendo una concentración interna de nutrientes relativamente constante durante el crecimiento (INGESTAD & LUND, 1986), y mejora el comportamiento de las plantas una vez transplantadas a campo (TIMMER *et al.*, 1991).

Del mismo modo, la importancia del agua para el cultivo de especies forestales en contenedor no debe ser menospreciada. La gestión del riego tiene un efecto directo sobre las condiciones hídricas y de aireación del sustrato, así como sobre el crecimiento de las plantas (LAMHAMEDI *et al.*, 1997).

La optimización del riego durante el proceso de producción en vivero, puede suponer una reducción del volumen de riego y posiblemente reducir las pérdidas de nutrientes por lixiviados. Mantener adecuados niveles de agua y nutrientes en la rizosfera resulta clave para mantener y controlar el estado fisiológico de las plantas, gracias a lo cual se puede mejorar el comportamiento en campo (TIMMER & MILLER, 1991). En este sentido, la exposición de las plantas a estrés hídrico controlado puede aumentar su resistencia a sequía como consecuencia del ajuste osmótico, que se traduce en una mayor respuesta estomática a los subsiguientes episodios de sequía (ZWIAZEK & BLAKE, 1989).

Las particularidades y posibilidades que presenta este sistema de producción, junto con el hecho de que esta sea la especie forestal más importante desde el punto de vista comercial en el País Vasco y la única para la que existe un programa de mejora genética relativamente avanzado, justifica el estudio de las condiciones culturales en vivero y su efecto sobre la calidad de las plantas obtenidas, con el objetivo de aprovechar el potencial de materiales forestales de reproducción mejorados genéticamente. Este trabajo estudia el efecto de la aplicación exponencial de N y la gestión de riego en el desarrollo de *P. radiata* durante las distintas fases de producción en vivero, y su influencia en el comportamiento en campo bajo dos condiciones edafoclimáticas distintas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

En Julio de 2001 se sembraron semillas de *Pinus radiata* (Procedencia NZ, GF-13) en bandejas Arnabat 35/200 sobre una mezcla de corteza de pino y turba rubia (70:30, v:v). Un lote de semillas fue sembrado incorporando 3,5 g·l<sup>-1</sup> de fertilizante de liberación lenta (®Osmocote, 14:8:13 NPK, Scotts, Peters, USA) a modo de control (70 bandejas), y el resto (240 bandejas) se mantuvo sin fertilización de base para la aplicación de distintos programas de fertirrigación. El diseño del programa de producción se realizó diferenciando tres fases; establecimiento, crecimiento y endurecimiento (Tabla 1).

El sistema experimental consistió en la aplicación exponencial de dos niveles de nutrientes (N1 y N2) durante la fase de crecimiento (12 semanas), y tres niveles de nutrientes (N<sub>0</sub>, N<sub>1</sub> y N<sub>2</sub>) y dos regímenes hídricos (-0,01 y -0,045 MPa de potencial hídrico en sustrato) durante la fase de endurecimiento (6+9 semanas respectivamente). Los niveles de N aplicados durante las 12 semanas de crecimiento fueron determinados según la función exponencial de INGESTAD & LUND (1986):  $N_T = N_S (e^{rt} - 1)$ , donde  $r$  es la tasa de adición relativa (5,57% por día para el tratamiento N1 y 7,65% para N2) que se requiere para incrementar  $N_S$  (el nivel inicial de N en la plántula), a un nivel final de  $N_T + N_S$ , donde  $N_T$  es la cantidad deseada a lo largo de  $t$ , el número de aplicaciones realizadas. Antes de iniciar el programa de fertilización exponencial se aplicó una única fertilización cuatro semanas después de la siembra durante la fase de establecimiento (®Starter 7:40:17 NPK, Scott, Peters, USA). Los tratamientos de endurecimiento por gestión de riego se aplicaron a partir de la semana 22 (4+12+6), ajustando el riego hasta -0,01 MPa y -0,045 MPa de potencial hídrico en el sustrato respectivamente, durante 9 semanas. Transcurrido el período de estrés todas las plantas se regaron durante 2 semanas a capacidad de campo hasta su transplante a campo.

Al finalizar el periodo de producción en vivero, se caracterizó la altura y diámetro a nivel del cuello de raíz (112 plantas por tratamiento), así como la biomasa aérea y radical, y contenido de nutrientes en acícula (NPK) (10 plantas al azar por tratamiento y muestreo).

Con el fin de evaluar el efecto de cada tratamiento en vivero sobre el establecimiento y posterior desarrollo, se instalaron en campo dos ensayos en Febrero de 2002 en Balmaseda (Pandozales; X:481476 Y:4783539) y Amorebieta (Untzetamendi; X:521801 Y:4784381). El ensayo de campo se estableció con un diseño de bloques completos al azar con 14 tratamientos y un espaciamiento de 2 x 2.5 m, con 25 plantas por tratamiento y 3 bloques por sitio. En ambos ensayos se determinó anualmente el efecto del tratamiento en la supervivencia, así como el desarrollo en altura y diámetro.

## RESULTADOS

La aplicación exponencial de nutrientes permitió modular el crecimiento de *Pinus radiata* en vivero, de forma que al finalizar el periodo de producción, las plantas producidas con el programa de producción N2 presentaron una altura superior en un 27,10% a las producidas con el programa N1,

mientras que el incremento en diámetro fue de un 33,20%. El análisis de varianza (excluido el tratamiento PC) mostró que la aplicación de N, tanto durante el periodo de crecimiento exponencial (FerCrec) como durante el programa de endurecimiento (FerEndu) tuvo un efecto significativo para estos dos parámetros (Tabla 2). Igualmente, FerCrec modificó significativamente la biomasa, y EnduEstrés afectó significativamente a todas las variables biométricas estudiadas excepto la relación PsPA/PsR. La interacción entre los dos tratamientos de fertilización fue significativa para el diámetro y la biomasa aérea y total, mientras que la interacción entre el programa de fertilización exponencial y el tratamiento de estrés lo fue para el diámetro, la relación altura/diámetro y la biomasa radical. La interacción entre los tres factores solo fue significativa para la biomasa aérea, radical y total. Con respecto a la producción con fertilizante de liberación lenta, se hallaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) tanto para la altura como para el diámetro, así como para la biomasa aérea, radical y total, respecto a los dos tratamientos de fertirrigación (datos no mostrados). Los análisis foliares mostraron una tendencia al aumento en el contenido foliar de N, P y K con la aplicación de FerEndu dentro de cada programa de fertilización de crecimiento (Tabla 3). Asimismo, la aplicación de EnduEstrés provocó un incremento en el contenido en N respecto al resto de macronutrientes para cada programa nutricional.

Sin considerar los distintos tratamientos realizados en vivero se han observado diferencias significativas entre los dos ensayos tras el primer año en campo. Estas diferencias significativas pueden ser achacadas a las características edáficas de las parcelas que presentan diferentes niveles de nutrientes, siendo en Pandozales 2,4 y 5 veces superiores en N total y P asimilable respectivamente. Además, la baja disponibilidad de nutrientes se ve agravada por un menor pH en Untzetamendi. Sin embargo, considerando los tratamientos existen diferencias significativas cuando se analizan las plantas tras un año de establecimiento en campo. Además, el efecto de los tratamientos se mantuvo o incluso acrecentó en el segundo año de crecimiento en campo (Fig. 1). El análisis de varianza de los factores estudiados (resultados no mostrados) reveló que todos ellos excepto el tratamiento de endurecimiento por fertilización tuvieron un efecto significativo en la altura y diámetro de las plantas ( $p \leq 0,05$ ). El comportamiento de las plantas producidas con los programas de fertilización exponencial estuvo condicionado por el ambiente de plantación, siendo el desarrollo significativamente diferente para ambos programas de fertilización ( $p \leq 0,05$ ). Se comprobó que mientras en Untzetamendi ningún tratamiento de gestión en vivero aportó ventajas competitivas en campo, en Pandozales tanto la fertilización de crecimiento como el precondicionamiento por sequía afectaron significativamente al desarrollo de las plantas. En la parcela de Pandozales, al primer año de desarrollo en campo, el endurecimiento por estrés hídrico solo generó diferencias significativas en crecimiento para las plantas producidas con el programa N1 ( $p \leq 0,005$ ), siendo superior el crecimiento de las plantas no precondicionadas. Al segundo año de crecimiento en campo, en esta misma parcela estas diferencias solo se mantenían en el caso de la altura para las plantas producidas con el programa N1 ( $p = 0,002$ ), mientras que en la parcela de Untzetamendi se registraron diferencias significativas en altura ( $p \leq 0,001$ ) y diámetro ( $p = 0,004$ ) en el caso de las plantas producidas con el programa N1, siendo en este caso significativamente superior el desarrollo de las plantas precondicionadas mediante estrés hídrico.

En cuanto a las plantas producidas con fertilizante de liberación lenta mostraron diferencias significativas en crecimiento en ambas parcelas, y la respuesta de estas al precondicionamiento por estrés hídrico estuvo también condicionado por el ambiente de plantación; en Pandozales las plantas precondicionadas lograron un mayor desarrollo en altura y diámetro, aunque solo significativamente superior en el caso del diámetro ( $p = 0,002$ ). Sin embargo, en Untzetamendi fue superior el desarrollo en altura de las plantas mantenidas a capacidad de campo ( $p = 0,004$ ). Al segundo año de crecimiento en campo, mientras que en Untzetamendi desaparecieron estas diferencias, en Pandozales pasaron a ser significativas tanto en el caso de la altura ( $p = 0,003$ ) como en el del diámetro ( $p = 0,032$ ).

## DISCUSIÓN

El control de los niveles de N es el factor más importante para manipular el crecimiento de *P. radiata*, y los niveles recomendados de fertilización con N pueden variar considerablemente en función de la época de sembrado, la latitud del vivero y los estadios de crecimiento. Al margen del ajuste necesario en función de los factores citados anteriormente, la adopción de niveles moderados

de N durante la fase de establecimiento, niveles elevados durante la fase de crecimiento rápido, y bajos niveles durante la fase de endurecimiento permite controlar el crecimiento de *Pinus radiata* en contenedor. Sin embargo, la inclusión de bajos niveles de N durante la fase de endurecimiento para reducir la relación N/K, parece tener una gran influencia en climatologías atlánticas donde en otoños calidos, no sólo no se produce una parada vegetativa, sino que se mantiene su crecimiento. De cualquier forma, los niveles óptimos en relación a nutrientes para especies forestales producidas en contenedor necesitarán ajustarse para cada especie y condiciones de cultivo (LANDIS *et al.*, 1989).

Aunque aún sigue siendo habitual la utilización de elevadas dosis de N para producir coníferas en contenedor, las recomendaciones más recientes se refieren a la utilización de bajas concentraciones de N durante la fase de crecimiento rápido. En este trabajo se han empleado 34,82 y 64,57 mg de N, lo que coincide con las recomendaciones de INGESTAD (1979), de 20 a 50 ppm de N para *Pinus sylvestris*, y de 60 a 100 ppm para *Picea abies*, siempre y cuando el resto de los nutrientes sean aportados en proporciones adecuadas. De esta forma la tendencia general de reducir los niveles totales de N facilita el control del crecimiento de la parte aérea y producir una planta más balanceada. Como se ha citado anteriormente, durante la aplicación de K en el periodo de endurecimiento, el N aplicado al final del proceso de producción para N1 y N2 aumentó en un 50% y un 30% respectivamente. Por otro lado, aunque la relación entre el crecimiento de las plantas y los niveles de nutrientes en los tejidos de la planta siguen un patrón característico, las dosis aplicadas en este trabajo se encuentran dentro de los límites descritos para coníferas (LANDIS *et al.*, 1989). En cualquier caso, la biomasa aérea producida en vivero estuvo relacionada con el contenido en N, P y K ( $r^2 = 0,8058; 0,9554$  y  $0,9718$  respectivamente) (FRAYSSE & CREMIÈRE, 1998), no encontrándose los problemas en la absorción de K debido a posibles interacciones con otros elementos tal y como describen otros autores (INGESTAD, 1979).

Un hecho destacable es la mayor concentración elemental observada en N1N2, por ejemplo frente a N2N2. La absorción de N es la más susceptible de alcanzar niveles de consumo excesivos durante el crecimiento. Las plantas toman el N rápidamente y parecen almacenarlo en el follaje, porque las concentraciones de N foliar continúan aumentando sin que se presente un crecimiento adicional. INGESTAD (1979), cultivó plantas de dos especies de coníferas con niveles de N de 20 a 1200 ppm, y encontró que las dos especies podían acumular elevadas concentraciones de N (2.7 a 3.4%) antes de que declinara el crecimiento de las plantas.

En cuanto al tratamiento de fertilización de base, las concentraciones foliares de nutrientes obtenidas al finalizar la producción se correspondieron con el tratamiento de fertirrigación equivalente en cuanto a N aplicado. Igualmente, la reducción en biomasa que provocó el precondicionamiento por estrés generó un aumento en la concentración foliar de nutrientes sin una reducción en su contenido absoluto, mostrando que aunque el desarrollo de las plantas se vio severamente afectado por la disponibilidad hídrica, la asimilación de N no fue tan sensible a los efectos del riego, tal y como se ha demostrado en otros trabajos (MILLER & TIMMER, 1994).

La supervivencia una vez transplantadas a campo estuvo condicionada por la gestión nutricional e hídrica en vivero en ambas parcelas. El comportamiento en campo de las especies forestales está positivamente relacionado con el contenido foliar en N (VAN DEN DRIESSCHE, 1991) y la concentración de carbohidratos no estructurales, los cuales juegan un papel importante en el ajuste osmótico (GEBRE *et al.*, 1994). Todo ello, junto con la reducción en la transpiración mínima por el engrosamiento de la cutícula (VILLAR-SALVADOR *et al.*, 1999), habría propiciado la mayor supervivencia de las plantas precondicionadas cuando el contenido en N por planta superó el 2%. Sólo las plantas producidas con dosis mayores de N (>64,6 mg programa N2) respondieron con una reducción en el porcentaje de marras al precondicionamiento por estrés hídrico en ambas parcelas, mientras que las plantas producidas con dosis de 34,8 a 62,9 mg de N (programa N1) dieron lugar a más marras. Igualmente, las plantas producidas con fertilizante de liberación lenta (54,3 mg de N) también mejoraron su supervivencia como consecuencia del precondicionamiento en Pandozales. La fertilización con elevados niveles de N ha demostrado afectar adversamente a la supervivencia de las plantas y su crecimiento luego de ser plantadas. ETTER (1969), estudió los efectos de tres niveles de N en la supervivencia a la sequía en plantas de *Pinus contorta*, y encontró que las plantas cultivadas con elevados niveles de N (500 ppm) tuvieron menores supervivencias al ser plantadas que aquellas cultivadas bajo fertilización estándar. La supervivencia de *Pseudotsuga menziesii* y de *Picea glauca* mostró una relación con la concentración de N foliar, constatándose la mayor supervivencia alrededor

de niveles de concentración de N igual a 2.1%, valores que coinciden con los obtenidos en este trabajo.

El comportamiento en campo es un proceso muy complejo que depende de factores tales como las condiciones edafoclimáticas, la morfología de la planta, su resistencia a estrés y su vitalidad (SIMPSON & RITCHIE, 1997). Asimismo, se sabe que el tamaño de la planta o su relación parte aérea/raíz son críticos para la supervivencia, especialmente ahí donde la disponibilidad hídrica y la competencia interespecífica sean factores limitantes para el establecimiento de la repoblación (VAN DEN DRIESSCHE, 1991). El preacondicionamiento en vivero modificó esta relación obteniendo con ello plantas mejor acondicionadas para resistir condiciones de estrés (menor relación parte aérea/raíz), lo cual resultó ser crítico para la supervivencia en la parcela de Untzetamendi, donde se observó una correlación positiva de la relación PsPA/PsR con el porcentaje de marras. En Pandozales en cambio no existe correlación, lo que sugiere la existencia de diferencias en las condiciones ecológicas entre ambas parcelas.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que la gestión nutricional e hídrica en vivero condiciona el desarrollo en vivero y posterior crecimiento en campo. La respuesta al preacondicionamiento por estrés hídrico, es una útil herramienta para modular las características morfo-fisiológicas de las plantas de cara a disminuir el porcentaje de marras. Así mismo, durante los dos primeros años de crecimiento en campo se manifiestan diferencias en desarrollo entre los diferentes tratamientos de gestión en vivero, confirmando que la selección del tipo de planta adecuado puede ayudar a minimizar los efectos de los factores limitantes del sitio en el establecimiento y crecimiento inicial de las plantas.

## BIBLIOGRAFÍA

- ETTER, H.M. 1969. Growth, metabolic components and drought survival of lodgepole pine seedlings at three nitrate levels. *Canadian Journal of Plant Science* 49(4): 393-402; 1969.
- FRAYSSE, J.Y. & CRÉMIÈRE, L. 1998. Nursery factors influencing containerized *Pinus pinaster* seedlings' initial growth. *Silva Fennica* 32(3): 261-270.
- GEBRE, M.G.; KUHNS, M.R. & BRANDLE, J.R. 1994. Organic solute accumulation and dehydration tolerance in three water-stressed *Populus deltoides* clones. *Tree Physiol.* 14: 575-587.
- INGESTAD, T. 1979. Mineral nutrient requirements of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. *Physiol. Plant.* 45: 373-380.
- INGESTAD, T. & LUND, A.B. 1986. Theory and techniques for steady-state mineral nutrition and growth of plants. *Scan. J. For. Res.* 1: 439-453.
- LAMHAMEDI, M.S.; BERNIER, P.Y. & HÉBERT, C. 1997. Effect of shoot size on the gas exchange and growth of containerized *Picea mariana* seedlings under different watering regimes. *New For.* 13: 209-223.
- LANDIS, T.D.; TINUS, R.W.; MCDONALD, S. E. & BARNETT, J. P. 1989. Seedling Nutrition and Irrigation, Vol. 4, The Container Tree Nursery Manual. *Agric. Handbk.* 674. Washington, DC: US Department of Agriculture, Forest Service. 119 p.
- MILLER, B.D. & TIMMER, V.R. 1994. Steady-state nutrition of *Pinus resinosa* seedlings: response to nutrient loading, irrigation and hardening regimes. *Tree Physiol.* 14: 1327-1338.
- SIMPSON, D.G. & RITCHIE, G.A. 1997. Does RGP predict field performance? A debate. *New Forests* 13: 253-277.
- TIMMER, V.R.; ARMSTRONG, G. & MILLER, B.D. 1991. Steady-state nutrient preconditioning and early outplanting performance of containerized black spruce seedlings. *Can. J. For. Res.* 21: 585-594.
- TIMMER, V.R. & MILLER, B.D. 1991. Effects of contrasting fertilization and moisture regimes on biomass, nutrients and water relations of container grown red pine seedlings. *New For.* 5: 335-348.
- VAN DEN DRIESSCHE, R. 1991. Effects of nutrients on stock performance in the forest. In: Van den Driessche R. (Ed), *Mineral nutrition of conifer seedlings*. CRC Press Inc., Boca Raton, FL, 274 p.

VILLAR-SALVADOR, P.; OCAÑA, L.; PEÑUELAS, J. y CARRASCO, I. 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. Ann. For. Sci. 56: 459-465.

ZWIAZEK, J.J. & BLAKE, T.J. 1989. Effects of preconditioning on subsequent water relations, stomatal sensitivity, and photosynthesis in osmotically stressed black spruce. Can. J. Bot. 67: 2240-2244.

	ESTABLECIMIENTO			CRECIMIENTO			ENDURECIMIENTO					
	4 semanas			12 semanas			6 semanas			9 semanas		
	N	P	K	FerCrec	N	P	K	FerEndu	N	P	K	EnduEstres
<b>FTG</b>	0,97	4,56	3,69					<b>N0</b>	3,53	12,95	45,82	
				<b>N1</b>	30,32	55,81	44,88				$\Psi_s = -0,01 \text{MPa}$	
				<b>N2</b>	60,07	55,81	44,88	<b>N1</b>	17,53	12,95	45,82	$\Psi_s = -0,045 \text{MPa}$
							<b>N2</b>	31,54	12,95	45,82		
<b>FLL</b>				<b>PC</b>	54,27	24,42	72,63					$\Psi_s = -0,045 \text{MPa}$

Tabla 1. Diseño experimental con las cantidades de nutrientes (mg/planta) aplicados, tanto en los tratamientos de fertirrigación (FTG) como en el tratamiento con fertilizantes de lenta liberación (FLL). Los tratamientos de fertirrigación se dividieron en tres fases (establecimiento+crecimiento+endurecimiento). Transcurridas 22 semanas desde la siembra se procedió al endurecimiento por estrés hídrico (EnduEstres) evaluando dos tratamientos de  $-0,01$  y  $-0,045$  MPa respectivamente durante 9 semanas. FerCrec corresponde a la aplicación exponencial de dos dosis de N y FerEndu a la posterior aplicación de tres niveles de N antes del comienzo del programa de endurecimiento por estrés hídrico moderado. PC corresponde al fertilizante de liberación lenta <sup>®</sup>Osmocote, y representa las cantidades teóricas indicadas por el fabricante.

	Alt	Diam	Alt/Diam	PSPA	PsR	PsPa/PsR	PsTotal
FerCrec	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0004	<0,0001	<0,0001
FerEndu	<0,0001	0,044	0,012	0,106	0,068	0,103	0,092
EnduEstres	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,268	<0,0001
FerCrec x FerEndu	0,174	0,013	0,270	0,002	0,057	0,123	0,004
FerCrec x EnduEstres	0,462	<0,0001	<0,0001	0,372	0,025	0,057	0,147
FerEndu x EnduEstres	0,214	0,001	0,001	0,077	0,06	0,001	0,269
FerCrec x FerEndu x EnduEstres	0,223	0,166	0,247	0,027	0,049	0,944	0,017

Tabla 2. Significación de la ANOVA de tres vías para los factores fertilización de crecimiento, fertilización de endurecimiento y endurecimiento por estrés hídrico, sobre la biometría (altura, diámetro, relación altura-diámetro, biomasa aérea, radical y total, y relación biomasa aérea-radical) de las plantas al finalizar la producción en vivero. Nivel de significación de  $\alpha=0,05$ .

FerCrec	FerEndu	EnduEstres	N (mg/g)	P (mg/g)	K (mg/g)	N/P	N/K
N1	N0		15,00	3,23	15,61	4,64	0,96
		-0,01 MPa	17,30	3,14	14,63	5,51	1,18
			20,40	3,16	14,72	6,46	1,39
N2	N0		13,90	3,35	15,54	4,51	0,97
		-0,045 MPa	16,80	3,30	15,36	6,55	1,41
			16,50	3,55	16,73	7,15	1,52
N2	N0		15,10	2,75	13,69	5,05	1,02
		-0,01 MPa	21,60	2,90	15,23	5,79	1,10
			25,40	2,73	14,44	6,04	1,14
N2	N0		17,80	3,09	17,29	5,76	1,03
		-0,045 MPa	20,60	3,01	16,14	6,84	1,28
			24,60	3,48	17,29	7,07	1,42
PC		-0,01 MPa	17,90	2,81	14,28	6,37	1,25
		-0,045 MPa	22,50	2,77	16,52	8,12	1,36

Tabla 3. Concentraciones de N, P y K en acículas de *P. radiata* tras la aplicación de los tratamientos de fertilización y endurecimiento al finalizar el periodo de producción en vivero.

Figura 1. Altura y diámetro de las plantas en los dos años de crecimiento en campo. Los asteriscos indican diferencias significativas

( $p \leq 0,05$ ) entre los tratamientos de endurecimiento por estrés hídrico (R=no endurecidas, S=endurecidas) dentro de cada programa de fertilización de producción

