

EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA FORMA DE PLÁNTULAS DE *PINUS RADIATA*

Rafael Zas Arregui, Francisco Pichel Romaris, Patricia Martínez Gardín y Josefa. Fernández-López

Departamento de Producción Forestal. Centro de Investigaciones Forestales e Ambientales de Lourizán. Apdo. 127, 36080-PONTEVEDRA (España). Correo electrónico: rzas.cifal@siam-cma.org

Resumen

En un ensayo factorial progenie \times fertilización de *Pinus radiata* en el Sur de Galicia se observaron importantes deformaciones en el tallo de las plantas un año después de la plantación. Los tallos de las plantas afectadas (29%) presentaban curvaturas caprichosas en forma de S muy marcada. Mediante análisis de varianza se detectaron importantes diferencias en el número y tamaño de las curvaturas entre los distintos tratamientos de fertilización, siendo la fertilización fosfórica la que significativamente más curvaturas causaba. También se observaron diferencias altamente significativas entre las distintas familias testadas. Con el fin de detectar posibles deficiencias nutricionales que pudieran estar relacionadas con estas deformaciones, se realizaron análisis foliares de dos familias con y sin fertilización. La fertilización N-P-K-Mg generó, además de un aumento del crecimiento y de la presencia de curvaturas, un aumento en los niveles foliares de P y Ca, así como una significativa e importante disminución de los niveles de Cu foliar. La posible implicación de una deficiencia inducida de Cu en la pérdida de resistencia y las consecuentes deformaciones es discutida en relación a resultados equivalentes obtenidos en trabajos previos en Australia.

Palabras clave: Fertilización, Deficiencia nutricional, Malformaciones, Forma del tronco

INTRODUCCIÓN

Las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en el norte de España, y especialmente en Galicia, presentan importantes deficiencias nutricionales que limitan su crecimiento potencial y vigor vegetativo. El P y el Mg son los elementos más limitantes mientras que el N no suele presentar problemas o incluso llega a resultar excesivo (ROMANYÀ & VALLEJO, 1996; ZAS, 2003; ZAS & SERRADA, 2003). Por otra parte, son varios los trabajos donde se observa una importante dependencia de la calidad de estación en función de aspectos nutricionales. En concreto, el índice de calidad se correlaciona positivamente con los niveles foliares y edáficos de P y negativamente

con los de N (ROMANYÀ & VALLEJO, 2004; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ et al., 2002). Por todo ello la fertilización fosfórica se recomienda como práctica rutinaria en el establecimiento de las plantaciones de *P. radiata* en Galicia (SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ et al., 2002; ZAS et al., 2004). La acidez de los suelos gallegos induce la fijación del P aportado a formas no asimilables, por lo que una subida previa del pH puede incrementar notablemente el efecto de la fertilización.

En los años 90, el C.I.F.A. Lourizán puso en marcha un programa de mejora genética para aumentar tanto la producción como la calidad de la madera. Aunque todavía no están en plena producción, los huertos semilleros clonales de primera generación producirán semilla mejorada

en breve. Siendo tan importante la nutrición de *P. radiata* en Galicia, cabe esperar que la disponibilidad de nutrientes y/o las prácticas de fertilización afecten sustancialmente al comportamiento del material de mejora de la especie. Por ello se instalaron en 2003 una serie de ensayos factoriales progenie \times fertilización donde no sólo se pretende estudiar la sensibilidad del material de mejora frente a distintos niveles de fertilidad, sino también explorar la posibilidad de incluir la eficacia nutricional (capacidad de crecer por unidad de nutriente disponible o asimilado) como carácter de selección en el programa de mejora (ZAS et al., 2004).

Inesperadamente, en uno de estos ensayos se observaron importantes deformaciones en los tallos de algunas plantas. Los tallos de las plantas afectadas presentaban curvaturas grotescas y caprichosas en forma de herradura o de "S" muy marcada (Figura 1). Una inspección visual detallada desestimó como posible causante el ataque de algún hongo o insecto. Con el fin de indagar sobre las posibles causas se evaluaron (número y dimensiones) estas malformaciones en todas las plantas. El objeto de este trabajo es estudiar el posible efecto de la fertilización y del genotipo en la aparición de estas malformaciones.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló sobre un ensayo factorial progenie \times fertilización instalado en febrero de 2003 en el ayuntamiento de Cotobade (Pontevedra, 42,46° N; 8,48° W). La parcela se sitúa sobre gneises y presenta un suelo arenoso y ácido, rico en materia orgánica y N total, y pobre

en nutrientes, especialmente en P asimilable. El material vegetal consiste en 27 familias de polinización abierta procedentes de árboles *plus* seleccionados en Galicia por buen crecimiento, forma y ramosidad y 4 testigos comerciales (3 lotes de material mejorado del País Vasco y semilla comercial gallega). Los 9 tratamientos de fertilización se diseñaron por combinación de 4 fertilizantes comerciales (N: Nitrato amónico (5 g N planta⁻¹), P: superfosfato triple (10 g P planta⁻¹), K: sulfato potásico (15 g K planta⁻¹) y Mg: sulfato magnésico (5 g Mg planta⁻¹) según se indica en la Tabla 1. La fertilización se aplicó manualmente alrededor de las plantas en el momento de la plantación. El diseño experimental fue un *split-plot* replicado en 10 bloques, con los tratamientos de fertilización como factor principal y los genotipos como factor secundario. El número total de plantas en la parcela es de $(27 + 4) \times 9 \times 10 = 2790$. Una descripción completa del ensayo se puede consultar en ZAS et al. (2004).

En marzo de 2004 se midió la altura total de todas las plantas (H) y se evaluaron las curvaturas anómalas que éstas presentaban. Se contó el número de curvas en cada planta (CURVAS = 0, 1, 2, ó 3), y las dimensiones S (ancho) y L (largo) de la curva más pronunciada (Figura 1). El índice S/(L/H) se consideró como indicativo de la gravedad de la curvatura.

Con el fin de estudiar el posible efecto de una deficiencia nutritiva sobre la presencia de estas malformaciones se tomaron muestras de acículas del año en septiembre de 2004 de dos familias bajo dos tratamientos de fertilización (F0 y F1) en 5 de los 10 bloques. Las muestras se secaron en estufa a 60°C hasta peso constante y se digirieron en microondas con ácido nítri-

Tratamiento	Fertilizantes			
	N	P-Ca	K	Mg
F0	-	-	-	-
F1	+	+	+	+
F2	-	+	+	+
F3	+	-	+	+
F4	+	+	-	+
F5	+	+	+	-
F6	-	-	+	+
F7	-	+	-	+
F8	-	+	+	-

Tabla 1. Composición de los tratamientos de fertilización. Los signos + y - indican presencia y ausencia de un determinado compuesto, respectivamente



Figura 1. Aspecto de plántulas de *Pinus radiata* de un año de edad con el tallo deformado por las curvaturas anómalas objeto del presente trabajo

co. El N se analizó en un analizador elemental LECO CN 2000 y el resto de nutrientes por espectrometría de emisión óptica (ICP, Perkin Elmer Optima 4300 DV).

El efecto de la fertilización, genotipo, bloque e interacciones sobre el crecimiento, curvaturas y concentraciones foliares en nutrientes se analizó mediante análisis de varianza utilizando el procedimiento MIXED del sistema SAS, considerando la interacción bloque \times fertilización como factor al azar y el resto como factores fijos (SAS-INSTITUTE, 1999). La comparación entre tratamientos se realizó utilizando el comando LSMEANS del procedimiento MIXED asumiendo un nivel de significación del 0,05. El efecto de la fertilización sobre la variable 'Porcentaje de plantas curvadas' (Figura 2a) se analizó sobre las medias transformadas (arco seno de la raíz cuadrada) de los whole plots considerando un diseño de bloques completos al azar.

RESULTADOS

Un año después de la plantación, el 29% de las plantas presentaban alguna deformación en sus tallos y la altura media era de $60,6 \pm 1,0$ cm.

La fertilización y el genotipo tuvieron un efecto altamente significativo tanto en el crecimiento como en las curvaturas anómalas (Tabla 2). Todos los tratamientos de fertilización provocaron un aumento significativo en el crecimiento y la presencia de curvaturas en relación al control (Figura 1). Entre los distintos tratamientos aquellos que no contienen P (F3 y F6, Tabla 1) generaron respuestas intermedias. Es de destacar la similitud en el patrón de la respuesta en crecimiento y curvaturas (Figura 1).

El efecto genético en la presencia de malformaciones también fue muy notable aunque ninguna familia resultó totalmente libre de deformaciones. El porcentaje de plantas con curvaturas varió entre familias entre el 12 y el 61%. La interacción familia \times fertilización también resultó significativa en todas las variables analizadas (Tabla 2), si bien los bajos valores de los ratios F indican una importancia relativa menor.

Los resultados de los análisis foliares indican deficiencias en P y Mg (concentraciones inferiores a los niveles críticos) (Figura 3). Tras la fertilización completa (Tratamiento F1, tabla 1) las concentraciones de P y Ca aumentaron significativamente mientras que las de Cu dis-

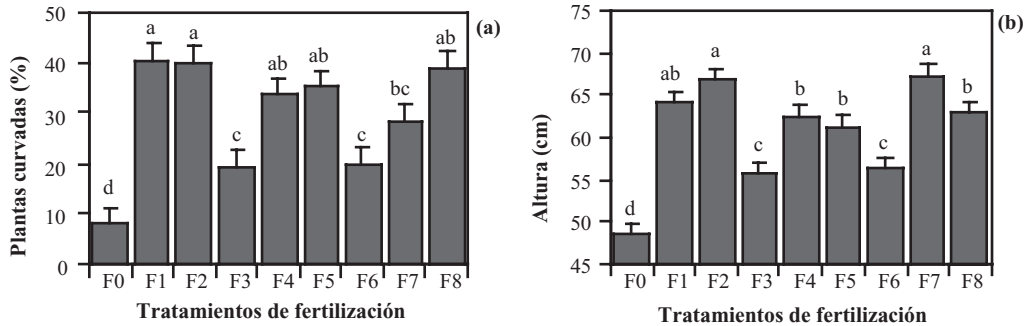


Figura 2. Efecto de la fertilización sobre el porcentaje de plantas curvadas (a) y el crecimiento en altura (b). Ver la Tabla 1 para la descripción de los tratamientos. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias corregidas (LSMEAN) de los distintos tratamientos. Para el análisis, la variable porcentaje de plantas se transformó previamente (arco seno de la raíz cuadrada)

minuyeron (Figura 3) pasando de $5,0 \pm 0,2$ a $3,6 \pm 0,4$ mg kg^{-1} , es decir a niveles marginales según WILL (1985). No se observó ningún otro efecto significativo de la fertilización sobre los niveles foliares.

DISCUSIÓN

La forma de los árboles influye directamente en el destino potencial de la madera. Las industrias de transformación de más valor añadido requieren, entre otras imposiciones, troncos totalmente rectos. Por ello, la mejora de la rectitud del tronco es uno de los criterios de selección más importante en los programas de mejora de especies forestales, incluyendo el de *Pinus radiata* en Galicia. Los problemas observados en los tallos no sólo invalidan los esfuerzos de este programa de mejora, sino también pueden incluso anular totalmente los beneficios económicos de las plantaciones.

En el presente trabajo se observa un claro efecto de la fertilización en la frecuencia e intensidad de las malformaciones en los tallos. Diversos estudios nutricionales recomiendan la fertilización fosfórica de establecimiento en Galicia como práctica rutinaria (SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ et al., 2002; ZAS et al., 2004) pero, a la vista de los resultados, los efectos negativos en la forma de los tallos puede contrarrestar los beneficios esperados en crecimiento. La inducción de malformaciones por la fertilización fosfórica y/o nitrogenada ha sido observada en varias especies, incluyendo *P. radiata* (HUNTER et al., 1990), y se ha relacionado con una deficiencia en Cu inducida por una inhibición de su asimilación, que a su vez afecta a la concentración de lignina y por tanto a la resistencia de los tallos (DOWNES & TURVEY, 1990). En el presente trabajo se observó una disminución significativa de la concentración de Cu tras la fertilización, especialmente si ésta incluye superfosfato. Sin embargo, los niveles de Cu observados en las plantas fertilizadas fueron cla-

Efecto	GLn	GLd	H		Curvas		S		S/(L/H)	
			F	p<F	F	p<F	F	p<F	F	p<F
Fertilización (F)	8	72	21,5	0,000	9,0	0,000	8,4	0,000	8,6	0,000
Bloque (B)	9	72	4,9	0,000	0,3	0,974	0,6	0,773	0,8	0,587
Genotipo (G)	30	1940	14,3	0,000	5,6	0,000	5,0	0,000	5,4	0,000
F*G	240	1940	1,3	0,001	1,4	0,000	1,2	0,010	1,2	0,022
B*G	270	1940	1,3	0,002	1,1	0,068	1,1	0,279	1,1	0,086

Tabla 2. Resumen del análisis de varianza para la altura (H), número de curvaturas anómalas (CURVAS) y dimensiones de las curvaturas (S y SL). Se presentan los ratios F y los correspondientes niveles de probabilidad. GLn y GLd son los grados de libertad del numerador y denominador del ratio F, respectivamente

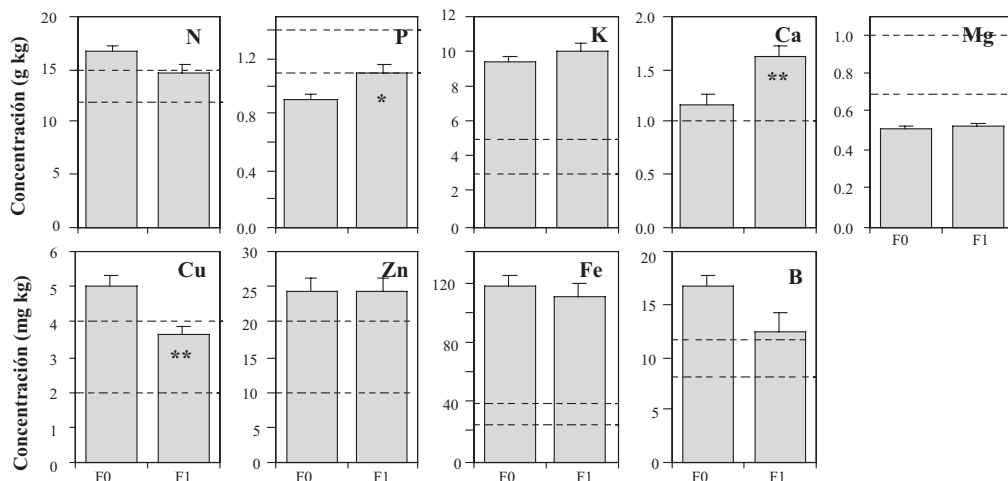


Figura 3. Efecto de la fertilización (tratamiento F1) sobre las concentraciones foliares en nutrientes. Medias \pm error estándar. Las líneas horizontales punteadas indican los niveles crítico y marginal propuestos por WILL (1985). Niveles de significación: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$

ramente superiores a los asociados con los síntomas de su deficiencia (WILL, 1985) y, aunque el Cu promedio en las plantas con malformaciones fue menor, se observaron plantas con malformaciones pronunciadas y altas concentraciones de Cu y viceversa. En plantaciones de *P. radiata* en prados abandonados en Australia también se han observado problemas similares relacionados con la forma y ramosidad de los tallos que no se pudieron relacionar con una deficiencia en Cu. Las concentraciones de Cu eran normales y los síntomas no desaparecían cuando se aplicaba Cu (TURVEY *et al.*, 1993), contrariamente a lo que ocurre cuando la deficiencia en Cu es la responsable (HUNTER *et al.*, 1990). A estos problemas se les bautizó con el nombre de Síndrome de Toorour, en alusión al lugar donde se observó por primera vez (PEDERIK *et al.*, 1984). Aunque no hay ninguna explicación a este fenómeno, factores como la mineralización del N orgánico y la nitrificación, la temperatura y humedad, y la propia nutrición en Cu, parecen estar involucrados (TURVEY *et al.*, 1993).

La disminución de la concentración de B tras la fertilización también podría estar relacionada con la aparición de malformaciones. Las deficiencias en B también causan problemas de forma en los tallos, si bien los niveles de B asociados a estos síntomas son, de nuevo, clara-

mente inferiores a los observados en el presente estudio (WILL, 1985).

Al igual que lo observado por PEDERIK *et al.* (1984), la frecuencia e intensidad de las malformaciones están bajo un importante control genético. La eficiencia en la asimilación de nutrientes, carácter que suele presentar un importante componente genético (ZAS *et al.*, 2004), pudiera estar relacionada.

Los resultados no permiten concluir sobre la implicación directa de una deficiencia de Cu inducida por la aplicación de fertilizantes, pero la disminución significativa de este elemento apuntan en esta línea. Para poder dar una explicación más precisa es necesario analizar un mayor número de muestras foliares y estudiar los efectos de la aplicación de Cu sobre la sintomatología observada.

BIBLIOGRAFIA

- DOWNES, G.M. & TURVEY, N.D.; 1990. Lignification of wood from deformed *Pinus radiata*. *Forest Eco. Manag.* 37: 123-130.
- HUNTER, I.R.; HUNTER, J.A.C. & NICHOLSON, G.; 1990. Current problems in the copper nutrition of radiata pine in New Zealand: a review. *Forest Ecol. Manag.* 37: 143-149.

- PEDERIK, L.A.; HOPMANS, P.; FLINN, D.W. & ABBOTT, I.D.; 1984. Variation in genotypic response to suspected copper deficiency in *Pinus radiata*. *Aus. For. Res.* 14: 75-84.
- ROMANYÀ, J. & VALLEJO, V.R.; 1996. Nutritional status and deficiency diagnosis of *Pinus radiata* plantations in Spain. *Forest Sci.* 42: 192-197.
- ROMANYÀ, J. & VALLEJO, V.R.; 2004. Productivity of *Pinus radiata* plantations in Spain in response to climate and soil. *Forest. Ecol. Manag.* 195: 177-189.
- SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, F.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; ESPAÑOL, E.; LÓPEZ, C.A. & MERINO, A.; 2002. Influence of edaphic factors and tree nutritive status on the productivity of *Pinus radiata* D. Don plantations in northwest Spain. *Forest Ecol. Manag.* 171: 181-189.
- SAS-INSTITUTE; 1999. *SAS/STAT User's guide, Version 8*. SAS Institute Inc. Cary, NC.
- TURVEY, N.D.; DOWNES, G.M.; HOPMANS, P.; STARK, N.; TOMKINS, B. & ROGERS, H.; 1993. Stem deformation in fast grown *Pinus radiata*: an investigation of causes. *Forest Ecol. Manag.* 62: 189-209.
- WILL, G.M.; 1985. *Nutrient deficiencies and fertiliser use in New Zealand exotic forests*. FRI Bulletin no 97, Forest Research Institute. Rotorua, New Zealand.
- ZAS, R.; 2003. Interpretación de las concentraciones foliares en nutrientes en plantaciones jóvenes de *Pinus radiata* D. Don en tierras agrarias en Galicia. *Inv. Agrar.: Sist. Rec. For.* 12: 3-11.
- ZAS, R.; PICHEL, F.; MARTÍNS, P. & FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; 2004. The impact of fertilization in the breeding program of *Pinus radiata* in Galicia (NW Spain). In: J.G. Álvarez, C. Goulding, A. Rojo, R. Rodríguez, T. Zoralioglu y A.D. Ruíz-González (eds.), *IUFRO International Meeting on The Economics and Management of High Productivity Plantations*. Lugo. Spain.
- ZAS, R. & SERRADA, R.; 2003. Foliar nutrient status and nutritional relationships of young *Pinus radiata* D. Don plantations in northwest Spain. *Forest Ecol. Manag.* 174: 167-176.