Invest. Agrar.: Sist. Recur. For. (2003) 12 (2), 3-11

Interpretación de las concentraciones foliares en nutrientes en plantaciones jóvenes de *Pinus radiata* D. Don en tierras agrarias en Galicia

Rafael Zas*

Departamento de Producción Forestal. CIFA Lourizán. Apdo. 127. 36080 Pontevedra. España

Resumen

Se estudia el estado nutricional en 14 plantaciones de *Pinus radiata* de 4-5 años de edad sobre tierras agrarias abandonadas recientemente en Galicia. El estado nutricional se evalúa mediante analítica foliar aplicando el método de los niveles críticos y el sistema DRIS. A su vez, se estudian las relaciones existentes entre los niveles foliares y edáficos y las relaciones entre el desarrollo de las plantaciones y parámetros nutricionales foliares y edáficos. Las deficiencias más importantes fueron en Mg y P. Las concentraciones en N fueron siempre superiores al nivel crítico, observándose una relativa descompensación en la relación foliar N:P. El desarrollo anual en altura, diámetro y volumen se correlacionó positivamente con los niveles foliares de P y negativamente con la relación foliar N:P. La nutrición fosfórica parece jugar un papel fundamental en el desarrollo de estas plantaciones. Sin embargo, la falta de una correlación significativa entre el P foliar y el P edáfico indican que otros factores, como el exceso de N o el pH del suelo, están interfiriendo en la asimilación de este nutriente. Por el contrario, los niveles edáficos y foliares de Mg están significativamente correlacionados. Esto, junto con los niveles edáficos de Mg no especialmente altos, sugiere que un aporte extra de este elemento puede mejorar el desarrollo de estas plantaciones.

Palabras clave: *Pinus radiata,* análisis foliar, análisis edáfico, diagnóstico de deficiencias, Galicia, España.

Abstract

Interpretation of foliar nutrient concentrations in young *Pinus radiata* D. Don plantations on abandoned agricultural lands in Galicia

The nutritional status of 14 4-5-yr-old *Pinus radiata* plantations on abandoned agricultural lands in Galicia (NW Spain) was studied. Nutritional status was assessed using macronutrient foliar analysis followed by the critical levels method, foliar nutrient ratios interpretation and the DRIS system. The relationships between foliar and soil nutrient levels and between annual growth and foliar and soil data were also analyzed. Mg and P deficiencies were the most common in foliage samples. Foliar N concentrations were always over the critical level and foliar N:P ratios were unbalanced in almost all sites. The annual height, diameter and volume growth were positively correlated with foliar P concentrations and negatively correlated with foliar N:P ratio. The P nutrition seems to play an important role in the plantation's development. However, both, the high levels of available P in the soils, and the lack of a significant correlation between foliar and soil P levels, suggest that other factors, such the N excess or the soil pH, may interfere in the P assimilation. On the contrary, exchangeable soil Mg levels were not very high and were significantly correlated with foliar Mg. Thus, a positive growth response to Mg fertilization can be expected.

Key words: *Pinus radiata,* nutritional status, deficiency diagnosis, Galicia, Spain.

Introducción

Pinus radiata D. Don es una de las especies productoras de madera más importantes del sector forestal español. En Galicia (noroeste de España), esta especie cubre cerca de 60.000 ha (M.M.A., 2001). La aplicación del Reglamento UE 2080/92 de fomento de la forestación de tierras agrarias ha supuesto un notable incremento del ritmo repoblador en Galicia durante los últimos años.

Las fertilizaciones en masas de *Pinus radiata* son prácticas habituales en países con amplia experiencia selvícola para mantener un rendimiento económico alto y sostenido (Birk, 1994; Turner y Lambert, 1986). También en Galicia se ha demostrado la eficacia de

* Autor para la correspondencia: rzas@sfp.cifl.cesga.es
Recibido: 03-07-01; Aceptado: 17-03-03.

fertilizaciones adecuadas en las masas de esta especie (Bará, 1974, 1990; Bará y Morales, 1977).

Uno de los sistemas más utilizados para el diagnóstico de deficiencias nutricionales y la determinación de las fertilizaciones más adecuadas es la analítica foliar (Bonneau, 1995; Lambert *et al.*, 1984). Existen distintos sistemas para la interpretación de los análisis foliares. El más comúnmente empleado es el sistema de los niveles críticos. Para cada nutriente, el nivel crítico es aquella concentración foliar por debajo de la cual el crecimiento está limitado por ese elemento. Por encima del nivel crítico no se espera una respuesta positiva en crecimiento ante el aporte extra del nutriente en cuestión (Ballard y Carter, 1986). Uno de los principales inconvenientes de este sistema es que cada nutriente se analiza independientemente y no se consideran las posibles interacciones que puedan existir entre distintos nutrientes (Svenson y Kimberley, 1988). Otros sistemas de diagnóstico, como el uso de las relaciones entre pares de nutrientes (Ballard y Carter, 1986) o el sistema DRIS (*Diagnosis and Recommendation Integrated System*) (Beaufils, 1973), son alternativas que solventan este inconveniente al analizar simultáneamente las condiciones de distintos nutrientes (Needham *et al.*, 1990). Aunque el sistema DRIS se desarrolló para cultivos agrarios, cada vez es más utilizado en el sector forestal (Romanya y Vallejo, 1996; Shumway y Chappell, 1995; Svenson y Kimberley, 1988; Truman y Lambert, 1980). El sistema DRIS utiliza las relaciones entre las concentraciones foliares de todos los posibles pares de nutrientes para el cálculo de un índice para cada nutriente, que evalúa el nivel nutricional de éste en relación con el resto de nutrientes.

Algunos estudios han puesto en evidencia importantes problemas nutricionales en masas de *Pinus radiata* del norte de España. Las deficiencias en fósforo son las más frecuentes (Brañas *et al.*, 2000; Mesanza *et al.*, 1993; Romanya y Vallejo, 1996, 2000; Palacios *et al.*, 1995; Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2002; Zas y Serrada, 2003), mientras que el nitrógeno raramente es deficitario e incluso llega a ser excesivo para una nutrición correcta y equilibrada (Mesanza *et al.*, 1993; Palacios *et al.*, 1995; Zas y Serrada, 2003). La mayoría de estos trabajos se basan en masas adultas sobre suelos con características típicamente forestales. Sin embargo, es probable que las particularidades de los suelos sobre los que se instalan las recientes repoblaciones en tierras agrarias impongan un marco nutricional substancialmente distinto al existente en las masas sobre suelos típicamente forestales. Zas y Serrada (2003) estudiaron la nutrición de plantaciones jóvenes de *Pinus radiata* en tierras agrarias en Galicia. Este último trabajo se basa en plantaciones de muy corta edad (1-1,5 años en campo) sobre terrenos cuyo origen agrario puede remontarse a varias décadas.

El objetivo principal del presente trabajo es la valoración del estado nutricional de plantaciones de *Pinus radiata* ligeramente más adultas (4-5 períodos vegetativos en campo) sobre tierras agrarias abandonadas recientemente en Galicia. Además, se estudian las relaciones existentes entre el desarrollo de las plantaciones y parámetros nutricionales foliares y edáficos con el fin de determinar qué factores pueden estar condicionando los problemas nutricionales encontrados.

Material y métodos

El presente estudio se realiza sobre 14 repoblaciones de *Pinus radiata* de 4-5 años de edad en Galicia (noroeste de España) (Fig. 1). Todas estas repoblaciones se realizaron al amparo del Reglamento UE 2080/92 sobre terrenos agrícolas recientemente abandonados. Los usos anteriores en estos terrenos varían

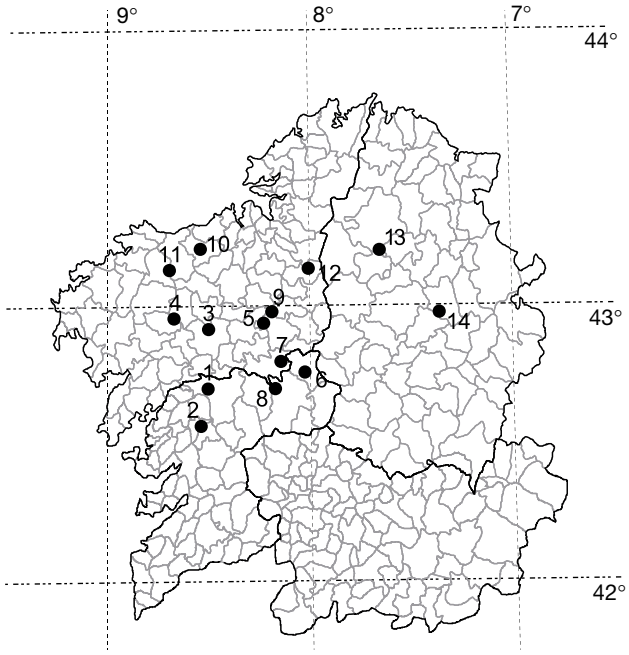

Figura 1. Localización de las parcelas.

desde cultivos herbáceos intensivos hasta terrenos marginales dedicados al pastoreo extensivo o al aprovechamiento de esquilmes.

En cada repoblación se instaló, en abril de 2000, una parcela de muestreo rectangular de 20 plantas con una superficie aproximada de 180 m^2 (marco de plantación 3 × 3 m). En esta fecha se midió la altura y el diámetro en la base del tallo de todas las plantas de la parcela. En la Tabla 1 se presentan las características fundamentales de las 14 parcelas.

En cada parcela se tomaron cinco muestras (cuatro esquinas y centro) del horizonte superficial del suelo (20 cm superiores, 8 cm de diámetro). Estas cinco muestras se mezclaron y homogeneizaron formando una muestra compuesta por parcela. Las muestras se secaron al aire. En la fracción fina de éstas (< 2 mm) se analizó el N total por el método de Kjeldahl (Benton *et al.*, 1991), el P asimilable según el método Bray-II (Bray y Kurtz, 1945), el K, Ca y Mg cambiables, el pH y el contenido en materia orgánica (M.O.). Los cationes cambiables se extrajeron con acetato amónico 1N, analizándose por espectrofotometría de absorción atómica (Benton *et al.*, 1991). El pH se midió en agua destilada (1:2.5 peso seco:volumen). El carbono orgánico se determinó según el método de Walkley y Black (1934); la materia orgánica se estimó multiplicando el carbono orgánico por el coeficiente 1,72 (Douchaufour, 1987). En los mismos cinco puntos donde se tomaron las muestras de suelo se midió la profundidad del perfil edáfico con barrena helicoidal.

Después de un período vegetativo, en noviembre de 2000, se midió, de nuevo, la altura total y diámetro en la base del tallo de todas las plantas de la parcela, calculándose el crecimiento en altura y diámetro de cada árbol por la diferencia entre ambas mediciones. En esta fecha se tomaron, a su vez, muestras foliares en 12 árboles de cada parcela siguiendo las indicaciones de Will (1985). Se recogieron las acículas del año de la parte terminal de tres ramas laterales por árbol en el tercio superior de la copa. Estas 12 muestras se mezclaron formando una única muestra compuesta por parcela. Las muestras se almacenaron en neveras portátiles hasta su procesamiento y análisis. Las muestras no se lavaron antes del análisis. Las acículas se separaron de los tallos y se secaron en estufa a 45 ºC hasta masa constante. Las concentraciones en nutrientes se refirieron, posteriormente, a peso seco (secado en horno a 105 ºC). El nitrógeno se determinó en un analizador elemental CNH Carloerba. Los niveles de fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre se determinaron por fluorescencia de rayos X (Buhrke *et al.*, 1998) usando hojas de té como material certificado de referencia.

El estado nutricional de las plantaciones se evaluó usando los niveles críticos propuestos por Will (1985) y el sistema DRIS aplicado sobre analítica foliar (Truman y Lambert, 1980). También se consideró la relación entre las concentraciones foliares de nitróge-

Tabla 1. Características de la estación y de la masa en las 14 parcelas estudiadas

Parcela	Altitud (m)	Pdte. (%)	Orientación	Roca madre	Prof. del perfil (cm)	Precip. anual (mm)	Temp. media anual (°C)	Edad[a]	H (cm)[b]	BD (cm)[b]
1	225	8	S	Granito	65	1.846	12,9	4	385 ± 17	10,1 ± 0,4
2	420	20	NE	Esquisto	57	2.248	12,0	5	238 ± 18	4,8 ± 0,5
3	280	22	E	Esquisto	31	1.677	12,5	5	358 ± 18	8,1 ± 0,5
4	260	15	E	Granito	72	1.555	12,6	5	270 ± 16	6,4 ± 0,4
5	415	4	SO	Esquisto	47	1.683	11,9	5	502 ± 19	10,7 ± 0,4
6	570	3	SO	Granito	62	1.308	11,4	5	456 ± 18	10,7 ± 0,5
7	315	15	E	Esquisto	30	1.377	12,9	5	507 ± 22	10,6 ± 0,4
8	505	5	O	Granito	50	1.473	11,9	5	480 ± 24	10,2 ± 0,7
9	390	7	SE	Esquisto	43	1.684	12,4	5	522 ± 26	12,7 ± 0,6
10	500	30	SO	Granito	75	2.195	11,1	5	397 ± 18	10,2 ± 0,5
11	257	12	E	Gabro	48	1.742	11,9	5	405 ± 19	8,3 ± 0,3
12	500	7	SE	Granito	44	1.645	11,9	5	275 ± 16	6,7 ± 0,5
13	465	10	SO	Pizarra	55	1.100	11,4	5	176 ± 14	3,6 ± 0,3
14	550	0	SE	Granito	60	1.191	11,8	5	423 ± 36	9,0 ± 0,8

[a] Edad: número de períodos vegetativos hasta noviembre de 2000. [b] Media y error estándar de la altura total (H) y el diámetro en la base del tallo (BD) en noviembre de 2000 de todos los árboles de cada parcela.

no y fósforo (N:P) como parámetro evaluador del equilibrio entre ambos nutrientes. Este equilibrio se consideró como alta o parcialmente descompensado cuando la relación N:P fue superior a 16 ó 10, respectivamente. Relaciones N:P por debajo de 10 fueron interpretadas como equilibradas (Raupach *et al.*, 1969).

Los índices DRIS se calcularon según el método de Beaufils (1973) usando las normas DRIS para N, P y S en acículas de *Pinus radiata* publicadas por Truman y Lambert (1980). Para cada uno de estos nutrientes se determinó un índice DRIS mediante una ecuación que compara la relación entre cada posible par de elementos con la relación óptima (norma DRIS). Un índice inferior a cero indica una deficiencia relativa, índices positivos indican exceso relativo, e índices próximos a cero indican una nutrición óptima para un determinado nutriente. El orden de los índices DRIS para una determinada parcela indica el orden de requerimiento de estos tres nutrientes. El equilibrio general entre los tres elementos se puede calcular como la suma de los valores absolutos de los tres índices DRIS.

Las relaciones existentes entre los niveles foliares y las variables edáficas se analizaron mediante análisis de correlación de Pearson. Este mismo tipo de análisis se utilizó para estudiar la correlación entre el crecimiento anual en cada parcela y las concentraciones foliares, variables edáficas y otras variables caracterizadoras de la estación forestal.

Resultados

Las características del horizonte superficial del suelo de las parcelas estudiadas se presentan en la Tabla 2. Los suelos muestran altos contenidos en materia orgánica y nitrógeno total, pH ácidos y niveles relativamente bajos de nutrientes. A pesar de tratarse de terrenos agrícolas abandonados, ciertas parcelas muestran un marcado carácter forestal, indicando aprovechamientos agrícolas anteriores poco intensivos. El P asimilable y el Ca cambiable son especialmente variables mientras que el N total y el K cambiable son los elementos menos variables. Destacan los valores particularmente altos de P asimilable y Ca cambiable observados en algunas parcelas. Estos valores, raros en los suelos forestales típicamente ácidos de Galicia, se deben, probablemente, a las fertilizaciones fosfóricas y enmiendas calizas durante el uso anterior agrícola. El pH, Ca cambiable y P asimilable están positivamente correlacionadas entre sí (Tabla 5). El Mg cambiable también está positivamente correlacionado con el pH y el Ca cambiable, mientras que el N total está negativamente correlacionado con el pH. Parece que hay una tendencia a que los suelos más fér-

Tabla 2. Características del horizonte superficial del suelo (0-20 cm) en las 14 parcelas estudiadas

Parcela	MO (%)	C:N	pH	N total (g kg^{-1})	P asimilable (mg kg^{-1})	Cationes cambiables (mg kg^{-1})		
						K	Ca	Mg
1	24,6	15,6	4,1	9,1	7,0	120,5	56,5	33,7
2	17,6	15,7	4,4	6,5	2,8	62,1	12,8	13,9
3	18,3	16,8	4,6	6,3	9,8	136,1	108,4	55,3
4	15,3	21,4	5,7	4,5	84,4	230,5	793,2	121,2
5	17,2	15,8	4,7	6,3	3,5	109,8	28,0	22,4
6	12,4	15,1	5,5	4,7	39,4	72,1	656,5	79,6
7	8,9	14,4	5,8	3,6	6,7	83,0	502,5	58,6
8	10,3	14,4	5,2	4,1	6,0	121,0	22,5	24,6
9	5,6	12,0	5,2	2,7	6,7	70,5	43,2	23,2
10	16,7	12,9	4,9	7,5	7,7	84,8	44,0	25,3
11	14,4	15,9	5,5	5,3	3,8	66,7	269,9	141,0
12	16,8	15,3	4,4	6,3	9,5	80,3	57,8	20,3
13	6,6	16,6	4,5	2,3	16,0	37,0	27,0	9,0
14	4,4	15,0	5,8	1,7	230,3	107,0	843,0	39,0
Media	13,5	15,5	5,0	5,1	31,0	98,7	247,5	47,6
CV	42,4	13,9	11,7	41,3	198,2	47,3	125,9	84,8

MO: materia orgánica. CV: coeficiente de variación.

Tabla 3. Concentraciones foliares en nutrientes en las 14 parcelas estudiadas

Parcela	Concentraciones (g kg^{-1})[a]						Relación foliar[b]
	N	P	K	Ca	Mg	S	N:P
Nivel crítico	12,0	1,10	3,00	1,00	0,70		> 16
Nivel marginal	15,0	1,40	5,00	1,00	1,00		10-16
1	19,4	1,11	7,03	0,97	0,43	1,40	17,51
2	20,1	1,01	4,97	1,19	0,47	1,30	19,86
3	21,7	1,31	5,70	2,16	0,62	2,03	16,52
4	17,3	1,26	7,68	2,26	0,82	1,73	13,71
5	17,2	1,14	5,07	0,77	0,53	1,58	15,08
6	20,0	1,89	4,65	3,27	0,65	1,57	10,61
7	20,8	1,73	6,06	2,62	0,97	1,62	12,00
8	20,0	1,68	6,14	2,57	0,73	2,63	11,88
9	18,1	1,46	6,71	1,15	0,53	1,92	12,40
10	19,0	1,49	6,80	1,00	0,63	2,00	12,76
11	19,3	1,08	4,04	3,00	1,26	1,51	17,83
12	16,6	1,08	4,00	1,38	0,54	1,40	15,41
13	15,9	0,97	3,98	0,97	0,44	1,20	16,41
14	16,6	1,31	6,04	3,41	0,56	1,20	12,73

[a] Niveles críticos y marginales publicados por Will (1985). [b] Interpretación de la relación foliar N:P según Raupach *et al.* (1969).

tiles (niveles mayores de P, Ca y Mg y pH menos ácidos) tengan niveles menores de N total.

Las concentraciones foliares en nutrientes y la relación N:P en las 14 parcelas estudiadas se presentan en la Tabla 3. Las deficiencias más frecuentes fueron en Mg, con 10 parcelas con niveles críticos, tres con niveles marginales y sólo una con niveles satisfactorios. Las concentraciones foliares de P también son relativamente bajas, con cuatro, cinco y cinco parcelas con niveles críticos, marginales y satisfactorios, respectivamente.

Coincidiendo con este diagnóstico se observaron, en varias de las parcelas, síntomas visuales de deficiencias en estos nutrientes. Así, la mayoría de las parcelas presentaban una carencia anormal de acículas adultas de segundo o tercer año (síntoma característico de las deficiencias en P y Mg) y algunas parcelas presentaban una tonalidad amarillo oro en el extremo de las acículas más adultas de la parte inferior de la copa (síntoma característico de las deficiencias en Mg).

Por su parte, los niveles de K son marginales en cinco parcelas y los de Ca inferiores al nivel crítico en tres parcelas. Las concentraciones de N en las acículas son superiores a los niveles críticos o marginales en todas las parcelas estudiadas. Es de destacar el coeficiente de variación extremadamente bajo de las concentraciones de N (CV = 9%). Por el contrario, los niveles de Mg y Ca son los más variables (CV = 49 y 34 %, respectivamente).

En ninguna de las parcelas se observa una relación N:P inferior a 10, por lo que el balance entre ambos nutrientes nunca resulta claramente equilibrado. Concretamente, cinco de las parcelas muestran relaciones N:P superiores a 16 (fuerte desequilibrio entre N y P) y el resto valores entre 10 y 16 (desequilibrio moderado).

Los resultados del sistema DRIS se presentan en la Tabla 4. El P es el elemento más limitante en todas las parcelas excepto una. Los índices DRIS para el P son negativos en todas las parcelas, indicando una deficiencia relativa respecto a la nutrición de N y S. Por el contrario, el índice DRIS para el N es positivo en 10 de las 14 parcelas y el índice DRIS para el S, positivo en todas ellas excepto una.

Las relaciones entre las concentraciones foliares en nutrientes y las variables edáficas se presentan en la Tabla 5. Los niveles foliares de K, Ca y Mg están positivamente correlacionados con los respectivos niveles de cationes cambiables en el horizonte superficial del suelo. Por el contrario, ni el N ni el P foliar se correlacionan significativamente con el N total y el P asimilable en el suelo, respectivamente. También es notable la influencia del pH en el suelo sobre las concentraciones foliares en nutrientes. Así, los niveles de P, Ca y Mg en las acículas tienden a ser mayores, y la relación N:P tiende a estar menos descompensada cuanto mayor es el pH en el suelo.

Tabla 4. Índices DRIS de N, P y S en las 14 parcelas estudiadas*

Parcela	Índices DRIS			Total	Orden de requerimiento
	N	P	S		
1	24,36	–31,62	7,26	63,23	P > S > N
2	36,04	–37,60	1,55	75,19	P > S > N
3	5,96	–38,30	32,34	76,60	P > N > S
4	–4,38	–27,04	31,42	62,83	P > N > S
5	4,33	–30,33	26,00	60,66	P > N > S
6	4,20	–4,35	0,16	8,71	P > S > N
7	7,62	–10,36	2,74	20,72	P > S > N
8	–30,53	–28,92	59,45	118,90	N > P > S
9	–11,35	–22,52	33,88	67,75	P > N > S
10	–9,93	–24,11	34,05	68,09	P > N > S
11	19,68	–36,51	16,83	73,02	P > S > N
12	10,49	–28,34	17,85	56,67	P > N > S
13	19,03	–28,69	9,66	57,38	P > S > N
14	14,13	–11,29	–2,84	28,26	P > S > N

* Los índices DRIS se calcularon siguiendo a Truman y Lambert (1980). Total muestra el balance nutricional global para cada parcela.

En la Tabla 6 se presentan los coeficientes de correlación de Pearson entre los crecimientos anuales en altura, diámetro y volumen ($V = h \cdot d^2$) y los niveles foliares en nutrientes, las variables edáficas y otras variables caracterizadoras de la estación forestal. La concentración de P en las acículas es la variable que mejor explica el crecimiento, estando positiva y significativamente correlacionada con las tres variables de crecimiento consideradas. Concordando con esto, la relación N:P, altamente dependiente de los niveles de P pero no de los de N (Tabla 5), está negativamente correlacionada con el crecimiento en altura y volu-

Tabla 5. Coeficientes de correlación de Pearson* entre las concentraciones foliares en nutrientes y las características del horizonte superficial del suelo (0-20 cm)

	Concentraciones foliares						Variables edáficas							
	N	P	K	Ca	Mg	N:P	MO	C:N	pH	N	P	K	Ca	Mg
Concentraciones foliares														
N	1,00													
P		1,00				–0,88			0,57					
K			1,00									0,69		
Ca				1,00	0,63				0,70				0,62	
Mg					1,00				0,63					0,74
N:P						1,00			–0,62					
Variables edáficas														
MO							1,00		–0,60	0,97				
C:N								1,00				0,67		0,51
pH									1,00	–0,62			0,79	0,61
Total N										1,00				
Available P											1,00		0,76	
Exchangeable K												1,00		
Exchangeable Ca													1,00	0,60
Exchangeable Mg														1,00

* Sólo se muestran los coeficientes significativos a $p < 0,05$.

Tabla 6. Coeficientes de correlación de Pearson* entre los crecimientos anuales en altura, diámetro y volumen, y las concentraciones foliares en nutrientes, las características del horizonte superficial del suelo (0-20 cm) y otras variables caracterizadoras de las parcelas

	ΔH	**ΔD**	**ΔV**
Crecimientos anuales en:			
— Altura (ΔH)	1,00	0,88***	0,80***
— Diámetro (ΔD)	0,88	1,00	0,91***
— Volumen (hd^2) (ΔV)	0,80***	0,91***	1,00
Concentraciones foliares:			
— N	0,49	0,33	0,21
— P	0,75***	0,56*	0,63**
— K	0,48	0,62**	0,42
— Ca	0,29	0,08	0,10
— Mg	0,21	0,11	0,05
— N:P	–0,57*	–0,49	–0,63**
Variables edáficas:			
— Materia orgánica	–0,12	–0,06	–0,35
— Relación C:N	–0,46	–0,50	–0,66**
— N total	–0,02	0,05	–0,22
— pH	0,46	0,35	0,38
— P asimilable	0,03	0,01	0,00
— K cambiable	0,03	0,11	–0,10
— Ca cambiable	0,30	0,15	0,06
— Mg cambiable	0,07	0,04	–0,11
Otras características:			
— Profundidad del perfil	–0,19	–0,08	–0,24
— Precipitación anual	0,03	0,16	–0,07
— Temperatura media anual	0,36	0,43	0,23
— Altitud	–0,06	–0,17	0,07
— Pendiente	0,02	–0,09	–0,27

* Niveles de significación: ***: $p < 0,001$. **: $p < 0,01$. *: $p < 0,05$. ns: no significativo.

men. El desarrollo en diámetro está, a su vez, positivamente correlacionado con los niveles foliares de K. Es de destacar que no existe ninguna relación significativa entre las variables edáficas o las variables caracterizadoras de la estación y los crecimientos observados, salvo en el caso de la correlación negativa entre la relación C:N en el suelo y el crecimiento volumétrico.

Discusión

Al igual que lo observado en otros estudios nutricionales en *Pinus radiata* en España (Brañas *et al.*, 2000; Mesanza *et al.*, 1993; Palacios *et al.*, 1995; Romanya y Vallejo, 1996; Zas y Serrada, 2003), las deficiencias en Mg y P son las más frecuentes. Sin embargo, el orden de importancia cambia, siendo en el presente trabajo, más relevantes las deficiencias en Mg. Ello puede ser debido a las características especiales de las tierras agrarias sobre las que se asientan estas repoblaciones, con valores medios de P asimilable, Ca cambiable y pH claramente superiores a lo comúnmente observado en los suelos forestales gallegos (Bará, 1990). Sin embargo, los niveles foliares de P no están correlacionados con los niveles de P asimilable en el suelo, a pesar de la alta variabilidad de ambas variables. Existen parcelas, como la número 12 y 13, donde pese a mostrar valores altos de P asimilable en el suelo, los pinos mantienen concentraciones de P en las acículas inferiores al nivel crítico de Will (1985). Por un lado, tanto los niveles foliares de P (Tabla 3), como la correlación positiva entre éstos y el crecimiento (Tabla 6), sugieren que un aporte extra de este elemento aumentaría el desarrollo de los pinos. Sin embargo, la falta de P en el suelo no parece la causa de la pobre nutrición fosfórica y, por tanto, la fertilización con este elemento podría no mejorar ésta y con ella el desarrollo, si antes no se corrigen otros factores que puedan estar afectando a la asimilación de este nutriente.

El pH, la disponibilidad de P en profundidad, la actividad micorrícica, u otros factores que afectan a la facilidad de asimilación de este elemento por las plantas podrían estar influyendo. Bajo pH ácidos, la asimilación del P mejora al aumentar el pH (Larcher, 1983) y así lo indica la correlación positiva observada entre el P foliar y el pH en el suelo (Tabla 5). Por otro lado, los altos niveles de N, tanto en las hojas como en el suelo (Tabla 2 y 3) pueden estar condicionando la asimilación del P (Turner y Lambert, 1986). En *Pinus radiata*, tanto en España (Mesanza *et al.*, 1993; Palacios *et al.*, 1995; Zas y Serrada, 2003) como en Australia o Nueva Zelanda (Hunter *et al.* 1991; Stone, 1982; Turner y Lambert, 1986) las deficiencias en N no son frecuentes, siendo mucho más relevantes los problemas asociados al exceso de este nutriente. El exceso relativo de N puede condicionar la asimilación de otros nutrientes (Olykan y Adams, 1995; Turner y Lambert, 1986), especialmente en tierras agrícolas o pastizales donde se ha fertilizado y realizado enmiendas orgánicas con frecuencia (Birk, 1994). La relación foliar N:P, descompensada para la mayoría de las parcelas (Tabla 3), puede interpretarse como un indicativo de esta interacción negativa entre el exceso relativo de nitrógeno y la nutrición fosfórica.

En España, algunos autores han observado una correlación negativa entre la calidad de estación de *Pinus radiata* y los niveles de N en el suelo (Gandullo *et al.*, 1974; Romanya y Vallejo, 2000; Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2002) o los niveles foliares de N (Mesanza *et al.*, 1993; Sánchez-Rodríguez *et al.*, 1998). Por el contrario, Sánchez-Rodríguez *et al.* (1998; 2002) encontraron, en Galicia, una relación positiva entre el índice de calidad y los niveles foliares de P. Las correlaciones observadas entre el desarrollo alcanzado y los niveles de P y la relación N:P en las acículas (Tabla 6) concuerdan con estas últimas consideraciones.

Al igual que en el trabajo de Romanya y Vallejo (1996), el sistema DRIS diagnostica un mayor número de problemas nutricionales. Los índices DRIS para el P son siempre negativos (Tabla 4), a pesar de que las concentraciones foliares de este elemento varían desde satisfactorias hasta claramente inferiores al nivel crítico (Tabla 3). Sin embargo, a pesar de las ventajas potenciales de este sistema de diagnóstico, los resultados obtenidos no son relevantes por considerarse únicamente tres elementos (Sumner, 1978). Svenson y Kimberley (1988) demostraron la eficiencia del sistema DRIS en *Pinus radiata* para evaluar el equilibrio nutricional entre los macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) y predecir la respuesta en desarrollo a la aplicación de fertilizantes. Desafortunadamente, las normas DRIS usadas en ese trabajo no están disponibles.

Los resultados indican que, al igual que en otros trabajos anteriores, las plantaciones de *Pinus radiata* sobre tierras agrarias en Galicia presentan importantes problemas nutricionales que pueden estar mermando su crecimiento. En varias parcelas se observaron sintomatologías claras de estas deficiencias. Sin embargo, en otras, los árboles mostraban un buen estado fisiológico, mientras que los niveles foliares en nutrientes indican importantes deficiencias. Tal como indicaron Turner y Lambert (1986), la analítica foliar puede detectar problemas nutricionales no identificables a simple vista, y predecir limitaciones del desarrollo potencial futuro. Además, muchas de las plantaciones de *Pinus radiata* en Galicia se encuentran infectadas por *Dothistroma pini* Hullbary u otros hongos similares (Fernández de Ana y Toval, 1979) cuyos síntomas pueden dificultar la identificación de los síntomas de deficiencias nutricionales.

Las deficiencias más importantes son las deficiencias en Mg. Los niveles foliares de Mg (Tabla 3) sólo aparecen por encima de los niveles críticos o marginales en una parcela. Contrariamente a lo que ocurría con el P y el Ca, los niveles de Mg cambiable en el suelo (Tabla 2) no son especialmente altos. Esto, junto con la correlación positiva entre el Mg foliar y el Mg cambiable en el suelo (Tabla 5), sugiere que el aporte adicional de Mg al suelo posiblemente mejore el desarrollo de estas plantaciones. En otros estudios nutricionales en España, las deficiencias en Mg en *Pinus radiata* no son importantes. Mesanza *et al.* (1993) encontraron sólo algunas parcelas en el País Vasco con problemas con este elemento, mientras que Romanya y Vallejo (1996) encontraron deficiencias en Mg únicamente en determinadas plantaciones sobre granitos y esquistos del NE peninsular. En cualquier caso, las deficiencias en Mg en *Pinus radiata* tienden a ser más importantes en masas jóvenes de 3-6 años de edad (Turner y Lambert, 1986), por lo que podría esperarse una mejoría con los años en las plantaciones estudiadas.

Agradecimientos

Este estudio se ha desarrollado en el Centro de Investigaciones Forestales y Ambientales de Lourizán bajo el proyecto FO-032, financiado por el Proyecto Estratégico Movilizador de I + D en Apoyo a la Forestación. El autor quisiera agradecer a la Dra. Josefa Fernández-López, Dra. Esther Merlo, Dra. Raquel Díaz y a los dos revisores anónimos del manuscrito por sus múltiples sugerencias, y al Dr. Luis Sampedro y Dra. María Jesus Briones por todas las facilidades prestadas.

Referencias bibliográficas

BALLARD T.M., CARTER R.E., 1986. Evaluating forest stand nutrient status. Land Management Report, No. 20, Ministry of Forests, Victoria, British Columbia, 60 pp.

BARÁ T.S., 1974. Ensayos de fertilización forestal. Respuesta de *Pinus radiata* (D. Don) a la adición de macronutrientes en un suelo deficiente en potasio. Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Serie Recursos Naturales 1, 109-127.

BARÁ T.S., 1990. Fertilización Forestal. Consellería de Agricultura, Gandería e Montes. Xunta de Galicia, Santiago, 175 pp.

BARÁ T.S., MORALES F.S., 1977. Suministro lento de nutrientes con fertilizantes pastillados para uso forestal. Estudio lisimétrico de las pastillas y resultados de las experiencias de fertilización. Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Serie Recursos Naturales 3, 235-249.

BEAUFILS E.R., 1973. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). Department of Soil Science and

Agrometorol. University of Natal. Soil Sci. Bull. no. 1, Pietermaritzburg, SA, 132 pp.

BENTON J.J., WOLF J.B., MILLS H.A., 1991. Plant analysis handbook, a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Micro-Macro Publishing, USA, 864 pp.

BIRK E.M., 1994. Fertiliser use in the management of pine and eucalypt plantations in Australia: a review of past and current practices. New Zeal J. For. Sci. 24 (2-3), 289-320.

BONNEAU M., 1995. Fertilisation des forêts dans les pays tempérés: théorie, bases du diagnostic, conseils pratiques, réalisations expérimentales. ENGREF, Nancy, France, 376 pp.

BRAÑAS J., RODRÍGUEZ R., MERINO A., 2000. Nutrient stores in above-ground biomass, understory vegetation and soil of *Pinus radiata* plantations in NW Spain. En International Symposium on Managing Forest Soils for Sustainable Productivity, Vila Real, Portugal, 18-22 September, pp. 135-136.

BRAY B.M., KURTZ L.T., 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59, 39-45.

BUHRKE V.E., JENKINS R., SMITH D.K., 1998. Preparation of specimens for X-ray fluorescence and X-ray diffraction analysis. John Wiley & Sons, Inc., New York.

DOUCHAUFOUR P.H., 1987. Manual de Edafología. Ed. Masson, Barcelona, 214 pp.

FERNÁNDEZ DE ANA F.J., TOVAL G., 1979. Estudios de los daños producidos por el *Dothistroma pini* Hulbary en masas de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Comunicaciones INIA, Serie Protección Vegetal, No. 8, 28 pp.

GANDULLO J.M., GONZALES A.S., SÁNCHEZ P.O., ÚBEDA J.M., 1974. Ecología de los pinares españoles. IV. *Pinus radiata* D. Don. Monografia INIA No.13, Madrid, 187 pp.

HUNTER I.R., RODGERS A., DUNNINGHAM A., PRINCE J.M., THORN A.J., 1991. An atlas of radiata pine nutrition in New Zealand. FRI Bulletin, No. 165, Rotorua, New Zealand, 24 pp.

LAMBERT M.J., GREY D.C., SCHONAU A.P.G., SCHUTZ C.J., 1984. The use of foliar analysis in fertilizer research. IUFRO Symposium on Site and Productivity of Fast Growing Plantations. Vol. 1, Pretoria, South African Forest Research Institute, pp. 269-291.

LARCHER W., 1983. Physiological plant ecology. Springer-Verlag, Berlin, 506 pp.

MESANZA J.M., CASADO H., CASTILLO F.J., 1993. Nutrient concentrations in *Pinus radiata* D. Don needles in the Basque Country (Spain): a preliminary classification of parameters and sites. Ann. Sci. For. 50 (1), 23-36.

M.M.A., 2001. Tercer Inventario Forestal Nacional 1997-2006, Galicia. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 231 pp.

NEEDHAM T.D., BURGER J.A., ODERWALD R.G., 1990. Relationship between diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) optima and foliar nutrient critical levels. Soil. Sci. Soc. Am. J. 54(3), 883-886.

OLYKAN S.T., ADAMS J.A., 1995. *Pinus radiata* seedling growth and micronutrient uptake in a sand culture experiment, as affected by the form of nitrogen. New Zeal J. For. Sci. 25 (1), 49-60.

PALACIOS P.L., CASADO H., MESANZA J.M., CASTILLO F.J., 1995. *Pinus radiata* site quality study in the Basque Country (Spain) using nutritional and physiographical criteria. Water Air Soil Poll. 85 (3), 1275-1280.

RAUPACH M., BOARDMAN R., CLARKE A.R.P., 1969. Growth rates of *Pinus radiata* D. Don, in relation to foliar levels of nitrogen and phosphorus for plantations in the south-east of South Australia. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Soil Publication No. 26, Australia, 28 pp.

ROMANYA J., VALLEJO V.R., 1996. Nutritional status and deficiency diagnosis of *Pinus radiata* plantations in Spain. For. Sci. 42 (2), 192-197.

ROMANYA J., VALLEJO V.R., 2000. Productivity factors of *Pinus radiata* D. Don plantations in Spain. International Symposium on Managing Forest Soils for Sustainable Productivity, Vila Real, Portugal, 18-22 September, pp. 155-156.

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 northwestern Spain. For. Eco. Manage. 171 (1-2), 181-189.

SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ F., ÁLVAREZ-GONZÁLEZ J.G., RODRÍGUEZ-SOALLEIRO R., ROJO-ALBORECA A., 1998. Primeros resultados de estudios de índices de sitio para *Pinus radiata* D. Don en Galicia (España). Primer Congreso Latinoamericano de IUFRO, Valdivia, Chile, 22-28 de noviembre.

SHUMWAY J.S., CHAPPELL H.N., 1995. Preliminary DRIS norms for coastal Douglas-fir soils in Washington and Oregon. Can. J. For. Res. 25 (2), 208-214.

STONE E.L., 1982. Observations on forest nutrition research in Australia. Aus. For. 45 (3), 181-192.

SUMNER M.E., 1978. Interpretation of nutrient ratios in plant material. Com. Soil Sci. Plant Anal. 9, 335-345.

SVENSON G.A., KIMBERLEY M.O., 1988. Can DRIS improve diagnosis of nutrient deficiency in *Pinus radiata*? New Zeal J. For. Sci. 18 (1), 33-42.

TRUMAN R., LAMBERT M.J., 1980. The use of DRIS indices to determine the balance between nitrogen, phosphorus and sulphur in *Pinus radiata* foliage. Symposium on Managing Nitrogen Economies of Natural and Man Made Ecosystems, CSIRO Division of Land Resources Management, Mandurah, W.A., pp. 369-377.

TURNER J., LAMBERT M.J., 1986. Nutrition and nutritional relationships of *Pinus radiata*. Ann. Rev. Ecol. Syst. 17, 325-350.

WALKEY A., BLACK I.A., 1934. An examination of the Degtjaretf method for determining soil organic matter, and a propose modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37, 29-38.

WILL G.M., 1985. Nutrient deficiencies and fertiliser use in New Zealand exotic forests. FRI Bulletin no 97, Forest Research Institute, Rotorua, New Zealand, 53 pp.

ZAS R., SERRADA R., 2003. Foliar nutrient status and nutritional relationships of young *Pinus radiata* D. Don plantations in northwest Spain. For. Eco. Manage. 174 (1-3), 167-176.