

# INFLUENCIA DE LOS FACTORES EDÁFICOS EN LA RELACIÓN ALTURA DOMINANTE - EDAD Y ESTADO NUTRICIONAL DE *PINUS RADIATA* D. DON EN ASTURIAS (ESPAÑA)

Elias Afif Khouri, Elena Canga Libano, María Asunción Cámara Obregón y José Javier Gorgoso Varela

Universidad de Oviedo. Escuela Universitaria de Ingenierías Técnicas. Departamento de Biología de Organismos y Sistemas. Área de Ingeniería Agroforestal. Calle Gonzalo Gutiérrez de Quirós s/n. 33600 - MIERES (Asturias, España). Correo electrónico: elias@uniovi.es.

## Resumen

Se han estudiado las propiedades del suelo que más influyen en la relación altura-edad de masas de *Pinus radiata* D. Don. y en su estado nutricional en Asturias. El conjunto de datos utilizado procede de 38 parcelas localizadas en masas regulares de la especie de 0,1 ha cada una, considerando diferentes variables de masa y distinto material parental. El análisis nutricional se realizó en acículas recogidas del tercio superior de los dos árboles dominantes en cada parcela en el mes de septiembre, mostrando deficiencia en el contenido de P, K y Mg. Los suelos estudiados en todas las parcelas presentaron un carácter fuertemente ácido, alto contenido de materia orgánica, relación C/N elevada, bajo contenido en bases y P disponible extraído por el método de Mehlich 3 (PM3). El índice de sitio (IS) osciló entre 9,5 y 28,8 m describiendo la mayor diversidad productiva posible de la especie en masas regulares entre las diferentes parcelas y estuvo positivamente correlacionado con la concentración de P en acículas y con el K intercambiable en el suelo. El material parental tuvo un impacto no significativo sobre el IS. Los resultados revelan la importancia de la elección del sitio y la necesidad de fertilización en los programas de reforestación.

Palabras clave: *Análisis de acículas, Análisis de suelo, Índice de sitio*

## INTRODUCCIÓN

Más de la mitad del territorio del Principado de Asturias, concretamente el 67,4% (715.147 ha) son "monte" en el sentido más amplio de la palabra, siendo el 46% (330.898 ha) arboladas, de las cuales 19.000 ha están ocupadas por pino insigne (PLAN FORESTAL DE ASTURIAS, 2002), repartiéndose principalmente por los concejos del centro y oeste de la región, y previéndose un incremento hasta 56.000 ha de masas puras en un plazo de 60 años, lo que da idea de la importancia

creciente que va a tener la especie dentro del sector forestal asturiano a medio plazo.

Existe un aceptable conocimiento enfocado, principalmente, al País Vasco y Galicia, sobre la producción de las masas de *Pinus radiata* y los análisis de su silvicultura (MONTERO et al., 2003; SÁNCHEZ et al., 2003; CASTEDO, 2004). También, se han realizado trabajos sobre los factores ecológicos que inciden en la productividad de esta especie (SÁNCHEZ et al., 2002). Faltan, sin embargo, y mucho más aún en Asturias, estudios intensivos sobre la fertilidad del suelo y la nutrición de las repoblaciones, exceptuando algunos

esfuerzos llevados a cabo por distintos autores dirigiéndose al diagnóstico de carencias nutritivas en jóvenes repoblaciones en Galicia (ZAS & SERRADA, 2003) y a aspectos relacionados con los impactos causados por las técnicas de preparación del suelo sobre la fertilidad y la nutrición de las repoblaciones (MERINO & EDESO, 1999).

En condiciones climáticas bastante homogéneas, numerosos estudios regionales fueron enfocados a estimar la influencia de las propiedades físico-químicas de los suelos en la productividad de la estación para mejorar la gestión forestal. En estos casos, el análisis foliar es una herramienta de gran utilidad para relacionar las características del suelo con el estado nutritivo del arbolado. La dificultad de estas investigaciones estriba en diferenciar adecuadamente entre variables que determinan las causas de la productividad de la estación. GERDING Y SCHLATTER (1995) hallaron que el potasio de cambio está altamente correlacionado con el índice de sitio de *Pinus radiata* en suelos arenosos de Chile. Sin embargo, esta relación fue debida a un efecto determinado por otras características del suelo, y no porque condicionara la nutrición del arbolado, ya que las concentraciones foliares de potasio se encontraban a niveles adecuados. Otra variable de amplio conocimiento de los trabajos de evaluación de la calidad de estación es la profundidad efectiva del suelo, la cual se relaciona con el volumen del suelo realmente explotable por las raíces y, por consiguiente con la disponibilidad de agua y nutrientes. En Sudáfrica, LOUW (1991) encontró una buena correlación entre la concentración de nutrientes en las hojas y el volumen del suelo disponible para las raíces y entre esta última y el índice de sitio. La relación entre la profundidad efectiva

del suelo y la productividad se encuentra muy determinada por la naturaleza de la roca madre y el desarrollo del perfil.

Por otra parte, el análisis foliar diagnostica de forma inmediata el estado nutritivo de las masas forestales, determinando las medidas a aplicar para alcanzar una producción óptima y una gestión sostenible del recurso. En *Pinus radiata*, los valores de niveles críticos reunidos por WILL (1985), deducidos de numerosas experiencias, principalmente neocelandesas, son frecuentemente empleados como referencias del estado nutritivo de las plantaciones de esta especie (SÁNCHEZ *et al.*, 2003; ZAS, 2003).

El objetivo de este trabajo es evaluar el estado nutritivo general de las masas asturianas de *Pinus radiata* D. Don, así como los principales factores edáficos que determinan la productividad de la estación forestal y la inspección de sus posibles relaciones con el índice de sitio como indicador de dicha productividad.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El conjunto de datos utilizado procede de 38 parcelas localizadas en masas regulares de *Pinus radiata* en Asturias de 0,1 ha cada una (Figura 1), considerando diferentes variables de masa y distinto material parental. La tabla 1 resume algunas características de las parcelas seleccionadas.

El índice de sitio (IS) en cada parcela fue obtenido a partir de las curvas de calidad construidas con datos de 119 árboles de *Pinus radiata* en 60 parcelas localizadas en Asturias. Se ha usado la función Bertalanffy-Richards con el método generalizado de diferencias algebraicas

	Mínimo	Máximo	Media	Dv. St.
Altitud (m)	100,00	725,00	470,85	162,22
Pendiente (%)	0,00	75,00	44,35	14,32
Profundidad del suelo (m)	0,19	0,85	0,34	0,08
IS (m a 20 años de edad)	9,54	28,80	17,56	3,29
Edad (años)	10,00	54,00	23,95	11,39
Área basimétrica (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	4,95	78,20	34,99	18,16
Densidad (pies ha <sup>-1</sup> )	275,00	1860,00	890,07	325,06

**Tabla 1.** Algunas características de las 38 parcelas de *Pinus radiata*

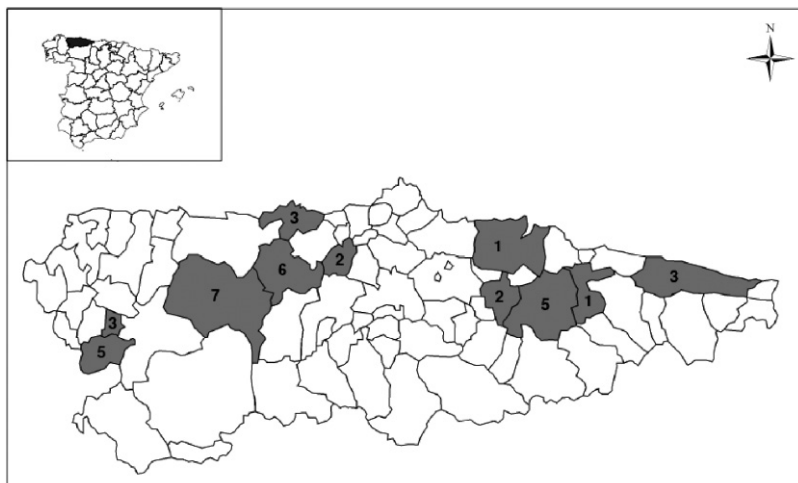


Figura 1. Localización y número de parcelas en cada concejo del Principado de Asturias

(GADA) para derivar el modelo de altura dominante (PAYANDEH & WANG, 1994):

$$H = H_0 \left( \frac{1 - \exp(-0,052737t)}{1 - \exp(-0,052737t_0)} \right)^{\frac{-3,16054 + 17,90445/X_0}{2}} \quad (1)$$

$$X_0 = \frac{(\ln H_0 + 3,16054 \cdot L_0) \pm \sqrt{((\ln H_0 + 3,16054 \cdot L_0)^2 - 71,6178 \cdot L_0)}}{2}$$

$$L_0 = \ln(1 - \exp(-0,052737t_0))$$

donde  $H_0$  y  $t$  representan la altura dominante (m) y edad (años) respectivamente y  $H$  es la altura estimada a una edad de referencia de 20 años. Para estimar el IS simplemente hay que sustituir IS por  $H$  en la ecuación (1) teniendo en cuenta la edad de referencia escogida ( $t = 20$  años).

Los suelos de las parcelas de inventario se clasificaron en Ustorthent, Ustochrept y Dystrochrept y se dividieron en cuatro grupos en función del tipo del material parental: 6 parcelas sobre conglomerados, 8 sobre pizarras negras, 9 sobre cuarcitas blanquecinas y 15 sobre areniscas feldespáticas (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, 1998). Independientemente del material parental, los suelos forestales en Asturias se caracterizan por su alto contenido en materia orgánica en los horizontes superficiales, de moderada a baja profundidad efectiva y un contenido pobre en bases extraíbles con un pH

alrededor de 4 salvo en la zona oriental donde la mayoría de los suelos son de carácter básico.

En cada parcela se midieron la profundidad efectiva del suelo en 3 puntos centrales con la ayuda de una sonda holandesa y con la misma se tomaron una muestra representativa del suelo compuesta por la homogeneización de 5 submuestras tomadas al azar evitando los límites de la parcela a 0-20 cm de profundidad. El suelo recogido en ningún caso había sido abonado recientemente. Las muestras de suelo se secaron al aire a temperatura ambiente, se desmenuzaron, trituraron suavemente y se hicieron pasar por un tamiz de 2 mm de luz de malla circular para quitar los elementos gruesos. En ellas se determinó la textura según el método de la pipeta Robison usando hexametáfosfato sódico más  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  como dispersante; el pH potenciométricamente en una suspensión suelo:agua 1:2,5; sales solubles en el extracto 1:5; bases extraíbles con  $\text{CINH}_4$  1N y Al intercambiable con KCl 1M, ambos por absorción atómica y a continuación se calculó la capacidad de intercambio catiónico efectiva (bases + aluminio de cambio); nitrógeno total por el método Kjeldahl (KLUTE, 1996); el carbono orgánico por ignición y el fósforo disponible se determinó por el método de Mehlich 3 (MEHLICH, 1985), por ser el más adecuado para la estimación de fósforo asimilable en una amplia gama de suelos no calcáreos (AFIF Y OLIVEIRA, 2006).

El análisis nutricional se realizó en acículas recogidas del tercio superior de los dos árboles dominantes en cada parcela en el mes de septiembre, siguiendo el procedimiento del Instituto de Investigación Forestal Neozelandés (WILL, 1985). Tras la retirada de las vainas, lavado y trituración de las acículas, se procedió a la extracción húmeda utilizando ácido perclórico y ácido nítrico (JONES *et al.*, 1991) diluyéndose a continuación con HCl 1N. A partir de esta dilución se determinaron el Ca, Mg, K y Fe por Absorción Atómica; el P y B fotométricamente y el N total por el método Kjeldahl. El tratamiento estadístico de los datos se realizó mediante el programa SPSS 13 (SPSS, 2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El IS osciló entre 9,5 y 28,8 m describiendo la mayor diversidad productiva posible de la especie en masas regulares entre las diferentes parcelas. Los análisis de varianza mostraron que el material parental no tuvo un impacto significativo sobre el IS (Tabla 2) al igual que lo obser-

vado en otros estudios nutricionales en *Pinus radiata* en Galicia (SÁNCHEZ *et al.*, 2002).

Los valores medios de las propiedades básicas de los suelos estudiados y agrupados según el material parental se muestran en la tabla 2. Los 38 suelos de las parcelas seleccionadas presentan un carácter fuertemente ácido, altos contenidos de materia orgánica, relación C/N elevada, poca profundidad efectiva, bajo contenido en bases y P disponible extraído por el método de Mehlich 3 (PM3), de acuerdo con las propiedades que presentan normalmente los suelos forestales típicamente ácidos de las zonas húmedas y frías. Los contenidos de materia orgánica, arcilla, Ca y Mg cambiables fueron inferiores en los suelos sobre conglomerado en comparación con el resto de las parcelas, dando lugar a una capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) baja y un pH ácido (alrededor de 4). En la matriz de correlación entre las propiedades básicas de los suelos, se observaron buenas correlaciones positivas entre la CICE y el Al, Mg y K cambiables, con un coeficiente de correlación de 0,978\*\*\*, 0,547\*\* y 0,477\* respectivamente, y con el contenido de arcilla y N total ( $r = 0,504^{**}$  y  $0,587^{**}$ , respectivamente). Del mismo modo se encontraron buenas correlaciones

	Todas las parcelas	Parcelas sobre Cuarcita	Parcelas sobre Pizarra	Parcelas sobre Arenisca	Parcelas sobre conglomerado
SI (m)	17,56 (3,29)	17,72 a	16,65 a	18,53 a	16,11 a
Prof. <sup>2</sup> (m)	0,34 (0,08)	0,37 a	0,34 a	0,33 a	0,34 a
Pendiente (%)	44,35 (14,32)	44,50 a	35,91 a	45,04 a	53,67 a
Arcilla (%)	15,76 (8,67)	14,58 ab	19,54 b	17,74 ab	7,57 a
MO <sup>3</sup> (%)	19,73 (7,31)	16,52 a	23,03 a	21,90 a	14,71 a
pH <sup>4</sup>	3,78 (0,33)	3,73 a	3,64 a	3,75 a	4,01 a
N total (%)	0,38 (0,17)	0,36 a	0,30 a	0,48 a	0,29 a
C/N	33,61 (14,22)	31,51 a	48,17 b	28,31 a	30,60 a
PM3 <sup>5</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	6,04 (4,60)	4,17 a	4,97 a	8,44 a	4,25 a
K (cmolc kg <sup>-1</sup> )	0,23 (0,16)	0,27 a	0,17 a	0,25 a	0,17 a
Ca (cmolc kg <sup>-1</sup> )	1,30 (0,67)	1,36 a	1,29 a	1,35 a	1,12 a
Mg (cmolc kg <sup>-1</sup> )	0,42 (0,23)	0,35 a	0,45 a	0,48 a	0,31 a
Al <sup>6</sup> (cmolc kg <sup>-1</sup> )	7,71 (5,01)	6,82 ab	5,65 ab	10,96 b	3,65 a
ECEC <sup>7</sup> (cmolc kg <sup>-1</sup> )	10,56 (5,28)	9,84 ab	8,23 ab	13,99 b	6,13 a

**Tabla 2.** Valores medios del IS y las propiedades de los suelos agrupados según el material parental <sup>1</sup>. <sup>1</sup> Las desviaciones estándar se muestran en la columna de todas las parcelas entre paréntesis y las diferencias significativas en los valores medios se indican con letras distintas,  $a < b$  (test de Tukey,  $P < 0,05$ ); <sup>2</sup> Profundidad efectiva del suelo; <sup>3</sup> Materia orgánica; <sup>4</sup> pH en agua con una relación suelo: disolución 1:2,5; <sup>5</sup> Fósforo extraíble con Mehlich 3; <sup>6</sup> Al de cambio; <sup>7</sup> Capacidad de intercambio catiónico efectiva.

positivas entre el Ca cambiante y el contenido de materia orgánica y N, con un coeficiente de correlación de 0,417\*\* y 0,323\* respectivamente, existiendo también una correlación entre estas dos últimas ( $r = 0,405^*$ ). El P asimilable extraído por el método Mehlich 3 estaba positivamente correlacionado con el N Kjeldahl y negativamente con la profundidad efectiva del suelo ( $r = 0,389^*$  y  $-0,418^{**}$ ). Parece que hay una tendencia a que los suelos menos fértiles con muy bajos niveles de P disponible tengan poca profundidad efectiva. Resultados similares de deficiencias sobre todo en P y bases extraíbles fueron encontrados en suelos forestales ácidos con plantaciones de *Pinus radiata* en España (ROMANYA & VALLEJO, 1996; ZAS, 2003; ZAS & SERRADA, 2003).

Los contenidos medios de 7 nutrientes en acículas de *Pinus radiata* en las 38 parcelas estudiadas y agrupadas según el material parental se presentan en la tabla 3, junto con los niveles críticos y marginales señalados para Nueva Zelanda (WILL, 1985). Respecto a los estándares neozelandeses, las masas asturianas denotan una clara deficiencia en P y Mg, siendo más relevante la deficiencia en P, lo que concuerda con los resultados ofrecidos para otras regiones peninsulares en *Pinus radiata* (ROMANYA & VALLEJO, 1996; ZAS & SERRADA, 2003). Coincidiendo con este diagnóstico se observaron en varias de las parcelas síntomas visuales de deficiencia en estos nutrientes. Las concentraciones de K en acículas en todas las parcelas estudiadas son inferiores al nivel crítico, siendo los valores más elevados en aquellas parcelas con alto contenido de Al intercambiable en el suelo. En cultivos hidropónicos, HUANG & BACHELARD (1993) han comprobado que la absorción de K se incrementa a medida que se aumenta el aluminio en la solución nutritiva, decreciendo las de Ca y Mg. Así es posible que el carácter ácido de los suelos asturianos sea determinante en la absorción de K. Por su parte, los niveles de Ca en las parcelas sobre pizarra y sobre arenisca son inferiores al nivel crítico y las concentraciones de N en acículas son superiores a los niveles críticos o marginales en todas las parcelas estudiadas. En ninguna de las parcelas se observa una relación N:P inferior a 10, por lo que el balance entre ambos nutrientes resulta claramente desequilibrado.

En *Pinus radiata*, tanto en España (MESANZA et al., 1993; PALACIOS et al., 1995; ZAS &

SERRADA, 2003; ZAS, 2003) como en Nueva Zelanda (HUNTER et al., 1991) las deficiencias en N no son frecuentes, siendo mucho más relevantes los problemas asociados al exceso de este nutriente que puede condicionar la asimilación de otros nutrientes (OLYKAN & ADAMS, 1995), entre los cuales se encuentra el P (ZAS, 2003). La relación descompensada N:P en todas las parcelas, puede interpretarse como un indicativo de esta interacción negativa entre el exceso relativo de N y la nutrición fosfórica. Por otro lado, no se han encontrado diferencias significativas en las concentraciones medias de nutrientes en acículas entre las principales clases de roca (Tabla 3).

A pesar de ello, es posible apreciar niveles medios inferiores de P, K y Ca en pizarras, por lo que la indirecta influencia de la naturaleza de la roca en el estado nutritivo de las masas forestales de *Pinus radiata* en Asturias puede ser apreciado a través de la textura del suelo o a través de la alteración y liberación de nutrientes a la disolución del suelo (SÁNCHEZ, 2001). En la matriz de correlación entre los 7 nutrientes en acículas considerados, se encontraron buenas correlaciones únicamente entre el Ca y el contenido de K y N, con un coeficiente de correlación Pearson de 0,451\*\* y 0,418\*\* respectivamente.

Las relaciones entre las concentraciones de nutrientes en acículas y las variables edáficas se presentan en la tabla 4. Las correlaciones positivas encontradas entre los niveles de P en acículas y el P asimilable en el suelo y la CICE, sugieren que un aporte extra de este elemento aumentaría el desarrollo del pinus radiata, a pesar de la posible existencia de otros factores como el pH, disponibilidad de P en profundidad, actividad micorrízica y altos niveles de N que afectan a la facilidad de asimilación de este elemento por las plantas. ZAS (2003) encontró una buena correlación entre el P foliar y el pH del suelo en un estudio nutricional de *Pinus radiata* en Galicia, indicando que bajo pH ácidos, la asimilación de P mejora al aumentar el pH. Las correlaciones negativas encontradas entre la concentración de Ca en acículas y el contenido de materia orgánica en el suelo y la relación C/N, sugieren que la acumulación de humus en los horizontes superficiales de los suelos de carácter ácido, como consecuencia de una lenta mineralización, debida en gran parte a la forma-

	Todas las parcelas	Parcelas sobre Cuarcita	Parcelas sobre Pizarra	Parcelas sobre Arenisca	Parcelas sobre conglomerado	<sup>2</sup> N.C.	2N.M.
N (mg g <sup>-1</sup> )	24,73 (3,7)	24,81 a	23,10 a	25,45 a	25,02a	12,0	15,0
P (mg g <sup>-1</sup> )	0,96 (0,56)	1,03 a	0,70 a	1,05 a	0,98 a	1,10	1,40
K (mg g <sup>-1</sup> )	2,83 (0,28)	2,80 a	2,64 a	2,88 a	2,98 a	3,00	5,00
Ca (mg g <sup>-1</sup> )	1,02 (0,30)	1,08 ab	0,84 a	0,97 ab	1,28 b	1,00	1,00
Mg (mg g <sup>-1</sup> )	0,74 (0,22)	0,77 a	0,81 a	0,71 a	0,65 a	0,70	1,00
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	21,05 (6,89)	23,33 a	18,75 a	22,67 a	16,67 a	-	-
B (mg kg <sup>-1</sup> )	19,91 (7,09)	16,53 a	19,60 a	22,06 a	20,06 a	-	-

**Tabla 3.** Valores medios de las concentraciones de nutrientes en acículas de *Pinus radiata* agrupados según el material parental<sup>1</sup>. <sup>1</sup> Las desviaciones estándar se muestran en la columna de todas las parcelas entre paréntesis y las diferencias significativas en los valores medios se indican con letras distintas, a < b (test de Tukey, P < 0.05); <sup>2</sup> Niveles críticos y marginales publicados por WILL (1985)

	Concentraciones en acículas			
	P	Ca	Mg	Fe
Materia orgánica		- 0,394*		
C/N		- 0,422**	0,414**	
P asimilable	0,329*			
K cambiable				0,342*
CICE	0,344**			

**Tabla 4.** Coeficientes de correlación de Pearson entre las concentraciones de nutrientes en acículas y las propiedades del suelo a 0-20 cm de profundidad. \*: Significativo el nivel P<0,05; \*\*: significativo el nivel P<0,01; \*\*\*: significativo el nivel P<0,001

ción de complejos estables con los Sesquióxidos de Fe y Al (GONZÁLEZ *et al.*, 1996), tiene efectos negativos sobre las concentraciones foliares de los nutrientes, disminuyendo principalmente el contenido de Ca en acículas. Similares resultados se han encontrado en Galicia donde la disminución de la concentración foliar de Ca fue atribuida al decaimiento de las masas maduras de *Pinus radiata* (SÁNCHEZ, 2001).

En la tabla 5 se presentan los coeficientes de correlación de Pearson entre el IS, los niveles de nutrientes en acículas y las variables edáficas, agrupados según el material parental. La concentración de P en acículas y el contenido de K cambiable en el suelo son las variables que mejor explican la calidad de estación para todas las parcelas. La correlación negativa encontrada entre el IS y el N foliar en parcelas sobre areniscas refleja un efecto indirecto. Las elevadas concentraciones de N en acículas puede ser debido al alto % de materia orgánica acumuladas en el suelo y su mal drenaje afectando a la aireación y

limitando el crecimiento radicular (ROMANYA Y VALLEJO, 2000; SÁNCHEZ *et al.*, 2002). Además el predominio del amonio tras la mineralización de la materia orgánica puede traer consigo la disminución de la absorción de algunos cationes (GONZÁLEZ *et al.*, 1996), especialmente el Ca. Por otra parte, la alta correlación negativa entre el B foliar y el IS en parcelas sobre conglomerado, puede expresar un efecto indirecto de la relación del B con otros metales, como el Fe o el Al. En las parcelas sobre cuarcita, la correlación negativa encontrada entre el IS y la pendiente puede deberse a una intensa iluviación lateral que afecta negativamente a la calidad de estación de *Pinus radiata* (SÁNCHEZ *et al.*, 2002). Las elevadas pendientes favorecen el drenaje, provocando así una iluviación lateral que deja los horizontes superficiales eluviados más pobres en nutrientes y elementos finos.

No ha sido posible obtener, mediante regresiones múltiples lineales, una ecuación que explicara la mayor parte de la varianza del IS con las

	Todas las parcelas	Parcelas sobre Cuarcita	Parcelas sobre Arenisca	Parcelas sobre conglomerado
K cambiable	0,466*	-0,673**	0,717***	
CICE			0,554*	
N foliar			-0,712***	
P foliar	0,440*		0,588**	
B foliar				-0,919***

**Tabla 5.** Coeficientes de correlación de Pearson entre las propiedades del suelo, concentración de nutrientes en acículas y IS. \*: Significativo el nivel  $P < 0,05$ ; \*\*: significativo el nivel  $P < 0,01$ ; \*\*\*: significativo el nivel  $P < 0,001$

concentraciones de nutrientes tanto en acículas como en el suelo. La diversa naturaleza del material parental puede ser una de las causas de la escasa varianza del IS explicada por estas ecuaciones. Además, gran parte de los datos obtenidos procede de parcelas de poca profundidad efectiva, por lo que otros factores ecológicos pueden estar implicados en la variación de la productividad.

## CONCLUSIONES

Los resultados indican que las masas regulares de *Pinus radiata* en Asturias presentan importantes problemas nutricionales que pueden estar mermando su crecimiento. En varias parcelas se observaron síntomas claros de estas deficiencias, mientras que en otras, la analítica foliar detectó los problemas nutricionales no identificables a simple vista y predijo las limitaciones del desarrollo para mejorar las calidades de estación de *Pinus radiata* en Asturias.

Los suelos con baja capacidad de intercambio catiónico, elevada relación C/N y limitado drenaje, deben evitarse en los programas de reforestación con esta especie. La aplicación de fertilizantes puede recomendarse como una práctica rutinaria considerando las graves deficiencias de K, P y Mg en acículas.

## BIBLIOGRAFIA

AFIF, E. Y OLIVEIRA, J.A.; 2006. Pérdida de disponibilidad y niveles críticos de fósforo Mehlich 3 en suelos no calcáreos de Asturias. *Pastos* 35: 29-74

CASTEDO, F.; 2004. *Modelo dinámico de crecimiento para las masas de Pinus radiata D. Don en Galicia. Simulación de alternativas selvícolas con inclusión del riesgo de incendio*. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.

GERDING, V. Y SCHLATTER, J.E.; 1995. Variables del sitio de importancia para la productividad de *Pinus radiata* D. Don en Chile. *En: Simposio I.U.F.R.O. para Cono Sur Suramericano sobre Manejo Nutritivo de Plantaciones Forestales*: 159-180. Valdivia. Chile.

GONZÁLEZ-PRIETO, S.J.; CABANEIRO, A.; VILLAR, M.C.; CARBALLAS, M. & CARBALLAS, T.; 1996. Effect of soil characteristics on N mineralization capacity in 112 native and agricultural soils from the northwest of Spain. *Biol. Fertil. Soils*. 22: 252-260.

HUANG, J. & BACHELARD, E.P.; 1993. Effects of aluminium on growth and cation uptake in seedlings of *Eucalyptus mannifera* and *Pinus radiata*. *Plant and Soil*. 149: 121-127.

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* 165: 1-24.

JONES, J.B.; WOLF, B. & MILL, H.A.; 1991. *Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide*. Micro-Macro Publishing. Athens. GA.

KLUTE, A.; 1996. *Methods of Soil Analyses*. 2nd ed.: 383-411. American Society of Agronomy. Madison. WI.

LOUW, J.H.; 1991. The relationship between site characteristics and *Pinus radiata* growth on the Tsitsikama plateau. *South Afr. For. J.* 158: 37-45.

- MEHLICH, A.; 1985. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Soil Sci. Plant Anal.* 15: 1409-1416.
- MERINO, A. & EDESOS, J.M.; 1999. Soil fertility rehabilitation in young *Pinus radiata* D. Don plantations from northern Spain after intensive site preparation. *Forest Ecol. Manage.* 116: 83-91.
- MESANZA, J.M.; CASADO, H. & CASTILLO, F.J.; 1993. Nutrient concentration in *Pinus radiata* D. Don needles in the Basque Country (Spain): a Preliminary classification of parameters and site. *Ann. Sci. For.* 50(1): 23-36.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE; 1998. *Mapa Forestal de España* 1:200.000. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid. España.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE; 2002. *Plan Forestal de Asturias*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid.
- MONTERO, G.; CISNEROS, O. Y CAÑELLAS, I.; 2003. *Manual de silvicultura para plantaciones de especies productoras de madera de calidad*. Mundi-Prensa. Madrid.
- 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.
- PAYANDEH, B. & WANG, Y.; 1994. Relative accuracy of a new base age invariant site index model. *For. Sci.* 40: 341-343.
- ROMANYA, J. & VALLEJO, V.R.; 1996. Nutritional status and deficiency diagnosis of *Pinus radiata* plantation in Spain. *For. Sci.* 42(2): 192-197.
- SÁNCHEZ, F.; 2001. *Estudio de la calidad de estación, crecimiento, producción y selvicultura de Pinus radiata D. Don en Galicia*. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.
- SÁNCHEZ, F.; RODRÍGUEZ, 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 north-western Spain. *Forest Ecol. Manage.* 171: 181-189.
- SÁNCHEZ, F.; ROJO, A.; ÁLVAREZ, J.G.; LÓPEZ, C.; GORGOSO, J. Y CASTEDO F.; 2003. Crecimiento y tablas de producción de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Inv. Agrar.: Sist. Rec. For.* 12: 65-83.
- SPSS; 2002. *SPSS para windows, version 13*. SPSS Inc.
- WILL, G.M.; 1985. Nutrient deficiencies and fertilizer use in New Zealand exotic forests. *F.R.I. bulletin* 97: 1-53.
- 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. & SERRADA, R.; 2003. Foliar nutrient status and nutritional relationships of young *Pinus radiata* D. Don plantations in north-west Spain. *Forest Ecol. Manage.* 174(1-3): 167-176.