

CRECIMIENTO EN VOLUMEN Y ESTADO NUTRICIONAL DE *Eucalyptus globulus* Labill.
Y *Pinus radiata* D. Don EN ASTURIAS, ESPAÑA

VOLUME GROWTH AND NUTRITION STATE OF *Eucalyptus globulus* Labill. AND *Pinus radiata* D. Don
IN ASTURIAS, SPAIN

Elias Afif Khouri ¹ Elena Canga Líbano ², José Alberto Oliveira Prendes ¹,
José Javier Gorgoso Varela ¹ y María Asunción Cámara Obregón ¹

RESUMEN

Se estudiaron las propiedades del suelo que más influyen en el crecimiento en volumen y el estado nutricional de árboles en plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* en la parte centro-oriental de Asturias, España. Para cada especie se consideraron 10 clases diamétricas de cinco centímetros de amplitud y se derribaron tres árboles dominantes por clase y taxón de edades comprendidas entre 13 y 52 años. Se evaluaron en acículas recolectadas del tercio superior mediante el método de los niveles críticos. Las deficiencias más importantes fueron en P, K y Mg para *P. radiata* y en N, P y K para *E. globulus*. Los suelos se muestrearon a una profundidad de 0-20 cm y presentaron un carácter muy ácido, alto contenido de materia orgánica, relación C/N elevada, bajo contenido en bases y P disponible extraído por el método de Mehlich 3, en los dos taxa. El incremento anual medio en volumen con corteza (IAVC) estuvo asociado significativamente con el contenido de Ca en acículas de *P. radiata*, pero se obtuvo una correlación negativa para dicho elemento y el contenido de P asimilable en el suelo y positiva con el pH. En *E. globulus*, el IAVC se correlacionó positivamente con el K cambiante, Mg foliar y el P asimilable en el suelo, con una buena correlación entre estos dos últimos. Los resultados resaltan la importancia del equilibrio nutricional en el desarrollo de ambas especies y revelan las necesidades de una fertilización equilibrada.

Palabras clave: Análisis de acículas, análisis de suelo, crecimiento volumétrico, estado nutricional, *Eucalyptus globulus*, *Pinus radiata*.

ABSTRACT

Relationships among soil parameters, tree nutrition and annual volume increment with bark (AVIC) were examined for *Eucalyptus globulus* and *Pinus radiata* in the central-eastern area of Asturias (NW Spain). For each species, 10 diameter classes with 5 cm of width were considered and three dominant trees between 13 and 52 years of each diameter class and species were cut. The nutritional state was assessed in needles collected from the upper third of the crowns of fell dominant trees, applying the critical level method. The most important deficiencies were in P, K and Mg for *P. radiata* and in N, P and K for *E. globulus*. The soils to 0-20 cm of depth were strongly acidic, with high contents of organic matter and high C/N ratios, low contents of exchangeable base cations and low Mehlich 3 available P for both species. The AVIC was positively correlated with Ca content in needles for radiata pine, but it was found a negative correlation between Ca content in needles and available P in soil, and positive with pH. In *E. globulus*, the AVIC was positively correlated with exchangeable K and available P in soil and foliar Mg, existing a good correlation among the last two ones. Results show the importance of the nutritional balance in the development of both species and reveal the balanced fertilization need.

Key words: Needle analysis, soil analysis, volume increment, tree nutrition, *Eucalyptus globulus*, *Pinus radiata*.

Fecha de recepción: 31 de julio de 2008.

Fecha de aceptación: 09 de marzo de 2010.

INTRODUCCIÓN

En el Principado de Asturias, España, 67.4% de la superficie, es decir, 715,147 ha son forestales; de ellas, 330,898 ha (46%), son arboladas y 384,249 ha (54%) pastos, matorral y monte bajo (Ministerio de Medio Ambiente, 2002).

Los productos económicos más importantes que se obtienen de estos territorios son la carne que se deriva del pastoreo efectuado, fundamentalmente, por ganado vacuno; así como de la madera en un volumen de 634,870 m³, del cual 56% (353,070 m³) corresponden a *Eucalyptus globulus* Labill.; 16% (102,100 m³) a *Castanea sativa* P. Mill.; 13% (83,230 m³) a *Pinus radiata* D. Don; 10% (65,140 m³) a *Pinus pinaster* Ait. y el resto, 5% (31,330 m³) a diversas especies (Ministerio de Medio Ambiente, 2006). El aprovechamiento de la superficie antes referida origina 8.4% del total de la producción final agraria, lo que ayuda a entender el gran valor que en el Principado tiene el monte y la relativa baja rentabilidad que genera.

Dentro del conjunto de factores del medio que ejercen alguna influencia sobre la ecología de las masas forestales, el suelo es sin duda el más relevante. Por lo tanto, es lógico que el sustrato sea considerado en repetidas ocasiones dentro de los criterios e indicadores establecidos por los distintos sistemas de Gestión Forestal Sostenible (GFS).

¹ Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Universidad Oviedo, Escuela Universitaria de Ingenierías Técnicas. Correo e- elias@uniovi.es

² Servicio de Planificación y Gestión de Montes del Principado de Asturias

El Consejo de Administración Forestal estructura sus estándares de GFS en 10 principios esenciales, el suelo constituye uno de los protagonistas en múltiples aspectos. La pérdida de fertilidad física y química; así como del material edáfico por erosión, son las principales preocupaciones de los certificadores de GFS, en lo que al suelo se refiere.

Los cultivos forestales, por los largos ciclos que utilizan, producen un impacto diferente sobre el suelo al de los anuales, no solo por la gran acumulación de biomasa, sino también por su extenso sistema radical que les permite explorar zonas más profundas. El éxito de una silvicultura sostenible radica, fundamentalmente, en un eficiente reciclado de nutrientes, lo que es determinado, en mayor parte, por las características de la materia orgánica y su dinámica de mineralización, el pH, la textura y la profundidad efectiva del suelo (González-Prieto *et al.*, 1996; Morris *et al.*, 1997; Sánchez *et al.*, 1998).

En condiciones climáticas homogéneas, numerosos estudios regionales se han enfocado a estimar la influencia de las propiedades físico-químicas del suelo en la productividad de la estación para mejorar la gestión forestal. Al respecto, el análisis foliar es una herramienta de gran utilidad para relacionar las características del suelo con el estado nutricional del arbolado. La dificultad de estas investigaciones estriba en diferenciar entre variables que determinan las causas de la productividad de la estación. Gerding y Schlatter (1995) hallaron que el potasio intercambiable tiene una alta correlación con el índice de sitio de *Pinus radiata* en suelos arenosos de Chile. Sin embargo, la relación respondió a un efecto provocado por otras características del suelo y no porque condicionara la nutrición del arbolado, ya que las concentraciones foliares de potasio fueron adecuadas.

En un estudio realizado por Louw (1991), el fósforo asimilable de la capa cultivable del suelo, atribuido a la acción del bombeo biológico y extraído por el método de Bray 2, presentó una correlación significativa con el índice de sitio de *P. radiata*. Los suelos en los que el fósforo resulta determinante en la variación de la productividad son ácidos, lixiviados y con un alto grado de alteración geoquímica (Will, 1985; McLaughlin, 1996). La acidez superficial puede servir como indicador de la fertilidad e indirectamente de la cantidad de fósforo disponible.

Por otra parte, el análisis foliar diagnóstica de forma inmediata el estado nutricional de las masas forestales, que a su vez permite definir las medidas que se deben aplicar para alcanzar una producción óptima y un manejo sostenible del recurso.

Los niveles críticos reunidos por Will (1985), derivados de numerosas experiencias principalmente neozelandesas, son empleados con frecuencia, como referencia del estado nutricional de las plantaciones de *P. radiata* (Sánchez *et al.*, 2003; Zas, 2003). Del mismo modo, las concentraciones óptimas foliares obtenidas por Judd *et al.* (1996) en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill, se han utilizado como guía para este taxón (Brañas *et al.*, 2000).

A partir de las relaciones entre los elementos es posible realizar un diagnóstico nutritivo de las masas forestales, al igual que de la concentración de nutrientes a nivel foliar (Prado y Toro, 1996;

Brañas *et al.*, 2000). En particular es relevante el balance N/P (Prado y Barros, 1989), que de acuerdo a diversos autores, varía de 12 a 15 para el caso de *Eucalyptus* sp., fuera de dicho intervalo, puede no haber respuesta a la fertilización (Prado y Toro, 1996; Brañas *et al.*, 2000).

Algunos investigadores aseguran que, en especial, la relación N/P en el follaje es sensible a la adición de nutrientes. Al respecto, se sugiere para *E. globulus* un valor óptimo de 15 (Judd *et al.*, 1996); así mismo, las relaciones N/K, K/P y Ca/Mg también se emplean para dicha especie. Sobre el particular, los intervalos de referencia ofrecidos por Herbert (1996) son N/K: 3.5; K/P: 5 y Ca/Mg: >3.3 en *E. globulus*.

El objetivo del presente trabajo es evaluar el estado nutricional de plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* en la provincia de Asturias; así como, analizar los principales factores edáficos que determinan la productividad de la estación forestal y la inspección de sus posibles relaciones con el incremento anual medio en volumen con corteza (IAVC).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos proceden de plantaciones de *E. globulus* (Figura 1) y *P. radiata* (Figura 2) con edades de 13 a 52 años para el primero y de 14 a 48 años para el segundo; con superficies de 6 a 8 ha, localizadas en seis masas regulares situadas en las zonas de Cordal del Peón y Magostero Rales, en el concejo Villaviciosa y Sierra Plana de Borbolla en el concejo Llanes, en la parte centro-oriental de Asturias (Figura 3). Los suelos en las tres zonas se clasificaron en Cambisoles desarrollados sobre cuarcitas blanquecinas con intercalaciones lutíticas y areniscas feldespáticas (Ministerio de Medio Ambiente, 1998).

Se clasificaron 30 árboles de cada especie en 10 clases diamétricas con intervalos de cinco centímetros, diámetro mínimo de 12.5 cm. Se aparearon tres individuos dominantes por clase diamétrica y taxón. A continuación se calculó el incremento anual medio en volumen con corteza (IAVC) medido como $\text{dm}^3 \text{año}^{-1}$, equivalente a volumen/edad. El IAVC es función de dos factores: edad y densidad de la plantación; no se considera como índice de calidad de estación.

En cada localidad y por especie se midió la profundidad efectiva del suelo en tres puntos centrales con una sonda holandesa; además, se obtuvo una muestra compuesta por la homogeneización de cinco submuestras tomadas al azar a una profundidad de 0 a 20 cm. El suelo en ningún caso había sido abonado, recientemente.

Las muestras se secaron al aire a temperatura ambiente; se desmenuzaron, se trituraron suavemente y se hicieron pasar a través de un tamiz de 2 mm de malla circular, para descartar las partículas gruesas. En ellas se determinó la textura según el método de la pipeta Robinson, con hexametáfosfato sódico y Na_2CO_3 como dispersante; para el pH se usó un potenciómetro y el suelo en una suspensión de agua 1:2.5; sales solubles en el extracto 1:5; bases extraíbles con NH_4Cl 1N y Al intercambiable con KCl 1M, ambos por absorción atómica en un equipo modelo Perkin Elmer precisely (A. Analyst 200). Enseguida se calculó la capacidad de intercambio

cati3nico efectiva (bases + aluminio de cambio); nitr3geno total por el m3todo Kjeldahl (Klute, 1996); el carbono org3nico por ignici3n, para el f3sforo disponible se utiliz3 la t3cnica de Mehlich 3 (Mehlich, 1985), por ser la m3s adecuada para la estimaci3n de f3sforo asimilable en una amplia gama de suelos no calc3reos (Fern3ndez, 1997; Monterroso *et al.*, 1999; Afif y Oliveira, 2006).

El an3lisis nutricional en ambas especies se realiz3 en hojas y ac3culas recolectadas del tercio superior de los 3rboles derribados, seg3n

el procedimiento del Instituto de Investigaci3n Forestal Neozeland3s (Will, 1985). ras la retirada de las vainas, lavado y trituraci3n de las ac3culas de *P. radiata* y de las hojas de *E. globulus*, se procedi3 a la extracci3n h3meda mediante la aplicaci3n de 3cido percl3rico y 3cido n3trico (Jones *et al.*, 1991), diluy3ndose con HCl 1N. A partir de esta diluci3n se analizaron el Ca, Mg y K por absorci3n at3mica en un espectrof3tmetro Perkin Elmer precisely (A. Analyst 200); el P fotom3tricamente y el N total por el m3todo Kjeldahl.



Figura 1. Vista de plantaciones de *Eucalyptus globulus* de 14 a3os de edad en Asturias, Espa3a.



Figura 2. Plantaciones de *Pinus radiata* de 26 a3os de edad en Asturias, Espa3a.



Figura 3. Localización de plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* en los consejos de Villaviciosa y Llanes del Principado de Asturias, España.

El Cuadro 1 destaca los niveles críticos y marginales de los nutrimentos en hojas de *E. globulus* propuestos por Judd *et al.* (1996) y en acículas de *P. radiata* definidos por Will (1985). Son los valores de referencia con los que se compararán los resultados obtenidos de los análisis foliares para ambos taxa.

El tratamiento estadístico de los datos se realizó mediante el programa SPSS 15 (SPSS, 2006). Se usó, en primer lugar, una estadística descriptiva de las variables edáficas consideradas y de las concentraciones de macronutrimentos en hojas de *E. globulus* y acículas de *P. radiata*. Posteriormente, se llevaron a cabo análisis de varianza de un factor, en los que las variables respuestas eran diferentes parámetros nutricionales. Una vez comprobada la existencia de diferencias significativas en la variable respuesta ($p \leq 0.05$), se hicieron pruebas de comparación de medias de Tukey. También se efectuó un análisis de correlación lineal con el coeficiente de correlación de Pearson para analizar la interrelación entre variables determinadas analíticamente y de éstas con el incremento medio anual en volumen con corteza (IAVC).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El IAVC osciló entre 10.3 y 82.7 $\text{dm}^3 \text{año}^{-1}$, para *E. globulus* y de 7.7 a 64.1 $\text{dm}^3 \text{año}^{-1}$, para *P. radiata* (Cuadro 2). Los valores medios de las propiedades básicas de los suelos estudiados se muestran en los cuadros 3a y 3b.

Los suelos donde crecen las dos especies fueron muy ácidos ($\text{pH} \approx 4$), indicativos de una baja reserva de bases (K^+ , Ca^{2+} y

Mg^{2+}) y elevadas concentraciones de Al cambiante, que limitan el desarrollo de las raíces. La profundidad media de los suelos estuvo en torno a 40 cm, con algunos valores limitantes de 23 y 19 cm para *E. globulus* y *P. radiata*, respectivamente.

La textura varió de arcillosa a franco arcillo arenosa, con un contenido medio de arcilla de 24.4% para *E. globulus* y de 31.6% para *P. radiata*. La materia orgánica osciló de 9.2 a 21.5% para *E. globulus* y de 14 a 29.8% para *P. radiata*, que están de acuerdo con los altos valores que existen en los suelos naturales de zonas húmedas y frías (Bará, 1991)

La relación C/N fue alta (>20) en todas las plantaciones estudiadas, lo que sugiere una mineralización desfavorable que afecta, especialmente, al contenido de N en el suelo. Los registros del P asimilable estuvieron por debajo del nivel crítico de 20 mg P kg^{-1} (Monterroso *et al.*, 1999). Los cationes intercambiables y la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) variaron según el porcentaje de arcilla presente, entre los que sobresalen por sus cantidades más elevadas Ca, Mg y K intercambiables para *P. radiata*.

En otras localidades de España se obtuvieron resultados similares de deficiencias, sobre todo en P y bases extraíbles en suelos forestales ácidos con plantaciones de *P. radiata* y *E. globulus* (Romanya y Vallejo, 1996; Zas y Serrada, 2003). Tanto para *E. globulus*, como para *P. radiata* los análisis de varianza no mostraron diferencias estadísticamente significativas en todas las variables edáficas entre las tres zonas estudiadas ($p > 0.05$), debido a que ellas son comparables en cuanto a tipo de suelo y material parental.

Cuadro 1. Niveles de macronutrimentos en hojas de *Eucalyptus globulus* (Judd *et al.*, 1996) y acículas de *Pinus radiata* (Will, 1985).

		N	P	K	Ca	Mg
		g kg^{-1}				
<i>E. globulus</i>	Nivel marginal	16	1.4	6	1	1.4
	Nivel crítico	14	1.2	4	1	0.8
<i>P. radiata</i>	Nivel marginal	15	1.4	5	1	1
	Nivel crítico	12	1.1	3	1	0.7

Cuadro 2. Valores medios de volumen, edad e incremento anual medio en volumen con corteza (IAVC) de plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* en Asturias para cada clase diamétrica.

C.D. ¹ cm	<i>Eucalyptus globulus</i>			<i>Pinus radiata</i>		
	Volumen dm ³	Edad años	IAVC ² dm ³ año ⁻¹	Volumen dm ³	Edad años	IAVC ² dm ³ año ⁻¹
15	130.1	13.0	10.9	105.9	14.3	7.2
20	269.7	15.2	15.9	170.4	19.6	8.9
25	562.8	24.4	21.5	349.1	26.0	11.8
30	983.8	31.1	29.9	513.3	33.1	15.6
35	1192.8	33.8	34.8	676.5	32.3	21.1
40	1632.3	37.3	42.6	1136.6	34.0	33.6
45	2033.6	40.1	48.1	1622.3	37.7	43.7
50	2584.8	39.2	63.3	1952.9	39.5	49.7
55	2930.4	44.3	64.6	2099.8	46.2	45.8
60	3379.3	45.6	73.1	2471.2	48.0	51.6

¹ Clase diamétrica con intervalos de cinco centímetros y diámetro mínimo de 12.5 cm para ambas especies; ² IAVC = incremento anual medio en volumen con corteza (IAVC = volumen / edad).

Cuadro 3a. Media e intervalo de variación de algunas propiedades de los suelos estudiados en plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* en Asturias, España.

		Prof. ¹	pH ²	CE ³	Ar. ⁴	MO ⁵	N
		m		ds m ⁻¹		%	
<i>E. globulus</i>	Media	0.42	3.62	0.10	24.37	15.09	0.28
	Rango	0.23-0.87	3.94-4.33	0.05-0.17	19.42-28.92	9.19-21.45	0.17-0.32
	D. Estándar	0.17	0.59	0.03	3.56	6.18	0.07
<i>P. radiata</i>	Media	0.34	4.01	0.12	31.60	21.19	0.32
	Rango	0.19-0.85	3.49-4.12	0.09-0.15	18.98-41.30	13.96-29.81	0.26-0.44
	D. Estándar	0.08	0.22	0.03	6.06	5.67	0.05

¹ Profundidad efectiva del suelo; ² pH (HzO) relación suelo: disolución (1:2.5); ³ Conductividad eléctrica en el extracto (1:5) medida a 25° C; ⁴ Arcilla; ⁵ Materia orgánica.

Cuadro 3b. Media e intervalo de variación de algunas propiedades de los suelos estudiados en plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* en Asturias, España.

		C/N	P ⁶	Ca ²⁺ *	Mg ²⁺ *	K ⁺ *	Na ⁺ *	Al ³⁺ *	CICE ⁷
			mg kg ⁻¹				cmol ₍₊₎ kg ⁻¹		
<i>E. globulus</i>	Media	30.01	9.06	1.28	0.53	0.21	0.65	5.45	8.13
	Rango	20.73-34.30	7.45-13.91	0.45-1.42	0.25-0.66	0.12-0.47	0.31-0.98	4.31-9.18	6.88-12.65
	D. Estándar	5.18	2.65	0.88	0.24	0.02	0.20	2.46	1.37
<i>P. radiata</i>	Media	37.70	2.38	1.97	0.79	0.23	0.54	3.97	7.50
	Rango	29.60-41.35	1.19-3.72	0.98-3.26	0.45-1.09	0.19-0.31	0.37-0.72	3.42-6.67	5.90-11.02
	D. Estándar	5.81	0.89	0.96	0.22	0.02	0.07	3.63	2.57

⁶ P disponible extraído por el método de Mehlich 3; *Ca, Mg, K, Na y Al intercambiables; ⁷ Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva.

Sin embargo, las diferencias a nivel de especies resultaron altamente significativas para el contenido de arcilla, materia orgánica, pH, N total, relación C/N, P asimilable, K, Ca, Mg y Na intercambiables ($p < 0.001$, $p < 0.001$, $p = 0.004$, $p = 0.014$, $p < 0.001$, $p < 0.001$, $p = 0.02$, $p = 0.011$, $p < 0.001$ y $p = 0.009$, respectivamente) y no significativas para el Al intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico efectiva ($p > 0.05$).

Los valores medios de las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en acículas de *P. radiata* y hojas de *E. globulus* se resumen en el Cuadro 4. *E. globulus* tuvo menores registros de N, P y K en hojas

con una clara deficiencia en estos mismos elementos nutritivos; mientras que, para *P. radiata* fueron en P, K y Mg; de ellas, la más relevante es la de K seguida por la de P para *E. globulus*. Resultados que concuerdan con los consignados para los dos taxa en otras regiones del noroeste peninsular (Romanya y Vallejo, 1996; Brañas et al., 2000; Zas y Serrada, 2003; Afif et al., 2007), destacan las cantidades altas en Ca para *E. globulus* que se apreciaron en el presente trabajo.

Las concentraciones de Ca en acículas y hojas en todas las plantaciones estudiadas son superiores al nivel crítico, con

valores muy elevados en aquellas áreas con bajo contenido de Al intercambiable en el suelo. Al igual que en el caso de *P. pinaster*, las deficiencias en N para *P. radiata* tanto en España (Mesanza *et al.*, 1993; Palacios *et al.*, 1995; Zas y Serrada, 2003), como en Nueva Zelanda (Hunter *et al.*, 1991; Olykan y Adams, 1995) no son muy frecuentes, pues los problemas más relevantes se asocian al exceso de dicho nutrimento que puede condicionar la asimilación de otros, entre los cuales está el P (Zas, 2003; Afif *et al.*, 2007).

N foliar estuvo negativa y significativamente correlacionado con el P asimilable en el suelo y de manera positiva con K, Ca y Mg intercambiables para *E. globulus*; mientras que para *P. radiata* el N foliar, al igual que el Mg, no registraron ninguna correlación con las variables edáficas.

Cuadro 4. Valores mínimo, máximo y medio procedentes de las concentraciones de macroelementos en hojas de *Eucalyptus globulus* y acículas de *Pinus radiata* en Asturias, España.

	<i>Eucalyptus globulus</i>			<i>Pinus radiata</i>		
	mínimo	máximo	media ¹	mínimo	máximo	media ¹
N (g kg ⁻¹)	5.0	15.10	9.95 (0.28)	11.8	26.30	17.19 (0.34)
P (g kg ⁻¹)	0.40	0.91	0.68 (0.01)	0.60	1.31	0.99 (0.02)
K (g kg ⁻¹)	0.7	2.62	1.82 (0.03)	1.80	3.12	2.50 (0.04)
Ca (g kg ⁻¹)	3.90	10.90	7.73 (0.16)	0.83	3.07	1.60 (0.07)
Mg (g kg ⁻¹)	0.33	1.37	0.98 (0.02)	0.34	1.06	0.56 (0.01)

¹Las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis.

En las evaluaciones siempre se observó una relación N/P superior a 15, por lo que el balance entre ambos resultó claramente alterado, dicha interacción fue negativa para el exceso relativo de N y la nutrición fosfórica, más valiosa para *P. radiata*. Del mismo modo, las relaciones Ca/Mg y K/P para *P. radiata* mostraron un claro desequilibrio, de acuerdo con los intervalos de referencia ofrecidos por Herbert (1996).

La relación Ca/Mg para *E. globulus* fue superior a 7, es decir, estos nutrimentos tuvieron un balance equilibrado, con acusado desbalance en la relación K/P. Respecto a las diferencias en las concentraciones foliares de P, K, Ca y Mg en las tres zonas estudiadas no fueron significativas ($p > 0.05$), al igual que para *P. radiata* en N, P, Ca y Mg ($p > 0.05$).

En el caso de N para *E. globulus* y K para *P. radiata* se obtuvieron diferencias significativas entre zonas ($p = 0.003$), debido al proceso de lavado que condiciona la concentración del N en aquellas áreas de máximo desarrollo radicular. En relación al fuste, queda fijado en posición interlamina al contenido de arcillas micáceas tipo 2:1 como la illita, por lo tanto no es intercambiable y no está a disposición de la planta.

Cabe destacar que se determinaron diferencias muy significativas entre las dos especies para todos los macroelementos analizados ($p \leq 0.001$). En la matriz de correlación que considera los cinco nutrimentos en acículas para *P. radiata*, se presentaron correlaciones significativas y negativas sólo para el Ca y la concentración de N y K con un coeficiente de correlación de Pearson de -0.463^{**} y -0.547^{**} , respectivamente y una correlación positiva entre el último y el P ($r = 0.594^{**}$). En *E. globulus* no se confirmaron correlaciones significativas en los nutrimentos foliares.

Las concentraciones de nutrimentos en hojas y las variables edáficas muestran tanto para *E. globulus*, como para *P. radiata* correlaciones significativas y positivas para el K foliar y el contenido de K, Ca y Mg intercambiables en el suelo (Cuadro 5). El contenido de

El Ca foliar tuvo una correlación negativa y significativa con el P asimilable en el suelo para *P. radiata* y positiva con el pH en ambas especies. El P foliar registró para *P. radiata* correlaciones positivas con el contenido de materia orgánica, N total, K, Ca y Mg intercambiables en el suelo y una correlación negativa y significativa con el Al intercambiable; para *E. globulus* sólo se correlacionó significativamente con la capacidad de intercambio catiónico efectiva. Para este último taxón, el Mg foliar mostró una correlación positiva y significativa con el contenido de arcilla y P asimilable y negativa con el N total y K intercambiable en el suelo.

Las correlaciones positivas observadas sugieren que un aporte extra de P y K aumentaría el desarrollo de los taxa, a pesar de la posible existencia de otros factores como el pH y altos niveles de N que afectan la facilidad de asimilación de dichos elementos por las plantas. Zas (2003) obtuvo una buena correlación entre el P foliar y el pH del suelo en un estudio nutricional de *P. radiata* en Galicia, ubicada al noroeste de España, e indicó que en pH ácidos, la asimilación de P mejora al aumentar el pH o al disminuir la acidez intercambiable, lo que concuerda con la correlación negativa determinadas entre el P foliar y el Al intercambiable para *P. radiata* en el presente estudio.

Huang y Bachelard (1993) en cultivos hidropónicos de *E. globulus* y *P. radiata*, comprobaron que la absorción de K se incrementa a medida que aumenta el aluminio en la solución nutritiva y decrecen las de Ca y Mg. Sin embargo, en los resultados aquí documentados se registra una correlación negativa entre K foliar y el Al intercambiable en el suelo para *P. radiata* (Cuadro 5). Es posible que el carácter ácido de los suelos asturianos sea determinante en la absorción de K.

En el Cuadro 6 se anotan los coeficientes de correlación de Pearson correspondientes a el IAVC, los niveles de nutrimentos en hojas y las variables edáficas para *E. globulus* y *P. radiata*. Hay una tendencia para *E. globulus* de que los suelos más fértiles con alto contenido de P asimilable, K intercambiable y baja acidez intercambiable mejoran el desarrollo de la especie.

Cuadro 5. Coeficientes de correlación de Pearson entre las propiedades del suelo y la concentración de nutrientes en acículas de *Pinus radiata* y hojas de *Eucalyptus globulus* en Asturias, España.

Suelo	<i>E. globulus</i>					<i>P. radiata</i>		
	nutrientes en hojas					nutrientes en acículas		
	N	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca
Arcilla					0.483*			
MO						0.468*		
pH				0.434*				0.426*
N total					-0.519**	0.542**		
P asimilable	-0.517**				0.535**			-0.408*
K intercambiable	0.501**		0.416*		-0.445*	0.518**	0.423*	
Ca intercambiable	0.425*		0.568**			0.508*	0.573**	
Mg intercambiable	0.469*		0.456*			0.514*	0.458*	
Al intercambiable						-0.432*	-0.568**	
CICE		0.397*						

* Significativo ($P \leq 0.05$), ** Altamente significativo ($P \leq 0.01$).

Cuadro 6. Coeficientes significativos de correlación de Pearson entre algunas propiedades del suelo, concentración de nutrientes en hojas y el incremento anual medio en volumen con corteza de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* en Asturias, España.

Especie	Foliar	Suelo			
		Al	Arcilla	P	K
<i>E. globulus</i>		-0.590**	0.511**	0.504**	0.407*
	Mg	0.390*			
<i>P. radiata</i>	Ca	0.504*			

* Significativo ($P \leq 0.05$), ** Altamente significativo ($P \leq 0.01$).

En *P. radiata*, hubo ausencia de correlaciones entre el IAVC y las propiedades del suelo en el estudio que se describe. Afif et al. (2007) en una investigación relativa a la influencia de las propiedades físico-químicas de los suelos asturianos en la productividad de la estación, hallaron que el potasio de cambio está altamente correlacionado con el índice de sitio de *P. radiata*. Por otra parte, Sánchez et al. (2002) citan para suelos gallegos correlaciones positivas y significativas entre el índice de sitio de *P. radiata*, el pH y la profundidad efectiva del suelo y negativas con el contenido de N total en el suelo.

CONCLUSIONES

Las masas regulares de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* en el Principado de Asturias manifestaron problemas nutricionales que afectan su crecimiento. Las deficiencias más importantes fueron en N, P y K para *E. globulus* y P, K y Mg para *P. radiata*, con diferencias altamente significativas entre ambas especies para los macronutrientes analizados.

En las plantaciones se observaron graves desequilibrios en las relaciones N/P, K/P y Ca/Mg en *P. radiata*, K/P para *E. globulus*.

Los análisis físico-químicos de los suelos para los dos taxa mostraron una textura franco arcillosa, alto contenido de materia orgánica, pH muy ácido, alta relación C/N, deficiencia en P asimilable, baja reserva de bases y elevadas concentraciones de Al intercambiable.

Las correlaciones entre variables edáficas y nutrientes foliares para *P. radiata* indicaron que la absorción de P y K por la planta disminuye en suelos ácidos con un alto contenido de Al intercambiable. Además, un alto contenido de N total en el suelo disminuye la asimilación del P en *E. globulus*.

La aplicación de fertilizantes es recomendable debido a las graves deficiencias de elementos nutritivos en las hojas de ambas especies. 

REFERENCIAS

- Afif K, E. y P. Oliveira J. A. 2006. Pérdida de disponibilidad y niveles críticos de fósforo Mehlich 3 en suelos no calcáreos de Asturias. Pastos 35: 29-74.
- Afif K, E, L Canga E, O. Cámara A y V. Gorgoso J. 2007. Influencia de los factores edáficos en la relación altura dominante - edad y estado nutricional de *Pinus radiata* D. Don en Asturias (España). In: Actas de la 2ª Reunión del Grupo de Trabajo de Ecología, Ecofisiología y Suelos Forestales. Salamanca, España. CD-ROM s/p.
- Bará T., S. 1991. Fertilización forestal. Consejería de Agricultura, Ganadería e Montes. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela, España. 175 p.
- Brañas, J., R. González F., S. Rodríguez R. y A. Merino. 2000. Contenido y distribución de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus globulus* del noroeste de la Península Ibérica. Invest. Agra. Sist. Recur. For. 9: 316-335.
- Fernández M, L. 1997. Evaluación en cámara de crecimiento de tres métodos de determinación de fósforo asimilable en suelos no calcáreos. Edafología 3: 189-203.
- Gerding, V. y J. Schlatte E. 1995. Variables y factores del sitio de importancia para la productividad del *Pinus radiata* D. Don en Chile. Bosque 16: 39-56.
- González-Prieto S, A. Cabaneiro, M. Villar C., M. Carballas and T. Carballas. 1996. Effect of soil characteristics on N mineralization capacity in 112 native and

- agricultural soils from the northwest of Spain. *Biology and Fertility of Soils* 22: 252-260.
- Herbert, M. A. 1996. Fertilizers and eucalypt plantations in South Africa. In: Attiwill, P. M. and M. A. Adams (Eds.). *Nutrition of eucalypts*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia, pp. 303-325.
- Huang, J. and E. P. Bachelard. 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., A. Rodgers, A. Dunningham, L. M. Prince and A. L. Thorn. 1991. An atlas of radiata pine nutrition in New Zealand. FRI Bulletin No. 165. Rotorua, New Zealand. 24 p.
- Jones, J. B., B. Wolf and H. A. Mill. 1991. *Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide*. Micro-Macro Publishing, Athens, GA, USA. 213 p.
- Judd, T. S., P. M. Attiwill and M. A. Adams. 1996. Nutrient concentrations in *Eucalyptus*: a synthesis in relation to differences between taxa, sites and components. In: Attiwill P. M. and A. M. Adams (Eds.). *Nutrition of eucalypts*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia, pp. 123-153.
- Klute, A. 1996. *Methods of Soil Analyses*. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, pp. 383-411.
- Louw, J. H. 1991. The relationship between site characteristics and *Pinus radiata* growth on the Tsitsikama plateau. *South African Forestry Journal* 158: 37-45.
- McLaughlin, M. J. 1996. Phosphorus in Australian forest soil. In: Attiwill, P. M. and A. M. Adams (Eds.). *Nutrition of eucalypts*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia, pp. 1-30.
- Mehlich, A. 1985. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Soil Sci. and Plant Anal.* 15: 1409-1416.
- Mesanza J., M., H. Casado and F. L. Castillo. 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. CD-ROM s/p.
- Ministerio de Medio Ambiente. 2002. Plan Forestal de Asturias. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid, España. CD-ROM s/p.
- Ministerio de Medio Ambiente. 2006. Tercer Inventario Forestal Nacional - Asturias. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid, España. 439 p.
- Monterroso, C., F. Álvarez E. and M. L. Fernández. 1999. Evaluation of Mehlich 3 reagent as a multielement extractant in mine soils. *Land Degradation and Development* 10: 35-47.
- Morris, D. M., J. P. Kimmins and D. R. Duckert. 1997. The use of soil organic matter as a criterion of the relative sustainability of forest management alternatives: a modeling approach using FORECAST. *Forest Ecology and Management* 94: 61-78.
- Olykan, S. T. and L. A. Adams. 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., H. Casado, J. M. Mesanza and F. J. Castillo. 1995. *Pinus radiata* site quality study in the Basque Country (Spain) using nutritional and physiological criteria. *Water Air Soil Poll.* 85(3): 1275-1280.
- Prado, J. y S. Barros. 1989. *Eucalyptus: Principios de Silvicultura y Manejo*. INFOR, CORFO. Santiago, Chile. 199 p.
- Prado, J. and J. Toro. 1996. Silvicultura de eucalypt plantations in Chile. In: Attiwill, P. M. and A. M. Adams (Eds.). *Nutrition of eucalypts*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia, pp. 357-369.
- Romanya, J. and V. R. Vallejo. 1996. Nutritional status and deficiency diagnosis of *Pinus radiata* plantation in Spain. *For. Sci.* 42(2): 192-197.
- Sánchez, F., R. Rodríguez, A. Rojo y G. Álvarez J. 1998. Resultados preliminares del estudio de curvas de calidad de estación y de los factores ecológicos implicados en la productividad de *Pinus radiata* D. Don en Galicia (España). In: *Actas del Primer Congreso Latinoamericano. IUFRO. Manejo sostenible de los recursos forestales, desafío del siglo XXI*. Valdivia, Chile. CD-ROM s/p.
- Sánchez, F., R. Rodríguez, E. Español, C. A. López and A. Merino. 2002. Influence of edaphic factors and tree nutritive status on the productivity of *Pinus radiata* D. Don plantations in north-western Spain. *For. Ecol. Management* 171: 181-189.
- Sánchez, F., A. Rojo, G. Álvarez J., C. López, V. Gorgoso J. y F. Castedo. 2003. Crecimiento y tablas de producción de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Inv. Agrar. Sist. Rec. For.* 12: 65-83.
- Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). 2006. SPSS para Windows, version 15. SPSS Inc.
- Will, G. M. 1985. Nutrient deficiencies and fertilizer use in New Zealand exotic forests. FRI. Bulletin No. 97. Rotorua, New Zealand. 53 p.
- 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. and R. Serrada. 2003. Foliar nutrient status and nutritional relationships of young *Pinus radiata* D. Don plantations in northwest Spain. *For. Ecol. Management* 174(1-3): 167-176.