

# CRECIMIENTO ANUAL EN VOLUMEN Y ESTADO NUTRICIONAL DE *Pinus pinaster* Ait. EN ASTURIAS, ESPAÑA

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

## RESUMEN

Se estudiaron las propiedades del suelo y el estado nutricional en seis masas de *Pinus pinaster* localizadas en la parte centro - occidental de Asturias. Además, se relacionó el estatus nutricional de los suelos y de los árboles con el incremento anual medio en volumen con corteza (IAVC). Los árboles se clasificaron en 10 clases diamétricas de 5 cm de amplitud; de cada una se derribaron y midieron tres individuos dominantes y a continuación se calculó el IAVC. El análisis nutricional se realizó en acículas, ramas de diámetro comprendido entre 2 y 7 cm, de 0.5 a 2 cm, inferior a 0.5 cm y en rodajas extraídas a diferentes alturas del fuste. Las mayores concentraciones de nutrientes se obtuvieron en las acículas, con deficiencias en el contenido de P, K y una descompensación en la relación N:P, que disminuyó progresivamente en las ramas de menor a mayor diámetro. El IAVC presentó una correlación negativa con el N, contenido de materia orgánica y Ca intercambiable en el suelo y con el Ca foliar. El P, K y Mg en las ramas de menos de 0.5 cm de diámetro tuvo una correlación positiva con el IAVC, al igual que la capacidad de intercambio catiónico efectiva, el contenido de arcilla y el pH. Los resultados indican que otros factores, como el pH del suelo, interfieren en la asimilación del Ca y revelan la importancia de reincorporar al terreno las ramas finas y ramillas, así como incorporar la fertilización en los programas de reforestación.

**Palabras clave:** Análisis nutricional de acículas, análisis nutricional de ramas, análisis nutricional de rodajas, análisis químico de suelo, incremento anual en volumen, *Pinus pinaster*.

Fecha de recepción: 23 de junio de 2008.

Fecha de aceptación: 26 de octubre de 2009.

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

<sup>2</sup> Servicio de Planificación y Gestión de Montes del Principado de Asturias.

## ABSTRACT

The relationships among soil parameters, tree nutrition and annual volume increment including bark (AVIC) were examined in six regular stands of a *Pinus pinaster* plantation located in the central-western area of Asturias (NW Spain). The trees were classified in 10 diameter classes with a difference of 5 cm in width. Three dominant trees of each class were cut and AVIC was calculated. The nutritional analysis was carried out in needle, branches of diameter between 2 and 7 cm; 0.5 and 2 cm; below 0.5 cm and slice obtained from different stem heights. The highest nutrient concentrations were found in the needle, showing deficiencies in P and K content and an imbalance in the N:P relation that becomes lower progressively in the branches from smaller to bigger diameters. The AVIC was negatively correlated with total N, organic matter content and exchangeable soil Ca and with foliar Ca. The P, K and Mg in the branches of less than 0.5 cm diameter were positively correlated with AVIC, as well as the effective cation exchange capacity, clay content and pH. The results suggest that other factors, like the soil pH, are diminishing Ca assimilation and reveal the importance of fine crown fractions along with the fertilization need to be considered in reforestation programs.

**Key words:** Needle analysis, branches analysis, slice analysis, soil analysis, annual volume increase, *Pinus pinaster*.

## INTRODUCCIÓN

*Pinus pinaster* Ait. es una conífera nativa de la región mediterránea occidental y del oeste de Europa. Constituye masas forestales en Francia, España, Portugal, Italia, Marruecos, Argelia y Túnez. En España es el pino que ocupa, de forma natural, mayor superficie y también con el que más se ha repoblado el noroeste español (Figura 1). *Pinus pinaster* subsp. *atlantica* (*P. pinaster* Ait.) se desarrolla al norte de Portugal, noroeste de España y suroeste de Francia, siempre en cotas bajas entre el nivel del mar y 600 m de altitud. En la actualidad, el área arbolada de Asturias es de 434,896 ha, de las cuales alrededor de 40,000 ha corresponden a pinares (*P. radiata* D. Don, *P. pinaster* y *P. sylvestris* L.), de ellos, los conformados por *P. pinaster* cubren 20,844 ha, con una producción de 65,000 m<sup>3</sup> de madera cortada al año (Ministerio de Medio Ambiente, 2006).



Figura 1. Plantación de *Pinus pinaster* en Asturias, noroeste de España.

Dada la importancia económica de la producción forestal, los estudios de los ciclos de nutrimentos en bosques están siendo sujetos de mayor atención ya que permiten conocer la producción primaria y el flujo de energía (Rodà *et al.*, 1999; Krebs, 2001), razón por la cual suelen tener los precios más altos en las valoraciones económicas de los servicios de los ecosistemas (Constanza *et al.*, 1997). Hoy en día muchos científicos y prestadores de servicios forestales se preguntan si las prácticas silvícolas utilizadas reducen o no la fertilidad del suelo y si las pérdidas en la fertilidad disminuyen la productividad, para cuyo mantenimiento resulta primordial conservar los almacenes de nutrimentos del suelo, los que dependen, fundamentalmente, de la existencia de balances positivos entre las entradas y las salidas de dichos componentes al sistema (Fisher y Binkley, 2000; Dumroese *et al.*, 2000).

El almacén nutritivo presente en todos los elementos del ecosistema se cuantifica mediante los inventarios nutricionales. En ellos se determinan las cantidades contenidas en el suelo y las fracciones de la biomasa arbórea, por ejemplo. Este tipo de información constituye una valiosa herramienta para la gestión sostenible de los sistemas forestales, porque permite estimar los nutrimentos extraídos durante las actividades antrópicas o en los procesos naturales (Nambiar, 1996; Augusto *et al.*, 2000).

La obtención de datos numéricos que expliquen el ciclo completo de distintos nutrimentos en el medio forestal es compleja debido a los diversos factores involucrados en el sistema y a la existencia de procesos como las migraciones oblicuas que provocan el empobrecimiento en elementos solubles y partículas finas de las partes altas de una vertiente en beneficio de las porciones bajas donde se depositan, lo que impide conocer con precisión la abundancia de un nutrimento particular, en un momento dado (Fisher y Binkley, 2000).

En un ecosistema forestal las pérdidas derivadas de la corta de madera y del manejo de la biomasa arbórea pueden exceder a las entradas naturales, con el consecuente descenso de las reservas disponibles en el suelo (Johnson y Todd, 1998; Olsson *et al.*, 2000). Esta situación es severa en zonas tropicales y subtropicales con plantaciones de especies de crecimiento rápido, con elevadas demandas nutricionales y ubicadas en terrenos de baja fertilidad (Fölster y Khanna, 1997).

En los suelos procedentes de rocas volcánicas y metamórficas con minerales ferromagnesianos, la liberación de nutrimentos que se produce durante la alteración de los minerales, suele ser suficiente para reponer los elementos extraídos de la masa forestal a lo largo de la rotación, a diferencia de aquellos que provienen de materiales silíceos cuya degradación es muy lenta y en algunos casos no

compensa las pérdidas, producto del aprovechamiento maderable (Spangenberg *et al.*, 1996). Este sería el caso de buena parte del noroeste de España, región en la que los aportes por lluvia y desmineralización son insuficientes para reponer la salida de Ca y otros minerales en las plantaciones de eucaliptos y pinos (Dambrine *et al.*, 2000).

El clima templado y la ausencia de prolongados períodos de heladas o sequías imperantes en el noroeste de España ha propiciado la adecuada expansión de la superficie ocupada por especies comerciales de crecimiento rápido, como *Pinus pinaster*, plantaciones que son sometidas a un tipo de silvicultura bastante intensivo, con turnos cortos y programas que implican retirar del monte las trozas con corteza. Aunque en la mayoría de las veces, los residuos de corta (sobre todo las fracciones arbóreas de copa) permanecen sobre el terreno, ciertas operaciones de preparación posteriores implican su quema o en ocasiones muy puntuales, su arrastre junto con la parte edáfica más superficial.

Desde el punto de vista de la conservación de los suelos, la eliminación de los restos de corta entraña una serie de problemas potenciales; ya que la parte arbórea no maderable (corteza, ramas y hojas) juega un papel fundamental para la estabilidad del sistema (Keenan *et al.*, 1994; Knoepp y Swank, 1997). De tal manera que, los residuos de corta, al igual que otros componentes orgánicos (matorral, mantillo) desempeñan diferentes funciones que aseguran la sostenibilidad del ecosistema. Por un lado proporcionan protección frente a la erosión, mediante la preservación no sólo de los suelos, sino también de la calidad del agua, reducen el riesgo de compactación (por maquinaria y por lluvia), disminuyen la evaporación y en consecuencia la pérdida de agua (Bermúdez y Piñeiro, 2001). Además, limitan el desarrollo de vegetación nociva que puede tener gran influencia sobre la propagación de enfermedades, plagas e incendios.

Por otra parte, constituyen la principal fuente de materia orgánica, la cual está muy relacionada con la fertilidad, la aireación y la capacidad de infiltración (Beasley, 1997). Finalmente, los residuos de las cortas acumulan importantes cantidades de nutrimentos que son necesarios para la producción forestal, razón por la cual su descomposición sobre el terreno constituye una vía relevante para la restitución de elementos al sistema. Si bien existen diferencias entre las especies forestales, diversos estudios han puesto de manifiesto que la mayor parte del N y P acumulado en la vegetación arbórea, se localiza en ramas y hojas, fracciones que junto con la corteza, concentran cantidades sustanciales de Ca, Mg y K (Ouro *et al.*, 2001).

Investigaciones realizadas en plantaciones de *Pinus pinaster* en España muestran que la corteza y las hojas son los componentes con mayor proporción de nutrimentos, mientras que con la madera ocurre lo contrario (Montero *et al.*, 1999; Balboa, 2005). También se ha observado que la copa contiene gran parte del N

(hasta 60%) y P (30 - 50%) de la biomasa arbórea y cantidades sobresalientes (30 - 50% de lo contenido en la biomasa total) de K, Ca y Mg (Montero *et al.*, 1999).

El análisis foliar es una herramienta para diagnosticar de forma inmediata el estado nutrimental de las masas forestales y, a su vez, permite determinar las prácticas silvícolas que garanticen una producción óptima y un manejo sostenible del recurso. En *Pinus pinaster* los valores críticos propuestos por Bará (1991) y Bonneau (1995) son frecuentemente empleados como referencias del estado nutricional de las plantaciones de la especie (Saur *et al.*, 1992; Montero *et al.*, 1999; Balboa, 2005). Dichos niveles se obtuvieron en numerosas experiencias, principalmente, en el noroeste de España y suroeste de Francia.

El objetivo de este trabajo es evaluar el estado nutricional general de las masas asturianas de *Pinus pinaster*; así como, los principales factores edáficos que inciden en la productividad de la estación forestal y sus posibles relaciones con el incremento medio anual en volumen con corteza (IAVC), como su indicador.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El conjunto de datos utilizado procede de seis plantaciones de *Pinus pinaster* localizadas en la parte centro-occidental de Asturias (Figura 2), de edades comprendidas entre 17 y 57 años, comparables en cuanto a las densidades de árboles; los tratamientos silvícolas son suelos de tipo Cambisol, desarrollados sobre areniscas feldespáticas (Ministerio de Medio Ambiente, 1998). Se clasificaron los árboles en 10 clases diamétricas de 5 cm de amplitud, con un diámetro mínimo de 12.5 cm. Se derribaron tres árboles dominantes por clase, para un total de 30 individuos. Una actividad previa fue la medición de los diámetros en cruz, para lo cual se utilizó una forcípula. Después del derribo se desramaron con motosierra y se midieron las alturas totales con una cinta de precisión bимilimétrica de 50 m de longitud.

A partir de esos datos se calculó el volumen con la fórmula de Smalian:

$$V = \frac{\pi}{320000} \times [(db_1 + db_2)^2 + (dp_1 + dp_2)^2] \times l$$

Donde:

$V$  = volumen de la troza (m<sup>3</sup>)

$db_1$  y  $db_2$  = diámetros en cruz tomados en la base de la troza (cm)

$dp_1$  y  $dp_2$  = diámetros en cruz tomados en la punta de la troza (cm)

$l$  = longitud de la troza (m)

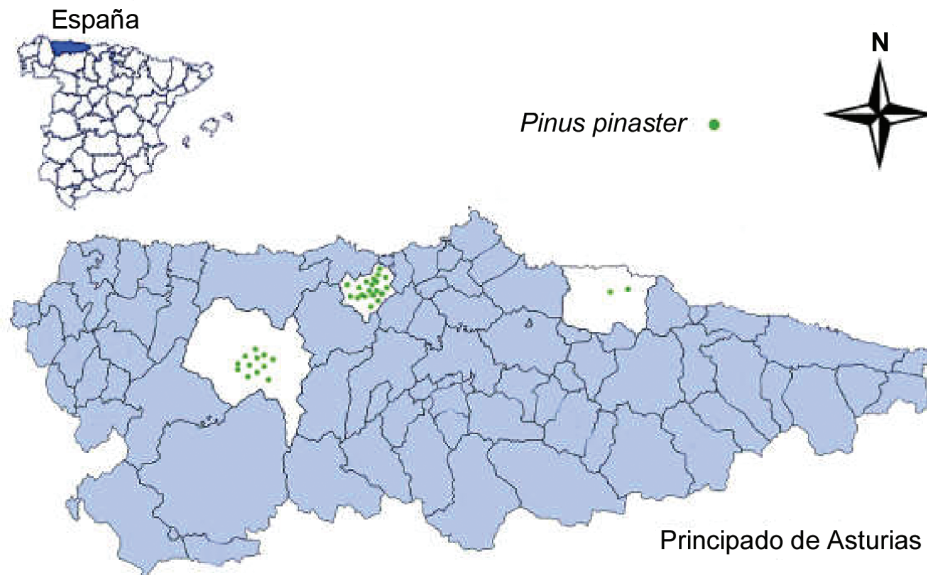


Figura 2. Localización de plantaciones de *Pinus pinaster* en los concejos de Pravia, Tineo y Villaviciosa del Principado de Asturias.

A continuación se estimó el incremento medio anual en volumen con corteza:

$$(I\text{AVC } (dm^3/año) = \text{volumen}/\text{edad})$$

En cada una de las seis localidades se obtuvo la profundidad efectiva del suelo en tres puntos centrales con la ayuda de una sonda holandesa Eijkelkamp tipo Edelman; además se tomó una muestra compuesta representativa, mediante la homogeneización de cinco submuestras extraídas al azar a 0 – 20 cm de profundidad. Los sitios, en ningún caso, han sido fertilizados recientemente. Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente; se desmenuzaron, trituraron suavemente y se pasaron por un tamiz de 2 mm de luz de malla circular, para eliminar los elementos gruesos.

Las pruebas químicas comprendieron: la textura según el método de la pipeta Robinson con hexametáfosfato sódico, más  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  como dispersante; el pH en una suspensión suelo:agua 1:2.5 con potenciómetro Metter Toledo Seven Easy; sales solubles en el extracto 1:5; bases extraíbles con  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1 N y Al intercambiable con  $\text{KCl}$  1M, ambos por absorción atómica en un equipo Perkin Elmer® precisely (A. Analyst 200). A continuación se calculó la capacidad de intercambio catiónico

efectiva (bases + aluminio de cambio). El nitrógeno total por el método Kjeldahl (Klute, 1996); el carbono orgánico se determinó por ignición y el fósforo disponible 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 (Fernández, 1997; Monterroso *et al.*, 1999; Afif y Oliveira, 2006).

El análisis nutricional del arbolado se realizó en acículas recolectadas del tercio superior de los individuos derribados; para ello se siguió el procedimiento del Instituto de Investigación Forestal Neozelandés (Will, 1985). También se utilizaron las ramas de diámetro comprendido entre 2 y 7 cm, 0.5 a 2 cm, inferior a 0.5 cm y en rodajas extraídas a diferentes alturas del fuste. Después de triturar las muestras, se procedió a la extracción húmeda con ácido perclórico y ácido nítrico (Jones *et al.*, 1991), enseguida se diluyó con HCl 1N. A partir de esta dilución se determinaron el Ca, Mg y K por Absorción Atómica con un equipo Perkin Elmer precisely (A. Analyst 200); para el P se usó un espectrofotómetro ultravioleta/visible Perkin Elmer® (Lambda 35) y el N total por el método Kjeldahl.

El tratamiento estadístico de los datos se hizo mediante el programa SPSS 15 (SPSS, 2006). Se aplicó, en primer lugar, una estadística descriptiva de las variables edáficas consideradas y de las concentraciones de macronutrientes en las fracciones arbóreas de *Pinus pinaster*. Posteriormente, se llevaron a cabo análisis de varianza de un factor, en los que las variables respuestas fueron los parámetros nutricionales. Una vez comprobada la existencia de diferencias significativas se aplicaron pruebas de comparación de medias de Tukey. También se realizó un análisis de correlación lineal a través del coeficiente de correlación de Pearson para definir la interrelación entre aquellas variables determinadas analíticamente y de éstas con el incremento medio anual en volumen con corteza.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El IAVC osciló de 2.19 a 37.72 dm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> (Cuadro 1) y describe la mayor diversidad productiva posible de la especie en masas regulares, debido a la presencia de árboles de edades distintas en las localidades estudiadas (Rodríguez *et al.*, 1997).

Los suelos de las localidades 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), información que corresponde con las propiedades que tienen los suelos forestales de las zonas húmedas y frías (Cuadro 2) (Bará, 1991; Afif y Oliveira, 2006).



Cuadro 1. Valores del incremento anual medio en volumen con corteza de *Pinus pinaster* Ait. en Asturias.

	Mínimo	Máximo	Media
Volumen (dm <sup>3</sup> )	45.97	2728.42	880.70
Edad (años)	17	57	34.39
IAVC <sup>1</sup> (dm <sup>3</sup> año <sup>-1</sup> )	2.19	37.72	20.68

<sup>1</sup>IAVC = incremento anual medio en volumen con corteza (IAVC (dm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>) = volumen edad<sup>-1</sup>).

Resultados similares de deficiencias, sobre todo en P y bases extraíbles, fueron registrados en suelos forestales ácidos del noroeste peninsular (Macías y Calvo de Anta, 1992; Dambrine *et al.*, 2000). Situación que responde al predominio de rocas con minerales poco alterables (pizarras, esquistos silíceos, cuarcitas) y fuerte lavado al que están sometidos como consecuencia de la elevada pluviosidad (la precipitación media anual es de 1,130 mm) y una tendencia a fijar el P de forma no asimilable, por las plantas, mediante distintos compuestos de Fe y Al. Para todas las propiedades edáficas, los análisis de varianza no mostraron tendencias estadísticamente significativas entre las zonas estudiadas.

En la matriz de correlación de las propiedades físico-químicas (Cuadro 3), a pesar del limitado número de muestras, se observaron altas correlaciones positivas entre el contenido de materia orgánica y el N total, relación C/N, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> cambiables; para el caso de las últimas dos existe, además, una correlación significativa y positiva. Lo anterior refleja la influencia de la materia orgánica sobre la fertilidad del suelo y su intervención en el ciclo bioquímico de los nutrientes (Montero *et al.*, 1999). Por ello, la descomposición de los residuos orgánicos es clave para asegurar la restitución de los nutrientes al suelo (Waring y Running, 1998).

El pH se correlacionó positivamente con el contenido de arcilla, materia orgánica, N total, bases extraíbles y con la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE). El impacto del pH en las propiedades edáficas es bien conocido: condiciona la descomposición de la materia orgánica, la capacidad de intercambio y la facilidad de asimilación de nutrientes, al modificar la solubilidad, precipitación y fijación de éstos (Bará, 1991).

Cuadro 2. Media e intervalo de variación de algunas propiedades de los suelos estudiados.

Prof. <sup>1</sup>	pH <sup>2</sup>	CE <sup>3</sup>	Ar. <sup>4</sup>	MO <sup>5</sup>	N	C/N	P <sup>6</sup>	Ca <sup>7</sup>	Mg <sup>7</sup>	K <sup>7</sup>	Na <sup>7</sup>	Al <sup>7</sup>	CICE <sup>8</sup>
m	ds m <sup>-1</sup>	ds m <sup>-1</sup>	%	%	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol (c) <sup>+</sup>	cmol (c) <sup>+</sup>	cmol (c) <sup>+</sup>	cmol (c) <sup>+</sup>	cmol (c) <sup>+</sup>	cmol (c) <sup>+</sup>	cmol (c) <sup>+</sup>
Media	3.85	0.09	13.89	13.26	0.16	48.24	2.48	1.04	0.61	0.12	0.48	3.76	6.01
Intervalo de variación	0.25-4.06	0.06-0.14	4.92-30.96	7.39-16.30	0.10-0.19	42.84-56.64	1.34-3.30	0.33-1.79	0.25-0.99	0.09-0.20	0.41-0.58	0.51-8.77	3.37-9.85
Desviación estándar	5.42	0.22	9.68	5.18	0.04	6.27	0.65	0.62	0.30	0.04	0.07	3.31	2.39

<sup>1</sup>Profundidad efectiva del suelo; <sup>2</sup>pH (H<sub>2</sub>O) relación suelo:disolución (1:2.5); <sup>3</sup>Conductividad eléctrica en el extracto (1:5) medida a 25°C; <sup>4</sup>Arcilla; <sup>5</sup>Materia orgánica; <sup>6</sup>P disponible extraído por el método de Mehlich 3; <sup>7</sup>Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> y Al<sup>3+</sup> intercambiables; <sup>8</sup>Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva.

Las correlaciones negativas observadas entre el  $\text{Al}^{3+}$  de cambio y el pH, contenido de arcilla, materia orgánica, N total,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  cambiables y la CICE indican que la solubilidad del Al aumenta a medida que disminuye el pH del suelo. Al incrementar su movilidad, el Al compite con otros cationes en el complejo de cambio y reduce la disponibilidad del Ca, Mg, K y N. El  $\text{Al}^{3+}$  origina importantes efectos en la dinámica de los suelos como: la fijación de fosfatos y la estabilización temporal de la materia orgánica (Álvarez *et al.*, 1992).

El contenido de  $\text{K}^+$  cambiante y P asimilable, el N, contenido de materia orgánica,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  cambiables, tuvieron correlación negativa, lo que puede ser resultado del carácter monovalente del K, que facilita su lixiviación (Thompson y Troeh, 2008). Por otro lado, el  $\text{K}^+$  liberado por alteración de silicatos presenta retrogradación al quedar atrapado en láminas de arcillas expandibles. Así mismo, se observa que en los suelos más fértiles (niveles mayores de bases de cambio y pH menos ácido) hay una tendencia a mostrar concentraciones mayores de  $\text{K}^+$  cambiante.

Los valores medios de las concentraciones de macronutrientes en las fracciones arbóreas de *Pinus pinaster* y su relación N:P se resumen en el Cuadro 4. El Cuadro 5 señala los niveles satisfactorios y marginales de los nutrientes en acículas de *P. pinaster* propuestos por Bará (1991) y Bonneau (1995). Las hojas registraron concentraciones más altas de la mayoría de nutrientes (N, P,  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ). Se observaron claras deficiencias en P y  $\text{K}^+$ ; de ellas, la correspondiente a  $\text{K}^+$  es la más relevante. Los valores de  $\text{Mg}^{2+}$  fueron relativamente bajos, hecho que concuerda con los resultados en *P. pinaster* para otras regiones del noroeste peninsular (Balboa, 2005). Destacan los valores reducidos de  $\text{K}^+$  y los más altos en  $\text{Ca}^{2+}$  que se apreciaron en el presente trabajo.

Las concentraciones de Ca en acículas en todas las masas estudiadas son superiores al nivel satisfactorio y las más altas se obtuvieron en zonas con bajo contenido de Al intercambiable en el suelo. En *Pinus pinaster* las deficiencias en N no son frecuentes; en cambio resultan relevantes los problemas asociados al exceso de este elemento que puede condicionar la asimilación de otros nutrientes (Bará, 1991), por ejemplo el P. La relación descompensada N:P en las zonas de estudio y para todas las estructuras analizadas, se interpreta como un indicativo de la interacción negativa entre el exceso relativo de N y la nutrición fosfórica. En el suroeste francés, Saur *et al.* (1992) determinaron valores de P y K en hojas mayores a las obtenidas en este estudio. Los niveles de Ca y Mg fueron similares en ambas investigaciones.

Cuadro 3. Matriz de correlación de Pearson entre las propiedades básicas de los suelos estudiados.

	Arcilla	MO	N	C/N	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	CICE
pH	0.602**	0.792**	0.673**	-0.784**	0.363	0.791**	0.865**	0.606**	-0.832**	0.649**
Arcilla		-0.670**	-0.607**	-0.698**	0.202	-0.673**	-0.894**	0.023	-0.745**	0.594**
MO			0.689**	0.782**	0.264	0.699**	0.893**	-0.598*	-0.763**	-0.629**
N				0.744**	0.148	0.778**	0.806**	-0.442*	-0.891**	-0.773**
C/N					0.360	0.783**	0.884**	-0.553**	-0.797**	-0.845**
P						0.242	0.193	-0.621**	-0.117	0.156
Ca <sup>2+</sup>							0.794**	-0.493*	-0.962**	0.828**
Mg <sup>2+</sup>								-0.424*	-0.953**	0.815**
K <sup>+</sup>									-0.334	0.283
Al <sup>3+</sup>										-0.794*

\* Significativo (p ≤ 0.05). \*\* Altamente significativo (p ≤ 0.01).

Cuadro 4. Valores medios de las concentraciones de macronutrientes en las diferentes fracciones arbóreas de *Pinus pinaster* consideradas<sup>1</sup>.

	Concentraciones (g kg <sup>-1</sup> )					R. foliar <sup>2</sup> N:P
	N	P	K	Ca	Mg	
Acículas	13.93 a (0.33)	0.61 a (0.02)	1.54 ab (0.03)	2.94 b (0.10)	0.92 a (0.01)	22.84
R. gruesas <sup>3</sup>	2.59 c (0.43)	0.10 c (0.02)	0.50 c (0.02)	1.15 c (0.03)	0.30 c (0.01)	25.90
R. finas <sup>4</sup>	6.84 b (0.51)	0.40 b (0.02)	1.34 b (0.06)	3.70 ab (0.15)	0.68 b (0.03)	17.10
Ramillo <sup>5</sup>	6.82 b (0.31)	0.54 a (0.01)	1.75 a (0.05)	4.30 a (0.16)	0.91 a (0.02)	12.62
Rodajas	6.09 b (0.28)	0.15 c (0.01)	1.58 ab (0.07)	1.28 c (0.05)	0.25 c (0.01)	40.60

<sup>1</sup>Las diferencias significativas en los valores medios se indican con letras distintas en la misma columna (a > b, test de Tukey, p < 0.05) y las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis; <sup>2</sup>Relación foliar; <sup>3</sup>Ramas de diámetro comprendido entre 2 y 7 cm; <sup>4</sup>Diámetro entre 0.5 y 2 cm; <sup>5</sup>Diámetro inferior a 0.5 cm.

Cuadro 5. Niveles de concentración para diferentes elementos en acículas de *Pinus pinaster* propuestos por Bará (1991) y Bonneau (1995).

Niveles de concentración	N	P	K	Ca	Mg
	g kg <sup>-1</sup>				
Deficiente	< 10	< 0.8	< 3	< 0.6	< 0.7
Marginal	10 - 12	0.8 - 1.0	3 - 5	1.0	0.7 - 1.0
Satisfactorio	12 - 15	1.2 - 1.5	> 5	1.0 - 1.2	> 1.0

Las ramas gruesas cuyo diámetro quedó en el intervalo de 2 a 7 cm, tuvieron las menores concentraciones de la mayoría de los nutrientes (N, P, K y Ca); mientras que los valores más bajos de Mg se observaron en las rodajas. Los niveles más altos de K y Ca se determinaron en los ramillos de diámetro inferior a 0.5 cm, también fue importante su presencia en las ramas finas (diámetro de 0.5 a 2 cm). De forma general, es factible establecer el siguiente orden decreciente de las cantidades de N, P, K y Mg: acículas > ramillos > ramas finas > rodajas > ramas gruesas. Los datos son comparables a los citados por Montero *et al.* (1999) en masas de *P. pinaster* del sistema central peninsular y por Balboa (2005) en Galicia (noroeste de España).

Para todos los macronutrientes analizados cabe destacar las diferencias altamente significativas observadas entre las fracciones arbóreas (F = 31.481, 51.767, 27.568, 44.653, 84.333,  $p \leq 0.001$  para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente); en tanto que, las zonas no mostraron ningún tipo de tendencia estadísticamente significativa para N, P y Mg (F = 0.001, 2.281, 1.527,  $p \geq 0.05$ , respectivamente). En el caso de K y Ca si fueron significativas para las zonas (F = 8.864,  $p = 0.003$ ; F = 14.169,  $p \leq 0.001$  respectivamente), como resultado del proceso de lavado derivado de las irregulares precipitaciones que condicionan las reservas de elementos básicos en la capa cultivable del suelo; así como del variado contenido de elementos alcalinos del material geológico de origen. Los resultados expuestos ponen de manifiesto el importante papel que ejercen como reservorio de nutrientes las partes arbóreas que no son aprovechadas durante la extracción de madera. Al respecto, destacan las acículas, ramillos y ramas finas por las elevadas concentraciones que almacenan de todos los elementos. Así, la copa reúne, lógicamente, mayores costes de componentes nutritivos que la madera del fuste, debido a la participación de tejidos más ricos en ellos, como los que forman parte de las hojas y los ramillos.

En la matriz de correlación de los cinco nutrientes en acículas, ramillos, ramas finas, ramas gruesas y rodajas, se obtuvieron altas correlaciones positivas al confrontar la concentración de N en rodajas con el contenido de P, K y Mg en las ramas finas, con un coeficiente de correlación de Pearson de 0.417\*, 0.542\* y 0.515\*, respectivamente y el N en ramas gruesas ( $r = 0.451$ ). Lo mismo ocurrió para el P en rodajas y el P y Mg en las ramas finas ( $r = 0.454$  y  $0.582$ , respectivamente), al igual que para el Ca y Mg en rodajas ( $r = 0.559^{**}$ ); además se obtuvo una correlación entre este último y el K en rodajas ( $r = 0.582^*$ ).

Las correlaciones significativas y negativas se determinaron para el N en rodajas, N en ramillos y el P en las ramas gruesas ( $r = -0.434$  y  $-0.420$ , respectivamente); el K en acículas y el Mg en ramillos y viceversa ( $r = -0.540$  y  $-0.420$ , respectivamente), el Ca en rodajas y el K en ramillos ( $r = -0.563$ ) y el Ca en acículas y ramillo y K en ramas gruesas ( $r = -0.419$  y  $-0.546$ , respectivamente).

Las relaciones correspondientes a las concentraciones de nutrientes en las fracciones arbóreas y las del suelo en las plantaciones de *P. pinaster* estudiadas mostraron que las cantidades de elementos nutritivos en las partes arbóreas (N, P, K, Ca y Mg) fueron superiores a las almacenadas en el horizonte mineral superficial de los suelos.

Las masas de *P. pinaster* son inestables para P, Mg, Ca y K, es decir, las cantidades de elementos acumulados en la biomasa arbórea son superiores a las reservas en los suelos, circunstancia también observada en las deficiencias, frecuentemente registradas en las plantaciones del noroeste peninsular (Balboa, 2005). No obstante, el aprovechamiento de madera y corteza implica una menor extracción relativa de nutrientes. Así mismo, habría que considerar turnos más largos para la especie, los que permitirían una mayor reposición de nutrientes a través de los procesos naturales, tales como los aportes atmosféricos y la alteración mineral o de procesos antrópicos, que se generan de la gestión silvícola.

Montero *et al.* (1999) evidenciaron esa circunstancia en sistemas de *P. pinaster* al estimar que los restos de copa suponen más del 50% del total de nutrientes extraídos cuando se aprovecha el árbol completo o se queman los restos de corta.

Se registró una marcada correlación positiva entre la cantidad total de Ca acumulada en acículas y el Ca, Mg y Na cambiables en los suelos, N total, capacidad de intercambio catiónico efectiva y contenido de materia orgánica, con un coeficiente de correlación de Pearson de 0.628\*\*, 0.592\*\*, 0.605\*\*, 0.663\*\*, 0.559\*\* y 0.631\*\*, respectivamente; así como, una correlación negativa con el contenido de Al cambiante en el suelo ( $r = -0.508^*$ ). El K en ramas finas está positivamente correlacionado con el K cambiante en el suelo, la capacidad de intercambio catiónico,

pH y el contenido de arcilla ( $r = 0.521^*$ ,  $0.557^*$ ,  $0.526^*$  y  $0.428^*$ , respectivamente) y negativamente con el N total, materia orgánica y la relación C/N en el suelo ( $r = -0.606^{**}$ ,  $-0.607^{**}$  y  $-0.588^{**}$ ) al igual que el K en las ramas gruesas.

Las correlaciones negativas 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 formación de complejos estables con los sesquióxidos de Fe y Al (González *et al.*, 1996), tiene efectos negativos sobre las concentraciones de los nutrimentos en las diferentes partes del árbol. Principalmente disminuye el contenido de K en el conjunto de las ramas. Por otra parte, el P asimilable en el suelo mostró correlaciones negativas con el contenido de P y N en rodajas con un coeficiente de correlación de Pearson de  $-0.562^{**}$  y  $-0.416^*$ , respectivamente, lo cual indica el claro desequilibrio N:P ( $> 40$ ) en relación con el resto de las fracciones arbóreas.

El Cuadro 6 presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre el IAVC, los niveles de nutrimentos en las fracciones arbóreas y las variables edáficas. La concentración de P, K y Mg en el conjunto de las ramas, el pH y la capacidad de intercambio catiónico en el suelo son las variables que mejor explican el IAVC para las plantaciones de *P. pinaster* estudiadas. La correlación negativa entre el IAVC y el contenido de materia orgánica, carbono orgánico, N total, Ca cambiante y relación C/N en el suelo, refleja un efecto indirecto.

El alto contenido de materia orgánica acumulada en el suelo junto con el mal drenaje afecta la aireación y limita el crecimiento radicular (Camps *et al.*, 2004). Además el predominio del amonio tras la mineralización de la materia orgánica puede traer consigo la disminución de la absorción de algunos cationes, en particular el Ca (González *et al.*, 1996). La asimilación de la mayoría de los elementos nutritivos, sobre todo el  $\text{Ca}^{2+}$ , mejora al aumentar el pH o cuando la acidez intercambiable es menor, por tanto la aplicación de enmiendas calizas podría mejorar la calidad mineral de la especie mediante el aumento de la capacidad de intercambio catiónico efectiva en el suelo.

Los esquemas de manejo que se llevan a cabo en la actualidad en las masas de *P. pinaster*, caracterizados por la ausencia casi total de programas de fertilización y por turnos reducidos, derivan en una reducción de la fertilidad del suelo que incide en la productividad forestal.



Cuadro 6. Coeficientes de correlación de Pearson entre algunas propiedades del suelo, concentración de nutrimentos en las diferentes fracciones arbóreas y el incremento anual medio en volumen con corteza de *Pinus pinaster* en Asturias.

Suelo	Fracciones arbóreas			
	Ramillo	Ramas finas	Ramas gruesas	Acículas
pH	0.685**	Ca <sup>2+</sup>		-0.44*
CE	-0.649**	Mg <sup>2+</sup>	0.450*	
Arcilla	0.539**	K <sup>+</sup>	0.487*	0.628**
MO	-0.710**	P	0.462*	
N	-0.709**			
C	-0.695**			
C/N	-0.660**			
Ca cambiabile	-0.601**			
CICE	0.689**			

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

## CONCLUSIONES

Los resultados indican que las masas regulares de *Pinus pinaster* en Asturias presentan importantes problemas nutricionales en P y K que pueden mermar su crecimiento y revelan una gran acumulación de nutrimentos en las fracciones arbóreas de copa.

Se sugiere que el manejo limite el aprovechamiento de los restos más gruesos de corta a los terrenos con mayor productividad y susceptibles de mecanizar la extracción de madera, además de evitar la retirada de ramas finas, ramillos y hojas y realizar fertilizaciones con P, K, y Mg, en cantidades que compensen las pérdidas, especialmente cuando no se ejecute el descortezado en monte.

## REFERENCIAS

- Afif K., E. y J. A. Oliveira. 2006. Pérdida de disponibilidad y niveles críticos de fósforo Mehlich 3 en suelos no calcáreos de Asturias. *Pastos* 35: 29-74.
- Álvarez, E., A. Martínez and R. Calvo. 1992. Geochemical aspects of aluminium in forest soils in Galicia (NW, Spain). *Biogeochemistry* 16: 167-180.
- Augusto, L., J. Rager, Q. Ponette and M. Rapp. 2000. Relationships between forest tree species, stand production and stand nutrient amount. *Ann. For. Sci.* 57: 313-324.
- Balboa M., A. 2005. Biomasa arbórea y estabilidad nutricional de los sistemas forestales de *Pinus pinaster* Ait., *Eucalyptus globulus* Labill. y *Quercus robur* L. en Galicia. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Santiago de Compostela. Lugo, España. 205 p.
- Bará T., S. 1991. Fertilización forestal. Consellería de Agricultura, Gandería e Montes. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela, España. 175 p.
- Beasley, R. S. 1997. Intensive site preparation and sediments losses on steep watersheds in the Gulf Coastal Plain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 412-417.
- Bermúdez A., J. y G. Piñeiro V. 2001. La biomasa forestal en Galicia. Situación actual y perspectivas de aprovechamiento. *Revista CIS-Madera* 5: 27-40.
- Bonneau, M. 1995. Fertilisation des forêts dans les Pays tempérés. ENGREF, Nancy, Francia. 367 p.
- Camps A., M., C. Mourenza, G. Álvarez E. and F. Macías. 2004. Influence of parent material and soil type on the root chemistry of forest species grown on acid soils. *Forest Ecology and Management* 193: 307-320.
- Constanza, R., R. Darge, R. D. Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton and M. Van Deen Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Dambrine, E., J. Veja A., T. Taboada, L. Rodríguez, C. Fernández, F. Macías et J. Gras M. 2000. Bilans d'éléments minéraux dans de petits bassins versants forestiers de Galice (NW Espagne). *Ann. Sci. For.* 57: 23-38.
- Dumroese D. S., M. P. Jurgensen, W. Elliot, T. Rice, J. Messer, T. Collins and R. Meurisse. 2000. Soil quality standards and guidelines for forest sustainability in northwestern North America. *Forest Ecology and Management* 138(1): 445-462.
- 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.
- Fisher R., F. and D. Binkley. 2000. Ecology and management of forest soils. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY. USA. 489 p.

- Fölster, H. and P. Khanna K. 1997. Dynamics of nutrient supply in plantations soils. In: E. K. S. Nambiar and A. G. Brown (Eds.). Management of soil nutrient and water in tropical plantation forests. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). Monograph N° 43. Camberra, Australia. pp. 339-378.
- González P., S. J., A. Cabanetro, 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. Biol. Fertil. Soils. 22: 252-260.
- Johnson, D. W. and D. E. Todd. 1998. Harvesting effects on long-term changes in nutrient pools of mixed oak forests. Soil Sci. Soc. Am. J. 62: 1725-1735.
- Jones, J. B., B. Wolf and H. A. Mill. 1991. Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Micro-Macro Publishing Inc. Athens, GA. USA. 213 p.
- Keenan, R. J., C. Messier and J. P. Kimmins. 1994. Effects of clearcutting and soil mixing on soil properties and understory biomass in western red cedar and western hemlock forest on northern Vancouver Island, Canada. Forest Ecology and Management 68: 251-261.
- Klute, A. 1996. Methods of soil analyses. 2nd ed. American Society of Agronomy. Madison, WI. USA. pp. 383-411.
- Knoepp, J. D., and W. T. Swank. 1997. Forest management effects on surface soil carbon and nitrogen. Soil. Sci. Soc. Am. J. 61: 928-935.
- Krebs, C. J. 2001. Ecology. Addison Wesley Longman, Inc. San Francisco, CA. USA. 695 p.
- Macías, F. y R. Calvo de Anta M. 1992. Suelos de la provincia de La Coruña. Diputación de La Coruña. España. Mapa escala 1:20,000.
- Mehlich, A. 1985. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. Soil Sci. and Plant Anal. 15: 1409-1416.
- 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. 2006. Tercer Inventario Forestal Nacional Asturias. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid, España. 439 p.
- Montero, G., C. Ortega, I. Cañellas y A. Bachiller. 1999. Productividad aérea y dinámica de nutrientes en una repoblación de *Pinus pinaster* Ait. sometida a distintos regímenes de claras. Invest. Agr. Sist. Recur. For. 1: 175-206.
- Monterroso, C., F. E. Álvarez and M. L. Fernández. 1999. Evaluation of Mehlich 3 reagent as a multielement extractant in mine soils. Land Degradation and Development 10: 35-47.
- Nambiar, E. K. S. 1996. Sustained productivity of forests is a continuing challenge to soil science. Soil Sci. Soc. Am. J. 60: 1629-1642.

- Olsson, B. A., H. Lundkvist and H. Staaf. 2000. Nutrient status in needles of Norway spruce and Scots pine following harvesting of logging residues. *Plant Soil* 23: 161-173.
- Ouro, G., P. B. Pérez and A. Merino. 2001. Effects of silvicultural practices on nutrient status in a *Pinus radiata* plantation: nutrient export by tree removal and nutrient dynamics in decomposing logging residues. *Ann. For. Sci.* 58: 411-422.
- Rodà, F., J. Retana, C. A. Gracia and J. Bellot. 1999. Ecology of mediterranean evergreen forests. *Ecological Studies*. Springer-Verlag. Berlin, Germany. 137 p.
- Rodríguez S., R., G. Álvarez, G. M. Cela, V. Mansilla, A. P. Vega, R. González, Z. Ruiz, y A. G. Vega 1997. Manual de silvicultura del *Pinus pinaster*. Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior de Lugo. Lugo, España. 173 p.
- Saur, E., J. Ranger, B. Lemoine and J. Gelpe. 1992. Micronutrient distribution in 16 year old maritime pine. *Tree Physiology* 10: 307-316.
- Spangenberg, A., U. Grimm, J. Sepeda da Sila R. and H. Fölster. 1996. Nutrient store export rates of *Eucalyptus urograndis* plantations in Eastern Amazonia (Jari). *Forest Ecology and Management* 80: 225-234.
- Statistical Package for the Social Sciences. 2006. SPSS para windows, version 15. SPSS Inc.
- Thompson L., M. y F. R. Troeh 2008. Los suelos y su fertilidad. Reverté Ediciones. Barcelona, España. 661 p.
- Waring R., H. and S. W. Running. 1998. Forest ecosystems: analysis at multiple scales. Academic Press. San Diego, CA. USA. 370 p.
- Will G., M. 1985. Nutrient deficiencies and fertilizer use in New Zealand exotic forests. F.R.I. Bulletin N°97. Rotorua, New Zealand. 53 p.