

INFLUENCIA DE LOS FACTORES EDÁFICOS EN EL CRECIMIENTO ANUAL EN VOLUMEN Y ESTADO NUTRICIONAL DE *Pinus pinaster* Ait. EN ASTURIAS (NOROESTE DE ESPAÑA)

Elias AFIF KHOURI

Dr. Ingeniero Agrónomo. Profesor Titular de la Universidad de Oviedo

Elena CANGA LÍBANO

Dra. Ingeniero de Montes. Servicio de Planificación y Gestión de Montes del Principado de Asturias

José Javier GORGOSO VARELA

Dr. Ingeniero de Montes. Profesor Ayudante de la Universidad de Oviedo

María Asunción CÁMARA OBREGÓN

Dra. Ingeniero de Montes. Profesora Titular de la Universidad de Oviedo

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. E-mail: elias@uniovi.es. Tel.: 985458048. Fax: 985458056

Resumen

El conjunto de datos utilizado procede de plantaciones de *Pinus pinaster* Ait de 17 a 57 años de edad localizadas en 6 masas regulares en la parte centro-occidental de Asturias. Se clasificaron los árboles en 10 clases diamétricas de 5 cm de amplitud. Se apearon y midieron 3 árboles de cada clase y a continuación se calculó el incremento anual medio en volumen con corteza (IAVC). El análisis nutricional se realizó en acículas, ramas de diámetro comprendido entre 2 y 7 cm, entre 0,5 y 2 cm, inferior a 0,5 cm y en rodajas extraídas de diferentes alturas del fuste. Las mayores concentraciones de nutrientes se hallaron en las acículas, mostrando deficiencias en el contenido de P y K y una descompensación en la relación N:P, disminuyendo progresivamente en las ramas de menor a mayor diámetro. Los suelos estudiados a 0-20 cm de profundidad 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. El IAVC se correlacionó negativamente con el N, contenido de materia orgánica y Ca cambiante en el suelo y con el contenido de Ca en acículas, existiendo buenas correlaciones positivas entre el Ca foliar y las anteriores propiedades del suelo. El P, K y Mg en las ramas de menos de 0,5 cm de diámetro se correlacionaron positivamente con el IAVC, al igual que la CICE, el contenido de arcilla y el pH. Los resultados indican que otros factores, como el pH del suelo, están interfiriendo en la asimilación del Ca y revelan la importancia de reincorporar al terreno las fracciones finas de copa junto con la necesidad de fertilización en los programas de reforestación.

Palabras clave: análisis de acículas, análisis de ramas, análisis de rodajas, análisis de suelo, España, Pino gallego

INTRODUCCIÓN

El *Pinus pinaster* Ait. es una conífera natural de la región mediterránea occidental y de la fachada atlántica, y que constituye masas forestales en Francia, España, Portugal, Italia, Marruecos, Argelia y Túnez. En España es el pino que ocupa de forma natural mayor superficie, siendo también con el que más se ha repoblado. La subespecie atlántica ocupa el norte de Portugal, noroeste de España y suroeste de Francia, siembre en cotas bajas. En la actualidad, la superficie arbolada de Asturias es de 434.896 ha, de las cuales alrededor de

40.000 ha son pinares, de éstos, el *Pinus pinaster* se sitúa en segundo lugar con una producción de 65.000 m³ de madera cortada al año (Ministerio de Medio Ambiente, 2006). Debido a la importancia económica de la producción forestal, los estudios de ciclos de nutrientes en bosques, motor de la producción primaria junto con el flujo de energía, están aumentando (Rodà *et al.*, 1999; Krebs, 2001). Es quizás por esta razón que los ciclos de nutrientes suelen tener los precios más altos en valoraciones económicas de los servicios de los ecosistemas (Constanza *et al.*, 1997). Hoy en día muchos científicos y gestores se preguntan si las prácticas selvícolas utilizadas reducen o no la fertilidad del suelo, y si las pérdidas en la fertilidad hacen disminuir la productividad.

A la hora de mantener la productividad de los sistemas forestales resulta fundamental conservar el capital de nutrientes del suelo, aspecto que depende fundamentalmente de la existencia de balances positivos entre las entradas y las salidas de estos nutrientes en el sistema (Fisher y Binkley, 2000; Page -Dumroese *et al.*, 2000). La cuantificación del capital nutritivo presente en todos los elementos del sistema forestal se valora mediante la realización de inventarios nutricionales. En ellos se cuantifican las cantidades de elementos contenidos en los diferentes compartimentos del sistema, esto es, el suelo y las diferentes fracciones de la biomasa arbórea. Este tipo de información constituye por tanto una valiosa herramienta para la gestión sostenible de los sistemas forestales, porque permiten cuantificar y localizar los nutrientes extraídos por los diferentes tipos de actividades antrópicas o por procesos naturales (Nambiar, 1996; Augusto *et al.*, 2000). La obtención de valores numéricos que expliquen el ciclo completo de distintos nutrientes en el medio forestal es un proceso complejo debido a los numerosos factores que hay que considerar en el sistema, así como la existencia de procesos como las migraciones oblicuas de elementos en terrenos con pendiente que impiden cuantificar con precisión los nutrientes presentes en un determinado elemento en un momento dado (Fisher y Binkley, 2000).

En sistemas forestales con cierto grado de manejo, las pérdidas de nutrientes derivadas de las labores de aprovechamiento y de manejo de biomasa arbórea pueden exceder a las entradas naturales de éstos, motivando el descenso de las reservas de elementos disponibles en el suelo (Johnson y Todd, 1998; Olsson *et al.*, 2000). Esta situación es especialmente severa en zonas tropicales y subtropicales donde se han establecido plantaciones con especies de crecimiento rápido, con unas elevadas demandas nutricionales, en suelos con bajas reservas de elementos (Fölster y Khanna, 1997). En los suelos derivados de rocas fácilmente alterables (rocas volcánicas y metamórficas con minerales ferromagnesianos) la liberación de nutrientes que se produce durante la alteración de los minerales suele ser suficiente para reponer los elementos extraídos por la masa forestal a lo largo de la rotación. A diferencia de estos suelos, en los derivados de materiales silíceos el proceso de alteración es muy lento y en algunos casos no llega a compensar las extracciones que se producen como consecuencia del aprovechamiento forestal (Spangenberg *et al.*, 1996). Este puede ser el caso de buena parte de los suelos del noroeste de España, en los que se cree que los aportes por lluvia y alteración no son suficientes para reponer la extracción de Ca y quizás otros nutrientes por la biomasa en plantaciones de eucaliptos y pinos (Dambrine *et al.*, 2000).

En el momento actual el aprovechamiento de la biomasa forestal no maderable en el noroeste español parece una alternativa a considerar como fuente de materia prima y de energía (Bermúdez y Piñeiro, 2001). En estas latitudes, el clima templado y la ausencia de prolongados períodos de heladas o sequías ha propiciado la rápida expansión de la superficie ocupada por especies comerciales de crecimiento rápido, como puede ser el *Pinus pinaster*. Estas plantaciones son sometidas a un tipo de selvicultura bastante intensivo, con turnos cortos y con programas de aprovechamiento que implican la retirada del monte de las trozas con corteza. Aunque en la mayoría de los casos los residuos de corta (fundamentalmente las fracciones arbóreas de copa) permanecen sobre el terreno tras el aprovechamiento, algunas operaciones de preparación posteriores implican su quema o, en ocasiones muy puntuales donde se plantea un decapado, su retirada junto con la parte más superficial del suelo.

Desde el punto de vista de la conservación de los suelos, la extracción de los restos de corta puede entrañar una serie de problemas potenciales, ya que la fracción 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 esta forma, los restos de corta, al igual que otros componentes orgánicos (matorral, mantillo) desempeñan diferentes funciones que aseguran la sostenibilidad del sistema. Por un lado proporcionan una protección frente a la erosión, preservando no sólo los suelos, sino también la calidad de las aguas, reducen el riesgo de compactación (por maquinaria y por lluvia), y disminuyen la evaporación y el período de sequía. Además, limitan el desarrollo de vegetación accesoria y tienen una gran influencia sobre la propagación de enfermedades, plagas e incendios. Por otro lado, constituyen la principal fuente de materia orgánica del suelo, propiedad muy relacionada con la fertilidad, la aireación y la capacidad de infiltración del suelo (Beasley, 1997). Finalmente, estos restos acumulan importantes cantidades de nutrientes que son limitantes para la producción forestal, por lo que su descomposición sobre el terreno constituye una vía importante de restitución de elementos al sistema. Si bien existen diferencias sustanciales entre las especies forestales, diferentes estudios han puesto de manifiesto que la mayor parte del N y P acumulado por la vegetación arbórea se encuentra en ramas y hojas. Estos componentes, junto con la corteza, también acumulan cantidades sustanciales de Ca, Mg y K. (Ouro *et al.*, 2001). De esta forma, estas grandes diferencias en la concentración y acumulación de nutrientes entre los órganos vegetales motiva que los diferentes alternativas selvícolas y de aprovechamiento repercutan en gran medida en las cantidades finalmente extraídas del monte.

Así, por ejemplo, diferentes estudios significativos realizados en plantaciones de *Pinus pinaster* en España muestran que la corteza y las hojas son las fracciones que presentan mayor concentración de nutrientes, mientras que la madera es el componente que presenta las menores concentraciones (Montero *et al.*, 1999; Balboa, 2005). También se ha observado que las fracciones de copa acumulan la mayor parte del N (hasta el 60 %) y P (30-50 %) de la biomasa arbórea. De igual forma, estos componentes almacenan cantidades sustanciales (30-50 % de la cantidad acumulada en la biomasa total) de K, Ca y Mg (Montero *et al.*, 1999).

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 pinaster*, los valores de niveles críticos propuestos por Bará (1991) y Bonneau (1995), deducidos de numerosas experiencias, principalmente en el noroeste de España y suroeste de Francia, son frecuentemente empleados como referencias del estado nutritivo de las plantaciones de esta especie (Saur *et al.*, 1992; Montero *et al.*, 1999; Balboa, 2005).

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es evaluar el estado nutritivo general de las masas asturianas de *Pinus pinaster* Ait, así como 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) como indicador de dicha productividad.

MATERIAL Y MÉTODOS

El conjunto de datos utilizado procede de plantaciones de *Pinus pinaster* Ait de edades comprendidas entre 17 y 57 años. Las plantaciones han sido localizadas en 6 masas regulares en la parte centro-occidental de Asturias (Fig. 1). Los suelos se clasificaron en Ustorthent y Ustochrept desarrollados sobre areniscas feldespáticas (Ministerio de Medio Ambiente, 1998). Se clasificaron los árboles de cada especie en 10 clases diamétricas de 5 cm de amplitud, con un diámetro mínimo de 7,5 cm. Se apearon 3 árboles por clase y a continuación se calculó el incremento anual medio en volumen con corteza ((IAVC (dm³/año) = volumen/edad)). La tabla 1 resume los datos obtenidos del IAVC.

En cada localidad 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 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, tritularon 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 Na_2CO_3 como dispersante; el pH potenciométricamente en una suspensión suelo:agua 1:2,5; sales solubles en el extracto 1:5; bases extraíbles con CINH_4 1 N 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 (Fernández, 1997; Monterroso *et al.*, 1999; Afif y Oliveira, 2006).

Se determinó la cantidad de nutrientes almacenados en las diferentes fracciones arbóreas. El análisis nutricional se realizó en acículas recogidas del tercio superior de los árboles apeados, siguiendo el procedimiento del Instituto de Investigación Forestal Neozelandés (Will, 1985). También se analizaron los nutrientes contenidos en ramas de diámetro comprendido entre 2 y 7 cm, entre 0,5 y 2 cm, inferior a 0,5 cm y en rodajas extraídas de diferentes alturas del fuste. Tras la trituración de las diferentes fracciones, 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 y K por Absorción Atómica; el P fotométricamente y el N total por el método Kjeldahl. El tratamiento estadístico de los datos se realizó mediante el programa SPSS 15 (SPSS, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El IAVC osciló entre 2,19 y 37,72 $\text{dm}^3/\text{año}$ (Tabla 1) describiendo la mayor diversidad productiva posible de las dos especies en masas regulares entre las diferentes localidades.

Los valores medios de las propiedades básicas de los suelos estudiados se muestran en la Tabla 2. 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), de acuerdo con las propiedades que presentan normalmente los suelos forestales típicamente ácidos de las zonas húmedas y frías (Bará, 1991; Afif y Oliveira, 2006). Resultados similares de deficiencias sobre todo en P y bases extraíbles fueron encontrados en suelos forestales ácidos en el noroeste peninsular (Macías y Calvo, 1992; Dambrine *et al.*, 2000). Esta situación se debe al predominio de rocas con minerales poco alterables (pizarras, esquistos silíceos, cuarcitas), al fuerte lavado al que están sometidos como consecuencia de la elevada pluviosidad, y a la tendencia de estos suelos a fijar el P de forma no asimilable por las plantas mediante distintos compuestos de Fe y Al. Para todas las propiedades del suelo analizadas, los análisis de varianza no mostraron ningún tipo de tendencia estadísticamente significativa entre las zonas estudiadas. En la matriz de correlación entre las propiedades edáficas de los suelos y, a pesar del limitado número de muestras, se observaron buenas correlaciones positivas entre el contenido de N total y la relación C/N, contenido de materia orgánica, Ca y Mg cambiables con un coeficiente de correlación de Pearson de 0,744^{**}, 0,689^{**}, 0,778^{**} y 0,806^{**} respectivamente, existiendo también una correlación significativa entre éstas dos últimas ($r = 0,794^{**}$). Del mismo modo se encontraron correlaciones negativas entre el contenido de P asimilable y el K cambiabile con un coeficiente de correlación de -0,621^{**}, existiendo también una correlaciones significativas y negativas entre ésta última y el N Kjeldahl, contenido de materia orgánica, Ca y Mg cambiables ($r = -0,442^*$, -0,598^{*}, -0,493^{*} y -0,424^{*} respectivamente). La capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) estaba positivamente correlacionada con el pH y el

contenido de arcilla ($r = 0,649^{**}$ y $0,594^{**}$ respectivamente), existiendo una buena correlación entre estas dos últimas ($r = 0,602^{**}$). Se observó una tendencia a que los suelos más fértiles (niveles mayores de bases de cambio y pH menos ácido) tuviesen concentraciones mayores de K cambiabile.

Los valores medios de las concentraciones de macronutrientes en las diferentes fracciones arbóreas de *Pinus pinaster* y la relación N:P en las fracciones consideradas se presentan en la tabla 3. La tabla 4 señala los niveles satisfactorios y marginales de los nutrientes en acículas de *Pinus pinaster* propuestos por Bará (1991) y Bonneau (1995). En acículas, donde se registraron las mayores concentraciones de la mayoría de nutrientes (N, P, K y Mg), se observaron claras deficiencias en P y K, siendo más relevante la deficiencia en K. La concentración de Mg también fue relativamente baja, lo que concuerda con los resultados ofrecidos para otras regiones del noroeste peninsular en *Pinus pinaster* (Balboa, 2005), destacando los valores más bajos de K y los más altos en Ca que se apreciaron en el presente trabajo. Las concentraciones de Ca en acículas en todas las masas estudiadas son superiores al nivel satisfactorio, siendo los valores más elevados en aquellas zonas con bajo contenido de Al intercambiable en el suelo. En *Pinus pinaster* 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 (Bará, 1991), entre los cuales se encuentra el P. La relación descompensada N:P en todas las zonas y para todas las fracciones, puede interpretarse como un indicativo de esta interacción negativa entre el exceso relativo de N y la nutrición fosfórica. En el suroeste francés, Saur *et al.* (1992) encontraron concentraciones de P y K en las acículas superiores a las registradas en el presente trabajo. Los niveles de Ca y Mg fueron por el contrario similares a las concentraciones registradas en este trabajo.

Las ramas gruesas de diámetro comprendido entre 2 y 7 cm, registraron las menores concentraciones de la mayoría de los nutrientes (N, P, K y Ca), mientras que la menor concentración de Mg se observó en las rodajas. Los niveles más altos de K y Ca se registraron en los ramillos de diámetro inferior a 0,5 cm, siendo también importante la presencia de estos dos elementos en las ramas finas (diámetro entre 0,5 y 2 cm). De forma general se puede establecer el siguiente orden de decrecimiento de las concentraciones de N, P, K y Mg: acículas > ramillos > ramas finas > rodajas > ramas gruesas. Estos valores de contenido de nutrientes en las diferentes fracciones arbóreas son comparables a los registrados por Montero *et al.* (1999) en masas de *Pinus pinaster* en el sistema central peninsular y por Balboa (2005) en Galicia (noroeste de España).

Para todos los macronutrientes analizados cabe destacar las diferencias altamente significativas encontradas entre las diferentes fracciones arbóreas ($F=31,481$; $51,767$; $27,568$; $44,653$; $84,333$; $p<0,001$ para N, P, K, Ca y Mg respectivamente), mientras que las diferencias entre zonas no mostraron ningún tipo de tendencia estadísticamente significativa para N, P y Mg ($F=0,001$; $2,281$; $1,527$; $p>0,05$ respectivamente). En el caso de K y Ca las diferencias entre zonas fueron significativas ($F=8,864$, $p=0,003$; $F=14,169$, $p<0,001$ respectivamente), debido, posiblemente, al proceso de lavado derivado de las irregulares precipitaciones que condicionan las reservas de elementos básicos en la capa cultivable del suelo y, por otra parte, al variado contenido de elementos alcalinos del material geológico de partida. Estos resultados ponen de relevancia el importante papel que ejercen como reservorio de nutrientes las fracciones arbóreas que no son aprovechadas durante la explotación, destacando el papel de las acículas, ramillos y ramas finas por las elevadas concentraciones en todos los elementos. De esta forma, la copa presenta lógicamente mayores costes de elementos nutritivos que la madera del fuste, debido a la participación de tejidos más ricos en elementos como las acículas y los ramillos.

En la matriz de correlación entre los 5 nutrientes en acículas, ramillos, R. finas, R. gruesas y rodajas considerados, se encontraron buenas correlaciones positivas entre la concentración de N en rodajas y 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 gruesa ($r=0,451^*$).

También entre el P en rodajas y el P y Mg en las ramas finas ($r=0,454^*$ y $0,582^*$ respectivamente), al igual que entre el Ca y Mg en rodajas ($r=0,559^{**}$), existiendo además una correlación entre éste último y el K en rodajas ($r=0,582^{**}$). Las correlaciones significativas y negativas han sido encontradas entre el N en rodajas, N en ramillos y el P en las ramas gruesas ($r=-0,434^*$, $-0,420^*$ respectivamente); entre el K en acículas y el Mg en ramillos y viceversa ($r=-0,540^{**}$, $-0,420^*$ respectivamente), entre el Ca en rodajas y el K en ramillos ($r=-0,563^{**}$) y entre el Ca en acículas y ramillo y K en ramas gruesas ($r=-0,419^*$, $-0,546^{**}$).

Las relaciones entre las concentraciones de nutrientes en las fracciones arbóreas y las del suelo en las diferentes plantaciones de *Pinus pinaster* estudiadas, mostraron que las cantidades de elementos nutritivos presentes en las diferentes fracciones arbóreas (N, P, K, Ca y Mg) fueron superiores a las almacenadas en el horizonte mineral superficial de los suelos. Las masas de *Pinus 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 que también se corresponde con las deficiencias frecuentemente encontradas en las plantaciones en el noroeste peninsular (Balboa, 2005). No obstante, el aprovechamiento de madera y corteza implica una menor extracción relativa de nutrientes. Además, habría que considerar los mayores turnos de esta especie, que permitiría una mayor reposición de nutrientes a través de los procesos naturales, como puedan ser los aportes atmosféricos y la alteración mineral o de procesos antrópicos como consecuencia de la gestión selvícola. Montero *et al.* (1999) ya pusieron de manifiesto esta circunstancia en sistemas de *Pinus pinaster*, observando que los restos de copa suponen más del 50 % del total de nutrientes que se extraen del sistema si 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 y una correlación negativa con el contenido de Al cambiante en el suelo ($r=-0,508^*$). Al igual que entre el contenido de Ca en rodajas, ramillos y ramas gruesas y las anteriores propiedades del suelo. También el K en ramas finas estaba 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 encontradas 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 nutrientes en las diferentes partes del árbol, disminuyendo principalmente 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, indicando el claro desequilibrio N:P (> 40) en relación con el resto de las fracciones arbóreas.

La tabla 5 presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre el IAVC, los niveles de nutrientes 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 diferentes plantaciones de *Pinus pinaster* estudiadas. La correlación negativa encontrada 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 a la aireación y limita el crecimiento radicular. Además el predominio del amonio tras la mineralización de la materia orgánica puede traer consigo la disminución de la absorción de algunos cationes, especialmente el Ca (González *et al.*, 1996). La asimilación de la mayoría de los elementos nutritivos, sobre todo el Ca mejora al aumentar el pH o al

disminuir la acidez intercambiable y, por tanto, la aplicación de enmiendas calizas podría mejorar la calidad mineral de la especie aumentando la capacidad de intercambio catiónico efectiva en el suelo.

CONCLUSIONES

Los resultados indican que las masas regulares de *Pinus pinaster* Ait. en Asturias presentan importantes problemas nutricionales que pueden estar mermando su crecimiento y revelan una gran acumulación de nutrientes en las fracciones arbóreas de copa.

Los esquemas de manejo que se llevan a cabo en la actualidad en las masas de *Pinus pinaster*, caracterizados por la ausencia casi total de programas de fertilización y por turnos reducidos, pueden derivar en una reducción de la fertilidad del suelo que afecte a la productividad forestal. El aprovechamiento sostenible de la biomasa arbórea debe realizarse a través de una gestión selvícola que asegure la conservación de la capacidad productiva de los suelos. Este manejo puede pasar por limitar el aprovechamiento de los restos más gruesos de corta a los terrenos más productivos y mecanizables, evitar la retirada de ramas finas, ramillos y hojas tras el aprovechamiento y realizar fertilizaciones con K, P y Mg, en cantidades que compensen las extracciones, especialmente en los casos en los que no se plantee el descortezado en monte.

BIBLIOGRAFIA

- Afif, E.; Oliveira, J.A. 2006. Pérdida de disponibilidad y niveles críticos de fósforo Mehlich 3 en suelos no calcáreos de Asturias. *Pastos* 35: 29-74
- Augusto, L.; Rager, J.; Ponette, Q.; Rapp, M. 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. Universidad de Santiago de Compostela. Departamento de Ingeniería Agroforestal. Lugo, España. 205 p.
- Bará, S. 1991. Fertilización forestal. Consellería de Agricultura, Gandería e Montes. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela.
- Beasley, R.S. 1997. Intensive site preparation and sediment losses on steep watersheds in the Gulf Coastal Plain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 412-417.
- Bermúdez, J.; Piñeiro, G. 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.
- Camps Arbostain, M.; Mourenza, C.; Álvarez, E.; Macías, F. 2004. Influence of parent material and soil type on the root chemistry of forest species grown on acid soils. *For. Ecol. Manage.* 193: 307-320.
- Constanza, R.; Darge, R.; de Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; Neill, R.V.; Paruelo, J.; Raskin, R.G.; Sutton, P.; Van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Dambrine, E.; Vega, J.A.; Taboada, T.; Rodríguez, L.; Fernández, C.; Macías, F.; Gras, J.M. 2000. Bilans d'éléments minéraux dans de petits bassins versants forestiers de Galice (NW Espagne). *Ann. Sci. For.* 57: 23-38.
- 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.; Binkley, D. 2000. *Ecology and Management of Forest Soils*. John Wiley & Sons, New York.
- Fölster, H.; Khanna, P.K. 1997. Dynamics of nutrient supply in plantation soils. En E.K.S. Nambiar, A.G. Brown (eds.). *Management of soil nutrient and water in tropical plantation forests*. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). Canberra. Monograph nº 43: 339-378.

- González-Prieto, S.J.; Cabanero, 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. Fert. Soils*. 22: 252-260.
- Johnson, D.W.; Todd, D.E. 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.; Wolf, B.; Mill, H.A. 1991. *Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide*. Micro-Macro Publishing. Athens.
- Keenan, R.J.; Messier, C.; Kimmins, J.P. 1994. Effects of clearcutting and soil mixing on soil properties and understorey biomass in western red cedar and western hemlock forest on northern Vancouver Island, Canada. *For. Ecol. Manage.* 68: 251-261.
- Klute, A. 1996. *Methods of Soil Analyses*. 2nd ed. American Society of Agronomy. Madison, WI. pp. 383-411.
- Knoepp, J.D.; Swank, W.T. 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, USA.
- Macías, F.; Calvo de Anta, R. 1992. *Suelos de la provincia de La Coruña*. Diputación de La Coruña.
- 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.
- Montero, G.; Ortega, C.; Cañellas, I.; Bachiller, A. 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. Fuera de Serie nº 1*: 175-206.
- Monterroso, C.; Alvarez, E.; Fernández, M.L. 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.; Lundkvist, H.; Staaf, H. 2000. Nutrient status in needles of Norway spruce and Scots pine following harvesting of logging residues. *Plant Soil* 23: 161-173.
- Ouro, G.; Pérez-Batallón, P.; Merino, A. 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.
- Page-Dumroese, D.; Jurgensen, M.; Elliot, W.; Rice, T.; Messer, J.; Collins, T.; Meurisse, R. 2000. Soil quality standards and guidelines for forest sustainability in northwestern North America. *For. Ecol. Manage.* 138: 445-462.
- Rodà, F.; Retana, J.; Gracia, C.A.; Bellot, J. 1999. *Ecology of Mediterranean Evergreen Forests*. Ecological studies. Springer, Berlin.
- Saur, E.; Ranger, J.; Lemoine, B.; Gelpe, J. 1992. Micronutrient distribution in 16 year old maritime pine. *Tree Physiology* 10: 307-316.
- Spangenberg, A.; Grimm, U.; Sepeda da Sila, J.R.; Fölster, H. 1996. Nutrient store export rates of *Eucalyptus urograndis* plantations in eastern Amazonia (Jari). *For. Ecol. Manage.* 80: 225-234.
- SPSS, 2006. *SPSS para windows, version 15*. SPSS Inc.
- Will, G.M. 1985. Nutrient deficiencies and fertilizer use in New Zealand exotic forests. *F.R.I. bulletin nº 97*, Rotorua, New Zealand.

TABLA 1. Valores mínimo, máximo y medio del incremento anual medio en volumen con corteza de *Pinus pinaster* Ait. en Asturias.

	mínimo	máximo	media
Volumen (dm ³)	45,97	2728,42	880,70
Edad (años)	17	57	34,39
IAVC ¹ (dm ³ año ⁻¹)	2,19	37,72	20,68

¹IAVC = incremento anual medio en volumen con corteza ((IAVC (dm³/año) = volumen/edad))

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

	Prof. ¹ m	pH ²	CE ³ ds m ⁻¹	Ar. ⁴	MO ⁵ -----%-----	N	C/N	P ⁶ mg kg ⁻¹	Ca ⁷	Mg ⁷	K ⁷	Na ⁷	Al ⁷	CICE ⁸
Media	0,35	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- 0,60	3,58- 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	0,03	9,68	5,18	0,04	6,27	0,65	0,62	0,30	0,04	0,07	3,31	2,39

¹Profundidad efectiva del suelo; ²pH (H₂O) relación suelo:disolución (1:2,5); ³Conductividad eléctrica en el extracto (1:5) medida a 25° C; ⁴Arcilla; ⁵Materia orgánica; ⁶P disponible extraído por el método de Mehlich 3; ⁷Ca, Mg, K, Na y Al intercambiables; ⁸Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva.

TABLA 3. Valores medios de las concentraciones de macronutrientes en las diferentes fracciones arbóreas de *Pinus pinaster* consideradas¹

	Concentraciones (g kg ⁻¹)					R. foliar ²
	N	P	K	Ca	Mg	N:P
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 ³	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 ⁴	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 ⁵	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

¹Las diferencias significativas en los valores medios se indican con letras distintas, a > b (test de Tukey, P < 0,05) y las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis; ²Relación foliar; ³Ramas de diámetro comprendido entre 2 y 7 cm; ⁴Diámetro entre 0,5 y 2 cm; ⁵Diámetro inferior a 0,5 cm.

TABLA 4. Niveles de concentración para diferentes elementos en acículas de *Pinus pinaster* propuestos por Bará (1991) y Bonneau (1995).

	N	P	K	Ca	Mg
	-----g kg ⁻¹ -----				
Nivel deficiente	< 10	< 0,8	< 3	< 0,6	< 0,7
Nivel marginal	10 - 12	0,8 - 1,0	3 - 5	1,0	0,7 - 1,0
Nivel satisfactorio	12 - 15	1,2 - 1,5	> 5	1,0 - 1,2	> 1,0

TABLA 5. Coeficientes de correlación de Pearson entre algunas propiedades del suelo, concentración de nutrientes en las diferentes fracciones arbóreas y el incremento anual medio en volumen con corteza de *Pinus pinaster* en Asturias. *: Significativo el nivel $P < 0,05$; **: significativo el nivel $P < 0,01$; ***: significativo el nivel $P < 0,001$

Suelo		Fracciones arbóreas			
		Ramillo	R. finas	R. gruesas	acículas
pH	0,685**	Ca			-0,44*
CE	-0,649**	Mg	0,450*		
Arcilla	0,539**	K	0,487*	0,628**	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**				

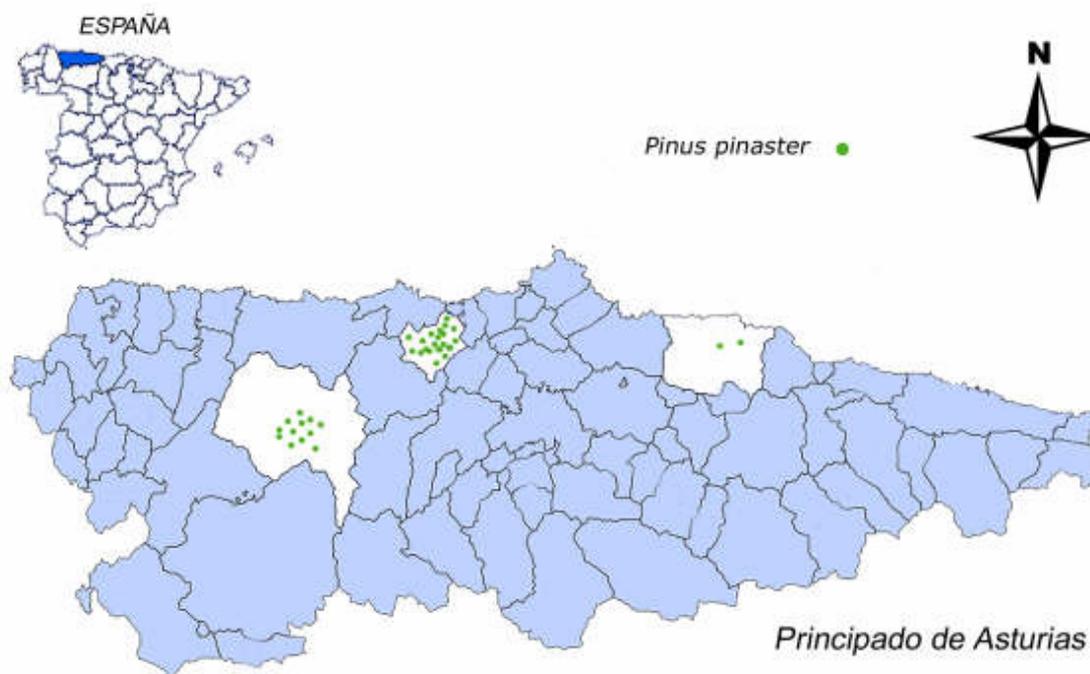


Figura 1. Localización de plantaciones de *Pinus pinaster* Ait. en los consejos de Pravia, Tineo y Villaviciosa del Principado de Asturias.