

RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO, INCREMENTO EN VOLUMEN ANUAL Y ESTADO NUTRICIONAL DE *EUCALYPTUS GLOBULUS* Y *PINUS RADIATA* D. DON EN ASTURIAS (NOROESTE DE ESPAÑA)

Elías 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

Se han estudiado las propiedades del suelo que más influyen en el crecimiento en volumen anual de árboles que pertenecen a masas regulares puras de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* D. Don. y en sus estados nutricionales en la parte centro-oriental de Asturias. Para cada especie se consideraron 10 clases diamétricas de 5 cm de amplitud y se apearon 3 árboles por clase y especie de edades comprendidas entre 13 y 52 años. El estado nutricional se evaluó en acículas recogidas del tercio superior, aplicando el método de los niveles críticos. Las deficiencias más importantes fueron en K, Mg y P para el radiata y en N, P y K para el eucalipto. Los suelos se estudiaron a 0-20 cm de profundidad y presentaron, para ambas especies, 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 incremento anual medio en volumen con corteza (IAVC) se correlacionó positivamente con el contenido de Ca en acículas para el radiata, existiendo correlación negativa entre éste último y el contenido de P asimilable en el suelo y positiva con el pH. En eucalipto, el IAVC se correlacionó positivamente con el K cambiante, Mg foliar y el P asimilable en el suelo, existiendo una buena correlación entre estas dos últimas. Los resultados muestran 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, España, Eucalipto albar, Pino insignne

INTRODUCCIÓN

En Asturias, la mejor forma de definir lo que es el monte y el espacio que ocupa es hacerlo por exclusión, la superficie agraria que ni se siega ni se cultiva, es monte. Más de la mitad del territorio del Principado de Asturias, concretamente el 67,4%, esto es, 715.147 ha, son “monte” en el sentido más amplio de la palabra; de éstas, 330.898 ha, el

46%, son arboladas (bosques) y 384.249 ha, el 54%, pastos, matorral y monte bajo. Los productos económicos más importantes que se obtienen de estas superficies son la carne para el pastoreo efectuado fundamentalmente por el ganado vacuno y 634.870 m³ de madera, de las cuales 353.070 m³, el 56%, son de eucalipto; 102.100 m³, el 16%, de castaño; 83.230 m³, el 13%, de pino radiata y 65.140 m³, el 10%, de pino pinaster; el resto, 31.330 m³, el 5%, de diversas especies (Ministerio de Medio Ambiente, 2002; 2006). El aprovechamiento de esta superficie genera el 8,4% del total de la producción final agraria y aunque ésta no tiene por qué ser proporcional a la superficie, este dato nos ayuda a entender la gran importancia territorial que en el Principado tiene el monte y la relativa poca importancia de la renta que genera.

Dentro del conjunto de factores del medio que pueden presentar alguna influencia sobre la ecología de las masas forestales, el suelo es sin duda el más relevante. Por lo tanto, es lógico que el factor suelo sea considerado en repetidas ocasiones dentro de los criterios e indicadores establecidos por los distintos sistemas de Gestión Forestal Sostenible (GFS). El Consejo de Administración Forestal estructura sus estándares de GFS en 10 principios esenciales, siendo el suelo uno de los protagonistas en múltiples aspectos. La pérdida de fertilidad física y química, así como la pérdida material del suelo por la erosión, son las principales preocupaciones de los sistemas certificadores de GFS, en lo que al suelo se refiere.

Los cultivos forestales, por los largos ciclos que utilizan, producen sobre el suelo un impacto muy distinto al de los cultivos anuales, no solo por las amplias acumulaciones de biomasa, sino también por su extenso sistema radicular que les permite explorar zonas más profundas del suelo. El éxito de una selvicultura sostenible radica, principalmente, en un eficiente reciclado de nutrientes, lo que viene 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 bastante homogéneas, numerosos estudios regionales fueron enfocados a estimar la influencia de las propiedades físico-químicas de los suelos en la productividad de la estación para mejorar la gestión forestal. En estos casos, el análisis foliar es una herramienta de gran utilidad para relacionar las características del suelo con el estado nutritivo del arbolado. La dificultad de estas investigaciones estriba en diferenciar adecuadamente entre variables que determinan las causas de la productividad de la estación. Gerding y Schlatter (1995) hallaron que el potasio de cambio está altamente correlacionado con el índice de sitio de *Pinus radiata* en suelos arenosos de Chile. Sin embargo, esta relación fue debida a un efecto determinado por otras características del suelo, y no por que condicionara la nutrición del arbolado, ya que las concentraciones foliares de potasio se encontraban a niveles adecuados.

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

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

las plantaciones de esta especie (Sánchez *et al.*, 2003; Zas, 2003). Del mismo modo, los niveles óptimos de concentraciones foliares reunidos por Judd *et al.* (1996) en plantaciones de *Eucalyptus globulus*, se han utilizado como guía (Cortez y Madeira, 1998; Brañas *et al.*, 2000; Balboa, 2005).

Las relaciones entre los elementos permiten realizar un diagnóstico nutritivo de las masas forestales, al igual que la concentración de nutrientes a nivel foliar (Prado y Toro, 1996; Brañas *et al.*, 2000). Particularmente relevante resulta el balance N/P, el que según Prado y Barros (1989) debe ser considerado para obtener una respuesta apropiada a la aplicación de fertilizantes. La relación N/P está muy vinculada con la productividad y puede ser obtenida a través de la concentración foliar de estos elementos. De acuerdo a diversos autores debe variar, para el caso de *Eucalyptus sp.*, entre 12 y 15. Fuera de este rango, puede no haber respuesta a la fertilización (Prado y Toro, 1996; Brañas *et al.*, 2000). Algunos investigadores aseguran que la relación N/P en el follaje, es particularmente sensible a las adiciones de nutrientes. Se sugiere un valor óptimo para la relación N:P de 15 para *Eucalyptus globulus* (Judd *et al.*, 1996). Otras relaciones comúnmente empleadas son N/K, K/P y Ca/Mg. Los rangos de referencia ofrecidos Herbert (1996), para estas relaciones son N/K: 3,5; K/P: 5 y Ca/Mg: >3,3.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es evaluar el estado nutritivo general de las masas asturianas de *Pinus radiata* D. Don y *Eucalyptus globulus*, 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 *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* D. Don de edades comprendidas entre 13 y 52 años para *Eucalyptus globulus* y entre 14 y 48 años para *Pinus radiata* D. Don. Las plantaciones de cada especie han sido localizadas en 6 masas regulares en la parte centro-oriental de Asturias (Fig. 1). Los suelos se clasificaron en Ustorhenth y Ustochrept desarrollados sobre cuarcitas blanquecinas con intercalaciones lutíticas y 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 12,5 cm para ambas especies. Se aparearon 3 árboles por clase y especie 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 de ambas especies.

En cada localidad y para cada especie 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, trituraron suavemente y se hicieron pasar por un tamiz de 2 mm de luz de malla circular para quitar los elementos gruesos. En ellas se determinó la textura según el método de la pipeta Robison usando hexametáfosfato sódico más Na₂CO₃ como dispersante; el pH potenciométricamente en una suspensión suelo:agua 1:2,5; sales solubles en el extracto 1:5; bases extraíbles con CINH₄ 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).

El análisis nutricional en ambas especies se realizó en acículas recogidas del tercio superior de los árboles apeados, siguiendo el procedimiento del Instituto de Investigación Forestal Neozelandés (Will, 1985). Tras la retirada de las vainas, lavado y trituración de las acículas, se procedió a la extracción húmeda utilizando ácido perclórico y ácido nítrico (Jones *et al.*, 1991) diluyéndose a continuación con HCl 1N. A partir de esta dilución se determinaron el Ca, Mg 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 10,32 y 82,68 dm³/año para *Eucalyptus globulus* y entre 7,65 y 64,10 dm³/año para *Pinus radiata* (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 para ambas especies presentaron niveles de pH alrededor de 4, fuertemente ácido, indicativos de una baja reserva de bases (K, Ca y Mg) y elevadas concentraciones de Al cambiante en el suelo que limitan el desarrollo de las raíces. La profundidad media de los suelos estudiados estuvo en torno a 0,40 m, presentándose algunos valores limitantes de 0,23 y 0,19 m para *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* respectivamente. La textura varió de arcillosa a franco arcillo arenosa, con un contenido medio de arcilla de 24,37% para *Eucalyptus globulus* y de 31,60% para *Pinus radiata*. El contenido de materia orgánica osciló entre 9,19 y 21,45 % para *Eucalyptus globulus* y entre 13,96 y 29,81 % para *Pinus radiata*, de acuerdo con los altos contenidos de materia orgánica que presentan normalmente los suelos naturales en zonas húmedas y frías (Bará, 1991). La relación C/N fue bastante alta (>20) para todas las plantaciones estudiadas, indicando una mineralización desfavorable que afecta especialmente al contenido de N en el suelo. Los valores del P asimilable extraído por el método de Mehlich 3 estuvieron por debajo del nivel crítico considerado para dicho extractante (<20 mg P kg⁻¹) (Monterroso *et al.*, 1999). Los cationes cambiables y la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) variaron según el porcentaje de arcilla presente en estos suelos, destacando los valores más elevados de Ca, Mg y K cambiables para *Pinus radiata*. Resultados similares de deficiencias sobre todo en P y bases extraíbles fueron encontrados en suelos forestales ácidos con plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* en España (Romanya y Vallejo, 1996; Zas y Serrada, 2003; Balboa, 2005). Tanto para *Eucalyptus globulus* como para *Pinus radiata*, los análisis de varianza no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas estudiadas ($p > 0,05$), mientras que las diferencias encontradas entre especies han sido altamente significativas para el contenido de arcilla, materia orgánica, pH, N total, relación C/N, P asimilable, K, Ca, Mg y Na cambiables ($F=26,91$, $p < 0,001$; $F=13,17$, $p < 0,001$; $F=9,15$, $p=0,004$; $F=6,47$, $p=0,014$; $F=24,44$, $p < 0,001$; $F=137,99$, $p < 0,001$; $F=10,37$, $p=0,02$; $F=6,96$, $p=0,011$; $F=15,78$, $p < 0,001$ y $F=7,39$, $p=0,009$ respectivamente) y no significativas para el Al cambiante y la capacidad de intercambio catiónico efectiva ($F=2,89$ y $1,12$; $p > 0,05$ respectivamente).

Los valores medios de las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en acículas de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* se presentan en la tabla 3. La tabla 4 señala los niveles críticos y marginales de los nutrientes en acículas de *Eucalyptus globulus* propuestos por Judd *et al.* (1996) y de *Pinus radiata* propuestos por Will (1985). *E. globulus*

registró menores concentraciones de N, P y K en acículas, denotando una clara deficiencia en éstos mismos elementos nutritivos, mientras que las deficiencias para *P. radiata* fueron en P, K y Mg, siendo más revelante la deficiencia en K seguido de P para *E. globulus*. Estos resultados concuerdan con los resultados ofrecidos para ambas especies en otras regiones del noroeste peninsular (Romanya y Vallejo, 1996; Brañas *et al.*, 2000; Zas y Serrada, 2003; Balboa, 2005; Afif *et al.*, 2007), destacando los valores más altos en Ca para *E. globulus* que se apreciaron en el presente trabajo. Las concentraciones de Ca en acículas en todas las plantaciones estudiadas son superiores al nivel crítico, siendo los valores más elevados en aquellas zonas con bajo contenido de Al intercambiable en el suelo. Al igual que para *Pinus 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 siendo mucho más relevantes los problemas asociados al exceso de este nutriente que puede condicionar la asimilación de otros, entre los cuales se encuentra el P (Zas, 2003; Afif *et al.*, 2007). En todas las plantaciones estudiadas se observaron una relación N:P superior a 15, por lo que el balance entre ambos nutrientes resultó claramente desequilibrado, siendo dicha interacción negativa entre el exceso relativo de N y la nutrición fosfórica más revelante para *P. radiata*. Del mismo modo, las relaciones Ca:Mg y K:P para *P. radiata* mostraron un claro desequilibrio, de acuerdo con los rangos de referencia ofrecidos por Herbert (1996). La relación Ca:Mg para *E. globulus* fue superior a 7, por lo que el balance entre ambos nutrientes resultó claramente equilibrado, existiendo un grave desequilibrio en la relación K:P. Para *E. globulus*, las diferencias en las concentraciones foliares de P, K, Ca y Mg en todas las zonas estudiadas no han sido significativas ($F=1,77$; 2,93; 3,09 y 3,36; $p>0,05$ respectivamente), al igual que para *P. radiata* en N, P, Ca y Mg ($F=1,21$; 3,02; 3,04 y 0,33; $p>0,05$ respectivamente). En el caso de N para *E. globulus* y K para *P. radiata* las diferencias entre zonas han sido significativas ($F=6,81$, $p=0,005$; $F=6,72$, $p=0,003$ respectivamente), debido al proceso de lavado que condiciona la concentración del N en aquellas zonas de máximo desarrollo radicular y, por otra parte al contenido de arcillas micáceas tipo 2:1 como la ilita, donde el K queda fijado en posición interlamilar, por lo que no es intercambiable y no está a disposición de la planta. Cabe destacar también que las diferencias entre las dos especies estudiadas han sido altamente significativas para todos los macroelementos analizados ($F=59,90$; 50,14; 50,82; 298,97 y 60,78; $p<0,001$ para N, P, K, Ca y Mg respectivamente). En la matriz de correlación entre los 5 nutrientes en acículas para *P. radiata*, se encontraron correlaciones significativas y negativas únicamente entre el Ca y la concentración de N y K con un coeficiente de correlación de Pearson de -0,463** y -0,547** respectivamente, existiendo una correlación positiva entre éste último y el P ($r=0,594^{**}$). Para *E. globulus* no se han encontrado correlaciones significativas entre los nutrientes foliares.

Las relaciones entre las concentraciones de nutrientes en acículas y las variables edáficas muestran tanto para *E. globulus* como para *P. radiata* correlaciones significativas y positivas entre el K foliar y el contenido de bases en los suelos con un coeficiente de correlación medio de Pearson de 0,416*, 0,573** y 0,455* para K, Ca y Mg cambiables respectivamente. El contenido de N en acículas estaba negativamente correlacionado con el P asimilable en el suelo ($r=-0,517^{**}$) y positivamente con K, Ca y Mg cambiables para *E. globulus* ($r=0,50^{**}$; 0,425* y 0,496* respectivamente), mientras que el N foliar, al igual que el Mg, para *P. radiata* no registraron ninguna correlación significativa con las variables edáficas. El Ca foliar fue negativamente correlacionado con el P asimilable en el suelo para *P. radiata* ($r=-0,41^{*}$) y positivamente con el pH en ambas especies ($r=0,426^{*}$). El P foliar registró para *P. radiata* buenas correlaciones positivas con

el contenido de materia orgánica, N total, K, Ca y Mg cambiables en el suelo ($r=0,468^*$; $0,542^{**}$; $0,518^{**}$; $0,508^*$ y $0,514^*$ respectivamente) y una correlación negativa con el Al cambiante ($r=-0,432^*$), mientras para *E. globulus* estaba únicamente correlacionado con la capacidad de intercambio catiónico efectiva ($r=0,397^*$). Para ésta última especie, el Mg foliar estaba positivamente correlacionado con el contenido de arcilla y P asimilable ($r=0,483^*$ y $0,535^{**}$ respectivamente) y negativamente con el N total y K cambiante en el suelo ($r=-0,519^{**}$ y $-0,445^*$ respectivamente). Las correlaciones positivas encontradas sugieren que un aporte extra de P y K aumentaría el desarrollo de ambas especies, a pesar de la posible existencia de otros factores como el pH y altos niveles de N que afectan a la facilidad de asimilación de estos elementos por las plantas. Zas (2003) encontró una buena correlación entre el P foliar y el pH del suelo en un estudio nutricional de *Pinus radiata* en Galicia (noroeste de España), indicando que bajo pH ácidos, la asimilación de P mejora al aumentar el pH o al disminuir la acidez intercambiable, lo que concuerda con la correlación negativa encontrada entre el P foliar y el Al cambiante para *P. radiata* en el presente estudio. Huang y Bachelard (1993) en cultivos hidropónicos para *E. globulus* y *P. radiata*, han comprobado que la absorción de K se incrementa a medida que se aumenta el aluminio en la solución nutritiva, decreciendo las de Ca y Mg. Sin embargo, en el presente trabajo se encontró una correlación negativa entre K foliar y el Al cambiante en el suelo para *P. radiata* ($r=-0,568^{**}$). Así es posible que el carácter ácido de los suelos asturianos sea determinante en la absorción de K.

La tabla 5 presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre el IAVC, los niveles de nutrientes en acículas y las variables edáficas para *E. globulus* y *P. radiata*. Parece que hay una tendencia comprobada con las anteriores relaciones suelo-planta para *E. globulus*, a que los suelos más fértiles con alto contenido de P asimilable, K cambiante y baja acidez cambiante mejoran el desarrollo de la especie. Para *P. radiata*, y a pesar de la ausencia de correlaciones entre el IAVC y las propiedades del suelo en el presente estudio, Afif *et al.* (2007) en un estudio enfocado a estimar 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) encontraron en suelos gallegos buenas correlaciones positivas entre el índice de sitio de *P. radiata* y 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* D. Don en el Principado de Asturias presentaron importantes problemas nutricionales que afectan a su crecimiento. Las deficiencias más importantes fueron en N, P y K para *E. globulus* y en P, K y Mg para *P. radiata*, existiendo diferencias altamente significativas entre ambas especies para los macronutrientes analizados. En todas las plantaciones estudiadas se observaron grave desequilibrio en las relaciones N:P y K:P, al igual que en la relación Ca:Mg para *P. radiata*.

Las correlaciones encontradas entre el incremento anual medio en volumen con corteza, propiedades del suelo y la concentración de macronutrientes en acículas sugieren que los suelos con baja capacidad de intercambio catiónico, elevada relación C/N y Al cambiante, deben evitarse en los programas de reforestación sobre todo con *E. globulus*. La aplicación de fertilizantes puede recomendarse como una práctica rutinaria considerando las graves deficiencias de elementos nutritivos en acículas para ambas especies.

BIBLIOGRAFIA

- Afif, E.; Canga, E.; Cámara, A.; 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). En: Actas de la 2ª reunión del grupo de trabajo de ecología, ecofisiología y suelos forestales. Salamanca, España.
- 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
- 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.
- Brañas, J.; González, R.F.; Rodríguez, S.R.; Merino, A. 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
- Cortez, N.; Madeira, M. 1998. The effect of *Eucalyptus globulus* plantations on soil nutrient status. XVI Congreso Mundial de la Ciencia del suelo. Montpellier, Francia.
- 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.; Schlatter, J.E. 1995. Variables del sitio de importancia para la productividad del *Pinus radiata* D. Don en Chile. En: Actas del primer Congreso Latinoamericano I.U.F.R.O., Manejo sostenible de los recursos forestales, desafío del siglo XXI. Valdivia, Chile.
- González-Prieto, S.J.; Cabaneiro, A.; Villar, M.C.; Carballas, M.; Carballas, T. 1996. Effect of soil characteristics on N mineralization capacity in 112 native and agricultural soils from the northwest of Spain. *Biology and fertility of Soils* 22: 252-260
- Herbert, M.A. 1996. Fertilizers and eucalypt plantations in South Africa. En: Attiwill, P.M.; Adams, M.A. (eds.). *Nutrition of eucalypts*. CSIRO Publishing, Australia. pp 303-325.
- Huang, J.; Bachelard, E.P. 1993. Effects of aluminium on growth and cation uptake in seedlings of *Eucalyptus mannifera* and *Pinus radiata*. *Plant and Soil*. 149: 121-127.
- Hunter, I.R.; Rodgers, A.; Dunningham, A.; Prince, J.M.; Thorn, A.J. 1991. An atlas of radiata pine nutrition in New Zealand. *FRI Bulletin* 165: 1-24.
- Jones, J.B.; Wolf, B.; Mill, H.A. 1991. *Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide*. Micro-Macro Publishing. Athens.
- Judd, T.S.; Attiwill, P.M.; Adams, M.A. 1996. Nutrient concentrations in *Eucalyptus*: A synthesis in relation to differences between taxa, sites and components. En: *Nutrition of Eucalypts*. Attiwill P.M., Adams M.A. (Eds.), CSIRO Publishing. Collingwood, Australia. pp. 123-153.
- Klute, A. 1996. *Methods of Soil Analyses*. 2nd ed. American Society of Agronomy. Madison. WI. 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. En: *Nutrition of Eucalyptus*. Attiwill P.M. y Adams M.A. (Eds.), 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.; Casado, H.; Castillo, F.J. 1993. Nutrient concentration in *Pinus radiata* D. Don needles in the Basque Country (Spain): a Preliminary classification of parameters and site. *Ann. Sci. For.* 50(1): 23-36.
- Ministerio de Medio Ambiente. 1998. Mapa Forestal de España 1:200.000. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid. España.
- Ministerio de Medio Ambiente. 2002. Plan Forestal de Asturias. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid. España.
- Ministerio de Medio Ambiente. 2006. Tercer Inventario Forestal Nacional – Asturias. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid. España.
- 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.
- Morris, D.M.; Kimmins, J.P. ; Duckert, D.R. 1997. The use of soil organic matter as a criterion of the relative sustainability of forest management alternatives: A modeling approach using FORECAST. *For. Ecol. Mang.* 94: 61-78.
- Olykan, S.T.; Adams, J.A. 1995. *Pinus radiata* seedling growth and micronutrient uptake in a sand culture experiment, as affected by the form of nitrogen. *New Zeal. J. For. Sci.* 25(1): 49-60.
- Palacios, P.L.; Casado, H.; Mesanza, J.M.; Castillo, F.J. 1995. *Pinus radiata* site quality study in the Basque Country (Spain) using nutritional and physiographical criteria. *Water Air Soil Poll.* 85(3): 1275-1280.
- Prado, J.; Barros, S. 1989. *Eucalyptus*: Principios de Silvicultura y Manejo. INFOR, CORFO. Santiago, Chile. 199 p.
- Prado, J.; Toro, J. 1996. Silvicultura of eucalypt plantations in Chile. En: *Nutrition of Eucalyptus*. Attiwill P.M. y Adams M.A. (Eds.), CSIRO Publishing. Collingwood, Australia, pp. 357-369.
- Romanya, J.; Vallejo, V.R. 1996. Nutritional status and deficiency diagnosis of *Pinus radiata* plantation in Spain. *For. Sci.* 42(2): 192-197.
- Sánchez, F.; Rodríguez, R.; Español, E.; López, C.A.; Merino, A. 2002. Influence of edaphic factors and tree nutritive status on the productivity of *Pinus radiata* D. Don plantations in north-western Spain. *For. Ecol. Manage.* 171: 181-189.
- Sánchez, F.; Rodríguez, R.; Rojo, A.; 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). En: *Actas del primer Congreso Latinoamericano I.U.F.R.O., Manejo sostenible de los recursos forestales, desafío del siglo XXI*. Valdivia, Chile.
- Sánchez, F.; Rojo, A.; Álvarez, J.G.; López, C.; Gorgoso, J.; Castedo, F. 2003. Crecimiento y tablas de producción de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Inv. Agrar.: Sist. Rec. For.* 12: 65-83.
- 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 n° 97*, Rotorua, New Zealand.
- Zas, R. 2003. Interpretación de las concentraciones foliares en nutrientes en plantaciones jóvenes de *Pinus radiata* D. Don en tierras agrarias en Galicia. *Invest. Agrar. Sist.: Recursos Forestales.* 12: 3-11.
- Zas, R.; Serrada, R. 2003. Foliar nutrient status and nutritional relationships of young *Pinus radiata* D. Don plantations in northwest Spain. *For. Ecol. Manage.* 174(1-3): 167-176.

TABLA 1. Valores mínimo, máximo y medio del incremento anual medio en volumen con corteza de plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* D. Don en Asturias.

	<i>Eucalyptus globulus</i>			<i>Pinus radiata</i> D. Don		
	mínimo	máximo	media	mínimo	máximo	media
Volumen (dm ³)	102,74	5042,85	1717,62	103,75	3419,41	1029,37
Edad (años)	13	52	32,45	14	48	33,19
IAVC ¹ (dm ³ año ⁻¹)	10,32	82,69	35,74	7,65	64,10	28,47

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 para de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* D. Don en Asturias.

	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	
															cmol (+) kg ⁻¹
<i>E. globulus</i>	media	0,42	3,62	0,10	24,37	15,09	0,28	30,01	9,06	1,28	0,53	0,21	0,65	5,45	8,13
	Intervalo de variación	0,23-0,87	3,94-4,33	0,05-0,17	19,42-28,92	9,19-21,45	0,17-0,32	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
	Dv. estándar	0,17	0,59	0,03	3,56	6,18	0,07	5,18	2,65	0,88	0,24	0,02	0,20	2,46	1,37
<i>P. Radiata</i>	media	0,34	4,01	0,12	31,60	21,19	0,32	37,70	2,38	1,97	0,79	0,23	0,54	3,97	7,50
	Intervalo de variación	0,19-0,85	3,49-4,12	0,09-0,15	18,98-41,30	13,96-29,81	0,26-0,44	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
	Dv. estándar	0,08	0,22	0,03	6,06	5,67	0,05	5,81	0,89	0,96	0,22	0,02	0,07	3,63	2,57

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 mínimo, máximo y medio de las concentraciones de macroelementos en acículas de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* D. Don en Asturias.

	<i>Eucalyptus globulus</i>			<i>Pinus radiata</i> D. Don		
	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.

TABLA 4. Niveles de macronutrientes en acículas de *Eucalyptus globulus* propuestos por Judd *et al.* (1996) y de *Pinus radiata* propuestos por 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

TABLA 5. Coeficientes de correlación de Pearson entre algunas propiedades del suelo, concentración de nutrientes en acículas y el incremento anual medio en volumen con corteza de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* D. Don en Asturias. *: Significativo el nivel $P < 0,05$; **: significativo el nivel $P < 0,01$; ***: significativo el nivel $P < 0,001$

Especie	Acículas		Suelo			
			Al	Arcilla	P	K
E. <i>globulus</i>	Mg	0,390*	-0,590**	0,511**	0,504**	0,407*
P. <i>radiata</i>	Ca	0,504*				

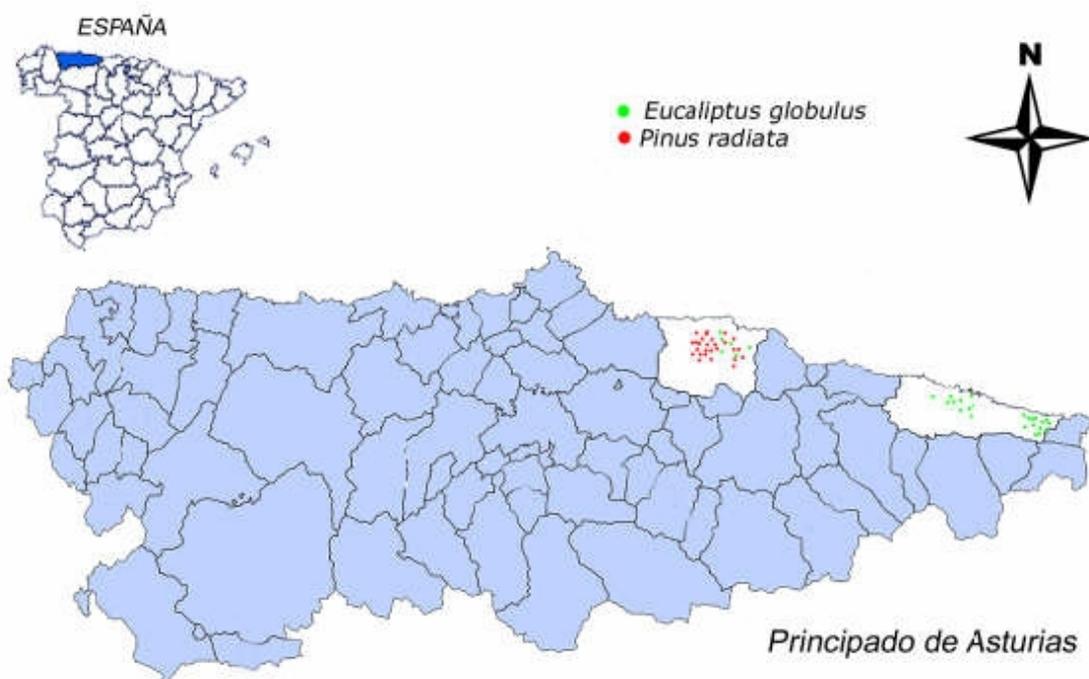


Figura 1. Localización de plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* D. Don en los consejos de Villaviciosa y Llanes del Principado de Asturias.