

CONTENIDO Y DISTRIBUCIÓN DE NUTRIENTES EN PLANTACIONES DE *Eucalyptus globulus* DEL NOROESTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

J. BRAÑAS ¹, F. GONZÁLEZ-RÍO ², A. MERINO ³

¹ Dpto. de Producción Vegetal, Escuela Politécnica Superior de Lugo. Campus Universitario. Lugo

² ENCE, Navia. Asturias

³ Dpto. de Edafología y Química Agrícola, Escuela Politécnica Superior. Campus Universitario. Lugo

edsusoba@lugo.usc.es

RESUMEN

En este trabajo se estudiaron nueve plantaciones de *Eucalyptus globulus* con edades comprendidas entre 6 y 18 años, localizadas en el norte de España (Lugo y noroeste de Asturias). Se determinó el nivel de nutrientes y su acumulación en las diferentes fracciones de la biomasa arbórea aérea, así como en el horizonte orgánico y en los horizontes minerales del suelo. Las cantidades de P, K, Ca y Mg total encontradas en la biomasa aérea de plantaciones de fin de turno son superiores a las cantidades disponibles de estos elementos en el suelo. Los restos de corta (corteza, ramas y hojas) de las plantaciones maduras, que representan el 25 % de la biomasa, acumulan más de la mitad de las cantidades de N, K, Ca y Mg que la plantación absorbe durante el turno. El horizonte orgánico de las plantaciones maduras constituye una reserva importante de elementos limitantes, puesto que las cantidades de algunos de ellos (P, Ca, Mg) superan a las cantidades disponibles en el suelo. Estos datos sugieren la necesidad de mantener los restos de corta y horizonte orgánico sobre el terreno tras el aprovechamiento de estas masas para mantener el nivel de fertilidad de los suelos.

PALABRAS CLAVE: *Eucalyptus globulus*
Nutrición forestal
Distribución de nutrientes
Restos de corta
Horizonte orgánico

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de madera de *Eucalyptus globulus* por diferentes sectores de la industria de transformación (pasta de papel, tableros, sierra) está favoreciendo la expan-

Recibido: 28-1-00.

Aceptado para su publicación: 27-3-00.

sión de plantaciones de esta especie en diferentes zonas de tradición maderera. La cornisa Cantábrica ofrece condiciones climáticas óptimas para estas plantaciones, por lo que éstas ocupan una importante superficie en esta zona. Entre 1989 y 1996 la producción de eucalipto en Galicia ha pasado del 25 % de la producción maderera al 41 % (Xunta de Galicia, 1998). En ese último año la producción de eucalipto en Galicia fue de casi 2.400 m³ con corteza, lo que supone el 67 % de la producción de eucalipto en España.

El aprovechamiento de estas masas en la zona se realiza en turnos cortos, normalmente entre 12 y 15 años. El crecimiento medio a los 15 años oscila entre 8 y 35 m³ ha⁻¹ año⁻¹, lo que está influenciado tanto por la calidad de estación (condicionantes climáticos y edáficos, fundamentalmente, Calvo de Anta, 1992), como por las técnicas selvícolas (uso de fertilizantes, empleo de planta de calidad o la aplicación de prácticas selvícolas) (González-Río *et al.*, 1997) y número de turno (primero, segundo o tercer rebrote, Fernández López, 1982).

Estas plantaciones se encuentran, normalmente, en zonas de elevada precipitación y sobre suelos de fuerte carácter ácido y baja fertilidad, por lo que es frecuente encontrar en ellas deficiencias nutricionales que reducen sus producciones. De este modo, el P es el principal elemento limitante, tanto en Galicia (Gil-Sotres y Díaz-Fierros, 1982; Calvo de Anta, 1992) como en otras zonas de elevada producción forestal (McLaughlin, 1996; Stewart *et al.*, 1990). En este sentido, los ensayos de fertilización realizados en la Cornisa Cantábrica (Fernández *et al.*, 1998) muestran que las deficiencias de P se pueden reducir con el aporte de este elemento en el momento de la plantación, con el consiguiente efecto sobre la producción (González-Río *et al.*, 1997). También es frecuente encontrar deficiencias de Ca, Mg y K en estas plantaciones, como consecuencia del fuerte carácter ácido del suelo (Calvo de Anta, 1992), y en el caso del K, debido a la presencia de minerales expandibles que fijan este elemento (Rubio y Gil-Sotres, 1997).

Debido al fuerte lavado y al predominio de minerales poco alterables en estos suelos la disponibilidad de nutrientes está muy determinada por su suministro a través de la descomposición de residuos orgánicos. Por este motivo, el mantenimiento del nivel nutricional a lo largo de diferentes rotaciones podría estar condicionado por el manejo de los restos de corta que se haga tras el aprovechamiento. En este sentido, los restos de corta pueden ser eliminados total o parcialmente, quemados o incorporados al suelo. Trabajos anteriores han mostrado que la retirada de estos restos, junto con preparaciones del terreno intensivas, incide negativamente en la fertilidad (Merino *et al.*, 1998) y conservación de estos suelos (Edeso *et al.*, 1999), así como en el crecimiento de plantaciones forestales (Merino y Edeso, 1999).

El objetivo principal de este trabajo fue estudiar la acumulación de los nutrientes en las distintas fracciones de la biomasa aérea de diferentes plantaciones de *Eucalyptus globulus*, y comparar esas cantidades con los niveles existentes en los suelos. Esta información ayudará a diseñar tanto la gestión de restos de corta como la duración de los turnos, lo que servirá como base a programas de manejo sostenible de estas masas forestales.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para el presente estudio se emplearon nueve plantaciones de *Eucalyptus globulus*, de las cuales una se localiza en el norte de A Coruña, tres en el norte de Lugo y cinco en el

norroeste de Asturias. Las parcelas se encuentran en altitudes comprendidas entre 50 y 350 m y pendientes entre el 5 y 20 %.

Según el sistema de la FAO, el clima de la zona se puede definir como Subtrópico templado con invierno húmedo. La precipitación media de la zona es de 1.060 mm (media de los datos de los observatorios de Tapia de Casariego, Castropol, Mondoñedo, Estaca de Bares), con un mínimo claro en verano y un máximo variable en las otras tres estaciones del año. La temperatura media anual es 13,1 °C, la evapotranspiración potencial anual es 670 mm y el índice de sequía media total aproximado, 0,9. La Intensidad Bioclimática Potencial media es 13,3 ubc, mientras que la Intensidad Bioclimática Libre media, 11,5 ubc (Carballeira *et al.*, 1983). Todos estos valores indican que el período vegetativo activo comprende la práctica totalidad del año y que las limitaciones por sequía o frío no son frecuentes y, si hacen aparición, presentan poca intensidad.

Seis de las nueve plantaciones tienen edades que se aproximan a la mitad del turno, entre seis y nueve años (plantaciones jóvenes) y otras tres son de fin de turno, entre 14 y 18 años (plantaciones adultas o maduras). Todas ellas son de primera corta, sin fertilizar y con preparaciones del terreno que no alteraron en gran medida el perfil del suelo. Las características principales de las plantaciones se encuentran recogidas en la Tabla 1.

TABLA 1
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS PLANTACIONES
DE *Eucalyptus globulus* ESTUDIADAS

*General characteristics of the *Eucalyptus globulus* plantations studied*

Plantación	Municipio	Pend. (%)	Litología	Edad (años)	N (pies ha ⁻¹)	Dn (cm)	Ht (m)
Armental	Navia	10-15	Sed. aluviales	9	750	19,1	17,4
Cangas	Foz	15-20	Cuarcitas	9	1.250	13,8	15,6
Cordido	Foz	20	Cuarcitas	9	1.700	11,8	12,7
Edrosa	Ortigueira	5	Esquistos/pizarras	14	1.411	30,2	25,9
Ferreiramión	Vegadeo	10	Pizarras/cuarcitas	18	1.328	18,5	20,6
Ferreira	F. Valadouro	20	Col. pizarra/granitos	15	1.150	17,1	21,4
Nadou	Coaña	25	Col. pizarras	8	1.550	10,1	9,6
Villar	Coaña	10-15	Col. pizarras	8	1.450	15,6	16,7
Villarín	El Franco	5	Col. cuarzo/pizarra	6	1.450	6,5	9,5

N, densidad en pies ha⁻¹

Dn, diámetro normal medio, en cm

Ht, altura media total, en m

El sotobosque de estas masas está dominado por *Ulex europaeus* y *Pteridium aquilinum*, con presencia también de *Erica cinerea* y *Erica ciliaris*, y en menor medida, *Erica umbellata* y *Daboecia cantabrica*. Los suelos sobre los que se asientan están desarrollados sobre coluviones de pizarra, esquistos pizarrosos o pizarras con granitos o cuarcitas, formados en su mayoría por un horizonte A úmbrico sobre un B cámbico, con una profundidad explorable aproximada de 50-70 cm. Según la clasificación FAO-UNESCO (1991), los suelos se designan como Cambisoles húmicos

Diseño experimental

El estudio de estas plantaciones se llevó a cabo durante los años 1997 y 1998. Para este trabajo se procedió al replanteo de una parcela temporal circular de 8 m de radio en cada una de las plantaciones. En ellas se midieron los diámetros normales de los individuos localizados en su interior, para lo que se incluyeron los pies de diámetro normal superior a 4 cm. Estos cálculos sirvieron para seleccionar cuatro individuos de diámetro próximo al valor medio del diámetro normal, los cuales fueron apeados.

En cada uno de estos árboles la biomasa arbórea aérea se dividió en las siguientes fracciones: madera (hasta 4 cm de diámetro con corteza), corteza (como ritidoma correspondiente a la fracción madera), ramas gruesas (con diámetro superior a 2 cm), ramas finas (entre 0,5 y 2 cm de diámetro), ramillos (con diámetro inferior a 0,5 cm) y hojas. Las ramas gruesas se evalúan a todos los efectos (tanto en biomasa como en nutrición) como fracción íntegra formada por madera más ritidoma. El mismo criterio se ha seguido para las ramas finas y los ramillos.

Cada una de estas fracciones se pesaron en húmedo en el campo y se recogieron de cada una de ellas y de cada árbol muestras al azar, que fueron trasladadas a laboratorio para el análisis de humedad y elementos químicos. Para la toma de muestras de madera y corteza se obtuvieron tres discos, de forma que se dividía la longitud maderable del árbol en cuatro partes iguales. Los valores de pesos en seco se calcularon a partir de los datos de humedad obtenidos en las muestras verdes recogidas al azar durante el muestreo de campo.

Los análisis químicos de las diferentes fracciones de biomasa incluyeron los siguientes elementos: C, S, N, P, K, Ca, Mg, Na y Mn. Con los datos de los análisis nutricionales y la cantidad en peso seco de cada una de las fracciones de la biomasa por unidad de superficie, se calcularon las cantidades de nutrientes contenidos, en kg ha^{-1} , en cada una de las fracciones.

En cuanto al suelo, en cada parcela se recogieron tres muestras del horizonte orgánico del suelo, seleccionadas al azar, en marcos de $0,40 \times 0,50$ m. Estas muestras se secaron en estufa a 65°C hasta peso constante, para efectuar los análisis de C, S, N, P, K, Ca, Mg, Na y Mn. El peso medio y las concentraciones medias de las tres réplicas se utilizaron para calcular la cantidad de horizonte orgánico y su contenido en nutrientes por unidad de superficie.

Las muestras del horizonte mineral superficial del suelo (0-10 cm) se recogieron en nueve puntos seleccionados al azar en cada una de las parcelas, para lo que se emplearon tubos de acero (5,6 cm de diámetro y 10 cm de altura), con lo que se confeccionaron tres muestras múltiples compuestas por tres muestras cada una. Para la toma de muestras de los horizontes subsuperficiales, se practicaron tres calicatas en cada parcela.

En las muestras de suelo mineral secadas al aire se determinó la pedregosidad, distinguiéndose tres fracciones: < 2 mm, 2-50 mm y > 50 mm. La densidad aparente de cada horizonte se determinó en cada calicata con la toma de una muestra con un cilindro de acero de 2,8 cm de radio interior y 4 cm de altura y secada hasta peso seco constante a 105°C . En la fracción inferior a 2 mm se determinó pH, C, N y S totales, así como Ca, Mg, Na y K de cambio.

Las cantidades de nutrientes en el suelo por unidad de superficie se calcularon a partir de los datos medios de profundidad, pedregosidad, densidad aparente y concentración de nutrientes obtenidos en todas las muestras. En el caso del horizonte orgánico, se emplearon las concentraciones de nutrientes y el peso de horizonte orgánico por unidad de superficie.

Técnicas de análisis

Todas las muestras vegetales, incluido el mantillo (secas en estufa a 65 °C hasta peso constante), se molieron y se hicieron pasar por un tamiz de 0,25 mm. En estas muestras se determinó la concentración de C, S y N, por combustión, en un autoanalizador Leco. El resto de los elementos se determinaron tras realizar una digestión previa con H₂SO₄ concentrado y H₂O₂ a una temperatura de 390 °C. En este digerido se determinaron las concentraciones de P, mediante colorimetría con ácido ascórbico y molibdeno (Gutián y Carballas, 1976), de K, Ca, Mg, Na y Mn, mediante un espectrofotómetro de absorción-emisión atómica.

En los suelos, la determinación del pH en H₂O y KCl 0,1 N se realizó con electrodo de vidrio, empleando una relación suelo:disolución de 1:2,5. En el caso del KCl, el pH se determinó tras 2 h de reacción (Gutián y Carballas, 1976). Las determinaciones de C, S y N totales en suelos, se realizó con un autoanalizador Leco. El contenido de P extraíble se obtuvo mediante el método Mellich III (Mellich, 1984), el cual ha sido evaluado recientemente por Fernández Marcos (1997) en los suelos de Galicia. El K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y Mn²⁺ intercambiables, se determinaron a partir de una extracción con CINH₄ 1N, con una relación suelo:extractante 1:20. La determinación de estos cationes de cambio se realizó en el extracto, mediante espectrofotómetro de absorción-emisión atómica.

Evaluación del estado nutricional

El estado nutricional de las plantaciones se determinó en base a tres procedimientos. Por una parte, la comparación de los niveles de concentración de los diferentes elementos obtenidos en las plantaciones con los ofrecidos como óptimos, típicos o de referencia por diferentes autores (Judd *et al.*, 1996). Por otra parte se calcularon las principales relaciones entre los diferentes nutrientes y se compararon con las encontradas en la bibliografía (Herbert, 1996). En tercer lugar, se ha utilizado la fórmula del «Porcentaje de Desviación del Óptimo» (DOP_x), $DOP_x = (C_x / C_{xref} - 1) \cdot 100$, propuesta por Montanes (1993), que calcula el porcentaje de desviación de las concentraciones obtenidas (C_x) frente a las consideradas como óptimas (C_{xref}).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de nutrientes en los suelos: horizontes orgánicos y minerales

Los niveles de S, N y Ca en los horizontes orgánicos fueron comparables a los encontrados en las hojas (Tabla 4). Las concentraciones de P, K y Mg, sin embargo, fueron inferiores a las registradas a nivel foliar, lo cual refleja la movilidad de estos nutrientes previa a la abscisión de las hojas y su posterior descomposición en el suelo.

Los datos de las principales propiedades físicas y químicas de los suelos estudiados se recogen en la Tabla 2. En cuanto a las características físicas, destaca la elevada pedregosidad encontrada en los horizontes subsuperficiales del suelo, que en algún caso superó el 80 % de elementos gruesos. La densidad aparente fue homogénea entre los diferentes suelos, con valores próximos a 1,1 g cm⁻³ en la mayoría de los suelos.

TABLA 2
VALORES MEDIOS Y DESVIACIÓN TÍPICA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS NUEVE SUELOS ESTUDIADOS

Mean values and standard deviation of the physical and chemical properties of the nine soils studied

Prof. (cm)	T. F. < 2 mm	D. A. g cm ⁻³	pH KCl	C ¹	N ¹	S ¹	p ² mg kg ⁻¹	K ³	Ca ³	Mg ³	Na ³	Mn ³
				%				cmolc kg ⁻¹				
0-10	56,8 (12,2)	1,0 (0,2)	3,6 (0,4)	7,9 (3,5)	0,43 (0,17)	0,04 (0,02)	7,6 (13,2)	4,2 (1,9)	1,3 (1,6)	2,5 (2,4)	6,5 (1,2)	0,20 (0,23)
10-35	33,9 (18,2)	1,1 (0,2)	3,8 (0,4)	5,1 (2,4)	0,26 (0,15)	0,03 (0,02)	3,8 (7,9)	2,7 (1,4)	1,2 (2,0)	1,3 (1,7)	5,3 (1,2)	0,16 (0,22)
35-70	36,8 (13,9)	1,2 (0,3)	4,0 (0,4)	2,5 (0,9)	0,11 (0,04)	0,02 (0,01)	1,8 (1,6)	2,1 (1,1)	0,7 (0,9)	1,0 (1,7)	5,3 (1,5)	0,17 (0,24)

T. F.: Tierra fina; D. A.: Densidad aparente

¹ Contenidos totales; ² extraíble con reactivo Melich III; ³ intercambiable

En relación a las características químicas, se observó que todos los suelos estudiados mostraron una fuerte reacción ácida, con valores de pH en KCl inferiores a 4,0. Otra característica importante fueron los altos contenidos de materia orgánica en el horizonte superficial, siempre superiores al 7 %. El contenido de N total normalmente fue superior a 0,35 %, mientras que las relaciones C/N de los horizontes superficiales oscilaron entre 16 y 23. El contenido en S total del suelo, fue también poco variable, normalmente superior a 0,03 %.

Es difícil estimar la cantidad de N disponible para las plantas a lo largo de varios turnos. Sólo una parte importante de este N total puede mineralizarse durante varios años. Diferentes trabajos, tanto en suelos forestales como agrícolas (Waring y Schlesinger, 1985), muestran que la proporción de este N total que es potencialmente mineralizable se puede estimar en el 40 % del N total del suelo.

En cuanto al P extraíble en reactivo Melich III, se pueden destacar los bajos niveles encontrados en ocho de las nueve plantaciones, con niveles inferiores a 6 mg kg⁻¹. En relación con la fuerte acidez de los suelos, la cantidad de cationes básicos de cambio fue siempre muy baja, especialmente en los horizontes subsuperficiales, reflejando los menores contenidos en materia orgánica. Los elementos de cambio siguen el orden decreciente de acumulación: Na > K > Mg > Ca > Mn.

Las condiciones de baja fertilidad observadas en estos suelos responden por una parte al fuerte lavado al que están sometidos como consecuencia de la elevada precipitación y el predominio en el suelo de minerales de baja alterabilidad, constituidos por micas alteradas, caolinita y óxidos de Fe y Al.

Contenido de biomasa arbórea aérea y distribución en fracciones

En la Tabla 3 se muestran las cantidades de biomasa aérea de las diferentes plantaciones estudiadas distribuidas en sus diferentes componentes. Normalmente se cumple el siguiente orden de acumulación de biomasa: madera > corteza > ramas > hojas > ramillos.

TABLA 3
CANTIDAD DE BIOMASA SECA (MG HA⁻¹) FRACCIONADA EN LOS
DIFERENTES COMPONENTES ARBÓREOS DE LAS NUEVE
PLANTACIONES ESTUDIADAS

Dry biomass quantity (Mg ha⁻¹) in the different tree components of nine plantations studied

Parcela	Madera	Corteza	Ramas gruesas	Ramas finas	Rami- llos	Hojas	Bioma- sa total
Armental	66,3	11,6	4,5	5,8	1,3	8,3	97,8
Cangas	54,7	8,3	1,3	2,0	1,0	4,4	71,6
Cordido	41,7	7,3	1,5	2,7	1,2	6,1	60,5
Edrosa	499,8	56,0	20,8	20,3	10,9	36,3	644,0
Ferreiramión	158,0	27,5	12,5	4,6	4,7	17,2	224,7
Ferreira	117,3	15,8	2,0	5,7	1,2	8,9	150,9
Nadou	24,5	4,7	1,8	1,8	0,7	2,1	35,7
Villar	87,3	13,6	2,9	3,2	2,2	6,7	116,1
Villarín	*	*	17,4	2,8	1,2	3,8	25,2

* Puesto que se trata de árboles muy jóvenes, la mayor parte del tronco no superaba los 4 cm de diámetro con corteza, por lo que en las ramas gruesas se incluyen la escasa madera y ritidoma.

Los datos son valores medios de los cuatro árboles estudiados por plantación.

Values are means of the four trees studied in each stand.

La madera presenta porcentajes bastante constantes, en torno a 73 %, mientras que, por el contrario, la proporción de hojas es bastante variable, oscilando entre 6 y 15 %. Estos datos coinciden, en líneas generales, con los observados en otros estudios (Birk y Turner, 1992; Hopmans *et al.*, 1993; Spangenberg *et al.*, 1996). Si bien las diferencias más destacables con respecto a esos trabajos son los menores porcentajes de madera y los mayores de hojas que se han encontrado en las plantaciones del presente trabajo.

La producción anual de la biomasa aérea varía considerablemente entre las diferentes plantaciones, lo que refleja las diferentes calidades de estación de las plantaciones estudiadas. La producción de biomasa total media de las dos plantaciones más adultas por año es de 11,3 Mg ha⁻¹ año⁻¹, que es inferior a las producciones observadas por Spangenberg *et al.* (1996) en Brasil y Judd *et al.* (1996), en Australia.

Concentración de nutrientes en las fracciones de la biomasa aérea

Los niveles de nutrientes de la biomasa se recogen en la Tabla 4. La madera es la fracción que cuenta con las concentraciones más bajas de todos los elementos, a excepción del C. En la fracción foliar, por el contrario, se registran los niveles de concentración más elevados de N, P y K, mientras que la corteza presenta las mayores concentraciones de Ca y Mg. Patrones similares de distribución de nutrientes se han observado en otros estudios sobre *Eucalyptus globulus* en Huelva (González Esparcia *et al.*, 1985) y en Portugal (Cortez y Madeira, 1998) u otras especies de eucaliptos (Hopmans *et al.* 1993; Judd *et al.*, 1996). Sin embargo, existen algunos estudios en los que los niveles más altos de Mg se registran en las hojas (Birk y Turner, 1992; González Esparcia *et al.*, 1985; Hopmans *et al.*, 1993).

TABLA 4
CONCENTRACIONES MEDIAS DE NUTRIENTES EN LOS DIFERENTES COMPONENTES DE LA BIOMASA AÉREA Y DE LOS HORIZONTES ORGÁNICOS EN LAS NUEVE PLANTACIONES ESTUDIADAS (MG G⁻¹). SE PRESENTAN TAMBIÉN LOS NIVELES FOLIARES ENCONTRADOS EN OTROS TRABAJOS

Average nutrient concentrations (mg g⁻¹) in above-ground tree biomass components and in litter layer at nine plantations studied. The foliage concentrations reported by other studies are also shown

Fracción		C	S	N	P	Ca	Mg	Na	K	Mn
Madera	Media	465	0,20	0,44	0,05	0,82	0,08	1,70	1,32	0,51
	D. típica	(3)	(0,09)	(0,10)	(0,04)	(0,37)	(0,08)	(0,22)	(0,19)	(0,79)
Corteza	Media	431	0,45	2,73	0,10	11,19	0,90	2,76	3,85	1,62
	D. típica	(5)	(0,16)	(0,46)	(0,03)	(4,67)	(0,95)	(0,52)	(0,65)	(1,47)
Ramas gruesas	Media	461	0,29	1,93	0,07	3,10	0,27	2,08	2,76	1,28
	D. típica	(6)	(0,10)	(0,47)	(0,01)	(1,32)	(0,23)	(0,28)	(0,46)	(1,57)
Ramas finas	Media	471	0,30	3,83	0,08	3,96	0,29	2,86	3,27	1,24
	D. típica	(4)	(0,08)	(1,80)	(0,02)	(2,08)	(0,29)	(0,63)	(0,46)	(1,51)
Ramillos	Media	485	0,40	5,48	0,14	6,83	0,38	4,30	5,34	0,95
	D. típica	(6)	(0,08)	(0,95)	(0,03)	(4,36)	(0,40)	(0,68)	(0,79)	(0,98)
Hojas	Media	531	1,00	13,07	0,23	6,13	0,58	4,09	5,55	1,14
	D. típica	(6)	(0,23)	(1,18)	(0,03)	(2,43)	(0,55)	(0,41)	(1,26)	(1,05)
Horizonte orgánico	Media	463	0,92	12,36	0,12	6,62	0,39	2,03	2,56	1,24
	D. típica	(14)	(0,14)	(2,30)	(0,10)	(6,05)	(0,66)	(2,40)	(0,94)	(1,57)
HOJAS (A)				7,80	0,54	14,40	1,62		4,98	
HOJAS (B)				11,75	0,68	12,59	1,72		5,54	
HOJAS (C)			0,6-2,8	1,1-3,4	0,11-10	1,1-5,4	0,8-17,3	0,2-13,6	1,0-30	0,01-4
HOJAS (D)			1,0-2,0	10-23	0,5-1,5	5-10	2-4	0,5-5	4-14	0,1-1,0

(A) Hojas + Ramillos. González Esparcia *et al.* (1985). *E. globulus* de 10 y 11 años en Huelva.

(B) Corteza y Madeira (1998). *E. globulus* de siete años en Pegoes (Portugal).

(C) Judd *et al.* (1996). Rango observado en diferentes especies de eucaliptos.

(D) Judd *et al.* (1996). Rango típico encontrado en diferentes especies de eucaliptos.

Las diferencias entre plantaciones jóvenes y adultas fueron pequeñas para todos los nutrientes. Aun así, se aprecia que las plantaciones jóvenes presentaron niveles algo más elevados de N y S, mientras que en las más maduras, se observaron concentraciones más elevadas de Ca y Mg.

Estado nutricional de las plantaciones en base a análisis de hojas y ramillos

El estudio del estado nutricional de las masas se ha realizado en función de la composición de hojas y ramillos, así como de la aplicación de diferentes relaciones entre nu-

trientes. Diferentes autores (Attiwill y Adams, 1996) destacan la elevada eficiencia con que el eucalipto aprovecha los nutrientes limitantes. Por este motivo, es difícil establecer niveles de referencia apropiados que indiquen deficiencias nutricionales, por lo que en muchas ocasiones se emplean niveles típicos (concentraciones encontradas en la mayoría de los casos). Los valores de referencia que se han empleado en este trabajo son los rangos típicos, recogidos por Judd *et al.* (1996) para diferentes especies de eucaliptos. También se han empleado los niveles óptimos para el crecimiento de *Eucalyptus grandis*, propuestos por Schönau y Herbert (1983). Ambos se recogen en la Tabla 5 donde la concentración se expresa en mg g^{-1} .

TABLA 5
RANGOS TÍPICOS DE CONCENTRACIÓN FOLIAR (MG G^{-1}) PARA
DIFERENTES ESPECIES DE EUCALIPTOS Y NIVELES ÓPTIMOS EN
Eucalyptus grandis

*Typical ranges of foliage concentration (mg g^{-1}) to different eucalypt species and optimum levels in *Eucalyptus grandis**

	N	P	K	Ca	Mg
Rangos típicos (Judd <i>et al.</i>, 1996)	10-23	0,5-1,5	4-14	5-10	2,0-4,0
Niveles óptimos (Schönau y Herbert, 1983)	20,0-22,2	1,4-1,8	10,4-11,4	11,5-16,0	2,6-3,5

Los análisis foliares para las diferentes plantaciones revelaron que ninguno de los elementos estudiados alcanzó su correspondiente nivel óptimo para el crecimiento. Las concentraciones de algunos nutrientes, como el Ca, K y N, se encuentran en el rango de los valores típicos, aunque en los límites más inferiores de éstos. Las concentraciones de Mg y P se encontraron por debajo de los valores de rangos típicos.

Con respecto a plantaciones de *Eucalyptus globulus* de otras zonas de la península Ibérica, los niveles de P, Ca y Mg son sustancialmente inferiores a los observados en Huelva (González Esparcia *et al.*, 1985) y Portugal (Cortez y Madeira, 1998). Las bajas concentraciones foliares de P encontradas están relacionadas con los bajos niveles disponibles de este elemento en los suelos, normalmente inferiores a 6 mg kg^{-1} . Esta baja disponibilidad de P en los suelos se relaciona, a su vez, con su bajo contenido en el material geológico de partida y con la fuerte acidez de los suelos, que favorece las formas de P poco asimilables en el medio (Gil-Sotres y Díaz-Fierros, 1982; Fernández Marcos, 1997). De igual modo, las bajas concentraciones foliares de Ca y Mg en estas plantaciones se encuentran relacionadas con los bajos niveles de estos elementos disponibles en el suelo.

Los valores de N foliar de estas plantaciones son superiores a los encontrados por otros autores (González Esparcia *et al.*, 1985; Cortez y Madeira, 1998), lo que puede estar relacionado con los mayores contenidos de N total y las menores relaciones C/N observadas en estos suelos. Los niveles de K son similares a los encontrados en esos mismos estudios.

Por otra parte, Grove (1990) observó que en eucaliptos, los análisis nutricionales de los ramillos pueden ser igual o mayormente útiles que los de las hojas para determinar de-

ficiencias o requerimientos de nutrientes. En este trabajo, los niveles de concentración de los ramillos son sensiblemente más bajos que los de las hojas en todos los elementos (Tabla 4), a excepción del Ca, cuyos valores son mayores en los ramillos y muy variable entre plantaciones. Los niveles de Mg y K encontrados en los ramillos de las plantaciones estudiadas también son inferiores a los encontrados por Grove (1990) en *E. diversicolor*.

Además de las concentraciones de nutrientes de forma individual, el diagnóstico nutricional de masas forestales también se puede realizar a través de las relaciones entre determinados nutrientes (Schönau, 1981, 1982; Schönau y Herbert, 1983; Ward *et al.*, 1985; Olsen y Bell, 1990; Prado y Toro, 1996). De este modo, una relación muy vinculada con la producción es la de N:P, para la cual Cromer *et al.* (1981); Prado y Toro (1996) sugirieron valores óptimos entre 13 y 15 para *E. globulus*. Como se puede apreciar en la Tabla 6, todas las plantaciones mostraron relaciones N:P muy superiores a los valores de referencia.

TABLA 6
VALORES MEDIOS Y DESVIACIONES TÍPICAS DE LAS RELACIONES NUTRICIONALES EN HOJAS Y RAMILLOS EN LAS PLANTACIONES ESTUDIADAS. TAMBIÉN SE MUESTRAN LAS RELACIONES OBSERVADAS EN OTROS TRABAJOS

Mean and standard deviation of ratios between nutrients in foliage and twigs. The ratios reported by other studies are also shown

		N:P	N:K	K:P	Ca:Mg
HOJAS	Media	57	2,4	25	15,7
	Desv. típica	4	0,5	7	10,8
RAMILLOS	Media	39	1,0	38	26,9
	Desv. típica	7	0,1	7	22,1
HOJAS	(1)	14	1,6	9	8,9
HOJAS	(2)	17	2,1	8	7,3
HOJAS	(3)	15			
HOJAS	(4)	18	3,5	5	> 3,3
HOJAS	(5)	13	3,9		

Otras relaciones comúnmente empleadas son N:K, Ca:P y Ca:Mg, cuyos valores se encuentran también recogidos en la Tabla 6. Las relaciones foliares N:K encontradas en las parcelas de estudio (con una media de 2,4) fueron inferiores a los valores de referencia ofrecidos por Herbert (1996) para *E. grandis* y Prado y Toro (1996) para *Eucalyptus globulus*. Las relaciones K:P fueron muy superiores a las observadas por Herbert (1996) o a las observadas por Judd *et al.* (1996). En cuanto a los valores de la relación Ca:Mg, éstos mostraron gran variabilidad. Tan sólo en una parcela esta relación se encontró por

debajo del nivel de referencia de 3,3 (Herbert, 1996), mientras que el resto mostró valores superiores.

Además de la comparación con los niveles de referencia, la evaluación del estado nutricional de estas plantaciones se efectuó en base a los «Porcentajes de la desviación respecto al óptimo» (Montanes *et al.*, 1993). En la Fig. 1 se recogen las desviaciones del porcentaje óptimo de las concentraciones medias en hoja de las nueve plantaciones estudiadas.

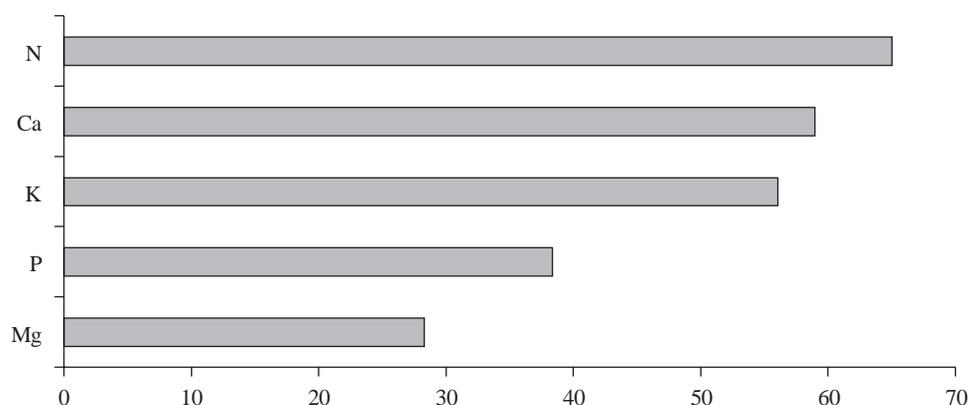


Fig. 1.—Porcentajes de la desviación respecto al óptimo (según Montanes *et al.*, 1993) de las concentraciones medias en hoja de las nueve plantaciones

Percentage of deviation from optimum (%) of mean values foliage concentrations from the nine plantations studied

Como se observa, el Mg y el P son los elementos cuyas concentraciones se alejan en mayor medida del porcentaje óptimo total (100 %). Esto confirma que estos nutrientes son los que en mayor medida actúan limitando la producción de las plantaciones estudiadas. Estos datos coinciden con los resultados obtenidos en ensayos de fertilización con P, N y K realizados en la región, donde se observaron incrementos de la producción e incrementos de P foliar después de la fertilización con P (Fernández *et al.*, 1998; González-Río *et al.*, 1997).

Distribución de nutrientes en los componentes aéreos

En función de su mayor acumulación de biomasa, los contenidos de nutrientes de las plantaciones maduras son considerablemente superiores a los de las plantaciones jóvenes (Tabla 7).

La madera, que representa un 73 % del peso seco, acumula casi la mitad del P, K y S del total de la biomasa aérea, y entre el 20 y 30 % de N, Ca y Mg. Por otra parte, la corteza, que constituye el 11 % de la biomasa, acumula el 50 % del Ca y Mg, así como el 20 %

TABLA 7

DISTRIBUCIÓN MEDIA DE LOS NUTRIENTES ENTRE LOS DIFERENTES COMPONENTES ARBÓREOS Y EN EL SUELO DE LAS PLANTACIONES JÓVENES Y ADULTAS

Mean values of nutrient distribution in the tree biomass components and soil in the plantations studied

A) PLANTACIONES JÓVENES (n = 6)

	Peso seco	C	S	N	P	K	Ca	Mg
	(Mg ha ⁻¹)					(kg ha ⁻¹)		
Madera	54,9 (23,9)	25,4 (11,1)	13,3 (6,1)	26,3 (14,4)	2,2 (1,5)	73,6 (37,7)	37,6 (20,6)	3,4 (1,8)
Restos de corta	21,4 (4,4)	10,1 (2,1)	13,5 (4,3)	122,7 (33,9)	2,8 (0,7)	88,1 (21,7)	150,6 (46,7)	9,9 (4,1)
Corteza	9,1 (3,5)	3,9 (1,5)	4,9 (1,9)	26,6 (11,3)	0,9 (0,5)	34,2 (12,1)	96,7 (44,5)	5,9 (3,9)
Ramas	5,6 (1,3)	2,6 (0,6)	1,8 (0,4)	17,1 (12,4)	0,4 (0,2)	16,9 (5,4)	18,1 (5,0)	1,3 (0,3)
Ramillos	1,3 (0,5)	0,6 (0,3)	0,6 (0,3)	7,3 (3,0)	0,2 (0,1)	6,9 (5,6)	8,3 (3,0)	0,4 (0,3)
Hojas	5,2 (2,2)	2,9 (1,3)	6,2 (3,8)	71,6 (29,3)	1,3 (0,5)	30,1 (16,2)	27,4 (13,0)	2,4 (1,3)
TOTAL BIOMASA	76,0 (24,3)	35,5 (11,3)	26,8 (7,5)	149,0 (36,8)	5,0 (1,7)	161,7 (43,5)	188,2 (51,0)	13,3 (4,5)
Hor. orgánico	8,7 (4,0)	4,0 (1,9)	7,7 (3,4)	108,7 (55,5)	0,7 (0,7)	21,5 (10,0)	45,9 (40,6)	1,2 (0,6)
Suelo mineral¹		115,9 (48,5)	788,1 (311,9) *	2.336,6 (880)	310,6 (103,8)	310,6 (103,8)	34,4 (21,5)	30,3 (26,0)
Hor. Ah1 (0-10 cm)¹		49,3 (24,5)	252,4 (116,6) *	1.030,4 (436,4)	6,3 (9,3)	95,2 (31,8)	11,2 (7,7)	15,3 (13,6)
TOTAL SUELO²		119,9 (48,5)	795,8 (311,9)	2.445,3 (881,7)	311,3 (103,8)	332,1 (104,3)	80,3 (45,9)	31,5 (26,0)

¹ Elementos disponibles. ² Total del horizonte orgánico + disponible en horizontes minerales.

* S total.

TABLA 7 (Cont.)

DISTRIBUCIÓN MEDIA DE LOS NUTRIENTES ENTRE LOS DIFERENTES COMPONENTES ARBÓREOS Y EN EL SUELO DE LAS PLANTACIONES JÓVENES Y ADULTAS

Mean values of nutrient distribution in the tree biomass components and soil in the plantations studied

B) PLANTACIONES ADULTAS (n= 3)

	Peso seco	C	S	N	P	K	Ca	Mg
	(Mg ha⁻¹)				(kg ha⁻¹)			
Madera	258,4 (210,1)	121,1 (9,9)	26,4 (18,2)	106 (103)	13,4 (9,7)	309,5 (192,9)	167,9 (48,4)	21,9 (21,9)
Restos de corta	81,5 (27,2)	38,5 (12,7)	33,7 (14,8)	435 (202,1)	9,9 (4,01)	325,3 (75,9)	520,1 (178,3)	63,2 (47,0)
Corteza	33,1 (20,7)	14,4 (9,0)	8,8 (3,7)	85 (67)	3,4 (2,1)	115,5 (40,0)	309,9 (165,1)	37,3 (43,7)
Ramas	22,0 (9,4)	10,3 (4,4)	4,2 (1,1)	59 (16)	2,0 (1,1)	61,9 (22,5)	47,8 (10,9)	6,8 (5,2)
Ramillos	5,6 (4,9)	2,7 (2,3)	1,9 (1,5)	26 (19)	0,7 (0,5)	28,1 (19,1)	26,4 (9,8)	3,0 (3,2)
Hojas	20,8 (14,1)	11,1 (7,4)	18,9 (14,2)	266 (189)	4,5 (3,2)	119,9 (57,3)	134,1 (65,7)	16,0 (16,3)
TOTAL BIOMASA	339,9 (211,8)	159,7 (16,1)	60,1 (23,5)	541 (226,8)	23,3 (10,5)	634,8 (207,3)	688,0 (184,7)	85,1 (51,8)
Hor. orgánico	32,8 (20,2)	14,9 (8,9)	33,5 (21,9)	382 (200)	4,4 (4,6)	87,8 (81,7)	173,9 (118,8)	39,1 (58,9)
Suelo mineral¹		109,8 (25,4)	780,7 (261,9) *	2.122 (187,6)	3,5 (2,1)	317,3 (332,4)	30,4 (18,3)	62,5 (51,1)
Hor. Ah1 (0-10 cm)¹		30,2 (3,3)	152,1 (37,8) *	705 (62)	1,1 (0,9)	97,8 (84,1)	8,13 (5,0)	18,2 (14,1)
TOTAL SUELO²		124,7 (26,9)	814,3 (262,8)	2.504 (274,2)	7,9 (5,06)	405,1 (342,3)	204,3 (120,2)	101,6 (78,0)

¹ Elementos disponibles. ² Total del horizonte orgánico + disponible en horizontes minerales.

* S total.

de N, P y K de la biomasa aérea. Las hojas, con un 6 % de la biomasa total, acumulan la mitad del N, el 30 % del P y el 20 % del Ca, Mg y K.

Con todo ello podemos concluir que la mayor parte del P, K y S acumulado en la biomasa se localiza en la madera, mientras que el Ca y Mg se concentran en mayor medida en la corteza. El N se acumula preferentemente en las hojas. Estos resultados se aproximan, en líneas generales, a los encontrados en la bibliografía (Hopmans *et al.*, 1993; Spangerberg *et al.*, 1996; Cortez y Madeira, 1998), donde se señala el importante papel de las hojas y la corteza como reservóreo importante de muchos nutrientes, pero especialmente de N, Ca, Mg y, en menor medida de P, K.

Contenidos de nutrientes en la biomasa y su relación con los de los suelos

En la Tabla 7 se recogen la cantidades de nutrientes, en kg ha^{-1} , contenidas en la biomasa aérea (madera y componentes no maderables) y en los suelos (horizontes minerales y orgánicos). La Fig. 2 muestra la distribución en porcentajes de esas cantidades.

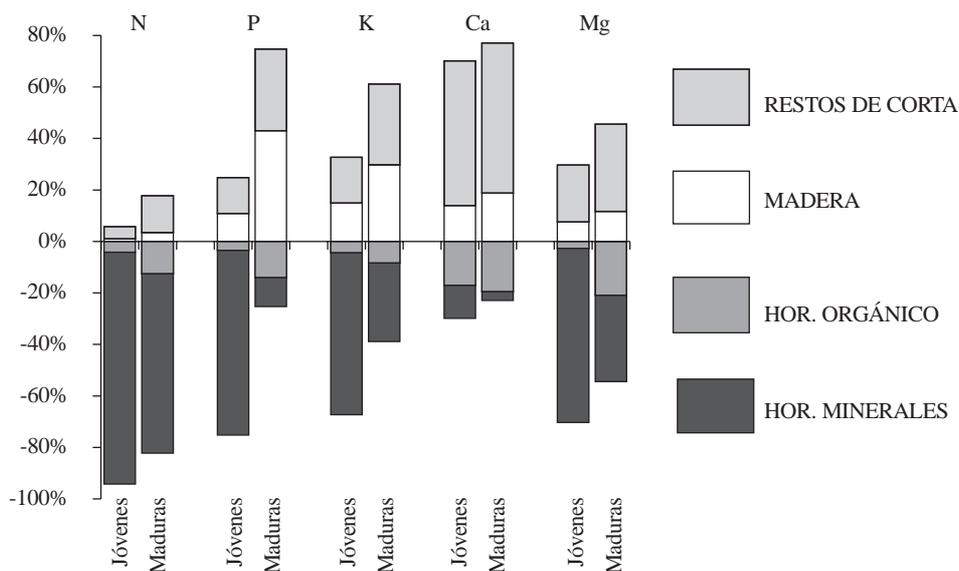


Fig. 2.—Distribución de nutrientes en el sistema, en porcentajes (%)

Nutrient distribution (%) in the forest system from the plantations studied

Con respecto a las reservas de nutrientes en el suelo, la biomasa de las plantaciones de fin de turno acumula mayores cantidades de elementos que las cantidades de P, K y Ca disponibles en los suelos (Tabla 7, Fig. 2). Habría que considerar, no obstante, las cantidades de estos elementos que pueden ser restituidos por alteración y por medio de aportes

de lluvia. Un reciente estudio a nivel cuenca en Galicia (Dambrine *et al.*, 1999) ha mostrado 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 *Eucalyptus globulus* y *Pinus pinaster*.

Por el contrario, las cantidades de N acumuladas en la biomasa son sustancialmente inferiores a las reservas potencialmente disponibles de este elemento en el suelo. En una situación intermedia se encuentra el Mg, elemento que se acumula a partes iguales en la biomasa y en el suelo.

Los restos de corta (corteza, ramas y hojas) acumulan la mayor parte del Ca y del Mg contenidos en la biomasa aérea y suponen buena parte del P, K y N de ésta (Tabla 7, Fig. 2). Además, las cantidades acumuladas de Ca, Mg, K, y P en esta fracción no maderable son iguales o mayores que las cantidades disponibles de estos elementos en el suelo.

Las cantidades de N y K acumuladas en el horizonte orgánico del suelo en las plantaciones jóvenes de este estudio son superiores a los de la plantación de siete años de edad estudiada por Cortez y Madeira (1998) (44 y 12 kg ha⁻¹, respectivamente). Por el contrario, las cantidades de P, Ca y Mg son más bajas que las de la plantación de Portugal (2,3, 131 y 10,4, kg ha⁻¹, respectivamente).

Con respecto al total del suelo, el horizonte orgánico de las plantaciones adultas representa considerables proporciones del Mg, Ca y P acumulados en el suelo (Fig. 2). Además, los contenidos de estos mismos nutrientes en este horizonte suponen el 21, 20 y 14 %, respectivamente, de las cantidades acumuladas en el sistema (suelo + biomasa arbórea aérea).

Se puede destacar que buena parte de estos nutrientes en las plantaciones jóvenes se presentan principalmente en el horizonte superficial del suelo (0-10 cm) (casi la mitad del N, P, K y Mg y un 30 % del Ca y S), lo cual es de vital importancia, debido a que la mayor exploración por las raicillas se realiza en este horizonte.

Estudios similares realizados en eucaliptos han señalado la importante acumulación de algunos nutrientes en la biomasa con respecto a las reservas en el suelo (Turner y Lambert, 1986; Hopmans *et al.*, 1993; Spangenberg *et al.*, 1996; Cortez y Madeira, 1998). En función de las diferentes condiciones y situaciones existen, no obstante, algunas diferencias entre los resultados obtenidos en este estudio con los observados en otras zonas. Así por ejemplo Cortez y Madeira (1998) encontraron mayores reservas de Mg de cambio en el suelo que el acumulado en la vegetación. Mientras que en el trabajo de Hopmans *et al.* (1993) destaca los menores porcentajes de P en madera.

Posibles implicaciones del manejo de los restos de corta en la producción de biomasa de eucalipto y la conservación de los suelos forestales

Los resultados anteriores muestran que a lo largo del turno, la fracción no maderable de la biomasa y el horizonte orgánico del suelo acumulan una parte considerable de determinados elementos nutritivos que, debido a sus bajas concentraciones en la planta, limitan la producción de estas masas. De este modo, estos dos componentes acumulan en las plantaciones adultas un 46, 70, 78 y 55 % del P, K, Ca y Mg del sistema, siendo la corteza la fracción donde más se acumulan éstos. Estos datos muestran el importante papel de los restos de corta y del horizonte orgánico como reserva de nutrientes.

Los datos sugieren que si tras el aprovechamiento, estas fracciones son retiradas de la plantación, el sistema perderá una importante cantidad de nutrientes. Por este motivo, el

manejo de estos componentes puede afectar de manera especial a la disponibilidad de elementos en el suelo, cuya restitución en suelos de baja fertilidad depende de la descomposición de los residuos orgánicos (Waring y Schelsinger, 1985).

En este sentido, algunos trabajos muestran cómo los turnos de corta reducidos acompañados de manejos selvícolas que implican la retirada de restos y/o del horizonte orgánico pueden reducir la fertilidad y la conservación de los suelos (Tuttle *et al.*, 1985; Smith *et al.*, 1994; Tiarks y Haywood, 1996; Merino *et al.*, 1998). Esta situación puede limitar el estado nutricional y crecimiento de posteriores rotaciones, tal como observaron Tuttle *et al.* (1985); Hendrickson *et al.* (1989); Smith *et al.* (1994) y, en el norte de la península Ibérica (Merino y Edeso, 1999).

El método de aprovechamiento comúnmente empleado para esta especie en Galicia conlleva la extracción de trozas dejando los restos de corta *in situ*, los cuales se queman o se apilan en cordones. Sin embargo, en muchas plantaciones la corteza puede ser extraída del monte, con la correspondiente pérdida de restitución de los nutrientes que ésta contiene.

En relación con lo anterior, en plantaciones de eucalipto en Galicia, se ha observado cómo la incorporación al suelo de los restos de corta mejora las condiciones físicas y químicas del suelo (Fernández Marcos *et al.*, 1993; Herráez y Fernández Marcos, 1996) y, en consecuencia, mejora el crecimiento y el estado nutricional de las plantaciones (Jones *et al.*, 1999).

CONCLUSIONES

La gran acumulación de nutrientes que realiza la fracción no maderable así como el horizonte orgánico del suelo en relación al sistema forestal, nos indica que las técnicas de preparación del terreno que incluyen la retirada o la quema de los residuos de corta y del horizonte orgánico, implican la pérdida de una substancial cantidad de nutrientes del sistema de estas plantaciones. Para algunos de estos nutrientes, como el P y el Mg, para los cuales tanto las plantaciones como los suelos son deficitarios, la descomposición de los restos de tala constituye la principal vía de restitución al suelo de estos elementos, puesto que algunos estudios muestran que la alteración mineral puede no ser suficiente para su reposición. Con todo ello, la extracción total de la biomasa aérea y del horizonte orgánico podrían reducir en el futuro la fertilidad y la capacidad productiva de estos suelos.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó en colaboración con CEASA, S.A. (Departamento Agroforestal), de Navia, Asturias (actualmente ENCE). Nuestro agradecimiento al personal técnico y laboral de la empresa por su apoyo logístico y trabajo de campo.

Este trabajo ha sido financiado a través del proyecto de investigación, concedido por la Xunta de Galicia, «Caracterización del ciclo de nutrientes para el aprovechamiento sostenido del eucalipto en Galicia (XUGA 29105 A96)».

Los autores desean expresar su agradecimiento al Dr. Roque Rodríguez Soalleiro por los consejos proporcionados durante la realización del trabajo y por la revisión crítica del manuscrito.

SUMMARY

Nutrient distribution in *Eucalyptus globulus* plantations from NW Spain

Nutrient concentration and distribution in the aboveground tree biomass, litter layer and mineral soil were determined in nine plantations of *Eucalyptus globulus* (6-18 years old) from NW Spain. In mature plantations, the total quantities of P, K, Ca and Mg in tree biomass were higher than available quantities of P, K, Ca and Mg in the soil. The logging residues (bark, branches, twigs and leaves), representing the 25 % of the total aboveground biomass, accumulated more than half of the tree biomass nutrients (N, K, Ca and Mg). These tree biomass components also accounted for more than 30 % of the P, Ca and Mg of the forest system. The organic horizon of soil in mature plantations also constituted an important reserve of limiting nutrients, specially of P, Ca and Mg. These results show the importance of logging residues and soil humus layer to avoid the loss of fertility after harvesting.

KEY WORDS: *Eucalyptus globulus*
Forest nutrition
Nutrient distribution
Logging residues
Organic horizon

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATTIWILL P.M., ADAMS M.E., 1996. P. M. Attiwill, M. A. Adams. (Eds.) Nutrition of Eucalyptas. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
- BIRK E.M., TURNER J., 1992. Response of flooded gum (*Eucalyptus grandis*) to intensive cultural treatments: biomass and nutrient content of eucalypt plantations and native forests. For. Ecol. Manage., 47, 1-28.
- CALVO DE ANTA R., 1992. El eucalipto en Galicia. Sus relaciones con el medio natural. Universidad de Santiago de Compostela. A Coruña
- CARBALLEIRA A., DEVEGA C., RETUERTE R., SANTILLÁN E., UCIEDA F., 1983. Bioclimatología de Galicia. Fundación Barrié de la Maza, A Coruña.
- CORTEZ N., MADEIRA M., 1998. The effect of *Eucalyptus globulus* plantations on soil nutrient status. 16 Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Montpellier, Francia.
- CROMER R.N., CAMERON D., CAMERON J.N., FLINN D.W., NIELSEN W.A., RAUPACH M., SNOWDON P., WARING H.D., 1981. Response of eucalypt species to fertilizer applied soon after planting at several sites. Aust. For. 3-13.
- DAMBRINE E., VEGA J.A., TABOADA T., RODRÍGUEZ L., FERNÁNDEZ C., MACÍAS F., GRAS J.M., 1999. Bilans d'éléments minéraux dans de petits bassins versants forestiers de Galice (NW Espagne). Ann. Sci. For. (en prensa).
- EDESO J.M., MERINO A., GONZÁLEZ M.J., MARAURI P., 1999. Soil erosion under different harvesting managements in steep forestlands from Northern Spain. Land Degrad. Developm, 10, 79-88.
- FAO/UNESCO, 1991. Mapa mundial de suelos. FAO/UNESCO. Roma
- FERNÁNDEZ A., GONZÁLEZ DEL RÍO, F., MERINO A., 1998. Efectos de la fertilización sobre las concentraciones foliares de nutrientes en *Eucalyptus globulus*. Memoria de la Universidad de Santiago de Compostela para CEASA. Inédito.
- FERNÁNDEZ LÓPEZ A., 1982. Evaluación de la producción y productividad del monte bajo de *Eucalyptus globulus*. Publicaciones del Centro Forestal de Lourizán (Pontevedra).
- FERNÁNDEZ MARCOS M.L., HERRÁEZ L., FERNÁNDEZ CARRO O., 1993. Organic matter management in *Eucalyptus* forestry to enhance soil structure, stability and nutrition. Commission of the European Communities. Directorate-General for Agriculture. DGVI FII. 3.
- FERNÁNDEZ MARCOS M.L., 1997. Evaluación en cámara de crecimiento de tres métodos de determinación de fósforo asimilable en suelos no calcáreos. Edafología, 3, 189-203
- GIL-SOTRES F., DÍAZ-FIERROS F., 1982. El fósforo en suelos forestales de la sierra de Barbanza (Galicia, España). II. Estudio de la retención del P: relación entre la sorción y las propiedades de los suelos. Agrochimica 26, 204-212.

- GONZÁLEZ ESPARCIA E., PENALVA RODRÍGUEZ F., GÓMEZ ALTAMIRANO C., 1985. Exigencias nutritivas del *Eucalyptus globulus* en el suroeste español comparadas con las de otras especies. *Anales del INIA*, 9, 63-74.
- GONZÁLEZ-RÍO F., LÓPEZ J., ASTORGA R., CASTELLANOS A., FERNÁNDEZ O., GÓMEZ C., 1997. Fertilización y control de la vegetación accesoria en plantaciones de eucalipto. *Comunicaciones II Congreso forestal español*, 3, 271-276.
- GROVE T.S., 1990. Twig and foliar nutrient concentration in relation to nitrogen and phosphorus supply in a eucalypt (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell.) and an understorey legume (*Bossiaea laidlawiana* Tovey and Morris). *Plant and Soil* 126, 265-275.
- GUITIÁN F., CARBALLAS T., 1976. Técnicas de análisis de suelos. Pico Sacro. Santiago de Compostela.
- HENDRICKSON O.Q., CHATARPAUL L., BURGESS D., 1989. Nutrient cycling following hole tree and conventional harvesting in northern mixed forest. *Can. J. For. Res.* 19, 725-735.
- HERBERT M.A., 1996. Fertilizers and eucalypt plantations in South Africa. En: P. M. Attiwill, M. A. Adams, (Eds.) *Nutrition of Eucalypts*, 123-153. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
- HERRÁEZ L., FERNÁNDEZ MARCOS M.L., 1996. Structural properties of two soils under eucalypt as influenced by organic debris management in a two-year experiment. 2nd Int. Congr. Development and Implementation of Soil Conservation Strategies for Sustainable Land Use, Munich. Alemania.
- HOPMANS P., STEWART H.T.L., FLINN D.W., 1993. Impacts of harvesting on nutrients in an eucalypt ecosystem in southeastern Australia. *For. Ecol. Manage.*, 59, 29-51.
- JONES H.E., MADEIRA M., HERRÁEZ L., DIGHTON J., FABIAO A., GONZÁLEZ-RÍO F., FERNÁNDEZ MARCOS M., GÓMEZ C., TOMÉ M., FEITH H., HOWSON G., 1999. The effect of organic matter management methods on the productivity of *Eucalyptus globulus* stands in Spain and Portugal: tree production and litter decomposition in relation to site and treatment. *For. Ecol. Manage.* 122 (1-2), 73-86.
- 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: P. M. Attiwill, M. A. Adams. (Eds.) *Nutrition of Eucalypts*, 123-153. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
- MCLAUGHLIN M.J., 1996. Phosphorus in Australian forest soils. P. M Attiwill, M. A Adams (Eds.) *Nutrition of Eucalypts*, 1-30. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
- MELlich A., 1984. Mellich N.^o 3 extractant: a modification of Mellich N.^o 2 extractant. *Comm. Soil Sci. Plant. Anal.* 15, 1409-1416.
- MERINO A., EDESO J.M., 1999. Soil fertility rehabilitation in young *Pinus radiata* D. Don. plantations from northern Spain after intensive site preparation. *For. Ecol. Manage.* 116, 83-91.
- MERINO A., EDESO J.M., GONZÁLEZ M.J., MARAURI P., 1998. Soil properties in a hilly area following different harvesting management practices. *For. Ecol. Manage.* 103, 235-246.
- MONTANES L., HERAS L., ABADLA J., SANZ M., 1993. Plant analysis interpretation based on a new index: deviation from optimum percentage (DOP). *J. Plant Nutr.* 16 (7), 1289-1308
- OLSEN J.K., BELL L.C., 1990. A glasshouse evaluation of «critical» N and P concentrations and N:P ratios in various plant parts of six eucalypt species. *Australian Journal of Botany* 38, 281-298.
- PRADO D. J.A., TORO V. J.A., 1996. Silviculture of eucalypt plantations in Chile. En: P. M. Attiwill, M. A. Adams, (Eds.) *Nutrition of Eucalypts*, 123-153. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
- RUBIO B., GIL-SOTRES F., 1997. Distribution of four major forms of potassium in soils of Galicia (N.W. Spain). *Commun. Soil Sci. Plant. Anal* 28, 1805-1816.
- SCHÖNAU A.P.G., 1981. The effects of fertilizing on the foliar nutrient concentrations in *Eucalyptus grandis*. *Fertilizer Research* 2, 73-87.
- SCHÖNAU A.P.G., 1982. Additional effects of fertilizing on several foliar nutrient concentrations and ratios in *Eucalyptus grandis*. *Fertilizer Research* 3, 385-397.
- SCHÖNAU A.P.G., HERBERT M.A., 1983. Relationship between growth rate, fertilizing and foliar nutrient concentrations for *Eucalyptus grandis*. *Fertilizer Research* 4, 369-380.
- SMITH C.T., DYCK W.J., BEETS P.N., HODGKISS P.D., LOWE A.T., 1994. Nutrition and productivity of *Pinus radiata* following harvest disturbance and fertilization of coastal sand dunes. *For. Ecol. Manage.* 66, 5-38.
- SPANGENBERG A., GRIMM U., SEPEDA DA SILVA J.R., FÖLSTER H., 1996. Nutrient store export rates of *Eucalyptus urograndis* plantations in eastern Amazonia (Jari). *For. Ecol. Manage.*, 80: 1996, 225-234.
- STEWART H.T.L., HOPMANS P., FLINN D.W., CROATTO G., 1990. Harvesting effects on phosphorus availability in a mixed eucalypt ecosystem in southern Australia. *For. Ecol. Manage.* 36, 149-162.
- TIARKS A.E., HAYWOOD J.D., 1996. Site preparation and fertilization effects on growth of slash pine for two rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 1654-1663.
- TURNER J., LAMBERT M.J., 1986. Effects of forest harvesting nutrient removals on soil nutrient reserves. *Oecologia* 70, 140-148.

- TUTTLE C.L., GOLDEN M.S., MELDAHL R.S., 1985. Surface soil removal and herbicide treatment: effects on soil properties and loblolly pine early growth. *Soli Sci. Soc. Am. J.* 49, 1558-1562.
- WARD S.C., PICKERSGILL G.E., MICHAELSEN D.V., BELL D.T., 1985. Response to factorial combinations of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers by saplings of *Eucalyptus saligna* Sm., and the prediction of the responses by DRIS. *Australian Forest Research* 15, 27-32.
- WARING R.H., SCHLESINGER W.H., 1985. *Forest Ecosystems*. Academic Press, Orlando, FL.
- XUNTA DE GALICIA, 1998. Consellería de Agricultura Gandería e Montes. Anuario de estadística agraria.

