

# EFECTO DE LA TALA DE *PINUS PINASTER* SOBRE LA EFICIENCIA Y CAPACIDAD DE REABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN EJEMPLARES JÓVENES DE *QUERCUS ROBUR*

Felisa Covelo Núñez

Dpto. Sistemas Físicos, Químicos y Naturales, Universidad Pablo de Olavide. 41013-SEVILLA (España). Correo electrónico: fcovnun@upo.es

## Resumen

La reabsorción de nutrientes es un mecanismo importante para la conservación de nutrientes para las plantas, que a nivel intraespecífico puede variar significativamente dependiendo de los cambios en la disponibilidad de nutrientes. En este trabajo examinamos los efectos de la tala de pinos sobre la reabsorción de N y P en ejemplares jóvenes de roble pedunculado (*Quercus robur*) viviendo bajo la cubierta de pinos, a lo largo de 4 años de estudio. Los resultados obtenidos mostraron una disminución en la concentración de  $\text{N-NH}_4^+$  en los dos años posteriores a la tala, que no afectó a la concentración de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ . La relación foliar N/P fue mayor en las parcelas forestadas, pero indicó una posible limitación por el P en ambas zonas de estudio. La eficiencia en la reabsorción de N presentó valores medios comprendidos entre 16,4% y 48,9% en las zonas forestadas y del 12,2% y 70,5% en las taladas. La eficiencia en la reabsorción de P mostró valores comprendidos entre el 12% y 55,7% en las zonas forestadas y entre 12,2 y 70,5% en las deforestadas. Para ambos nutrientes, las diferencias interanuales en la reabsorción fueron superiores a las diferencias debidas a la perturbación. La capacidad de reabsorción de P fue significativamente superior a la de N en las dos zonas de estudio. Los resultados muestran que las diferencias entre años constituyen la principal fuente de variación en la eficiencia y capacidad de reabsorción de N y P.

Palabras clave: *Nitrógeno, Fósforo, Roble pedunculado, Pino marítimo*

## INTRODUCCIÓN

La reabsorción de nutrientes es un proceso asociado a la senescencia de la hoja que permite a la planta una menor dependencia de la absorción de nutrientes del suelo y de las fluctuaciones en su disponibilidad (AERTS, 1996). La reutilización de nutrientes que de otro modo se perderían con la hojarasca, supone un importante mecanismo de conservación de nutrientes, especialmente en el caso del nitrógeno (N) y del fósforo (P),

nutrientes limitantes del crecimiento de las plantas en muchos ambientes naturales (VITOUSEK & HOWARTH, 1991; AERTS, 1997). La cantidad de nutrientes reabsorbidos durante la senescencia de la hoja puede variar significativamente entre los individuos de una misma población (KILLINGBECK, et al., 1990; MAY & KILLINGBECK, 1992), indicando que no siempre se alcanzan los niveles máximos potenciales de reabsorción. A nivel intraespecífico, las variaciones en la disponibilidad de nutrientes pueden ejercer un control

sobre la reabsorción. Perturbaciones como la tala, pueden producir una variación en la disponibilidad de recursos (ej. aumento de la disponibilidad de luz y posible pérdida de materia orgánica y nutrientes en el suelo, asociada al aumento de los procesos erosivos).

En este trabajo examinamos el efecto de la tala de pinos sobre la eficiencia en la reabsorción de nutrientes (cantidad relativa reabsorbida) así como en la capacidad de reabsorción (concentración terminal en hojas senescentes; KILLINGBECK, 1996) en ejemplares jóvenes de roble que se desarrollan en el pinar.

## METODOLOGÍA

### Diseño de muestreo

El estudio se llevó a cabo en un bosque de *Pinus pinaster* en el NO de la península (42° 10' N, 08° 40' W), con un área aproximada de 40 ha, y con una densidad aproximada de pinos de 400 árboles ha<sup>-1</sup>. Bajo el dosel de pinos, el roble pedunculado (*Quercus robur*), aparece como especie dominante del sotobosque. En el verano de 1995, se talaron los pinos en distintas zonas viéndose afectada una superficie aproximada al 50% del área de estudio, donde el roble pedunculado pasó a constituir el único estrato arbóreo. El diseño del muestreo consistió en el establecimiento de 4 bloques en la zona de estudio, en cada uno de los cuales se delimitaron una parcela talada y una parcela control (forestada). En cada parcela se tomaron de manera aleatoria 5 muestras de suelo (15 muestras de suelo por tratamiento) y 15 individuos jóvenes de roble (entre 10–15 años), de los que se tomaron muestras de hojas (entre 20–25 por individuo) de diferentes posiciones de la copa. Los muestreos se llevaron a cabo con una periodicidad mensual durante los años 1996, 1998, 1999 y 2000.

### Análisis de las muestras

Las muestras de suelo se secaron en la estufa a una temperatura de 50°C hasta alcanzar peso constante. A partir de estas muestras se determinó el contenido de P inorgánico extraíble con ácido acético al 2,5%, el contenido de nitrógeno inorgánico (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) mediante la extracción con KCl 1M, y la mineralización

potencial neta de N, mediante incubación de las muestras en condiciones de humedad y T<sup>a</sup> constantes y posterior extracción con KCl 1M. El análisis de P y N en los extractos de suelo se llevó a cabo mediante colorimetría por los métodos de azul de molibdeno y azul de indofenol respectivamente, según el procedimiento propuesto por SIMS et al. (1995). El contenido en materia orgánica del suelo se determinó mediante combustión a 500 °C (ALLEN et al., 1974).

Las muestras de hojas se pesaron y se escanearon, determinándose su área mediante el software procesador de imágenes UTHSCSA Image Tool 2.0 (ftp://maxrad6.uthscsa.edu). Posteriormente se secaron en la estufa a una temperatura de 50°C hasta peso constante. Para la determinación de su contenido en N y P, las muestras fueron digeridas en medio ácido (WALINGA et al., 1995) y analizadas colorimétricamente (SIMS et al., 1995).

### Eficiencia y capacidad de reabsorción

La eficiencia en la reabsorción de nitrógeno y fósforo (NRE, PRE) se calculó como porcentaje de la cantidad máxima de nutrientes en las hojas antes de la senescencia, según la expresión:  $NRE = (N_{\text{área}} \text{ de hoja verde} - N_{\text{área}} \text{ de hoja senescente}) / N_{\text{área}} \text{ de hoja verde}$

El cálculo se llevó a cabo en unidades de superficie de hoja para corregir posibles variaciones en el peso específico de la hoja durante la senescencia (AERTS, 1996; VAN HEEWAARDEN et al., 2003). La capacidad de reabsorción de nitrógeno y fósforo (NRP, PRP) correspondió al contenido mínimo de estos nutrientes en las hojas senescentes por unidad de peso de hoja (% peso seco) (KILLINGBECK, 1996).

### Tratamiento de los datos

Los datos fueron analizados mediante un ANOVA de medidas repetidas para determinar diferencias significativas entre tratamientos (forestado vs. deforestado) y entre años (n = 4). Antes de su análisis se testó la normalidad de los datos (test de Kolmogorov- Smirnov) y homogeneidad de la varianza (test de Levene), transformándose logarítmicamente cuando no se cumplió alguna de estas asunciones. Los intervalos de confianza para los índices de eficiencia fueron estimados mediante técnicas de permutación (jackknife) y comparados

mediante el test *t* de Student. El tratamiento estadístico de los datos se llevó a cabo con el programa STATISTICA 5.0 (STATSOFT, INC., 1995).

## RESULTADOS

En el año posterior a la tala se observó una disminución significativa en el contenido de materia orgánica del suelo en las zonas taladas (Tabla 1). Del mismo modo, la concentración de  $\text{N-NH}_4^+$  disminuyó en los dos años posteriores a la tala en las zonas perturbadas, pero no afectó a la concentración de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ , que presentaron valores relativamente bajos en ambas zonas (Tabla 1).

La concentración de N en las hojas verdes fue significativamente inferior en las zonas taladas, mientras que las diferencias en la concentración foliar de P dependieron del año considerado (Tabla 1). La relación foliar N/P presentó valores anuales medios comprendidos entre 20 y 28,5 en las zonas forestadas y entre 12,8 y 22,7 en las taladas, observándose una tendencia hacia el aumento durante el período de estudio en ambas zonas (Tabla 1).

La eficiencia en la reabsorción de N presentó valores medios comprendidos entre 16,4% y 48,9% en las zonas forestadas y del 12,2% y 70,5% en las taladas. La eficiencia en la reabsorción de P mostró valores comprendidos entre el 12% y 55% en las zonas forestadas y entre 12,2 y 70,5% en las deforestadas. Con excepción del año 1998, la eficiencia en la reabsorción de P fue más variable (CV) que la reabsorción de N, en las dos zonas de estudio (Tabla 1). Para ambos nutrientes, las diferencias interanuales en la reabsorción fueron superiores a las diferencias debidas a la perturbación (Tabla 2).

La capacidad de reabsorción de N fue significativamente mayor en las zonas forestadas, aunque analizadas año por año, las diferencias sólo fueron significativas en 1996 y 1999 (Tablas 1 y 2; Figura 1). La capacidad de reabsorción de P no presentó diferencias significativas entre las dos zonas de estudio (Tabla 2). La capacidad de reabsorción de P fue significativamente superior a la de N, con niveles terminales de P en las hojas indicativos de una reabsorción intermedia (< 0,08%) o completa (< 0,05%), mientras que la reabsorción de N fue incompleta a lo largo del

período estudiado, con niveles de N superiores al 1,0% en las hojas senescentes (Figura 1).

## DISCUSIÓN

Los resultados observados a lo largo del período de estudio sugieren una capacidad de recuperación de los niveles de materia orgánica y  $\text{NH}_4^+$  en el suelo tras una perturbación, que no concuerdan con lo sugerido por otros autores para otras plantaciones de coníferas en el mismo tipo de ecosistema (MERINO *et al.*, 1998; MERINO & EDESO, 1999). Estos autores muestran que bajos niveles de materia orgánica y N total en el suelo se mantienen hasta 4 años tras una tala intensa. La concentración de  $\text{NO}_3^-$  edáfico no se vió afectado por la tala, posiblemente debido a los bajos niveles de  $\text{NO}_3^-$  encontrados en los pinares estudiados. La concentración de  $\text{PO}_4^{3-}$  en el suelo tampoco varió significativamente con la tala. En suelos ácidos, este elemento puede ser menos susceptible a las pérdidas por lavado y escorrentía que el nitrógeno, ya que interacciona con sesquióxidos de hierro y aluminio en el suelo (SCHLESINGER, 1997). Este mecanismo de control geoquímico del fosfato disminuye su salida del ecosistema en ecosistemas perturbados (VITOUSEK & HOWARTH, 1991). Las relativamente bajas concentraciones de  $\text{PO}_4^{3-}$  en el suelo en comparación con el N mineral (< 1:50) sugiere que el P podría ser el principal nutriente limitante del crecimiento de plantas en esta comunidad de plantas. En este sentido, la relación N/P observada en las hojas en ambas zonas (> 16) indicaría una posible limitación por el P (KOERSELMAN & MEULEMAN, 1996; VERHOEVEN *et al.*, 1996, TESSIER & RAYNAL, 2003). En el primer año, la relación foliar N/P en las zonas taladas indicaría una limitación del crecimiento por el nitrógeno, posiblemente debido a las pérdidas iniciales de este nutriente en el suelo, que nosotros detectamos como disminución de la concentración de  $\text{NH}_4^+$ . La mayor capacidad de los robles de ambas zonas para reabsorber P en comparación con el N es compatible con la posible limitación por el P indicada por las bajas concentraciones de P en el suelo y la alta relación foliar N/P. Además, exceptuando 1998, año en el que la efi-

	1996			1998			1999			2000		
	Control	Talado	P > F	Control	Talado	P > F	Control	Talado	P > F	Control	Talado	P > F
	Suelo											
Materia orgánica (%)	26,2 (0,7)	23,3 (0,5)	<0,001	31,3 (1,0)	30 (1,4)	N.S.	22,8 (0,8)	24,9 (1,4)	NS	21,6 (1,4)	24,3 (1,7)	NS
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µg g <sup>-1</sup> )	2,8 (0,1)	2,7 (0,1)	NS	1,2 (0,1)	1,2 (0,1)	N.S.	0,9 (0,03)	0,9 (0,04)	NS	0,9 (0,07)	0,9 (0,04)	NS
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µg g <sup>-1</sup> )	49,7 (2,2)	34,3(1,8)	<0,01	126 (7,8)	101 (6,9)	<0,05	50,2 (3,7)	45,1 (2,6)	NS	49,4 (4,8)	49,6 (2,6)	NS
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µg g <sup>-1</sup> )	<1	<1	-	48,8 (5,9)	35,4 (2,9)	N.S.	9,12 (1,1)	8,35 (1,1)	NS	6,36 (0,6)	5,0 (1,1)	NS
Tasa neta mineralización (µg g <sup>-1</sup> día)	5,9 (0,9)	4,6 (0,6)	NS	3,0 (0,8)	2,8 (0,3)	N.S.	2,3 (0,2)	1,8 (0,4)	NS	3,0 (0,50)	2,5 (0,3)	NS
Hojas												
N hoja verde (mg g <sup>-1</sup> )	22,0 (0,5)	17,9 (0,8)	<0,001	20,5 (0,6)	20,7 (0,6)	NS	21,3 (0,2)	18,8 (0,3)	<0,001	28,4 (1,2)	24,4 (0,4)	<0,01
P hoja verde (mg g <sup>-1</sup> )	1,04 (0,05)	1,3 (0,09)	<0,01	0,93 (0,03)	1,03 (0,03)	NS	1,07 (0,02)	0,88 (0,03)	<0,001	1,02 (0,04)	1,11 (0,05)	NS
N / P	19,9 (0,6)	12,8 (0,5)	<0,001	22,2 (0,7)	20,1 (0,9)	NS	20,2 (0,4)	19,9 (0,3)	NS	28,5 (0,9)	22,7 (0,8)	<0,001
N hoja senescente (mg g <sup>-1</sup> )*	13,4 (0,4)	9,1 (0,3)	<0,001	18,6 (0,8)	17,1 (0,7)	NS	12,6 (0,3)	11,5 (0,3)	<0,01	14,4 (0,3)	13,7 (0,4)	NS
P hoja senescente (mg g <sup>-1</sup> )*	0,56 (0,04)	0,53 (0,02)	NS	0,86 (0,04)	0,87 (0,05)	NS	0,65 (0,03)	0,45 (0,03)	<0,001	0,34 (0,02)	0,48 (0,02)	<0,001
NRE	46,4 (0,9)	68,8 (0,5)	<0,001	16,4 (0,9)	19,3 (1,1)	<0,05	43,1 (0,3)	45,3 (0,5)	<0,001	48,9 (0,3)	41,8 (0,4)	<0,001
PRE	52,7 (1,2)	70,4 (0,4)	<0,001	12,5 (0,7)	12,2 (0,7)	NS	28,3 (2,0)	53,4 (1,3)	<0,001	55,7 (0,6)	37,8 (1,3)	<0,001

Tabla 1. Media y error estándar (entre paréntesis) de las variables estudiadas en el suelo y en hojas de *Quercus robur* en zonas taladas y sin talar (control) durante 1996, 1998, 1999 y 2000. NS: p>0.05 \*,capacidad de reabsorción de nutriente

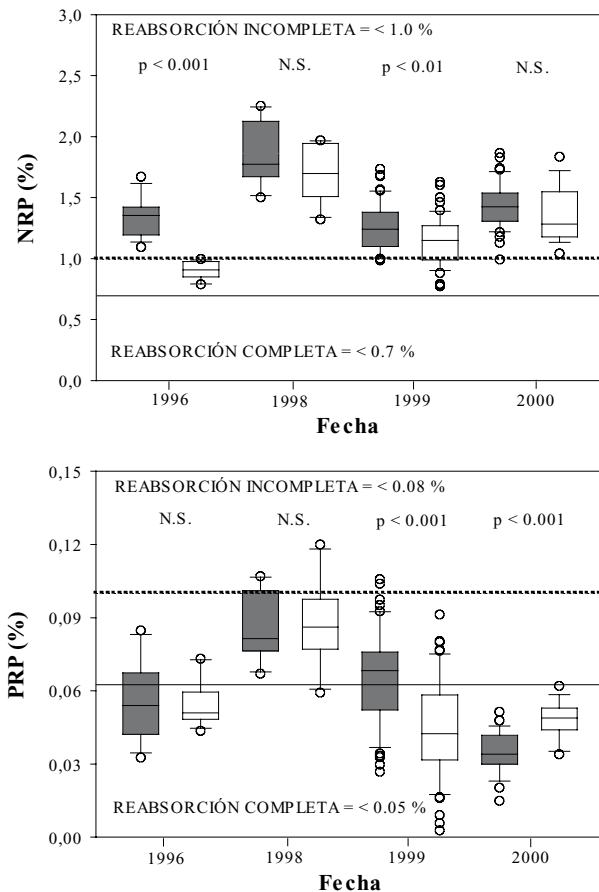
	df	MS	F	% variacion	p
<b>N hoja verde</b>					
Tratamiento	1	195,7	15,48	9,11	0,000
Año	3	626,7	49,57	87,51	0,000
Tratamiento x Año	3	24,19	1,91	3,38	0,129
<b>P hoja verde</b>					
Tratamiento	1	0,163	3,90	6,19	0,049
Año	3	0,326	7,82	37,16	0,000
Tratamiento x Año	3	0,497	11,92	56,65	0,000
<b>N hoja senescente*</b>					
Tratamiento	1	1,093	27,9	12,3	0,000
Año	3	2,434	62,1	82,3	0,000
Tratamiento x Año	3	0,164	4,2	5,4	0,007
<b>P hoja senescente*</b>					
Tratamiento	1	0,00006	0,2	0,17	0,639
Año	3	0,0089	32,5	74,04	0,000
Tratamiento x Año	3	0,0031	11,4	25,79	0,000
<b>NRE</b>					
Tratamiento	1	2554,2	108,9	2,6	0,000
Año	3	28326,2	1207,6	86,1	0,000
Tratamiento x Año	3	3706,7	158,0	11,3	0,000
<b>PRE</b>					
Tratamiento	1	3382,4	51,4	2,2	0,000
Año	3	41374,1	628,9	80,2	0,000
Tratamiento x Año	3	9095,5	138,3	17,6	0,000

**Tabla 2.** ANOVA de medidas repetidas para la concentración foliar y eficiencia en la reabsorción de nitrógeno y fósforo (NRE, PRE) como variables dependientes, en zonas taladas vs. forestadas (tratamiento), durante 1996, 1998, 1999 y 2000

ciencia en la reabsorción fue muy baja, los robles de ambas zonas son capaces de reducir su concentración de P en las hojas senescentes a niveles correspondientes a una reabsorción completa (< 0,05%) o, al menos, intermedia (0,05 – 0,08%), mientras que la concentración terminal de N en las hojas senescentes (>1.0%), indica una reabsorción incompleta de este nutriente.

Los resultados obtenidos muestran que las diferencias entre años constituyen la principal fuente de variación tanto en la eficiencia como en la capacidad de reabsorción de N y P. Esta elevada variación interanual en la reabsorción de nutrientes en los robles de zonas forestadas y taladas coincide con los resultados obtenidos en otros trabajos (KILLINGBECK *et al.*, 1990; MAY & KILLINGBECK, 1992; KILLINGBECK, 1993). Diversos factores que pueden interferir con los

mecanismos que controlan la reabsorción de nutrientes (ej. disponibilidad de nutrientes, agua, luz, etc.) han sido propuestos como las causas de que la reabsorción no alcance los niveles máximos potenciales, originando una gran variabilidad entre años (KILLINGBECK, 1996). En nuestro caso, en el año 1998 una intensa granizada provocó daños en las hojas, sufriendo posteriormente plagas de hongos y altas tasas de herbivoría. Este año tuvo lugar una abscisión prematura de las hojas que ocurrió a mediados del mes de diciembre. La falta de tiempo necesario para completar la reabsorción de nutrientes en la hoja supuso posiblemente una reducción en la tasa de reabsorción de N del 86% y hasta del 92% en el caso del P respecto a los demás años de estudio, contribuyendo de forma importante a la alta variabilidad interanual encontrada.



**Figura 1.** Capacidad de reabsorción de N (NRP) y P (PRP) en zonas forestadas (gris) y taladas (blanco), durante 1996, 1998, 1999 y 2000. La caja representa la media y los percentiles 25 y 75. Las líneas verticales indican los percentiles 10 y 90. Las líneas indican los umbrales para la reabsorción completa e incompleta señalados por KILLINGBECK (1996)

Los resultados de este trabajo muestran que, aunque se observan cambios significativos en los índices de reabsorción, existe una elevada variabilidad interanual en los procesos de reabsorción de nutrientes que puede enmascarar los efectos producidos por una perturbación intensa como la tala.

## BIBLIOGRAFÍA

- AERTS, R.; 1996. Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: are there general patterns? *J. Ecol.* 84: 597- 608.
- AERTS, R.; 1997. Nitrogen partitioning between resorption and decomposition pathways: a trade-off between nitrogen use efficiency and litter decomposibility? *Oikos* 80: 603-606.
- ALLEN, S.E.; GRIMSHAW, H.M; PARKINSON, J.A. & QUARMBY, C.; 1974. *Chemical Analysis of Ecological Materials*. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- KILLINGBECK, K.T.; 1993. Inefficient nitrogen resorption in genets of the actinorhizal nitrogen-fixing shrub *Comptonia peregrina*: physiological ineptitude or evolutionary trade-off? *Oecologia* 94: 542- 549.

- KILLINGBECK, K.T.; 1996. Nutrients in senesced leaves: keys to the search for potential resorption and resorption proficiency. *Ecology* 77: 1716-1727.
- KILLINGBECK, K.T.; MAY, J.D. & NYMAN, S.; 1990. Foliar senescence in an aspen (*Populus tremuloides*) clone: the response of element resorption to interramet variation and timing of abscission. *Can. J. For. Res.* 20: 1156-1164.
- KOERSELMAN, W. & MEULEMAN, A.F.M.; 1996. The vegetation N:P ratio: A new tool to detect the nature of nutrient limitation. *J. Appl. Ecol.* 33: 1441-1450.
- MAY, J.D. & KILLINGBECK, K.T.; 1992. Effects of preventing nutrient resorption on plant fitness and foliar nutrient dynamics. *Ecology* 73: 1868-1878.
- MERINO, A.; EDESO, J.; GONZALEZ, M. & MARAURI, P.; 1998. Soil properties in a hilly area following different harvesting management practices. *Forest Ecol. Manage.* 103: 235-246.
- MERINO, A. & EDESO, J.; 1999. Soil fertility rehabilitation in young *Pinus radiata* D. Don. plantations from northern Spain after intensive site preparation. *Forest Ecol. Manage.* 116: 83- 91.
- SCHLESINGER, W.H.; 1997. *Biogeochemistry: An analysis of global change*. Academic Press. San Diego, USA.
- SIMS, G.K.; ELLSWORTH, T.R. & MULVANEY, R.L.; 1995. Microscale determination of inorganic nitrogen in water and soil extracts. *Commun. Soil Sci. Plant* 26: 303-316.
- STATSOFT, INC.; 1995. *STATISTICA for Windows [Computer program manual]*. Statsoft, Inc., 2325 East 13<sup>th</sup> Street. Tulsa, OK.
- TESSIER, J.T. & RAYNAL, D.J.; 2003. Use of nitrogen to phosphorus ratios in plant tissue as an indicator of nutrient limitation and nitrogen saturation. *J. Appl. Ecol.* 40: 523-534.
- VAN HEERWAARDEN, L.M.; TOET, S. & AERTS, R.; 2003. Current measures of nutrient resorption efficiency lead to a substantial underestimation of real resorption efficiency: facts and solutions. *Oikos* 101: 664- 669.
- VERHOEVEN, J.T.A.; KOERSELMAN, W. & MEULEMAN, A.F.M.; 1996. Nitrogen- or phosphorus-limited growth in herbaceous, wet vegetation: Relations with atmospheric inputs and management regimes. *Trends Ecol. Evol.* 11: 494-497.
- VITOUSEK, P.M. & HOWARTH, R.W.; 1991. Nitrogen limitation on land and in the sea. How can it occur? *Biogeochemistry* 13: 87-115.