

ESTADO NUTRICIONAL DE POBLACIONES DE *QUERCUS SUBER* EN UN GRADIENTE DE DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA DE NITRÓGENO

Miguel Portillo Estrada, Lourdes Morillas Viñuales y Antonio Gallardo Correa

Departamento de Sistemas Físicos, Químicos y Naturales. Universidad Pablo de Olavide. Crta. Utrera km 1. 41013-SEVILLA (España). Correo electrónico: mickellez@gmail.com, lourdesmorillas@msn.com, agallardo@upo.es

Resumen

Se ha analizado el contenido foliar de N y P en hojas de *Quercus suber* tomadas de individuos localizados en parcelas al sur y norte del Parque Natural Los Alcornocales, así como la concentración de amonio, nitrato y fosfato bajo la copa de estos árboles en cuatro muestreos en el año 2007. Los cambios de N y P foliar muestran una dinámica distinta en el norte que en el sur del Parque, siendo la concentración de P significativamente menor en las poblaciones del sur del Parque. La relación N:P es superior a 18 en la mayoría de los individuos, especialmente al sur del Parque, sugiriendo limitación del crecimiento por P. La concentración de P en el suelo es también significativamente inferior al sur del Parque, salvo para el último muestreo de verano, donde desciende en el norte del Parque coincidiendo con un aumento en la concentración de N en las hojas. Estos resultados son compatibles con una mayor deposición de N atmosférico sobre las poblaciones del sur del Parque, anexas al polo industrial de la Bahía de Algeciras.

Palabras claves: *Nitrógeno foliar*, *Fósforo foliar*, *Relación N:P*, *Nutrientes del suelo*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la red EMEP de la Comunidad Europea ha venido detectando importantes tasas de emisión y deposición atmosférica de nitrógeno (N) y azufre atmosférico en el sur del Parque Natural de los Alcornocales, coincidiendo con la cercanía del Polígono Industrial químico de los Barrios (Cádiz), que tiene como consecuencia un exceso de carga crítica de nutrientes en el parque (Figura 1, KLEIN *et al.*, 2005).

Puesto que la mayoría de las emisiones de N y azufre se depositan a pocos kilómetros de su punto de emisión, es muy probable que el sur del parque se vea más afectado que el norte, estableciéndose de este modo un gradiente norte-sur que

podría llevar a la saturación por N en las zonas del Parque más afectadas, con los consecuentes efectos negativos sobre dichos ecosistemas.

En este trabajo se estudian los posibles efectos de este gradiente de deposición de N sobre las concentraciones de N y fósforo (P) en las hojas de alcornoco (*Quercus suber*), caracterizando también el estado nutricional del suelo (concentraciones de NH_4^+ , NO_3^- y PO_4^{3-}) y la disponibilidad relativa de N y P estimada a partir de su concentración foliar en hoja verde. En la presente comunicación se presentan los resultados de nitrógeno mineral (NH_4^+ y NO_3^-) y fósforo (PO_4^{3-}) en el suelo, nitrógeno y fósforo total en hojas, y la relación de estas variables entre sí (índices N:P) y con su ubicación dentro del parque.

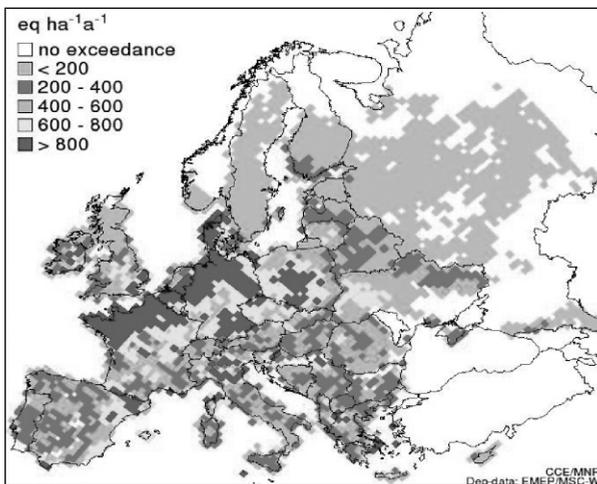


Figura 1. Mapa de la red EMEP sobre ecosistemas con exceso de carga de nitrógeno (2003)

Nuestra hipótesis de partida establece que los individuos de poblaciones de alcornoque del sur del Parque deberían mostrar signos de saturación de N, con mayores concentraciones de N y una mayor relación N:P que las poblaciones de alcornoque ubicadas al norte del parque, a una mayor distancia del foco contaminante.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El área de estudio está situada en la provincia de Cádiz, en el Parque Natural Los Alcornocales. Cuatro de las parcelas fueron ubicadas en el término municipal de Alcalá de los Gazules (norte del Parque), y las otras cuatro en el término de Los Barrios (sur del Parque).

Los suelos son tierras pardas desarrolladas sobre areniscas del Aljibe, y el perfil del suelo se corresponde al esquema general A(B)C. El horizonte A es de unos 20-25 cm, y de color pardo oscuro, tiene buena proporción de humus que proviene principalmente de la descomposición de hojas alcornoque y arbustos de monte bajo. Este horizonte A es suelto, permeable y contiene trozos de arenisca en mayor o menor grado de meteorización.

La vegetación del área de estudio corresponde a alcornocal, cuya serie de vegetación corres-

ponde al subdominio *Cytisetum-Quercetum suberis*, del dominio climácico *Quercion fagineae* var. *gaditana*. Las comunidades de este subdominio se encuentran en lugares umbrosos con humedad edáfica y suelos profundos con carácter ácido. La vegetación acompañante más significativa está representada por especies como *Allium triquetrum*, *Lavandula stoechas*, *Calycotome villosa* y *Phlomis purpurea*.

El clima dominante en la zona es mediterráneo, pero una serie de factores contribuyen a singularizarlo. La cercanía al mar provoca un efecto amortiguador de la oscilación térmica, manteniéndose éstas muy constantes y suaves durante todo el año. A ello hay que unir unas lluvias anuales que superan prácticamente los 800 mm, llegando en determinadas zonas a más de 1.400 mm por los frentes oceánicos que lo barren de oeste a este durante los meses de otoño, invierno y primavera. La topografía del parque, y la orientación de las elevaciones contribuyen a la formación de precipitaciones orográficas. Cabe destacar además la presencia de nieblas veraniegas que proporcionan humedad ambiental y precipitaciones horizontales en la larga estación seca característica del clima mediterráneo.

Diseño del muestreo

El diseño experimental consistió en la selección de 8 parcelas en el Parque Natural, cuatro

localizadas en el Norte (Alcalá de los Gazules) y otras cuatro en el Sur del parque (Los Barrios), e incluyendo exposición solana y umbría. Las parcelas norte y sur están separadas por una distancia aproximada de 30 km. Se escogieron 5 alcornoques en cada parcela atendiendo a resultados de eficiencia fotosintética (fluorimetría) en hojas para descartar árboles no sanos. Se presentan resultados de 4 muestreos (Invierno [Febrero]; Primavera [Abril]; Primavera2 [Mayo] y Verano [Julio]), donde se hicieron medidas fluorométricas para observar la evolución de los árboles donde se recogieron muestras de hojas verdes.

Se recogieron tres muestras de suelo (horizonte A) por cada árbol, que más tarde se homogenizarían en una sola muestra por cada individuo. Se utilizaron cilindros metálicos de 5 cm de diámetro x 15 cm de altura, y con ellos extraer una muestra de 10 cm del horizonte A. Se eligió esta profundidad porque en estos suelos, la mayor concentración de nutrientes se concentra en los primeros 10-15 cm. Estas muestras se utilizaron para caracterizar la disponibilidad de NH_4^- , NO_3^- y PO_4^{3-} en las zonas seleccionadas.

Análisis de laboratorio

Las muestras de hojas y suelos fueron trasladadas al laboratorio en neveras portátiles y procesadas en el menor tiempo posible. Las muestras vegetales fueron secadas en una estufa a 80°C durante una semana, posteriormente fueron molidas y almacenadas para los análisis de N y P foliar. Para el análisis de nitrógeno, las muestras de hoja fueron digeridas mediante una digestión Kjeldahl (WALINGA et al., 1995). Las alícuotas diluidas de la digestión fueron analizadas para el nitrógeno por colorimetría (método del azul de indofenol) usando un lector de microplacas (SIMS et al., 1995). El fósforo en el extracto digerido se analizó por colorimetría (método del azul de molibdeno, ALLEN et al., 1986).

Las muestras de suelo fueron secadas a 80°C durante una semana, molidas y tamizadas (malla de 2mm); posteriormente se realizó la extracción del suelo con 100 mL de SO_4K_2 0,5 M, agitadas durante una hora y la suspensión fue filtrada a través de filtros Millipore de 0,45 µm. Las alícuotas de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ + el $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (N mineral) de cada muestra se transfirieron a tres pic-

llos para su medición por colorimetría (método del azul de indofenol) en el lector de microplacas (SIMS et al., 1995). El nitrato fue reducido a amonio por la adición de Devarda, y se dejó reaccionando durante toda la noche, posteriormente se midió por colorimetría en el lector de microplacas. Los valores de nitrato se calcularon por diferencia del N mineral y el amonio (SIMS et al., 1995). El fósforo del suelo fue extraído con ácido acético al 2,5 % y determinado por colorimetría (método del azul de molibdeno, ALLEN et al., 1986).

Análisis estadístico

Se realizó un tratamiento de datos estadístico para estudiar la distribución de datos mediante la generación de Boxplots, en donde una caja representa el 50% de los datos junto con la mediana, y líneas verticales se extienden hasta los valores máximos y mínimos excluyendo los outliers y datos extremos. Se consideraron outliers (datos fuera de rango) y extremos (datos sin significado biológico) los que cumplían:

- Outliers: Valor > $\text{VSC} + \text{c.o.} \cdot (\text{VSC} - \text{VIC})$;
Valor < $\text{VSC} - \text{c.o.} \cdot (\text{VSC} - \text{VIC})$
- Extremos: Valor > $\text{VSC} + 2 \cdot \text{c.o.} \cdot (\text{VSC} - \text{VIC})$;
Valor < $\text{VSC} - 2 \cdot \text{c.o.} \cdot (\text{VSC} - \text{VIC})$

Siendo VSC el valor superior en la caja boxplot, VIC el valor inferior en la caja boxplot, y c.o. el coeficiente del outlier, que se tomó el valor 1.5

Para comprobar las diferencias entre parcelas ubicadas al norte y al sur y entre los diferentes muestreos del año se realizaron previamente pruebas de normalidad (95% de confianza) a los datos para conocer si los análisis posteriores debían ser paramétricos. Al obtener un alto número de rechazos de las hipótesis, se optó por analizar los valores mediante test no paramétricos (test de Kruskal-Wallis). Se tomó como nivel de significación de diferencias entre las distribuciones $p < 0.05$.

RESULTADOS

La variación de N foliar en los individuos de *Q. suber* presentó una dinámica diferente en las parcelas al sur y norte del Parque, con máximos en invierno en las parcelas sur, y en verano en

las parcelas norte (Figura 2a). También se observaron diferencias entre las concentraciones de P foliar entre parcelas, encontrándose más variación entre muestreos en las parcelas al sur que en las del norte (Figura 2b). Las diferencias en la concentración de N entre las parcelas norte y sur no fueron significativas, sin embargo las diferencias en las concentraciones de P sí lo fueron. Las diferencias entre muestreos de las concentraciones de N y P en hoja verde fueron significativas (Tabla 1).

Tanto en las parcelas norte como en las sur la mayoría de los individuos de alcornoques presentan una relación N:P>18, sugiriendo una limitación por P (KOERSELMAN & MEULEMAN, 1996). Los valores más altos de esta relación se encontraron en las parcelas sur en los muestreos de primavera, con valores que llegan a superar una relación N:P de 40, siendo las diferencias entre parcelas norte y sur significativas (Tabla 1, Figura 3).

Tanto en las parcelas norte como en las sur se aprecia una disminución del nitrógeno mine-

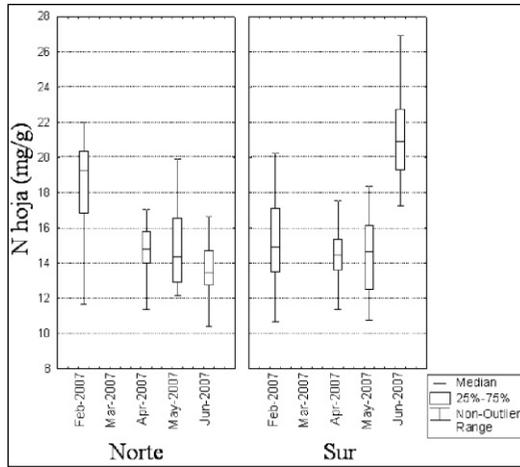


Figura 2a. Concentración de N en las hojas de *Quercus suber* al sur (izquierda) y norte (derecha) del P.N. Los Alcornocales

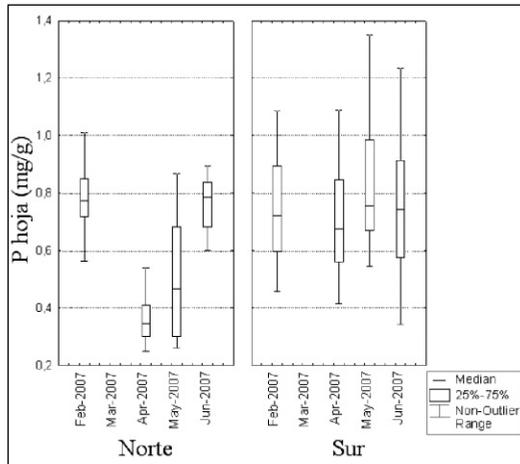


Figura 2b. Concentración de P en las hojas de *Quercus suber* al sur (izquierda) y norte (derecha) del P.N. Los Alcornocales

ral durante el periodo de muestreo (Figura 4a), no siendo significativas las diferencias en la concentración de N mineral (Tabla 1). Sin embargo, los suelos de las poblaciones de alcornoques del norte y sur del parque muestran una dinámica diferente en los cambios de la concentración de fósforo, con un descenso acusado de la concentración en verano en las parcelas del norte del Parque (Figura 4b), y con diferencias significativas entre el P extraíble del suelo.

DISCUSIÓN

Las dos poblaciones de alcornoque estudiadas (al norte y sur del Parque) muestran dinámicas del N y P foliar bien diferenciadas, sugiriendo que estas poblaciones se encuentran bajo condiciones ambientales bien distintas. Sorprende el rápido incremento en verano de la concentración de N en los árboles al norte del Parque, incremento que no se observa en las par-

| * | | media | sd | media | sd | p |
|-------|----------------------------------|--------------|-------|-------|------|-------|
| | | Sur | | Norte | | |
| Hojas | N-total | 15.43 | 3.58 | 16.61 | 3.51 | 0.099 |
| | P-total | 0.61 | 0.23 | 0.76 | 0.20 | 0.000 |
| | N:P | 29.73 | 12.92 | 24.86 | 8.29 | 0.002 |
| Suelo | N mineral | 4.52 | 1.45 | 4.59 | 2.39 | 0.751 |
| | PO ₄ ³⁻ -P | 1.46 | 0.84 | 2.39 | 1.66 | 0.013 |
| | N:P | 4.53 | 3.91 | 3.87 | 3.88 | 0.045 |
| | | chi-cuadrado | | | | p |
| Hojas | N-total | 18.738 | | | | 0.000 |
| | P-total | 28.949 | | | | 0.000 |
| | N:P | 11.834 | | | | 0.008 |
| Suelo | N mineral | 39.210 | | | | 0.000 |
| | PO ₄ ³⁻ -P | 29.289 | | | | 0.000 |
| | N:P | 13.180 | | | | 0.001 |

Tabla 1. Resultados del test no paramétrico Kruskal-Wallis. (*)Variable de agrupación: Situación (Norte, Sur); (**) Variable de agrupación: Mes

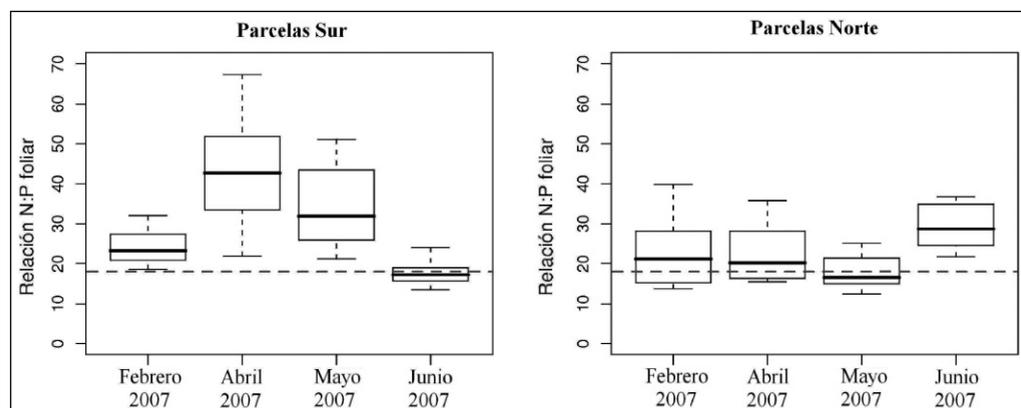


Figura 3. Relación N:P foliar en *Quercus suber* muestreado al sur (izquierda) y al norte (derecha) del P.N. Los Alcornocales en cuatro meses del año

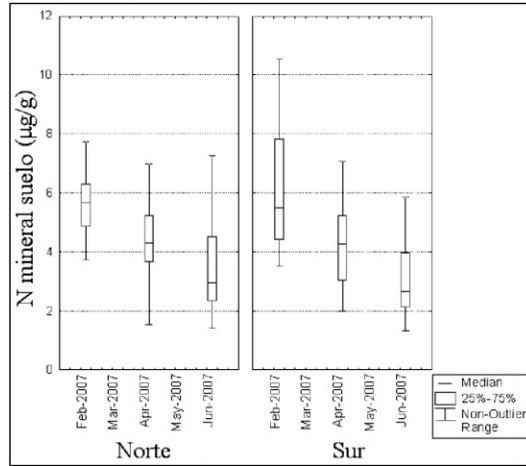


Figura 4a. Concentración de N mineral ($NH_4^+-N + NO_3^-N$) en el suelo bajo los individuos muestreados de *Q. suber*

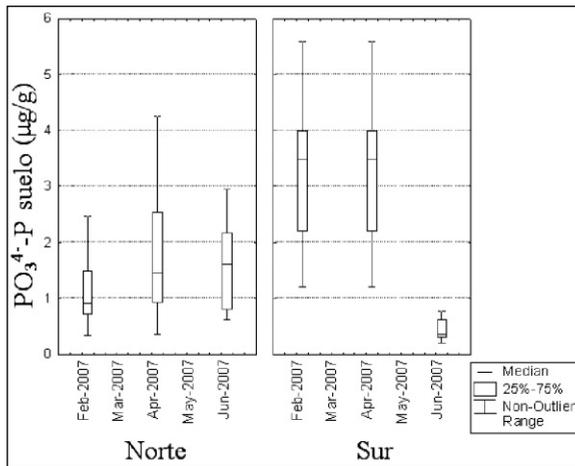


Figura 4b. Concentración de $PO_4^{3-}-P$ en el suelo bajo los individuos muestreados de *Q. suber*

celas del sur del Parque, y que sugiere un crecimiento más activo de estas poblaciones. Igualmente diferente se presenta la dinámica del P foliar en función de la ubicación dentro del Parque, con mayores variaciones entre muestreos en el sur, pero mayor variabilidad en cada muestreo en el norte. Al contrario que para el N, la concentración de P sí es significativamente menor en las parcelas sur. La relación N:P derivada de estos datos nos muestra una clara limitación del crecimiento de los alcornoques por la

disponibilidad de P ($N:P > 18$). Esta limitación es claramente mayor en las parcelas sur, las más cercanas al polo industrial de la Bahía de Algeciras. En las parcelas norte algunos individuos en los muestreos de primavera muestran una relación N:P entre 16 y 18, lo que KOERSELANAN Y MEULEMAN (1996) definen como co-limitación de N y P. Estos resultados son compatibles con la mayor tasa de deposición atmosférica a la que están sometidas las parcelas sur, y se encuentran reforzados por la baja dispo-

nibilidad de PO_4^{3-} durante la primavera que experimentan estas parcelas, y que podrían explicarse por una alta demanda de P por parte de plantas y microorganismos con alta disponibilidad de N (VITOUSEK, 2004). En las parcelas norte, la baja concentración de P en el suelo sólo se observa en el muestreo de verano, coincidiendo con el incremento observado en la concentración de N en los alcornoques del norte, y que puede incrementar la demanda de P (HERBERT & FOWNES, 1995).

Los resultados aquí obtenidos sugieren un importante efecto de la ubicación dentro del Parque en el estado nutricional del alcornoque, con una mayor limitación por la baja disponibilidad de P en los árboles del sur del parque, la zona sometida a una mayor tasa de deposición de N.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, S.E.; GRIMSHAW, H.M. & ROWLAND, P.; 1986. Chemical analysis. In: P.D. Moore & S.B. Chapman (eds.), *Methods in Plant Ecology*: 303–316. Blackwell Scientific. Oxford.
- HERBERT, D.A. & FOWNES, J.H.; 1995. Phosphorus limitation of forest leaf area and net primary productivity on a weathered tropical soil. *Biogeochemistry* 29: 223-235.
- KLEIN, H.; WIND, P. & VAN LOON, M.; 2005. *Transboundary air pollution by main pollutants (S, N, O₃) and PM. Spain*. EMEP status report 2005. Norwegian Meteorological Institute.
- 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.
- VITOUSEK, P.; 2004. *Nutrient Cycling and Limitation*. Princeton University Press. Oxford.
- WALINGA, I.; VAN DER LEE, J.J.; HOUBA, V.J.G.; VAN VARK, W & NOVOZAMSKY, I.; 1995 *Plant Analysis Manual*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.