



5º CONGRESO FORESTAL  
ESPAÑOL

# 5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

---

REF.: 5CFE01-177

Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León  
Ávila, 21 a 25 de septiembre de 2009  
ISBN: 978-84-936854-6-1  
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Variabilidad intraespecífica en el retorno de nutrientes al suelo de hojas de alcornoque (*Quercus suber* L.): Influencia de la distribución de nutrientes en suelo.

ANDIVIA MUÑOZ, E., VÁZQUEZ PIQUÉ, J., FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, M., MACÍAS FERNÁNDEZ, R.

Departamento de Ciencias Agroforestales. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Huelva. Campus de La Rábida 21819. Palos de la Frontera, Huelva, España.

Correo electrónico: enrique.andivia@dcaf.uhu.es

### Resumen

El conocimiento del ciclo biogeoquímico en ecosistemas forestales tiene gran importancia ya que permite realizar una gestión forestal basada en criterios técnicos y científicos. Dentro del ciclo biogeoquímico el desfronde está asociado con la transferencia de energía y nutrientes entre el árbol y el suelo siendo el punto de partida para el reciclado de nutrientes. Del desfronde total, una fracción significativa corresponde a la caída de hojas senescentes por lo que el estudio de esta fracción es importante para conocer el ciclo biogeoquímico total. El objetivo de este estudio es analizar si la distribución de nutrientes en suelo tiene influencia en la cantidad de nutrientes que es retornada al suelo por la fracción de hojas. Se seleccionaron doce árboles al azar en una dehesa del sur de Huelva y su desfronde se recogió mensualmente durante tres años. Las muestras se separaron en distintas fracciones (hojas, ramillos, amentos, frutos y otros) y se analizó la composición mineral en hoja (N, P, K, Ca, Mg, S). En una malla de 20x20 m se recogieron muestras de suelo a cuatro profundidades distintas y se analizaron los contenidos de N, P, K, Ca, Mg, S además de analizar pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y textura de cada muestra. Con los datos obtenidos se ha analizado la influencia de la distribución espacial de nutrientes en suelo sobre la variabilidad intraespecífica en el retorno de nutrientes por la fracción de hojas. Se han encontrado diferencias en la evolución mensual del aporte de nutrientes al suelo entre los años de estudios, se ha constatado una variación temporal dependiente de la fenología en el aporte de K al suelo y un efecto antagónico Ca-Mg, el resto de nutrientes no presentan un patrón de distribución espacial significativo.

### Palabras clave

Desfronde, ciclo geoquímico, nutrientes, dehesa, variabilidad espacial.

### 1. Introducción

Los alcornocales atesoran en su biomasa grandes cantidades de nutrientes. Los nutrientes contenidos en la madera quedan secuestrados del ciclo general durante largos periodos mientras que los presentes en hojas, flores y frutos circulan activamente en el ecosistema. Las hojas son muy ricas en nitrógeno, almacenan aproximadamente el 20% del existente en el ecosistema, y en menor medida en fósforo y potasio representando entre el 5 y el 10% de la biomasa total en las formaciones mejor conservadas (BLANCO *et al.*, 1998). El desfronde está asociado con la transferencia de energía y nutrientes entre el árbol y el suelo siendo el punto de partida para el reciclado de nutrientes (GRAY & SCHLESINGER, 1981). El conocimiento del ciclo de biomasa y nutrientes entre el suelo y los árboles, a través del desfronde, es uno de los aspectos fundamentales para una adecuada gestión de los bosques.

Esta tarea se dificulta en la región mediterránea, donde la economía de los recursos agua y nutrientes resulta crítica (ARIANOUTSOU, 1989).

La bibliografía existente es rica en cuanto al estudio del contenido de nutrientes en hojas de alcornoque (ESCUADERO & DEL ARCO, 1987; LEONARDI *et al.*, 1992; CARITAT *et al.*, 1996; ORGEAS *et al.*, 1996, 2002; ORGEAS, 1997; OLIVEIRA *et al.*, 1996; ROBERT *et al.*, 1996 Y PASSARINHO *et al.*, 2006.). Sin embargo la variabilidad en el aporte de nutrientes al suelo por parte del desfronde es a su vez causa y efecto de la variabilidad de la distribución de nutrientes en el suelo. En este sentido resulta imprescindible la elaboración de estudios completos de nutrientes en los que se analicen la variabilidad intraespecífica y la influencia de la distribución de los nutrientes en el suelo.

## 2. Metodología

### 2.1 Área de estudio.

La parcela donde se llevó a cabo el estudio está situada en el municipio de Hinojos, provincia de Huelva (suroeste de España), tiene una superficie de 1,9 ha, una densidad de 99,6 pies ha<sup>-1</sup> y 8,1 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> de área basimétrica, la forma de la parcela se aproxima a un rectángulo con longitud de 220 m y anchura máxima de 120 m (ver Figura 2). El área de estudio posee una pendiente escasa y se encuentra a una altitud de 100 m sobre el nivel del mar. Las coordenadas UTM del la zona central de la parcela son: 29S07280824133575. La especie predominante en la parcela es *Quercus suber* L. y como especie secundaria aparece *Quercus ilex* spp *ballota*, se trata de una masa natural de alcornoque sometida a descorche cada 9 años y a podas con la misma periodicidad. El rango de la circunferencia normal es de 48 a 170 cm con un valor medio de 89 cm (error típico 2,5 cm). La edad de la masa es desconocida debido a la dificultad de medición de la edad en esta especie y a la falta de referencias concretas en los proyectos de ordenación. El clima es mediterráneo genuino con una precipitación anual de 579 mm, la temperatura media anual es de 18,9 °C y existe un periodo de sequía de 5 meses con una alta variabilidad interanual.

Para la caracterización del suelo se realizaron dos calicatas, presentando éstos horizontes arenosos en superficie sobre horizontes argílicos. El suelo es un perfil complejo que se clasifica Regosol Háplico (Dístrico) sobre Regosol Estágnico (Dístrico) (WRB, 2007).

### 2.2 Toma de muestras.

La parcela de estudio cuenta con un total de 107 árboles, todos ellos han sido identificados numéricamente y tomado datos dendrométricos (circunferencia normal, altura total, altura de la primera rama viva y cuatro radios de copa) y de superficie de descorche, a partir de la cual se calculó la intensidad y coeficiente de descorche. Posteriormente se formaron tríos de árboles con similares características en cuanto a diámetro y coeficiente de descorche. Finalmente se seleccionaron al azar 2 árboles de la zona de mayor altitud de la parcela y 2 de la zona de menor altitud de la parcela al tener ambas densidades de individuos muy distintas. Estos 4 árboles junto con los correspondientes a su trío forman los 12 árboles objeto del presente estudio. La circunferencia normal de los árboles seleccionados abarca un rango de 68 a 109 cm con un valor medio de 87 cm (error típico 4,1 cm). Los árboles seleccionados están representados en la clase diamétrica central de la parcela, así el 50% de los árboles de la parcela tiene valores de circunferencia normal dentro del rango de los árboles seleccionados.

Para recoger el desfronde se colocaron 4 trampas de desfronde circulares, por árbol, de 0,16 m<sup>2</sup> en cada uno de los cuatro puntos cardinales y a una distancia correspondiente a las tres cuartas partes del radio de copa medido desde el tronco. La recogida de muestras se realizó con periodicidad mensual, desde Marzo de 2004 hasta Febrero 2007. En el laboratorio se separaron las distintas fracciones (hojas, ramillos, amentos, frutos y otros) y tras secado en estufa a 105° C durante dos días, se procedió al pesado de las muestras.

Para la toma de muestras de suelo se tomó la intersección de una malla de puntos de muestreo de 20x20 m. Se realizó en marzo de 2003 durante la instalación del dispositivo experimental en la parcela de estudio. De los puntos de muestreo resultantes han sido analizados los situados dentro de la parcela de estudio a excepción de los que se encontraban en zonas cercanas al límite de la misma. De cada punto se tomó una muestra de suelo con barrena, extrayendo una porción aproximadamente cada 25 cm de profundidad tomándose un mínimo de tres muestras y un máximo de cinco. La toma de muestras no tuvo una homogeneidad en cuanto a la profundidad a la que se tomaron; esto obligó a la elección de un valor medio ponderado dentro de cada punto. Este valor medio y los valores de la muestra superficial son los que han tenido consideración en el estudio.

### 2.3 Análisis de nutrientes.

El análisis de los distintos nutrientes aportados al suelo por el desfronde se realizó a partir de las hojas que fueron recogidas en las trampas circulares. El periodo analizado fue entre Marzo de 2004 y Febrero de 2007. Tras separar las distintas fracciones, se tomaron las hojas de cada árbol y se mezclaron las cuatro orientaciones. Posteriormente fueron molidas con un micromolino (0,8 mm de diámetro de poro de la rejilla). Para el análisis de nutrientes las muestras secas fueron calcinadas en un horno mufla a 550 °C durante aproximadamente 7 horas. Seguidamente se realizó una digestión ácida mediante HCl 5N y se diluyeron para su posterior análisis. Los nutrientes analizados fueron: N, P, K, Ca, Mg, S. Para el análisis del carbono y el nitrógeno de hoja se utilizó un analizador elemental Termo Finningan 1112 Series EA, para el resto de los nutrientes se utilizó un ICP-OES Yobin Yvon Última 2.

Los análisis del suelo se realizaron siguiendo distintos métodos: para el nitrógeno se utilizó el método Kjeldahl, para el fósforo Ultravioleta visible Extracción Mehlich-3 y para el resto se utilizó Espectrofotometría de absorción atómica Extracción Acetato Amónico. Además de los nutrientes analizados también se realizaron análisis de pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y textura de cada muestra.

### 2.4. Análisis de datos.

#### **Modelo de retorno de nutrientes a través del desfronde foliar.**

Se han utilizado los datos de los nutrientes analizados (en porcentaje) a partir de las hojas del desfronde recogidas para cada árbol. El análisis estadístico se ha realizado con datos correspondientes a dos ciclos de desfronde que comprenden los periodos Marzo de 2004 - Febrero de 2005 y Marzo de 2006- Febrero de 2007.

Se considera el modelo inicial general de efectos aleatorios, con la misma estructura inicial para todos los nutrientes que se analizan:

$$y_{ijk} = \mu + a_i + c_j + t_k + (ct)_{jk} + e_{ijk} \quad (1)$$

Con:

-  $y_{ijk}$ : Valor transformado del contenido en % del nutriente (transformación  $\arcsen\sqrt{\text{nutriente}(\%)/100}$ ) del árbol  $i$  en el ciclo de desfronde  $j$  en el mes  $k$ .

-  $\mu$ : media general.

-  $a_i$ : Efecto aleatorio árbol con  $i=1,2,\dots,12$  e hipótesis  $a_i \sim N(0, \sigma_a^2)$ , e hipótesis inicial de covarianza espacial entre individuos de tipo:

$$\text{cov}(a_i, a_{i'}) = \sigma_a^2 \cdot e^{\left(\frac{-d_{i,i'}}{\theta}\right)}$$

siendo  $e$  la base de los logaritmos neperianos,  $d_{i,i'}$  la distancia entre los árboles  $i, i'$  de la parcela y  $\theta$  un parámetro que se ajusta simultáneamente con el resto de los componentes de la varianza.

-  $c_j$ : Efecto aleatorio ciclo de desfronde, con  $j=1,2$ , e hipótesis inicial  $c_j \sim N(0, \sigma_c^2)$ .

-  $t_k$ : Efecto aleatorio mes con  $k=1, 2, \dots, 12$  e hipótesis inicial  $t_k \sim N(0, \sigma_t^2)$ .

-  $(ct)_{jk}$ : Interacción ciclo de desfronde x mes, con hipótesis inicial  $(ct)_{ij} \sim N(0, \sigma_{ct}^2)$

-  $e_{ijk}$ : Error residual bajo hipótesis inicial  $e_{ijk} \sim N(0, \sigma_e^2)$ .

Los componentes de la varianza del modelo se han estimado por máxima verosimilitud restringida o residual (REML). Para la selección de la mejor estructura del modelo y de la matriz de varianzas-covarianzas se han seguido, según el caso, dos aproximaciones:

- En el caso de comparación de dos estructuras de modelo en la que una de ellas se obtenga por igualación a cero de uno o más componentes de varianza de la otra, se selecciona la mejor mediante un test de razón de verosimilitud contrastando la hipótesis nula  $H_0$ : Parámetro(s)=0. La diferencia entre los valores de  $-2$  veces el logaritmo de verosimilitud ( $-2LL$ ) se distribuye según una  $\chi^2$  con  $n$  grados de libertad, con  $n$  número de parámetros incluidos en la hipótesis nula. Se ha considerado un valor de  $\alpha=0,05$ .

- En el caso de que las dos estructuras de modelo que se comparan no sean una reducción de la otra, se atiende a la comparación de los valores de  $-2LL$  y los criterios de información de Akaike y Schwartz. Se prima el modelo con menores valores de dichos estadísticos.

La aproximación en la selección de modelos ha sido la siguiente:

1. Ajuste del modelo general 1, considerando covarianza espacial de tipo exponencial entre individuos y covarianzas nulas a nivel ciclo, mes y ciclo x mes.
2. Análisis de la existencia de correlación espacial mediante el ajuste del modelo del punto anterior pero considerando covarianzas nulas a nivel árbol.
3. Análisis de la significación de los efectos aleatorios ciclo, mes y ciclo x mes.
4. Análisis de la significación del efecto árbol.
5. En el caso de que el efecto ciclo resulte significativo, análisis de distintas estructuras de varianzas-covarianzas para ese efecto. Al tener únicamente dos niveles se experimentan las estructuras:
  - i. Matriz diagonal con componentes de varianza iguales.
  - ii. Matriz no estructurada.
  - iii. Matriz no estructurada.
  - iv. Autoregresiva de orden 1.



6. En el caso de que el efecto mes o/y ciclo x mes resulten significativos, análisis de distintas estructuras de varianzas-covarianzas para cada uno de esos efectos. Se experimentan las estructuras:

- i. Matriz diagonal con componentes de varianza iguales.
- ii. Autoregresiva de orden 1.
- iii. Matriz Toeplitz de distintos órdenes
- iv. Matriz no estructurada diagonal.

Las estructuras más complejas en este caso, como la no estructurada, simétrica compuesta heterogénea o antedependiente de primer orden tienen problemas de convergencia.

### **Predicción de la distribución de variables edáficas en la parcela y asignación de los valores por árbol.**

La predicción de los valores de las variables edáficas en el conjunto de la parcela se ha realizado mediante kriging a partir de los resultados de las muestras recogidas en la malla de puntos de muestreo realizada. Se ha construido el semivariograma empírico considerando un “lag size” de 20 m, equivalente al lado de malla de muestreo, y un nº de lags de 7. El semivariograma se ha ajustado a una función de tipo esférico y se han estimado los valores de range, partial sill y nugget. Este proceso se ha realizado con ArcGis 9.1.

Los valores estimados de range, partial sill y nugget se han utilizado para contrastar la hipótesis de existencia de correlación espacial para cada una de las variables analizadas. Para ello se ha ajustado un modelo bajo hipótesis de covarianza espacial esférica con los valores estimados anteriormente de range, partial sill y nugget, que equivale a estimar un modelo de efectos aleatorios con 3 componentes de la varianza. El ajuste se ha realizado por máxima verosimilitud restringida (REML) y se ha calculado el valor del estadístico  $-2LL$ . Se ha comparado este modelo con el modelo de errores independientes, que implica ajustar el modelo anterior considerando únicamente el error residual. Se ha contrastado la hipótesis nula de errores independientes mediante un test de razón de verosimilitud considerando  $\alpha=0,05$ . El proceso se ha realizado en SAS v.9.1

En aquellas variables en las que se ha rechazado la hipótesis nula de independencia de residuos se ha realizado la predicción de su distribución en la parcela por kriging considerando un número de vecinos de 8 y un solo sector. La predicción ha sido isotrópica ya que no se ha observado la presencia de direcciones predominantes. Se ha realizado en ArcGis 9.1.

Para asignar a cada individuo del estudio un determinado valor de la variable edáfica se ha considerado que cada individuo tiene como área de influencia la correspondiente al polígono de Voronoi en el que está incluido. Se ha asignado finalmente a cada individuo el valor medio de la variable edáfica en su polígono de influencia.

### **Análisis de la influencia de las variables edáficas analizadas en el contenido en nutrientes de las hojas de desfronde.**

En aquellas variables que presentan correlación espacial se ha comprobado su influencia en el contenido de nutrientes del desfronde introduciéndolas como covariables en el modelo de efectos aleatorios. Se ha comprobado su nivel de significación mediante un test F y comparando mediante un test de razón de verosimilitud la reducción experimentada por el

estadístico  $-2LL$ . Para hacer esta comparación el ajuste del modelo se ha realizado en este caso por máxima verosimilitud (ML).

### 3. Resultados

#### 3.1 Modelo de retorno de nutrientes a través del desfronde foliar.

En la Tabla 1 se presentan los modelos seleccionados para cada uno de los nutrientes analizados, con indicación de los componentes de la varianza y el valor del estadístico de ajuste  $-2LL$ . Se aprecia que el efecto ciclo no es significativo en ninguno de los modelos analizados mientras que el efecto mes resulta significativo únicamente en el K. Tanto el efecto árbol como el efecto ciclo x mes resultan significativos en todos los nutrientes analizados, mientras que únicamente se observa la presencia de correlación espacial significativa en el caso del K.

Tabla 1. Componentes de la varianza y valores de los estadísticos  $-2LL$  y AIC en los modelos seleccionados para cada uno de los nutrientes analizados.

Efecto	Componente Varianza	Nutrientes					
		N	P	K	Ca	Mg	S
T. indep		0,0912	0,0175	0,0681	0,08915	0,03286	0,0202
Árbol	$\sigma_a^2$	$5,73 \times 10^{-6}$	$8,65 \times 10^{-7}$	$63 \times 10^{-6}$	$26 \times 10^{-6}$	$12 \times 10^{-6}$	$4,27 \times 10^{-7}$
	$\theta$			97,6150			
Ciclo	$\sigma_c^2$						
Mes	$\sigma_t^2$			$116 \times 10^{-6}$			
	$\rho(\ar(1))$			0,7189			
Ciclo x mes	$\sigma_{ct}^2$	$49 \times 10^{-6}$	$4,76 \times 10^{-6}$	$48 \times 10^{-6}$	$65 \times 10^{-6}$	$2,31 \times 10^{-6}$	$2,74 \times 10^{-6}$
	$\rho(\ar(1))$				0,6443		
	Toep(2)		$2,19 \times 10^{-6}$			$1,12 \times 10^{-6}$	$1,01 \times 10^{-6}$
Residuo	$\sigma_e^2$	$82 \times 10^{-6}$	$6,08 \times 10^{-6}$	$50 \times 10^{-6}$	$55 \times 10^{-6}$	$5,22 \times 10^{-6}$	$3,26 \times 10^{-6}$
-2LL		-1417,4	-2042,3	-1529,8	-1524,4	-2058,9	-2172,7
AIC		-1411,4	-2034,3	-1517,8	-1516,4	-2050,9	-2164,5

La varianza explicada por cada uno de los efectos considerados difiere notablemente según el nutriente, según se indica en la tabla 2. El efecto árbol absorbe el 4,19% de la varianza total en el caso del N, pero representa valores mucho mayores en el caso del Mg (61,44 %), el K (22,74%) o el Ca (17,81%). A excepción del caso del Mg, la mayor variabilidad es absorbida por el efecto temporal, sea el factor ciclo x mes, sea, en el caso del K, el factor mes.

Tabla 2. Varianza absorbida en % por cada uno de los efectos considerados en los modelos de retorno de nutrientes seleccionados

Efecto	Varianza absorbida (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Árbol	4,19	7,39	22,74	17,81	61,44	6,64
Mes			41,88			
Ciclo x mes	35,84	40,67	17,33	44,52	11,83	42,63
Residuo	59,97	51,94	18,05	37,67	26,73	50,72

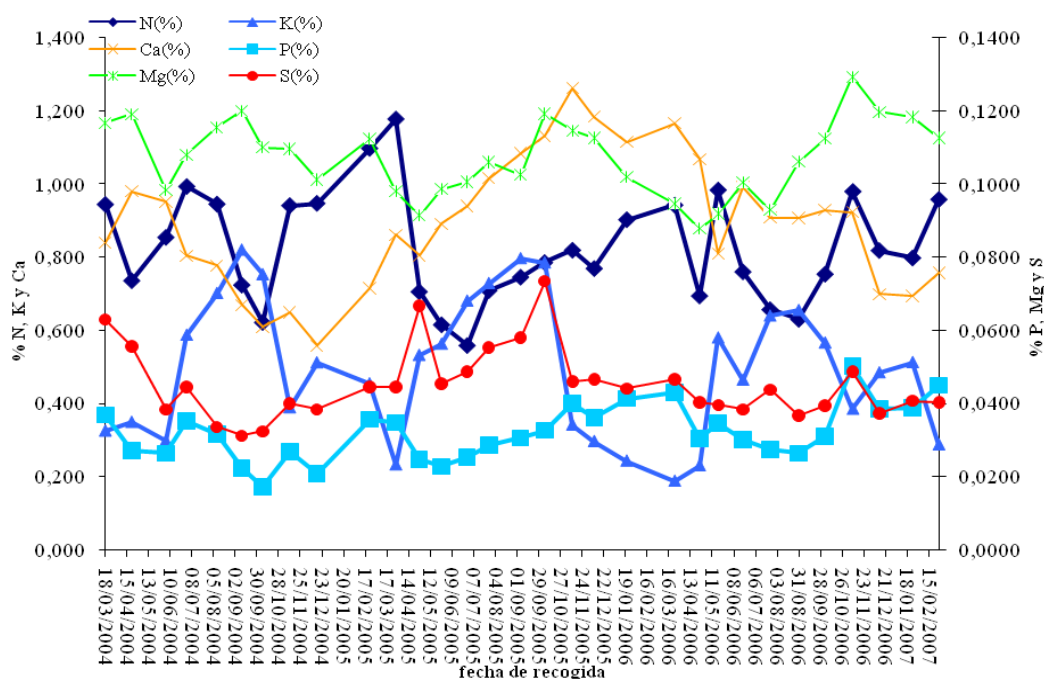


Figura 1: Evolución mensual de la concentración de nutrientes en hojas del desfronde (%).

### 3.2 Análisis de la influencia de las variables edáficas analizadas en el contenido en nutrientes de las hojas de desfronde.

Las únicas variables que presentan correlación espacial son el Calcio de cambio, tanto superficial (Ca<sub>s</sub>) como el valor medio en el perfil (Ca<sub>p</sub>), y el pH medio en el perfil (pH<sub>p</sub>). Los valores obtenidos de nugget, partial sill y range se indican en la Tabla 3, mientras que el mapa de distribución de Ca de la muestra superficial en la parcela está representado en la Figura 2.

Tabla 3: Valores de Nugget, Partial sill y Range para las variables: Calcio superficial (Ca<sub>s</sub>), Valor medio de Ca en el perfil (Ca<sub>p</sub>) y pH medio en el perfil (pH<sub>p</sub>).

Variable	Nugget	Partial sill	Range
Ca <sub>s</sub>	27,511	33,531	139,28
Ca <sub>p</sub>	32,641	128,6	139,28
PH <sub>p</sub>	0,296	0,2737	109,021

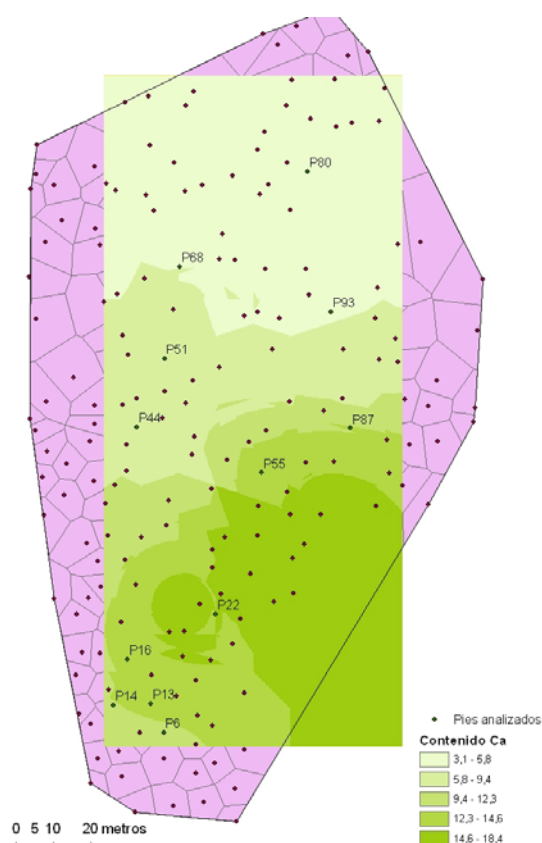


Figura 2: Valor predicho por kriging del contenido de Calcio de cambio en superficie ( $Ca$ ,  $cmol(+) kg^{-1}$ ) en la parcela con indicación de los 12 pies analizados. Los recintos indican los polígonos de Voronoi asociados a cada árbol

Para estas tres variables se realizó la predicción de su distribución en la parcela y la asignación a cada individuo. Las asignaciones a los individuos se indican en la Tabla 4.

Tabla 4: Valores de Calcio superficial ( $Ca_s$ ), ( $cmol+ kg^{-1}$ ) valor medio de calcio en el perfil ( $Ca_p$ ) ( $cmol+ kg^{-1}$ ) valor medio pH en el perfil ( $pH_p$ ) asignados a cada árbol del estudio

Arbol	Ca p	Ca s	pH p
P6	15,07	12,17	7,22
P13	13,17	12,71	7,09
P14	12,52	12,28	7,10
P16	12,22	13,14	6,98
P22	15,95	14,88	6,97
P44	13,13	7,46	6,68
P51	7,41	6,84	6,50
P55	17,94	13,20	7,24
P68	5,68	5,66	6,21
P80	5,58	3,82	6,51
P87	28,64	12,76	7,49
P93	8,14	6,13	6,64

La introducción de estas variables edáficas como covariables en los modelos de efectos aleatorios ajustados resultan significativas únicamente en caso del contenido de Mg medido en las hojas de desfronde. La variación que experimentan los componentes de la varianza y el estadístico de ajuste  $-2LL$  al introducir las covariables se indican en la Tabla 5. La estimación de los valores de las covariables y su nivel de significación se indican en la Tabla 6.

Como se aprecia en la Tabla 5 la introducción de las covariables reduce de forma muy importante la varianza a nivel árbol (reducción de un 68% al introducir Ca\_s, un 56% al introducir pH\_p y un 40% al introducir Ca\_p). Dado que la varianza a nivel árbol representa un porcentaje muy importante de la varianza total en el caso del Magnesio (ver Tabla 2) este hecho implica una reducción asimismo importante de la varianza total (reducción de un 38,4 % en el caso de Ca\_s, un 31,5 % en el caso de pH\_p y de un 22,5 % en el caso de Ca\_p). El resto de componentes de la varianza permanecen prácticamente inalterados ya que las covariables actúan a nivel árbol.

La importancia de estas variables edáficas en la explicación del retorno de Mg se refleja igualmente por el elevado nivel de significación de las mismas (Tabla 6) y la importante reducción, altamente significativa, que experimenta el estadístico  $-2LL$ .

Tabla 5. Modelo de retorno de Mg. Estimación de los componentes de la varianza y valor de  $-2$  veces el logaritmo de verosimilitud ( $-2LL$ ) en el modelo inicial de efectos aleatorios (modelo 1) y en los modelos con introducción de covariables edáficas (modelos 2, 3 y 4). Ajuste realizado por máxima verosimilitud (ML) Ca\_s: Contenido de Calcio de cambio ( $cmol+ kg^{-1}$ ) en la muestra de suelo superficial. Ca\_p: Contenido de Calcio de cambio ( $cmol+ kg^{-1}$ ) medio del perfil. pH\_p: pH medio del perfil

Efecto	Componentes varianza	Modelos			
		1	2	3	3
T.independiente		$\mu$	$\mu$	$\mu$	$\mu$
Covariables edáficas			Ca_s	Ca_p	pH_p
Árbol	$\sigma_a^2$	$11 \times 10^{-6}$	$3,53 \times 10^{-6}$	$6,62 \times 10^{-6}$	$4,86 \times 10^{-6}$
Ciclo x mes	$\sigma_{ct}^2$	$2,27 \times 10^{-6}$	$2,23 \times 10^{-6}$	$2,26 \times 10^{-6}$	$2,25 \times 10^{-6}$
	Toep (2)	$1,10 \times 10^{-6}$	$1,08 \times 10^{-6}$	$1,09 \times 10^{-6}$	$1,09 \times 10^{-6}$
Residuo	$\sigma_{residuo}^2$	$5,22 \times 10^{-6}$	$5,22 \times 10^{-6}$	$5,22 \times 10^{-6}$	$5,22 \times 10^{-6}$
	$\sigma_{total}^2$	$1,96 \times 10^{-5}$	$1,21 \times 10^{-5}$	$1,52 \times 10^{-5}$	$1,34 \times 10^{-5}$
	$-2LL$	-2070,7	-2083,8	-2076,8	-2080,3

Tabla 6. Valores estimados y nivel de significación de las componentes de los efectos fijos en el modelo de retorno de Mg.

Modelo	Parámetro	Estimación	Valor t	Prob > t
2	T. independiente	0,0456	23,41	<0,0001
	Ca_s	-0,00076	-4,90	0,0004
3	T. independiente	0,03739	20,31	<0,0001
	Ca_p	-0,00035	-2,81	0,0158
4	T. independiente	0,08105	6,44	<0,0001
	pH_p	-0,00700	-3,84	0,0024

#### 4. Discusión

El efecto ciclo no resulta significativo para ninguno de los nutrientes estudiados lo que significa que el aporte de nutrientes no varía significativamente entre los ciclos de estudio. El efecto mes únicamente resultó significativo para el K (absorbiendo 44,18% de la varianza) lo que significa una variación temporal dependiente de la fenología en el retorno de este nutriente al suelo en cada uno de los ciclos estudiados, que no se observa estadísticamente en el resto de nutrientes analizados. Si observamos la Figura 1 vemos como los valores máximos de K se concentran durante los meses de verano (julio- septiembre), en un trabajo previo realizado en la misma parcela (ANDIVIA *et al*, 2008) se concluyó que la caída de la hoja responde a patrones fenológicos de modo que existen periodos del año de máximo desfronde que generalmente coincide con la renovación foliar de primavera (abril-mayo), cuando la

caída de la hoja no responde a factores fenológico (estrés) el árbol no retransloca nutrientes antes de la caída de las hojas por lo que la existencia de valores altos de K en verano indica una alta concentración de este nutriente en hoja viva, coincidiendo con lo encontrado en el estudio anterior. Estos valores altos en verano son debido a la función osmoreguladora de K que ayuda a tolerar el estrés hídrico del periodo estival, en otoño la concentración de potasio decrece hasta el final del invierno debido al incremento en la demanda para la acumulación y translocación de carbohidratos durante la maduración de los frutos (OLIVEIRA *et al.*, 1996).

Tanto el efecto árbol como el efecto ciclo x mes resultan significativos en todos los nutrientes analizados, mientras que únicamente se observa la presencia de correlación espacial significativa en el caso del K. El efecto árbol únicamente absorbe el 4,19% de la varianza total en el caso del N, pero representa valores mucho mayores en el caso del Mg (61,44 %), el K (22,74%) o el Ca (17,81%). En el caso de estos tres últimos nutrientes se torna más evidente la posibilidad de investigar la influencia de factores ambientales (distribución de nutrientes en suelo, competencia entre individuos...) o de gestión (realización de podas, intensidad de descorche) que actúen a nivel árbol, en el retorno de estos nutrientes al suelo e incorporarlo a futuros modelos. A excepción del caso del Mg, la mayor variabilidad es absorbida por el efecto temporal, sea el factor ciclo x mes, sea, en el caso del K, el factor mes.

La mejora en los modelos para el contenido en Mg al haber introducido en dichos modelos las variables edáficas Ca<sub>s</sub>, Ca<sub>p</sub> y pH<sub>s</sub> unido a el signo negativo de las variables indica que a valores más elevados de Ca en el suelo (que se refleja en valores más elevados de pH) están relacionados con una reducción del contenido de Mg en el desfronde. Este hecho refleja claramente el antagonismo Ca-Mg, particularmente evidente en una especie calcífuga como el alcornoque. La absorción de Mg se ve limitada en presencia de valores más elevados de Ca. Este hecho se refleja en una menor disponibilidad de este nutriente y, por tanto en un menor retorno del mismo en el desfronde. En ANDIVIA *et al* (2008), estudio previo en los mismos árboles, los valores de Mg en hoja viva fueron menores que en otros estudios en Alcornoque (OLIVEIRA *et al*, 1996). Creemos que el efecto antagonista Ca-Mg podrían explicar estos valores bajos de Mg en hoja viva. La variable más significativa de las tres analizadas es el contenido de Ca en los 20 cm superficiales. Este hecho podría explicarse ya que es en la parte superficial del suelo donde se produce de forma más importante los procesos de absorción de nutrientes

## 5. Conclusiones

El aporte total de nutrientes por el desfronde al suelo no muestra diferencias entre los años estudiados. Para el K hemos encontrado una significación a nivel mes que indica una variación temporal dependiente de la fenología en el aporte de K al suelo influida por la función osmorreguladora del K durante el periodo estival. El efecto ciclo x mes ha resultado significativo para todos los nutrientes indicando que existe una influencia en el aporte estacional de los nutrientes al suelo. Se ha constatado un efecto antagónico Ca-Mg de modo que la absorción de Mg por parte del árbol está limitado por la presencia de Ca en el suelo. el resto de nutrientes no presentan un patrón de distribución espacial significativo.

## 6. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos SUBERWOOD (V EU Framework Program, QLK5-CT-2001-007001,) y SUM2006-00026 (Plan Nacional de I+D, Sumideros Agroforestales de efecto invernadero, 2007-2010). Queremos agradecer la colaboración de la

Delegación de Medio Ambiente de Huelva de la Junta de Andalucía y del Ayuntamiento de Hinojos. También queremos agradecer la colaboración en los trabajos de campo de Arantza, Fernando, Dani y Felipe. Enrique Andivia disfruta en la actualidad de una beca FPU del Ministerio de Ciencia e Innovación.

## 7. Bibliografía

ANDIVIA, E.; FERNÁNDEZ, M.; VÁZQUEZ-PIQUÉ, J.; GONZÁLEZ-PÉREZ, A.; TAPIAS, R.; 2008. Ciclo de nutrientes y desfronde en una dehesa de alcornoque en la provincia de Huelva. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 25: 67-71.

ARIANOUTSOU, M.; 1989. Timing of litter production in a maquis ecosystem of north-eastern Greece. *Oecological Plantarum* 10(4):371-378.

BLANCO, E.; 1998. Los bosques ibéricos. Editorial Planeta, Barcelona.

CARITAT, A.; BERTONI, G.; MOLINAS, M.; OLIVA, M.; DOMÍNGUEZ-PLANELLA, A.; 1996. Litterfall and mineral return in two cork oak forests in northeast Spain. *Ann. Sci. Forest* 53:1049-1058.

GRAY, JT.; SCHLESINGER, WH.; 1981. Nutrient cycling in mediterranean type ecosystems. In: Miller, p.c. (ed.). Resource use by chaparral and matorral. A comparison of vegetation function in two mediterranean type ecosystems, pp. 259-286. Springer-Verlag, *Ecological Studies* vol. 39, New York.

ESCUADERO, A.; DEL ARCO, JM.; 1987. Ecological significance of the phenology of leaf abscission. *Oikos* 49: 11-14.

LEONARDI, S.; RAPP, M.; FAILLA, M.; KOMAROMY, E.; 1992. Biomasse, minéralomasse, productivité et gestion de certains éléments biogènes dans une forêt de *Quercus suber* L. en Sicile (Italie). *Ecologia Mediterranea* 18:89-98.

MARSCHNER, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press Limited, London .

OLIVEIRA, G.; MARTINS-LOUÇAO, MA.; CORREIA, O.; CATARINO, F.; 1996. Nutrient dynamics in crown tissues of cork-oak (*Quercus suber* L.). *Trees* 10: 247-254.

ORGEAS, J.; BONIN, G.; 1996. Variabilité des nutriments foliaires de *Quercus suber* L. Dans différentes situations écologiques dans Le Massif des Maures (Var, France), et relations avec la production de liège. *Ann. Sci. Forest* 53: 615-624.

ORGEAS, J.; 1997. Dynamique des nutriments de *Quercus suber* L. Et production de liège en relation avec les variables environnementales – Le cas du massif des Maures (Var), Marseille, France.

ORGEAS, J.; OURCIVAL, JM.; BONIN, G.; 2002. Seasonal and spatial patterns of foliar nutrients in cork-oak (*Quercus suber* L.) Growing on siliceous soils in Provence (France). *Plant Ecology* 164: 201-211.



PASSARINHO, J.; LAMOSA, P.; BAETA, JP.; SANTOS, H.; CANDIDO, P.; 2006. Annual changes in the concentration of minerals and organic compounds of *Quercus suber* leaves. *Physiologia Plantarum* 127: 100-110.

ROBERT, B.; CARITAT, A.; BERTONI, G.; VILAR, L.; MOLINAS, M.; 1996. Nutrient content and seasonal fluctuations in the leaf component of cork-oak (*Quercus suber* L.) litterfall. *Vegetatio* 122: 29-35.

WRB. 2007. World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. *World Soil Resources Reports* No. 103. FAO, Rome.

