

# EFECTOS ESPECIE-ESPECÍFICOS EN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE VARIABLES EDÁFICAS EN BOSQUES MIXTOS MEDITERRÁNEOS

Beatriz Ibáñez Moreno, José Manuel Ávila Castuera, Ana Pozuelos Rojas, Lorena Gómez-Aparicio, Luis V. García Fernández y Teodoro Marañón Arana

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS), CSIC. Avda. Reina Mercedes 10. POBox 1052. 41080-SEVILLA (España). Correo electrónico: bibanez@irnase.csic.es

## Resumen

Las especies arbóreas y el matorral regulan la disponibilidad de diferentes recursos (e.g. luz, humedad, nutrientes) en los sistemas forestales. La capacidad de modificación del medio es generalmente característica de cada especie, por lo que el funcionamiento del ecosistema va a depender en gran medida de la composición de la comunidad vegetal. El conocimiento de estos procesos de retroalimentación son fundamentales para entender la dinámica del bosque. El presente estudio se desarrolla en el Parque Natural de Los Alcornocales (Cádiz-Málaga). El objetivo de este trabajo es estudiar la variabilidad espacial de las características físico-químicas del suelo y su relación con el dosel arbóreo en seis parcelas de bosque mixto, analizando muestras superficiales (0-10 cm) de suelo recolectadas en las seis parcelas. Se relacionan las variables edáficas con la presencia en el dosel de una determinada especie arbórea y se caracteriza la intensidad de su "huella" edáfica. Existe un efecto de las especies de *Quercus* en el contenido de nutrientes en el suelo, detectándose a su vez un incremento en el contenido de fósforo en las vecindades de alcornoque. Concluimos que las distintas especies arbóreas coexistentes en los bosques mixtos de Los Alcornocales modifican de forma diferencial las características edáficas.

Palabras clave: *Acebuches, Alcornoque, Huella, Quejigo, Retroalimentación*

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años diversos estudios han demostrado el importante papel de las plantas como modificadores del suelo (BINKLEY & GIARDINA, 1998; AYRES *et al.*, 2009; APONTE *et al.*, 2011). Las especies arbóreas y el matorral regulan la disponibilidad de diferentes recursos como luz, humedad y nutrientes en los sistemas forestales. La capacidad de modificar estas variables son a su vez características específicas de cada especie, por lo que el funcionamiento del sistema va a depender en gran medida de la

composición de la comunidad vegetal. Por tanto el efecto de las plantas en las características del suelo es uno de los procesos implicados en determinar la heterogeneidad espacial de los sistemas forestales.

Los ciclos de nutrientes son alterados por las distintas especies de árboles a través de mecanismos químicos, físicos y biológicos como son la acidificación del suelo, lixiviación de elementos lábiles o modificación de la capacidad de absorción, repercutiendo en la disponibilidad de nutrientes (e.g. FINZI *et al.*, 1998; EVINER & CHAPIN, 2003). La interacción entre el árbol y el

suelo puede dar lugar a procesos de retroalimentación (*feedback*), en los que cada especie del dosel afecta de forma diferencial al suelo superficial subyacente, con implicaciones para su propia regeneración (APONTE et al., 2011). El conocimiento de estos procesos contribuye a la comprensión de la dinámica del bosque y sus tendencias ante el cambio global.

Los suelos mediterráneos se caracterizan por ser suelos poco profundos y jóvenes, que unido a las características climáticas de la región (baja disponibilidad hídrica y elevadas temperaturas en verano) originan una baja disponibilidad de nutrientes, suponiendo una restricción al crecimiento de las plantas (GALLARDO et al., 2009). Por tanto, en estos sistemas, donde además de las restricciones hídricas existe limitación por nutrientes, el efecto de cada especie arbórea (lo que definimos como “huella”) en el suelo inmediatamente próximo cobra especial relevancia en las características edáficas y la creación de microhábitats.

El presente estudio se desarrolla en el Parque Natural de Los Alcornocales (Cádiz-Málaga). Las características físico-químicas del sustrato edáfico (arenoso y pobre en nutrientes), que en gran parte deriva de las areniscas del Aljibe, junto con las características climáticas (clima tipo mediterráneo sub-húmedo) y la historia de gestión humana han determinado la existencia de un mosaico de bosques, matorrales y pastizales. El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de los árboles vecinos (“huella” del árbol) en la variabilidad espacial de las características físico-químicas del suelo en su capa superficial en seis parcelas de bosque mixto mediterráneo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para llevar a cabo este estudio se establecieron seis parcelas de bosque mixto en el Parque Natural de los Alcornocales. La localización de esta región, cerca del estrecho de Gibraltar, y la orientación norte-sur de su sistema montañoso producen frecuentes precipitaciones, con totales anuales entre 530 y 1.180 mm (TORRES, 1995) dependiendo de la orografía y la proximidad al océano. Los inviernos son fríos y húmedos y los veranos secos y calurosos, con temperaturas

medias anuales entre 14,6 y 18,4°C (PÉREZ-RAMOS & MARAÑÓN, 2009). En zonas húmedas aparecen bosques mixtos de alcornoque (*Quercus suber* L.) y quejigo andaluz (*Quercus canariensis* Willd) donde se sitúan tres de las seis parcelas de estudio (Tala, Jimena, Comares). Las otras tres parcelas (Picacho, Cinchao, Ahumada) están localizadas en zonas arcillosas y más secas donde alcornoque y acebuche (*Olea europaea* L. var. *sylvestris*) son las especies arbóreas predominantes. Se han analizado muestras superficiales (0-10 cm) de suelo recolectadas en las seis parcelas. Los puntos de muestreo se distribuyen de forma regular, siguiendo una cuadrícula de 70 x 70 m, situados regularmente cada 10 metros.

Las variables edáficas analizadas fueron pH, materia orgánica (calcinación), contenido de P (método Bray), Ca, Mg y K (AAS), N total (Kjeldah) y C (analizador elemental de carbono-nitrógeno). Para reducir la dimensionalidad de estos datos se ha realizado un análisis de componentes principales, seleccionando los factores que expliquen al menos un 70% de la variabilidad de los datos. Para la caracterización de la vecindad, se mapearon todos los árboles en un radio de 15 m en torno a cada punto de muestreo, identificando la especie y el tamaño (diámetro normal).

El efecto de los árboles vecinos se calcula mediante el índice de vecindad (NI) calculado como el sumatorio de las áreas basimétricas estandarizadas de los individuos incluidos en un círculo de radio  $r$  en torno al punto de muestreo:

$$NI = \sum AB_i$$

donde  $AB_i$  es el área basimétrica del árbol  $i$  dentro del radio de vecindad  $r$  respecto al punto de muestreo.

Se han analizado los componentes seleccionados de las variables de suelo en función de la vecindad usando modelos lineales (lm). Los modelos se han comparado usando el criterio de información de Akaike (AIC), eligiéndose como mejor modelo aquel con un menor AIC. Si la diferencia del AIC entre modelos es mayor a dos unidades, se considera que aquel con menor AIC tiene mayor apoyo empírico. Si la diferencia es menor a dos unidades, se asume que el apoyo empírico de los modelos comparados es equivalente.

Se han testado dos tipos de modelos combinando el sitio (parcela) con las variables conti-

nuas que definen la vecindad. El modelo más simple es el modelo nulo donde no se considera el efecto de la vecindad y representa el potencial de la variable sin distinguir el efecto de los árboles vecinos (valor de  $A_{parcela}$ ). El segundo modelo (modelo especies) incluye el efecto de los árboles vecinos teniendo en cuenta la especie. Los parámetros de los modelos se han estimado para distintos radios de vecindad (de 1 a 15 m cada 1 m), eligiendo el radio de vecindad del modelo con menor AIC dentro de cada grupo.

Modelo Nulo:

$$lm(PC_i \sim A_{parcela})$$

Modelo Especies:

$$lm(PC_i \sim A_{parcela} + NI\ QUSU + NI\ OLEU)$$

$$lm(PC_i \sim A_{parcela} + NI\ QUSU + NI\ QUCA)$$

donde  $PC_i$  es el componente analizado,  $A_{parcela}$  es la variable relativa a la parcela (valor medio de la variable cuando no existe efecto de los vecinos) y NI es el índice de vecindad de alcornoque (QUSU), acebuche (OLEU) y quejigo (QUCA). Los análisis se han realizado usando el programa estadístico R (R Development Core Team V 2.10.0).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los dos primeros factores del análisis de componentes principales recogen más del 70% de la variabilidad de las variables edáficas analizadas (Tabla 1 y Figura 1). Tomamos estos dos

| Variable | PC1   | PC2   |
|----------|-------|-------|
| pH       | -0,31 | -0,45 |
| mo       | -0,42 | 0,22  |
| P        | 0,05  | 0,68  |
| Ca       | -0,40 | -0,20 |
| Mg       | -0,36 | -0,23 |
| K        | -0,35 | 0,00  |
| N Total  | -0,42 | 0,25  |
| C        | -0,37 | 0,37  |

| Importancia de componentes |      |      |
|----------------------------|------|------|
|                            | PC1  | PC2  |
| Desviación estándar        | 2,18 | 1,15 |
| Proporción de varianza     | 0,60 | 0,17 |
| Proporción acumulada       | 0,60 | 0,76 |

Tabla 1. Resultado del análisis de componentes principales

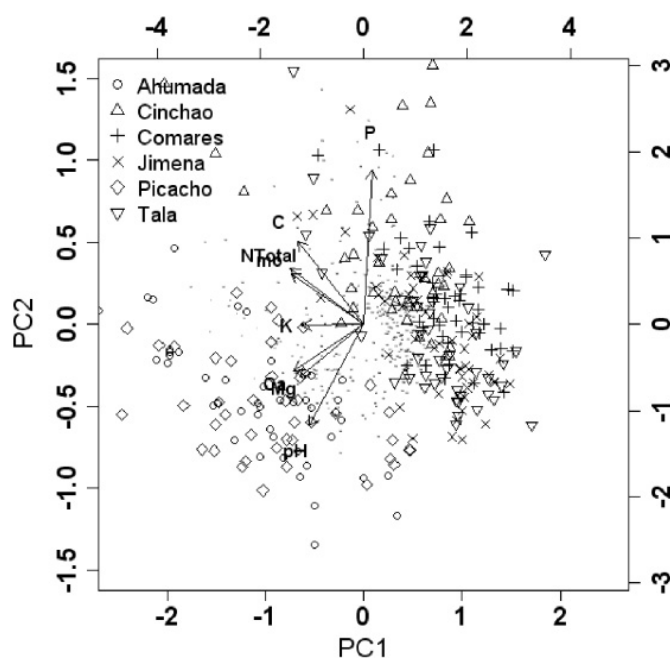


Figura 1. Relación de las variables edáficas analizadas con los dos primeros componentes del PCA

componentes para representar la variabilidad de las características edáficas. El primer componente es un gradiente de fertilidad invertido al estar relacionado inversamente con los contenidos en suelo de nutrientes (Mg, Ca, K, N), materia orgánica y carbono del suelo. El segundo componente (PC2) está relacionado con el contenido de P y C en el suelo principalmente.

El modelo que mejor se ajusta a los datos para explicar el primer componente en los bosques de alcornoque-acebuche es el modelo que tiene en cuenta los árboles de alcornoque vecinos, con un  $R^2$  de 0,27 (Tabla 2), para un radio de vecindad de 7 m. Para esta misma variable, en los bosques de alcornoque-quejigo, también el modelo que considera los vecinos se ajusta mejor a los datos que el modelo nulo, pero en este caso existe efecto no sólo del alcornoque (radio de vecindad de 14 m) sino también del quejigo ( $r = 15$  m), con un  $R^2$  de 0,08 (Tabla 2). En ambos tipos de bosque el efecto de los árboles vecinos es negativo en el valor de la variable PC1 (Figura 2, a, b y c), lo que se traduce en una "huella" con aumento de nutrientes (Mg, Ca, K, N), materia orgánica y C.

En el caso del segundo componente (contenido de P y C del suelo), el modelo que mejor se ajusta a los datos es el que considera sólo el alcornoque de la vecindad, para los dos tipos de bosque analizados. Este efecto es positivo en ambos casos (Figura 3, a y b), con un  $R^2$  de 0,53 en los bosques de alcornoque-acebuche (radio de vecindad  $r = 11$  m) y  $R^2=0,22$  en los bosques de alcornoque-quejigo ( $r = 15$  m) (Tabla 2).

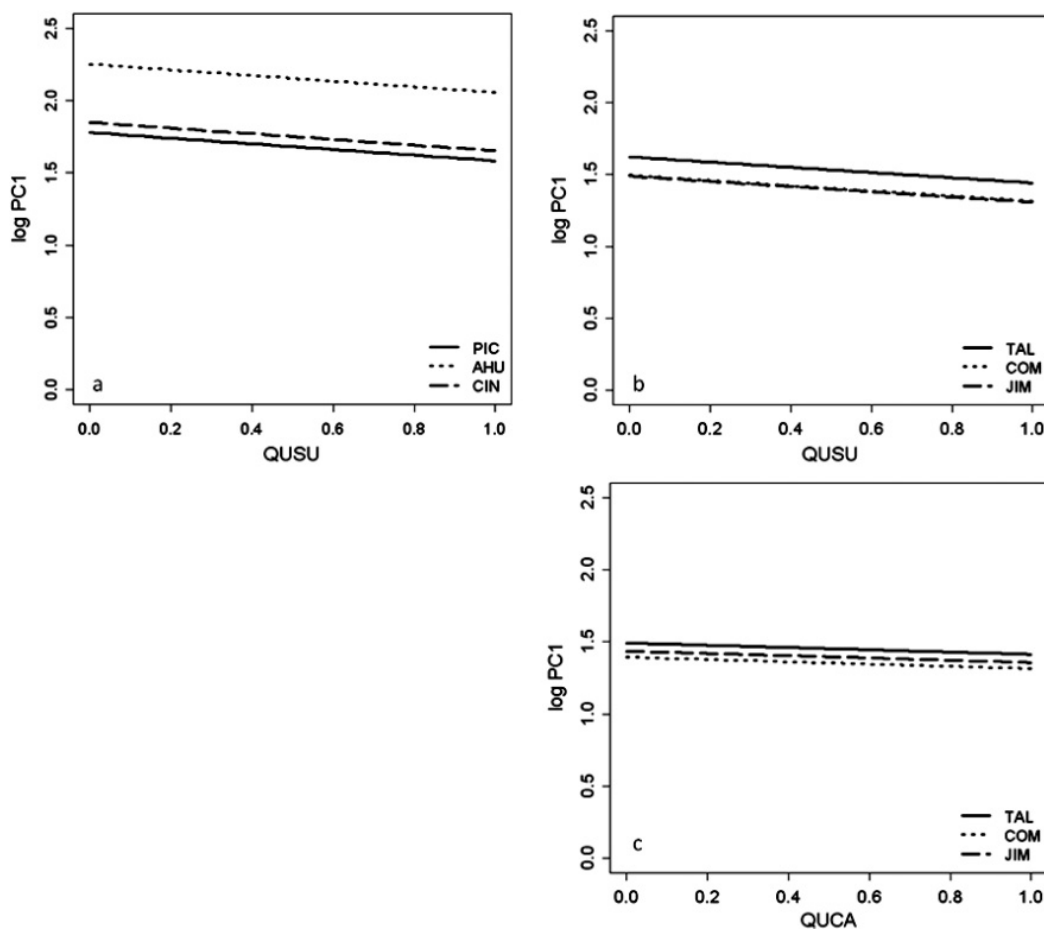
En este trabajo se ha hecho una aproximación espacialmente explícita para estudiar los efectos sobre el suelo de las especies que coexisten en estos bosques. En otros estudios, este tipo de análisis ha permitido conocer el efecto que tienen las especies en suelos afectados simultáneamente por diversas especies en bosques mixtos, donde las especies se encuentran entremezcladas (GÓMEZ-APARICIO & CANHAM, 2008). En nuestro caso, se ha demostrado como la presencia de árboles influye en las propiedades del suelo analizadas, ya que en todos los casos el modelo que incluía la presencia de árboles vecinos se ajusta mejor a los datos que el modelo nulo.

Existe un efecto de las especies del género *Quercus* en el contenido de nutrientes (Mg, Ca, K, N), materia orgánica y C del suelo. Este resultado corrobora el obtenido en otros estudios en este tipo de bosque, donde se ha demostrado el efecto que alcornoque y quejigo tienen en la composición de los nutrientes del suelo, en gran parte debido al aporte de hojarasca y la composición de ésta (ÁVILA, 2010; APONTE *et al.*, 2011). También la presencia de alcornoque tiene un efecto positivo en el contenido de P del suelo en su proximidad. El efecto del acebuche en el contenido de estos nutrientes y de materia orgánica no se detecta con nuestros modelos, probablemente debido a que no produce suelos tan fértiles como las otras dos especies, ya que la calidad de su hojarasca es mucho menor (alta relación C:N) (RODRÍGUEZ PLEGUEZUELO *et al.*, 2009).

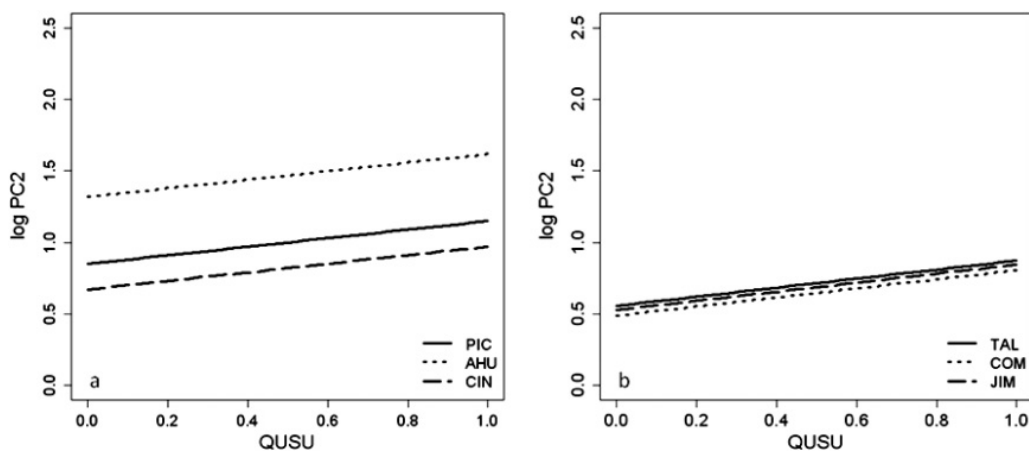
Los resultados aquí mostrados forman parte de un proyecto muy amplio donde se busca

| Bosque           | PC1          |                |             |                | PC2         |                |             |                |
|------------------|--------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|
|                  | OLEU         |                | QUCA        |                | OLEU        |                | QUCA        |                |
|                  | AIC          | R <sup>2</sup> | AIC         | R <sup>2</sup> | AIC         | R <sup>2</sup> | AIC         | R <sup>2</sup> |
| Modelo           |              |                |             |                |             |                |             |                |
| – Nulo           | 114,3        | 25,3           | 87,2        | 1,1            | 53,8        | 43,6           | 94,4        | 8,4            |
| – Vecindad       |              |                |             |                |             |                |             |                |
| 2 especies       | -            | -              | <b>74,5</b> | 8,7            | -           | -              | -           | -              |
| alcornoque       | <b>112,0</b> | 27,0           | -           | -              | <b>27,3</b> | 53,2           | <b>72,3</b> | 21,7           |
| quejigo/acebuche | -            | -              | -           | -              | -           | -              | -           | -              |

**Tabla 2.** Resumen de AIC y bondad de ajuste ( $R^2$ ) de los modelos analizados. PC1 y PC2: componentes analizados del análisis de componentes principales. Bosque OLEU: bosque de alcornoque-acebuche. Bosque QUCA: bosque alcornoque-quejigo. Vecindad: 2 especies (efecto del alcornoque y del acebuche o quejigo según el tipo de bosque), alcornoque (sólo existe efecto del alcornoque), quejigo/acebuche (sólo existe efecto de la especie según el bosque que corresponda). En negrita el modelo con menor AIC



**Figura 2.** Efecto de la vecindad, obtenido a partir de los mejores modelos, sobre el aumento de contenido de materia orgánica, Ca y N (PC1). En la abscisa se representa el índice de vecindad del alcornoque QUSU y quejigo QUCA. En las parcelas del bosque de acebuche-alcornoque (PIC, AHU y CIN, figura (a)) sólo se detecta efecto del alcornoque (para un radio de vecindad de 7 m). En las parcelas de quejigo-alcornoque (TAL, COM y JIM, figuras (b) y c)) se detecta efecto del alcornoque (a, radio de 14 m) y efecto del quejigo (b, radio de vecindad de 15 m). Se representan ambos efectos por separado



**Figura 3.** Efecto de la vecindad, obtenido a partir de los mejores modelos, sobre el aumento de contenido de P y C (PC2). En la abscisa se representa el índice de vecindad del alcornoque QUSU. En las parcelas del bosque de acebuche-alcornoque (PIC, AHU y CIN, figura (a)) sólo se detecta efecto del alcornoque (para un radio de vecindad de 11 m). En las parcelas de quejigo-alcornoque (TAL, COM y JIM, figura (b)) sólo se detecta efecto del alcornoque (para un radio de vecindad de 15 m)

avanzar en el conocimiento de la dinámica de los bosques de alcornoque a través de una aproximación con modelos de vecindad. Estos resultados deben tratarse como preliminares, y como la base para explicar futuros resultados en relación al funcionamiento de la comunidad vegetal de estos sistemas, fundamental para poder aplicar una gestión adecuada y optimizar el uso de los recursos invertidos en su conservación.

### Agradecimientos

Agradecemos a Eduardo Gutiérrez su ayuda en el campo y el laboratorio, así como a varias personas que voluntariamente nos han ayudado con el trabajo de campo. Agradecemos a Peter Stoll su ayuda al comienzo de los análisis. Agradecemos las facilidades dadas por la Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía) así como a la Dirección del Parque Natural de los Alcornocales para llevar a cabo el trabajo de campo. Este estudio ha sido financiado por una beca FPI a B.I. del Ministerio de Ciencia e Innovación, el proyecto INTERBOS (CGL2008-450-C03-01) y los fondos europeos FEDER.

### BIBLIOGRAFÍA

- APONTE, C.; GARCÍA, L. V.; PEREZ-RAMOS, I.M.; GUTIÉRREZ, E. & MARAÑÓN, T.; 2011. Oak trees and soil interactions in Mediterranean forests: a positive feedback model. *J. Veg. Sci.* 22(5): 856-867.
- ÁVILA, J.M.; 2010. *Efectos especie-específicos sobre los flujos de C, N y P en bosques mixtos afectados por decaimiento*. Universidad Pablo de Olavide. Sevilla.
- AYRES, E.; STELTZER, H.; BERG, S.; WALLENSTEIN, M.D.; SIMMONS, B.L. & WALL, D.H.; 2009. Tree Species Traits Influence Soil Physical, Chemical, and Biological Properties in High Elevation Forests. *Plos One* 4(6).
- BINKLEY, D. & GIARDINA, C.; 1998. Why do tree species affect soils? The Warp and Woof of tree-soil interactions". *Biogeochemistry* 42(1-2): 89-106.
- EVINER, V.T. & CHAPIN, F.S.; 2003. Functional matrix: A conceptual framework for predicting multiple plant effects on ecosystem processes. *Annual Rev. Ecol., Evol. & Systematics* 34: 455-485.
- FINZI, A.C.; CANHAM, C.D. & VAN BREEMEN, N.; 1998. Canopy tree soil interactions within temperate forests: species effects on pH and cations. *Ecol. Appl.* 8(2): 447-454.
- GALLARDO, A.; COVELO, F.; MORILLAS L. Y DELGADO, M.; 2009. Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres: especificidades del caso mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta. *Revista Ecosistemas* 18(2).
- GÓMEZ-APARICIO, L. & CANHAM, C.D.; 2008. Neighborhood models of the effects of invasive tree species on ecosystem processes. *Ecol. Monogr.* 78(1): 69-86.
- PÉREZ-RAMOS, I.M. & MARAÑÓN, T.; 2009. Effects of waterlogging on seed germination of three Mediterranean oak species: Ecological implications. *Acta Oecologica-Int. J. Ecol.* 35(3): 422-428.
- RODRÍGUEZ PLEGUEZUELO, C.R.; DURAN ZUAZO, V.H.; MURIEL FERNANDEZ, J.L.; MARTÍN PEINADO, F.J. & FRANCO TARIFA, D.; 2009. Litter decomposition and nitrogen release in a sloping Mediterranean subtropical agroecosystem on the coast of Granada (SE, Spain): Effects of floristic and topographic alteration on the slope. *Agriculture Ecosystems & Environment* 134(1-2): 79-88.
- TORRES, E.; 1995. *Estudio de los principales problemas selvícolas de los alcornocales del macizo del Aljibe (Cádiz y Málaga)*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, UPM. Madrid.