

Autoecología y distribución potencial de la encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) en la zona norte de Monegros

R. Rodríguez-Ochoa^{1,1*}, J.R. Olarieta¹, C. Chocarro², V. Martínez¹, I. Bilbao¹

(1) Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl. Universitat de Lleida. Rovira Roure, 191. Lleida 25198. España.

(2) Departament de Producció Vegetal i Ciència Forestal. Universitat de Lleida. España.

* Autor de correspondencia: R. Rodríguez-Ochoa [rrodriguez@macs.udl.es]

> Recibido el 23 de diciembre de 2013, aceptado el 26 de mayo de 2014.

Rodríguez-Ochoa, R., Olarieta, J.R., Chocarro, C., Martínez, V., Bilbao, I. 2014. Autoecología y distribución potencial de la encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) en la zona norte de Monegros. *Ecosistemas* 23(2): 108-115. Doi.: 10.7818/ECOS.2014.23-2.14

Para conocer la autoecología y distribución potencial de la encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) en la zona norte de Monegros se ha cartografiado la distribución de la encina y sus especies asociadas, analizando 37 parcelas con presencia de esta especie. Se han analizado las relaciones entre variables dasométricas de los encinares y variables ambientales, edáficas y climáticas, mediante análisis de correlaciones, y se ha utilizado el análisis canónico de correspondencias para estudiar las relaciones entre las especies vegetales descritas en los encinares y aquellas variables ambientales. A partir del mapa de suelos de la zona, se han definido como áreas potenciales para la encina las que presentan suelos similares a los de las parcelas con presencia actual de esta especie, y como áreas de exclusión las afectadas por salinidad-sodicidad, las que presentan suelos erosionados desarrollados sobre lutitas, y las formaciones de ribera. Las condiciones climáticas a escala de parcela indican un clima semiárido con precipitaciones de 400 - 500 mm, y déficits hídricos entre 364 y 741 mm. Los suelos asociados se clasifican, principalmente, como *Torriorthents lítico-xéricos* y *Petrocalcids cálcicos*. Son suelos bien drenados, no salinos, con una proporción de arena superior al 30 % en la fracción fina, y profundidad enraizable de 8 - 70 cm. Las masas de encina presentan áreas basimétricas de 1.1 - 27.6 m².ha⁻¹, diámetros medios de 3.9 - 27.7 cm y alturas dominantes de 3.0 - 10.7 m, y aparece regenerado de esta especie en un 81 % de las parcelas. La cartografía muestra que más del 60 % de la zona de estudio podría ser un hábitat apto para la encina.

Palabras clave: encinar; distribución geográfica potencial; cartografía semidetallada; restauración; suelos

Rodríguez-Ochoa, R., Olarieta, J.R., Chocarro, C., Martínez, V., Bilbao, I. 2014. Autoecology and potencial distribution of holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) in North Monegros. *Ecosistemas* 23(2): 108-115. Doi.: 10.7818/ECOS.2014.23-2.14

In order to understand the ecology and potential distribution of holm oak (*Quercus ilex* subsp. *Ballota* (Desf.) Samp.) in North Monegros we mapped the present distribution of this and associated species. We also studied 37 plots in which *Q. ilex* is present analyzing the relations between the characteristics of the stands and the plant species recorded and the biophysical variables. On the basis of the soil map of the area, the potential distribution of holm oak in North Monegros was defined as that occupied by soils similar to those described in plots with actual presence of this species. The areas where it may be excluded were defined as those with saline-sodic soils, with eroded soils on lutites, or river banks. Mean annual rainfall was estimated at 400 - 500 mm, mean annual temperature at 12.9 - 16.8 °C, with an accumulated mean annual moisture deficit of 364 - 741 mm. The most frequent soil taxa described were *Lithic-xeric Torriorthents* (31 %) and *Calcic Petrocalcids* (11 %). Soils were well-drained, non-saline, had a sand concentration higher than 30 %, and a rootable depth of 8-70 cm. The *Q. ilex* stands had a basal area of 1.1 - 27.6 m².ha⁻¹, a mean diameter of 3.9 - 27.7 cm, and a dominant height of 3.0 - 10.7 m, and regeneration of this species was present in 81 % of the plots. The *Q. ilex* potential distribution map shows that over 60 % of the study area may be a suitable habitat for this species.

Keywords: potential geographic distribution; restoration; semi-detailed mapping; soils

Introducción

Los modelos predictivos de la distribución de las especies vegetales se basan en ciertas presunciones y aproximaciones, y presentan diferentes tipos de limitaciones en relación a la información que utilizan, biofísica, y sobre relaciones biológicas e historia de los usos, y en cuanto a los tratamientos estadísticos empleados (Seoane y Bustamante 2001; Benito Garzón et al. 2003; Guisan y Thuiller 2005; Soberón y Peterson 2005; Lirás et al. 2008). Los modelos que estiman la disponibilidad de hábitat de una especie (Seoane y Bustamante 2001) pasan por identificar los lugares y situaciones ambientales en las que una especie está presente, generalizándose a condiciones dentro de los rangos observados de las variables se-

leccionadas que se consideran más explicativas. Este enfoque es un primer análisis orientativo particularmente útil en zonas con poca información, extensas o con escasa prospección (Skov y Borchsenius 1997). Los modelos de distribución potencial deben ser ajustados "a posteriori" al nicho realizado o área de ocupación (Gaston y Fuller 2009), lo que se puede hacer identificando los espacios en los que la especie no puede vivir (Lirás et al. 2008). En la modelización de las variables abióticas del territorio, el significado de algunas variables puede cambiar al modificar la escala de trabajo. La información que se requiere sintetizar en escalas semidetalladas y detalladas es amplia y precisa, y los factores bióticos, como las interacciones interespecificas y las dinámicas de las poblaciones, son más relevantes (Soberón y Peterson 2005).

La encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) es una de las especies forestales de mayor importancia en medios áridos y semiáridos mediterráneos. Aparece en España en un amplio rango climático, en áreas con un precipitación media anual entre y , y con temperaturas medias de las mínimas en enero desde hasta más de (Rodà et al. 2009). También aparece en suelos muy diversos, tanto ácidos, como calcáreos, o yesosos. Sin embargo, la extensión de los encinares se ha visto reducida por la presión humana a lo largo de siglos, y su recuperación allí donde esta presión ha cesado es, en general, dificultosa (Pulido y Díaz 2005; Gómez-Aparicio et al. 2005; Plieninger et al. 2010; Prévost et al. 2011). Diferentes trabajos realizados, algunos en áreas cercanas, han mostrado la importancia de las características edáficas en el desarrollo de esta especie (Curt y Marsteau 1997; Sardans et al. 2004 y 2006; Olarieta et al. 2012; Pascual et al. 2012), y de ahí la importancia de estudiar las condiciones de los suelos con el fin de planificar las posibles plantaciones futuras y la gestión de las masas existentes de esta especie. Sin embargo, es muy escasa la integración de la información de suelos en los modelos ecológicos (McAuliffe 1994; Binkley 2006). En el caso concreto de la carrasca, existe, además, poca información disponible sobre los suelos y otras características biofísicas necesarias para la modelización de la disponibilidad de hábitats de esta especie a escalas detalladas.

La zona central del Valle del Ebro, dentro de la cual se localiza el área de estudio, la Depresión de Sariñena, tiene gran interés por tratarse de una región cuya pluviometría (del orden de) se encuentra cerca del límite inferior para la encina, y que ofrece muchas dudas sobre su adecuación para esta especie (Rodà et al. 2009; Peralta et al. 2013). El objetivo de este trabajo es caracterizar las condiciones ambientales en las que aparece actualmente la encina en la Depresión de Sariñena (Huesca), y obtener una cartografía de su distribución potencial en esta zona.

Material y métodos

La zona de estudio, zona norte de Monegros, o Depresión de Sariñena, ocupa unas al nordeste de España, en la parte central del Valle del Ebro, en la provincia de Huesca entre la comarca de Hoya de Huesca al norte, la Sierra de Alcubierre al oeste, y el Somontano al este, y está atravesada por los ríos Flumen y Alcanadre (Fig. 1). La superficie forestal en los términos municipales que ocupa la Depresión es de unas , pero sólo corresponden a frondosas sin incluir choperas. La encina aparece sólo en pequeños rodales dispersos en la zona de estudio.

En una primera aproximación se recogió toda la toponimia de la zona relacionada con los términos “encina”, “lecina”, y “carrasca” a partir de del Nomenclátor Geográfico Básico de España del Instituto Geográfico Nacional (http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/equipamiento/BD_Municipios-Entidades.zip) y el Nomenclátor Geográfico de Aragón del Gobierno de Aragón (<http://idearagon.aragon.es/toponimia/>).

Mediante recorridos sistemáticos por la zona se localizaron los pies y corros de encina así como las especies vegetales asociadas con los encinares. La cartografía de estas distribuciones se efectuó mediante el sistema de información geográfica ArcGis 10.0 (ESRI Inc., California, Estados Unidos), compatible con la información del territorio disponible (Rodríguez-Ochoa et al. 1998).

A partir de esta información se definieron 37 rodales con presencia de un mínimo de cinco pies de encina o con una densidad de regenerado de esta especie superior a 200 pies.ha⁻¹, seleccionando aquéllos que aparecían en condiciones de secano o con pies de edades estimadas superiores a la transformación en regadío de su entorno, y en diferentes posiciones geomorfológicas: 6 en plataformas estructurales (divisorias planas sobre materiales geológicos terciarios), 9 en plataformas residuales (divisorias planas sobre materiales geológicos cuaternarios), 9 en laderas de solana, y 13 en umbrías (Fig. 1). Las parcelas así obtenidas se encontraban a altitudes entre 289 m y 441 m.

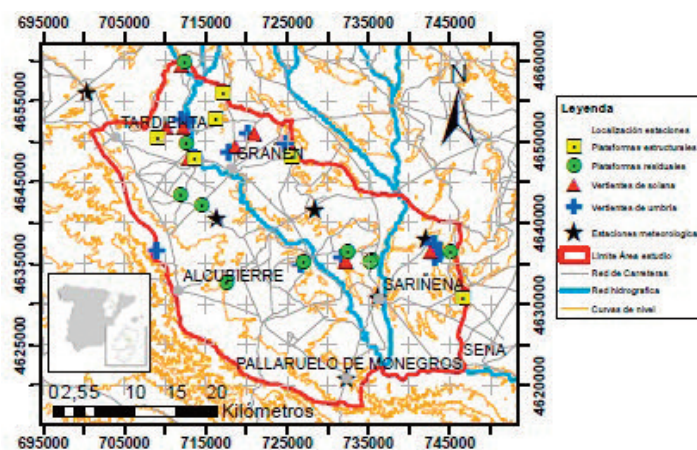


Figura 1. Localización de la zona norte de Monegros, o Depresión de Sariñena, de las parcelas de estudio, y de las estaciones meteorológicas utilizadas.

Figure 1. Location of the northern area of Monegros, or Sariñena Depression, sample plots, and meteorological stations used.

En cada rodal se definió una parcela muestral de 200 m² en la que se describió la geomorfología (incluyendo pendiente general y local, orientación, y ángulo zenital en las ocho direcciones azimutales principales) y su dinámica actual (procesos de erosión y sedimentación), y las condiciones de superficie (pedregosidad superficial, afloramientos rocosos). La orientación de las parcelas se transformó en dos variables continuas, una indicando el gradiente Norte-Sur, y otra indicando el gradiente Este-Oeste (Clark et al. 1999). Se realizó un inventario de las especies de plantas presentes en los diferentes estratos clasificándolas según Flora Ibérica (Castroviejo 1986-2012), y se estimó la cubierta de los estratos arbóreo, arbustivo, herbáceo, y criptogámico. Para cada especie se evaluó su carácter generalista mediante el Índice Ponderado de Preferencia (WPI; Clark et al. 1999) y su preferencia por cada una de las posiciones geomorfológicas. También se hizo un estudio dasométrico, incluyendo el número de pies mayores, su diámetro normal y su altura, con lo que se estimó el área basimétrica, y un conteo de regenerado (pies procedentes de semilla con altura inferior a 0.5 m).

Para el estudio de los suelos, en cada parcela se abrió un calicata hasta una profundidad de 125 cm o horizonte limitante para el enraizamiento, describiéndose según los criterios SINEDARES (Sistema de Información Edafológica y Agronómica de España; CBDSA 1983) y clasificándose a nivel de subgrupo según Soil Taxonomy (SSS 2003). Se muestrearon los horizontes minerales (dada la escasa entidad, en general, de los horizontes orgánicos) para analizar en laboratorio, tras su secado y tamizado a 2mm, el pH (1:2.5 en agua), conductividad eléctrica en extracto 1:5 en agua, textura (método de la pipeta Robinson y tamizado), carbono orgánico (método de Walkley-Black), nitrógeno total (método Kjeldahl), carbonato cálcico equivalente (mediante el calcímetro de Bernard), y potasio (extracción con acetato amónico 1N a pH = 7 y determinación por absorción atómica) y fósforo (método Olsen-Watanabe) asimilables, y capacidad de intercambio catiónico (extracción con acetato amónico), siguiendo en todos los casos las propuestas de Page et al. (1982). Para cada perfil de suelo se estimó la capacidad de retención de agua disponible (CRAD) en función de la profundidad enraizable, proporción de elementos gruesos en cada horizonte, y los valores de agua disponible propuestos por FAO (1979). También se determinó la velocidad de infiltración mediante mini-infiltrómetro con tres repeticiones por parcela.

Para el estudio topoclimático de las parcelas se utilizaron las series de datos 1969-2002 de las estaciones climatológicas de Huesca (Monflorite) y Almudevar (Granja), localizadas éstas dos a menos de 8 km de la zona de estudio, y las de Grañén (Montesodeto), Grañén (Montesusin), Lastanosa (La Sesa), Pallaruelo y Sariñena (Co-

marca), localizadas dentro de la zona de estudio (Fig. 1a). Con todos estos datos se obtuvieron las regresiones lineales entre temperaturas y precipitaciones medias mensuales y altitudes, a partir de las cuales se estimaron las correspondientes a cada parcela. Las temperaturas se corrigieron, además, en función de la orientación de la parcela (Montero de Burgos 1982). Se estimó la radiación incidente y la evapotranspiración potencial (ETP) (Turc 1961) en cada parcela mediante el modelo Ecosim (Gracia 1991), que tiene en cuenta, entre otras variables, la orientación, pendiente, y el sombreado topográfico modelizado a partir de los ángulos zenitales en las ocho direcciones azimutales principales. También se realizó el balance hídrico de cada parcela a partir de los datos climáticos medios y suponiendo un agotamiento exponencial de la reserva del suelo y que el valor máximo de esta reserva es la CRAD. A partir de este balance se obtuvo el déficit de humedad acumulado anual.

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante el programa R (R Development Core Team 2009). Se estudió la relación entre la tipología de suelos y las unidades geomorfológicas mediante el análisis de correspondencias, y las relaciones entre características de suelos y entre éstas y las dasométricas mediante el análisis de correlaciones lineales. Utilizamos el análisis canónico de correspondencias (CCA) del paquete "Vegan" de R (Oksanen et al. 2013) para estudiar las relaciones entre las variables ambientales y la presencia/ausencia de las diferentes especies vegetales en cada parcela.

La cartografía de aptitud de hábitat (Guisan y Thuiller 2005) para la encina en la Depresión de Sariñena se realizó a partir del mapa de suelos de la zona (Rodríguez-Ochoa et al. 1998), definiendo como zonas con presencia potencial de esta especie aquellas con suelos similares a los descritos en las parcelas con presencia actual de encina y plantas asociadas. En cambio, se definieron como zonas excluyentes los suelos afectados por salinidad-sodicidad (McFarland et al. 2014), en los que, además, la alta compacidad limitaría el desarrollo de esta especie (Olarieta et al. 2012), las primeras terrazas de los ríos Alcanadre y Flumen en las que se desarrollaría bosque de ribera (Braun-Blanquet y Bolós 1957), y, finalmente, las zonas con suelos muy erosionados y encostrados desarrollados sobre lutitas, en las que las condiciones de estrés hídrico e inestabilidad geomorfológica imposibilitarían el desarrollo de encinares.

Resultados

Características fisiográficas y microclimáticas

Las parcelas descritas tienen pendientes menores del 11 % en el caso de las situadas en plataformas, y de hasta el 45 % en las de laderas. En general, presentan pocos afloramientos rocosos (que ocupan menos del 12 % de la superficie en una 75 % de las parcelas), y también una escasa pedregosidad superficial, que es inferior al 12 % en el 50 % de las parcelas.

La aproximación al microclima de las parcelas estudiadas muestra unas temperaturas medias anuales entre 12.9 °C y 16.8 °C, con temperaturas medias en verano de 21.7 - 26.0 °C y de 23.0 - 26.3 °C en el mes más cálido, mientras que en invierno las temperaturas medias son de 4.6 - 8.1 °C, y en el mes más frío varían entre -1.1 °C y 2.0 °C. Las precipitaciones medias anuales son de 401 - 503 mm; el 57 % de las parcelas recibirían precipitaciones inferiores a 450 mm, y el 89 % precipitaciones inferiores a 475 mm. Las estaciones más lluviosas son primavera y otoño (115 - 145 mm y 110 - 144 mm) con un mínimo invernal (85 - 107 mm). La ETP media anual oscila entre un valor medio de 942 mm en umbrías y de 1125 mm en solanas, con lo que el déficit medio anual acumulado es de 539 mm y 685 mm, respectivamente.

Suelos

Las unidades geomorfológicas en las que se han descrito las parcelas muestrales presentan distribuciones de suelos significativamente diferentes ($\chi^2 = 65.8$; $P=0.002$). En las plataformas estructurales dominan los *Torriorthents lítico-xéricos* (82 %), en las plataformas residuales los *Petrocalcids cálcicos* (44 %) y *Petrocalcids xéricos* (33 %), en las laderas de solana los *Torriorthents lí-*

tico-xéricos (67 %), y en las umbrías aparece una mayor diversidad de tipos de suelos (Tabla 1).

Los suelos de las parcelas estudiadas son, en general, poco profundos (el 75 % tienen una profundidad enraizable inferior a 50 cm), bien drenados, con altas velocidades de infiltración (superior a 4 mm.h⁻¹ en el 75 % de las parcelas), y no salinos. Los valores de pH en el horizonte superficial siempre son superiores a 7.9, y se encuentran por debajo de 8.4 en el 75 % de los casos, pero en dos parcelas alcanzan valores de 9.2 y 9.6. Su concentración media de carbonato cálcico equivalente es del 23 % pero en dos casos los suelos presentan niveles inferiores al 10 %, mostrando, por tanto, clara evidencia de descarbonatación.

Son suelos con una baja proporción de elementos gruesos, siempre inferior al 50 % del volumen, pero en los que predomina claramente la fracción arena, nunca inferior al 31 %. Así, las clases texturales predominantes son franco-arenosa (38 % de las parcelas), arenoso-franca (19 %), y franco-arcillosa (19 %), con contenidos de arcilla y limo siempre inferiores al 45 %.

Los horizontes orgánicos de estos suelos tienen muy poco grosor, con un máximo de 7 cm y con menos de 1 cm en cerca del 60 % de los casos. Este grosor se correlaciona positivamente con la pendiente de la parcela ($r = 0.40$; $P = 0.02$). Aparece una gran variabilidad en las concentraciones de carbono orgánico en los horizontes minerales superficiales, con valores medios del 2.7 %, pero mínimos de 0.9 % y máximos de 6.2 %. En cualquier caso, los valores de la relación C/N se mantienen siempre inferiores a 16 y pueden llegar a ser inferiores a 8. Esta concentración en carbono orgánico está muy correlacionada con las de nitrógeno total ($r = 0.93$; $P < 0.0001$) y fósforo Olsen ($r = 0.70$; $P < 0.0001$), y en menor medida con la de potasio intercambiable ($r = 0.33$; $P = 0.04$).

Vegetación de las parcelas

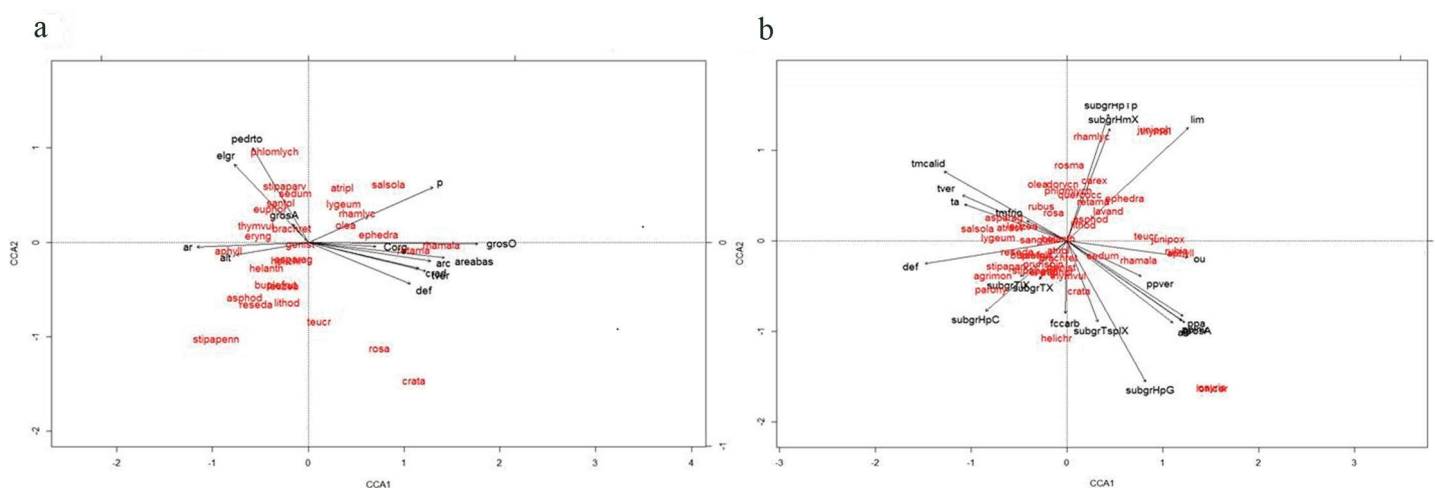
Se han inventariado un total de 109 especies en las parcelas estudiadas con presencia de encina. Las especies más frecuentes son *Brachypodium retusum* (Pers.) Beauv. (86 %), *Thymus vulgaris* L. (70 %), *Helianthemum* sp. Mill. (62 %), *Leuzea conifera* (L.) DC. (74 %), y *Santolina chamaecyparissus* L. (74 %). Otras especies que aparecen con menor frecuencia son *Lygeum spartum* L. (48 %), *Asparagus officinalis* L. (43 %), *Eryngium campestre* L. (40 %), *Sedum sedoides* (DC.) Rorthm. (40 %), *Asphodelus cerasiferus* J. Gay (35 %), *Phlomis lychnitis* L. (32 %), *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss. (32 %), y *Rhamnus alaternus* L. (32 %).

Algunas de estas especies muestran una cierta preferencia y/o rechazo a alguna unidad geomorfológica. Así, las especies con más querencia (valores de WPI superiores a 0.13) por las plataformas, residuales o estructurales, son *Plantago albicans* L. y *Stipa parviflora* Desf. En cambio, *Juniperus oxycedrus* L., *Dorycnium pentaphyllum* Scop., *Teucrium chamaedrys* L., *Rubia peregrina* L., *Aphyllanthes monspeliensis* L., *Thymelaea tinctoria* (Pourr.) Endl. y *Carex halleriana* Asso muestran preferencia por las umbrías, y *Paronychia cf. capitata* (L.) Lam., *Asparagus acutifolius* L., *Atractylis glomerata* (Caball.) Caball., *Quercus coccifera* L., y *Rosmarinus officinalis* L. por las vertientes de solana. Rechazan las posiciones de plataforma *Juniperus oxycedrus* L., *Paronychia cf. Capitata* (L.) Lam., y *Lavandula latifolia* Medik., mientras que *Plantago albicans* L. rechaza tanto solanas como umbrías.

Los dos primeros ejes del análisis canónico de correspondencias (CCA) explican un 33 % de la varianza en las parcelas de plataforma y un 26 % en las parcelas de ladera. En las plataformas (Fig. 2a) el primer eje (eigenvalue = 0.29) define un gradiente marcado por el grosor del horizonte orgánico, por un lado, y que ocupan especies como *Rhamnus alaternus* L. y *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss., y que en el otro extremo está definido principalmente por el contenido de arena del suelo y donde están presentes *Stipa pennata* L. y *Aphyllanthes monspeliensis* L. El segundo eje (eigenvalue = 0.25) separa las plataformas con alta pedregosidad superficial y alta proporción de elementos gruesos dentro del perfil del suelo, ligadas a especies como *Phlomis lychnitis* L. y *Stipa parviflora* Desf., de aquellas con altos déficits de humedad y altas temperaturas de verano con especies como *Crataegus monogyna* Jacq. y *Rosa cf. canina* L.

Tabla 1. Distribución de suelos en las diferentes unidades geomorfológicas en las que se han descrito parcelas con presencia de encina.**Table 1.** Soil distribution among the geomorphological units in which plots with presence of holm oak have been described.

	Plataformas estructurales (n=6)	Plataformas residuales (n=9)	Laderas solana (n=9)	Laderas umbría (n=13)
Torriorthent lítico-xérico	82 %	-	67 %	15 %
Torriorthent xérico	-	-	11 %	-
Torripsamment lítico-xérico	-	-	11 %	15 %
Torripsamment xérico	18 %	-	-	-
Calcixerept petrocálcico	-	11 %	-	-
Calcixerept típico	-	11 %	-	-
Haploxerept cálcico	-	-	-	15 %
Haploxerept gypsico	-	-	-	8 %
Haploxerept típico	-	-	-	15 %
Haplocalcid xérico	-	-	-	23 %
Petrocalcic cálcico	-	44 %	-	-
Petrocalcic xérico	-	33 %	-	-
Haplocambid xerico	-	-	11 %	8 %

**Figura 2.** Gráficas con los dos primeros ejes del análisis canónico de correspondencia para las parcelas de a) plataformas, b) laderas.

Principales variables ambientales: alt: altitud de la parcela; areabas: area basimétrica de encina; ar: concentración de arena en el horizonte mineral superficial del suelo; arc: concentración de arcilla en el horizonte mineral superficial del suelo; def: déficit hídrico medio anual acumulado; elgr: proporción de elementos gruesos en volumen en el horizonte mineral superficial del suelo; grosA: grosor del horizonte A; grosO: grosor del horizonte O; lim: concentración de limo en el horizonte mineral superficial del suelo; ou: gradiente de orientación norte-sur de la ladera; ou: concentración de fósforo Olsen en el horizonte mineral superficial del suelo; pedrto: proporción de la superficie del terreno cubierta por elementos gruesos; subgrHmX: Haplocambid xerico; subgrHpG: Haploxerept gypsico; subgrHpTp: Haploxerept típico; ta: temperatura media anual; tmcald: temperatura media del mes más cálido; tver: temperatura media de los meses de verano.

Principales especies vegetales: agrimon: *Agrimonia eupatoria*; aphyll: *Aphyllantes monspeliensis*; asphod: *Asphodelus phistulosus*; atripl: *Atriplex halimus*; carex: *Carex halleriana*; crata: *Crataegus monogyna*; dorycn: *Dorycnium pentaphyllum*; helichr: *Helichrysum stoechas*; lygeum: *Lygeum spartum*; parony: *Paronychia cf. Capitata*; phlomy: *Phlomis lychnitis*; reseda: *Reseda* sp.; retama: *Retama sphaerocarpa*; rhamala: *Rhamnus alaternus*; rhamlyc: *Rhamnus lycioides*; rosa: *Rosa cf. Canina*; rubia: *Rubia peregrina*; salsola: *Salsola vermiculata*; stipaparv: *Stipa parviflora*; stipapenn: *Stipa pennata*; thymel: *Thymelaea tinctoria*. Los nombres superpuestos en la parte inferior derecha del gráfico b) corresponden a *Lonicera implexa* y *Osyris alba*.

Figure 2. Graphs with the first two axes of the canonical correspondence analysis of plots in a) hilltops, b) slopes.

Main environmental variables: alt: altitude; areabas: basal area of holm oak; ar: sand concentration in the surface mineral soil horizon; arc: clay concentration in the surface mineral soil horizon; def: mean annual accumulated moisture deficit; elgr: percentage in volume of rock fragments in the surface mineral soil horizon; grosA: thickness of the soil A horizon; grosO: thickness of the soil O horizon; lim: concentration of silt on the surface mineral soil horizon; ou: north-south gradient of the slope; P: Olsen phosphorus concentration in the surface mineral soil horizon; pedrto: proportion of the soil surface covered with rock fragments; subgrHmX: Xeric Haplocambid; subgrHpG: Gypsic Haploxerept; subgrHpTp: Typic Haploxerept; ta: mean annual temperature; tmcald: mean monthly temperature of the hottest month; tver: mean temperature during the summer months.

Main plant species: agrimon: *Agrimonia eupatoria*; aphyll: *Aphyllantes monspeliensis*; asphod: *Asphodelus phistulosus*; atripl: *Atriplex halimus*; carex: *Carex halleriana*; crata: *Crataegus monogyna*; dorycn: *Dorycnium pentaphyllum*; helichr: *Helichrysum stoechas*; lygeum: *Lygeum spartum*; parony: *Paronychia cf. Capitata*; phlomy: *Phlomis lychnitis*; reseda: *Reseda* sp.; retama: *Retama sphaerocarpa*; rhamala: *Rhamnus alaternus*; rhamlyc: *Rhamnus lycioides*; rosa: *Rosa cf. Canina*; rubia: *Rubia peregrina*; salsola: *Salsola vermiculata*; stipaparv: *Stipa parviflora*; stipapenn: *Stipa pennata*; thymel: *Thymelaea tinctoria*. The superimposed names on the lower right side of the b) graph correspond to *Lonicera implexa* and *Osyris alba*.

En las laderas (**Fig. 2b**) el primer gradiente (eigenvalue=0.29) está relacionado, en un extremo, con orientaciones de umbría y suelos más limosos, condiciones a las que se asocian *Lonicera implexa* Aiton y *Osyris alba* L.. El otro extremo del eje queda definido por condiciones de mayor déficit hídrico acumulado y temperaturas más altas en el mes más cálido, y en donde se instalan *Paronychia cf. capitata* (L.) Lam. y *Salsola vermiculata* L., principalmente. En el segundo eje (eigenvalue = 0.22) se separan, por un lado, los suelos del subgrupo *Haplocambid xérico*, principalmente, asociados a la presencia de *Dorycnium pentaphyllum* Scop. y *Thymelaea tinctoria* (Pourr.) Endl. Y en el otro extremo del eje se sitúan los suelos de los subgrupos *Haploxerept gypsico* y con horizontes A gruesos, con presencia de *Osyris alba* L. y *Lonicera implexa* Aiton, principalmente.

Características dasométricas

Las masas de *Quercus ilex* estudiadas tienen una fracción de cabida cubierta arbórea media de encina del 64 % , con alturas medias entre 2.5 m y 6.8 m, diámetros medios entre 3.9 cm y 27.8 cm, y áreas basimétricas de 1.1 m².ha⁻¹ a 38.3 m².ha⁻¹. Se correlacionan positivamente entre sí el área basimétrica y el diámetro medio ($r = 0.49$; $P = 0.004$), el diámetro medio y la altura media ($r = 0.39$; $P = 0.02$), la altura media y el área basimétrica ($r = 0.51$; $P = 0.002$), y negativamente el diámetro medio y la densidad de pies adultos ($r = -0.46$; $P = 0.006$).

El análisis de correlación lineal entre las variables dasométricas y las variables ambientales (**Tabla 2**) muestra que la densidad de pies adultos de encina está relacionada negativamente con el grosor ($r = -0.41$; $P = 0.02$) y contenido de arcilla ($r = -0.58$; $P = 0.0004$) del horizonte mineral superficial y la CRAD del suelo (-0.45 ; $P = 0.009$), así como con las precipitaciones de verano ($r = -0.62$; $P < 0.0001$). La altura media de las encinas se relaciona positivamente con la concentración de fósforo asimilable en el horizonte mineral superficial del suelo ($r = 0.39$; $P = 0.02$) y negativamente con el grosor de este horizonte ($r = -0.46$; $P = 0.007$) y con las precipitaciones de verano ($r = -0.46$; $P = 0.008$). El área basimétrica se relaciona positivamente con este fósforo asimilable ($r = 0.37$; $P = 0.03$).

El 81 % de las parcelas presenta regenerado de encina, con una densidad media de 352 pies.ha⁻¹. Esta densidad está correlacionada positivamente con el grosor del horizonte orgánico del suelo ($r = 0.48$; $P = 0.004$) y con la profundidad enraizable de éste ($r = 0.43$; $P = 0.008$), y negativamente con el déficit de humedad acumulado ($r = -0.44$; $P = 0.01$) (**Tabla 2**).

Cartografía de la vegetación

La distribución actual de la encina en la Depresión de Sariñena (**Fig. 3b**) muestra una alta frecuencia de esta especie en los márgenes hacia el norte y nordeste, conectando con la Hoya de Huesca, y hacia el oeste, conectando con la Sierra de Alcubierre, pero una menor presencia en la zona sur, aspecto éste último confirmado por la distribución de los topónimos relacionados con el término "encina" (**Fig. 3a**). Las especies acompañantes de la encina muestran una distribución similar (**Figs. 3c y d**), aunque aparecen con cierta frecuencia en la zona sur. La **Figura 4** muestra el área potencial para *Quercus ilex* en la Depresión, que supone un 62 % de la superficie, así como las zonas en que queda excluida por presencia de bosques de ribera, (3.5 % de la superficie), por condiciones edáficas de salinidad-sodicidad, (27 % de la zona), o por condiciones de intenso déficit hídrico y presencia de suelos erosionados especialmente en laderas de solana (7 % de la Depresión).

Discusión

El conjunto de datos topoclimáticos obtenidos en las parcelas de estudio se sitúa dentro de las condiciones climáticas compatibles con *Quercus ilex* (Barbero, et al. 1992). La aparición de pequeñas masas de esta especie en la Depresión de Sariñena sugiere que el límite pluviométrico de 400 - 450 mm que se suele proponer (Terradas 1999) debería matizarse en función de varia-

bles más detalladas, tanto microclimáticas como edáficas. En cualquier caso, las parcelas estudiadas se encontrarían dentro del grupo del 25 % de encinares más secos de la región mediterránea en España (Rodà et al. 2009). Los análisis polínicos y los restos de carbonos del yacimiento del Tozal de Macarullo en Estiche (Huesca), con una datación de 2840 ± 50 BP (Sopena 1998; González-Sampériz 1998), indican que en el norte de la Comarca del Cinca Medio, contiguo a la zona de estudio y similar en sus condiciones biofísicas, existiría un bosque abierto dominado por pinos y encinas.

Los suelos estudiados muestran un claro sesgo en sus características hacia la predominancia de la arena en su textura. Este sesgo podría estar relacionado con los propios requerimientos ecofisiológicos de la encina y/o con un rechazo por parte del uso agrícola de este tipo de condiciones. Niveles altos de arena proporcionan una mayor porosidad de aireación a los suelos y un menor riesgo de encostramiento, lo que, ligado a las altas velocidades de infiltración, permitiría un mejor aprovechamiento de las lluvias. Por otro lado, en estas condiciones de clima semiárido, suelos con baja profundidad enraizable y texturas relativamente gruesas acentúan las condiciones de sequía, por lo que no son apreciados para su uso agrícola y habrían permitido el mantenimiento de estas pequeñas masas de encina.

Los dos perfiles con evidencias de descarbonatación, con valores de carbonato cálcico equivalente inferiores al 10 %, aparecen en plataformas residuales a una altitud de 300 - 320 m, con unas evapotranspiraciones potencial superiores a 1100 mm, y que el exceso acumulado de precipitación sobre evapotranspiración es inferior a 50 mm. En estas condiciones, la probabilidad de descarbonatación de los suelos es muy baja según el modelo de Rubio y Escudero (2005). Pero este modelo sólo considera las condiciones climáticas actuales, por lo que no permite interpretar estos procesos en suelos que, por su morfología (presencia de horizontes petrocálcicos), deben tener una edad entorno a unos 50 000 años y, por tanto se han desarrollado a lo largo de diferentes periodos climáticos, e incluso han soportado condiciones periglaciares (Rodríguez-Ochoa et al. 2012).

La parte de la varianza no explicada por el análisis de correspondencias podría estar relacionada con el carácter muy marginal de las masas estudiadas y su intensa perturbación por diversas actividades humanas. Es relevante apuntar que el análisis se ha realizado con la presencia/ausencia de las especies en las parcelas, por lo que la ausencia de una de ellas puede estar ocasionada por variables bióticas (competencia, depredación, etc.), por variables abióticas (clima, suelo, etc.), o, como se señala arriba, por causas antrópicas. En cualquier caso, estos resultados son coincidentes con la propuesta por Monserrat (1994), que describe encinares con suelos de texturas medias y finas en los que aparecerían especies como *Lonicera implexa*, *Aphyllanthes monspeliensis*, *Osyris alba*, *Crataegus monogyna*, *Stipa pennata*, y *Teucrium chamaedrys*, y otros de texturas con elevadas proporciones de arena donde se encuentran especies como *Rhamnus lyciodes*, *Thymelaea tinctoria*, *Phlomis lychnitis*, y *Sedum sediforme*.

La interpretación de las correlaciones obtenidas entre las variables dasométricas de *Q. ilex* y las variables edafoclimáticas (**Tabla 2**) debe realizarse teniendo en cuenta que se desconoce la edad de las masas estudiadas, y que, por tanto, estas correlaciones pueden estar sesgadas por las posibles diferencias de edad entre ellas. Así, mientras que las correlaciones positivas entre el fósforo disponible en el suelo y la altura media de las encinas están en consonancia con estudios anteriores (Sardans et al. 2004; 2006; Pascual et al. 2012), las correlaciones negativas de las alturas medias o dominantes con las precipitaciones de invierno y de verano y con la CRAD, por el contrario, entrarían en contradicción con la literatura (Curt y Marsteau 1997; Pascual et al. 2012).

En este trabajo se obtiene una relación significativa entre la densidad de regenerado y variables indicadoras de la disponibilidad de humedad para las plantas, correlación que es positiva con la profundidad enraizable del suelo y negativa con el déficit de hume-

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre variables dasométricas de *Quercus ilex* y variables edafoclimáticas (entre paréntesis, valores de P).
Table 2. Correlation coefficients between stand and climatic and soil variables (P values in parentheses).

	Área basimétrica	Densidad pies adultos	Densidad regenerado	Dm	Dg	hm	ho
Arena	ns	0.43 (0.01)	ns	ns	ns	ns	ns
Arcilla	ns	-0.58 (0.0004)	ns	0.52 (0.002)	0.49 (0.004)	ns	ns
P Olsen	0.37 (0.03)	ns	ns	ns	ns	0.39 (0.02)	ns
CRAD	ns	-0.45 (0.009)	ns	ns	ns	ns	-0.35 (0.04)
Deficit	ns	ns	-0.44 (0.01)	ns	ns	ns	ns
Prof. enr.	ns	ns	0.43 (0.008)	ns	ns	ns	ns
Grosor hor.A	ns	-0.41 (0.02)	ns	ns	ns	-0.46 (0.007)	-0.53 (0.001)
Grosor hor. O	0.41 (0.02)	s	0.48 (0.004)	ns	ns	ns	ns
Precipit. verano	-0.37 (0.03)	-0.62 (<0.0001)	ns	ns	ns	-0.46 (0.005)	-0.50 (0.003)
Precipit. primavera	ns	0.41(0.02)	ns	-0.44 (0.01)	-0.41 (0.02)	ns	ns

P: Fósforo disponible; CRAD: Capacidad de reserva de agua disponible; Dm: Diámetro medio normal; Dg: Diámetro medio cuadrático; Hm: Altura media; Ho: Altura dominante; ns: correlación no significativa ($P > 0.05$).

P: Olsen phosphorus; CRAD: available water holding capacity; D: mean diameter; Dg: mean quadratic diameter; H: mean height; Ho: dominant height; ns: non-significant correlation ($P > 0.05$)

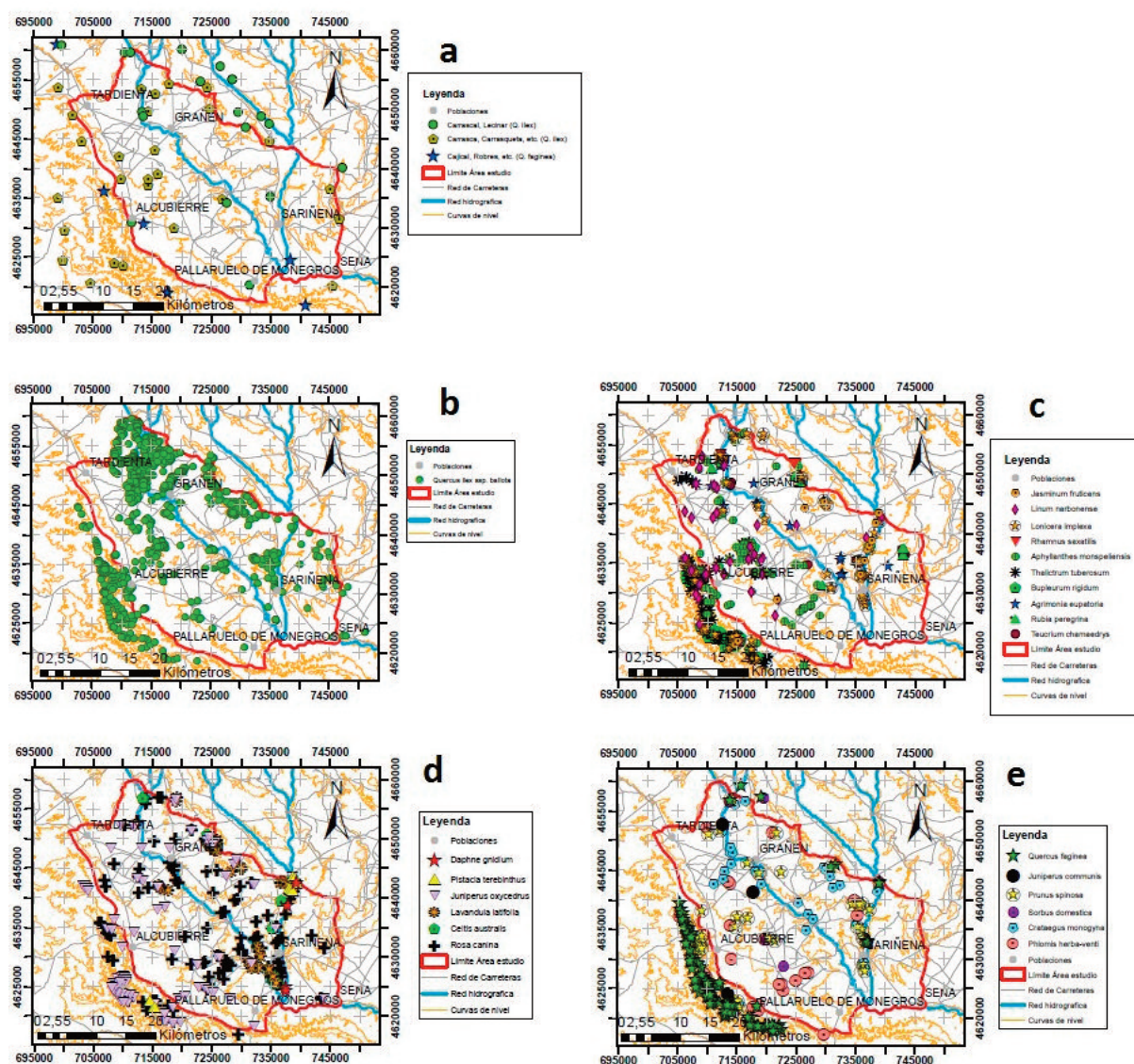


Figura 3. a) localización de toponimia relacionada con el encinar; b) presencia de pies o corros de encina; c) presencia de especies asociadas al encinar (1); d) presencia de especies asociadas al encinar (2); e) presencia de especies asociadas al encinar (3).

Figure 3. a) Location of place-names related to holm oak, b) presence of trees or small stands of holm oak; c) presence of plant species related to holm oak forests (1); presence of plant species related to holm oak forests (2); presence of plant species related to holm oak forests (3).

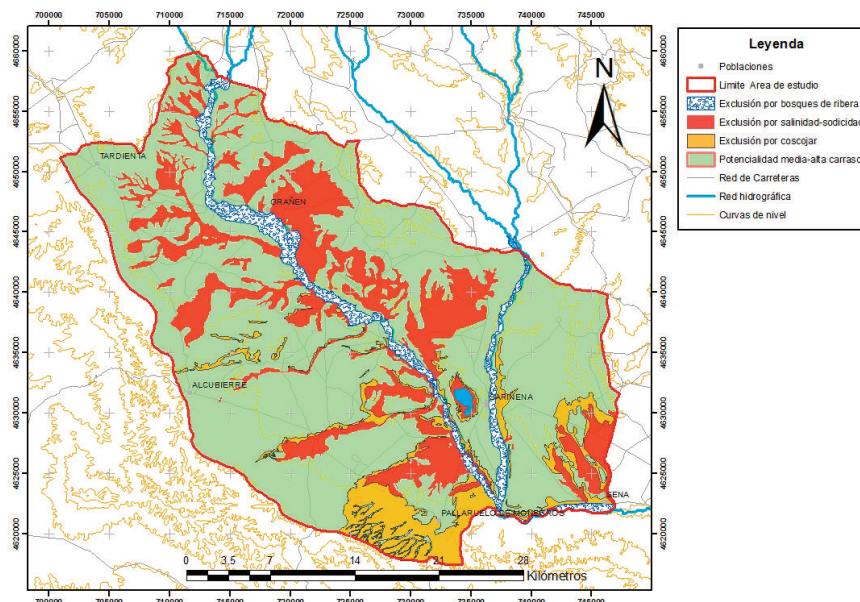


Figura 4. Cartografía de áreas de presencia potencial de *Quercus ilex* y de áreas donde esta especie quedaría excluida.

Figure 4. Map of areas with potential presence of *Quercus ilex* and areas where this species would be excluded.

dad acumulado, así como el limitado crecimiento de esta especie en condiciones de escasa disponibilidad hídrica (Olarieta et al. 2012; Pascual et al. 2012). Todo esto nos permite justificar la ausencia y limitada potencialidad de *Q. ilex* en unidades de solana en el sector más meridional de la zona de estudio con suelos erosionados desarrollados sobre lutitas. En estas situaciones los valores de ETP superarían 1050 mm y el déficit hídrico sería mayor de 650 mm. Por ello, esta especie tendrá gran dificultad en colonizar este tipo de laderas así como las plataformas estructurales en estos ambientes semiáridos, unidades en las que la profundidad enraizable de los suelos suele ser baja (Rodríguez-Ochoa et al. 2006; 2008). Esta propuesta estaría en concordancia con la vegetación y las condiciones biofísicas de las solanas de la Sierra de Alcubierre (Molero et al. 1998; Rodríguez-Ochoa et al. 2006 y 2008).

Los suelos afectados por salinidad-sodicidad en la Depresión de Sariñena están asociados, en gran parte, a zonas que fueron transformados en regadío y nivelaciones sin capaceo. Son suelos con fuerte degradación y suelen presentar alta compactación, encostramiento, encharcamiento superficial y falta de aireación radicular. La sensibilidad de *Quercus ilex* a los problemas de compactación del suelo (Olarieta et al. 2012) limitarían su posible expansión en campos agrícolas abandonados de Monegros, en los que los horizontes subsuperficiales del suelo alcanzan frecuentemente valores de densidad aparente de 1.5 - 1.6 Mg.m⁻³ con texturas finas o moderadamente finas (Rodríguez-Ochoa et al. 1998), y resultan, por tanto, muy limitantes para el desarrollo radicular de esta especie.

El mapa de las áreas con potencialidad para la encina (Fig. 4) amplía las distribuciones e interpretaciones realizadas por autores anteriores (Rivas-Martínez 1987; Monserrat 1994; Escudero y Franches 2004). Peralta et al. (2013) sugieren que la encina podría tener una distribución amplia también en el sur de Navarra, con condiciones biofísicas similares a la Depresión de Sariñena. Los resultados obtenidos para el Valle del Ebro por Benito Garzón et al. (2003) presentan coincidencias con el área aquí propuesta a pesar de que el trabajo de estos autores se basa en grandes tendencias macroclimáticas con una escala de trabajo más general.

Esta propuesta de distribución potencial de la encina en la Depresión de Sariñena es solo un primer paso asumiendo las diferentes limitaciones que son inherentes a este proceso (Seoane y Bustamante 2001; Lirás et al 2008), por lo que la evaluación de la credibilidad y capacidad de aplicación de los resultados hace necesario el contraste con experiencias de plantaciones de encina, tanto anteriores como futuras.

Conclusiones

Una gran parte de la zona norte de Los Monegros, o Depresión de Sariñena, presenta una aptitud potencial respecto a la presencia de encina, aunque ésta se encuentra en su límite de distribución debido a la limitada disponibilidad hídrica por factores topoclimáticos y edáficos, especialmente en su sector meridional en situaciones de solana con suelos de escasa capacidad de retención de agua.

La síntesis de información topoclimática, de suelos y de otros factores abióticos, junto con la de presencia de encina y especies de ecología próximas, elaboradas a escala semidetallada (E: 1:100 000), se ha revelado como una herramienta útil para el análisis de potencialidad de esta especie a pesar de la extrema degradación de la vegetación de la zona ligada al manejo antrópico milenar.

Agradecimientos

Se agradecen las aportaciones, comentarios y discusiones de aspectos botánicos, de vegetación y ecológicos de Joan Pedrol Solanes, y los trabajos de cartografía y SIG de Guzmán López Santana. Agradecemos también los comentarios constructivos de dos revisores anónimos. Este trabajo se ha realizado gracias a la ayuda del proyecto AGL2012-40100-C02-01.

Referencias

- Barbero, M., Loisel, R., Quézel, P. 1992. Biogeography, ecology and history of Mediterranean *Quercus ilex* ecosystems. *Vegetatio* 99/100: 19-34.
- Benito Garzón, M., Maldonado, J., Sánchez de Dios, R., Sainz Ollero, H. 2003. Predicción de la potencialidad de los bosques esclerófilos españoles mediante redes neuronales artificiales. *Graellsia* 59(2-3): 345-358.
- Binkley, D. 2006. Soils in Ecology and Ecology in soils. En: Warkentin, B.P. (ed.), *Footprints in the Soil*, pp. 259-278. Elsevier, Amsterdam. Holanda.
- Braun-Blanquet, J., Bolòs, O. 1957. Les groupements végétaux du bassin moyen de l'Ebre et leur dynamisme. *Anales de la Estación Experimental de Aula Dei* 5 (1-4): 1-216.
- Escudero, C., Franches, M.J. 2004. *Memoria de Síntesis del Mapa Forestal de Aragón*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza. España.
- Castroviejo, S. (coord. gen.). 1986-2012. *Flora Ibérica* 1-8,10-15,17-18, 21. www.floraiberica.org.

- CBDSA 1983. *SINEDARES. Manual para la Descripción Codificada de Suelos en el Campo*. Comisión del Banco de Datos de Suelos y Aguas Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. España.
- Clark, D.B., Palmer, M.W., Clark, D.A. 1999. Edaphic factors and the landscape-scale distributions of tropical rain forest trees. *Ecology* 80(8): 2662-2675.
- Curt, T., Marsteau, C. 1997. Systèmes géopédologiques et production forestière sur substratum carbonaté et gréseux en zone méditerranéenne. L'exemple des chênes vert et pubescent dans les garrigues du Gard. *Étude et Gestion des Sols* 4(4): 247-263.
- FAO 1979. *Soil Survey Investigations for Irrigation*. FAO Soils Bulletin, 42. FAO, Roma. Italia.
- Gaston, K.J., Fuller, R.A. 2009. The sizes of species' geographic ranges. *Journal of Applied Ecology* 46: 1-9.
- Gómez-Aparicio, L., Gómez, J.M., Zamora, R., Boettinger, J.L. 2005. Canopy vs. soil effects of shrubs facilitating tree seedlings in Mediterranean montane ecosystems. *Journal of Vegetation Science* 16: 191-198.
- Gonzalez-Sampériz, P. 1998. Estudio palinológico. En: Rodanés, J.M., Sopena, M.C., El Tozal de Macarullo (Estiche, Huesca). El Bronce Reciente en el Valle del Cinca. *Tolous* 9: 83-99.
- Gracia, C. 1991. *ECOSIM. Simulación y análisis de problemas de ecología*. Versión 39.01/A. Dep. Ecología. Universitat de Barcelona. Barcelona. España.
- Guisan, A., Thuiller, W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8: 993-1009.
- Liras, E., Cabello, J., Bonet, F.J. 2008. Bioinformática para la conservación de la flora. *Conservación Vegetal* 12: 6-9.
- McAuliffe, J.R. 1994. Landscape evolution, soil formation, and ecological patterns and processes in Sonoran Desert bajadas. *Ecological Monographs* 64(2): 111-148.
- McFarland, M.L., Provin, T.L., Redmon, L.A., Boellstorff, D.E., McDonald, A.K., Stein, L.A., Wherley, B.G. 2014. *An Index of Salinity and Boron Tolerance of Common Native and Introduced Plant Species In Texas*. 46pp. TEXAS A and M AgriLife Extension Service. College Station, Texas, Estados Unidos.
- Molero, J., Sáez, L., Villar, L. 1998. Interés florístico y geobotánico de la Sierra de Alcubierre (Monegros, Aragón). *Acta Botanica Barcinonensis* 45: 363-390.
- Montserrat, P. 1994. Vegetación. En: Ruiz De La Torre, J. (coord.). *Mapa Forestal de España. Hojas: 8-4. Lleida*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Icona, Madrid. España.
- Montero de Burgos 1982. El clima y la introducción de especies. En: *Principios de Introducción de Especies*, pp. 215-239. INIA, IUFRO, Lourizán. Pontevedra. España.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O'Hara, R. B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H., Wagner, H. 2013. *Vegan: Community Ecology Package, Version 2.0-8*. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Olarieta, J.R., R. Rodríguez-Ochoa, E. Ascaso. 2012. Soil gypsum and increased penetration resistance restrict early growth of *Quercus ilex* plantations. *Arid Land Research and Management* 26: 250-260.
- Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second Edition*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Estados Unidos.
- Pascual, S., Olarieta, J.R., Rodríguez-Ochoa, R. 2012. Development of *Quercus ilex* plantations is related to phosphorus availability on shallow calcareous soils. *New Forests* 43: 805-814.
- Peralta, J., Zepeda, N.A., Imbert, J.B. 2013. ¿Puede haber carrascales en el sur de Navarra? Una aproximación mediante la modelización de distribución de especies. *Ecosistemas* 22(3): 58-65.
- Plieninger, T., Rolo, V., Moreno, G. 2010. Large-scale patterns of *Quercus ilex*, *Quercus suber*, and *Quercus pyrenaica* regeneration in Central-Western Spain. *Ecosystems* 13: 644-660.
- Prévosto, B., Monnier, Y., Ripert, C., Fernandez, C. 2011. Diversification of *Pinus halepensis* forests by sowing *Quercus ilex* and *Quercus pubescens* acorns: testing the effects of different vegetation and soil treatments. *European Journal of Forest Research* 130: 67-76.
- Pulido, F.J., Díaz, M. 2005. Regeneration of a Mediterranean oak: A whole cycle approach. *Ecoscience* 12(1): 92-102.
- R Development Core Team. 2009. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <http://www.R-project.org>.
- Rivas-Martínez, S. 1987. *Mapa de Series de Vegetación de España. 1:400.000*. ICONA. Madrid. España.
- Rodà, F., Vayreda, J., Ninyerola, M. 2009. 9340. Encinares de *Quercus ilex* y *Quercus rotundifolia*. En: VV.AA. Bases Ecológicas Preliminares para la Conservación de los Tipos de Hábitat de Interés Comunitario en España, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid. España.
- Rodríguez-Ochoa, R., Usón, A., Olarieta, J.R., Herrero, J., Porta, J. 1998. Irrigation from the Sixties: Flumen-Monegros. En: Boixadera, J., Poch, R.M., Herrero, C. (eds.), *Tour Guide B8: Soil Information for Sustainable Development*, ch. 3.3. 16th World Congress of Soil Science. Montpellier (France). International Union of Soil Science, Lleida, España.
- Rodríguez-Ochoa, R., Olarieta, J.R., Artieda, O., Martínez, S., Alcarria, Z., Lizano, J. 2006. Suelos y masas de *Juniperus thurifera* L. en la Sierra de Alcubierre (Huesca, España). En: *Actas del II Coloquio Internacional sobre Sabinares y Enebrales, Tomo I*, pp. 161-170. Junta de Castilla y León y Comunidad de Madrid. España.
- Rodríguez-Ochoa, R., Olarieta, J.R., Olóriz, P., Aguarta, S. 2008. Suelos y masas de *Pinus halepensis* en la Sierra de Alcubierre (Huesca). *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 25: 379-385.
- Rodríguez-Ochoa, R., Santana, A., Olarieta, J.R. 2012. Relictic periglacial soils in the middle Ebro Valley (Spain): macromorphology and micromorphology. En: Poch, R.M., Casamitjana, M., Francis, M.L. (eds.), *Proceedings 14th International Working Meeting on Soil Micromorphology*, pp.75-79. DMACS, UdL, Lleida. España.
- Rubio, A., Escudero, A. 2005. Effect of climate and physiography on occurrence and intensity of decarbonation in Mediterranean forest soils of Spain. *Geoderma* 125: 309-319.
- Sardans, J., Rodà, F., Peñuelas, J. 2004. Phosphorus limitation and competitive capacities of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* on different soils. *Plant Ecology* 174: 305-317.
- Sardans, J., Rodà, F., Peñuelas, J. 2006. Effects of a nutrient pulse supply on nutrient status of the Mediterranean trees *Quercus ilex* subsp. *ballota* and *Pinus halepensis* on different soils and under different competitive pressure. *Trees* 20: 619-632.
- Seoane, J., Bustamante, J. 2001. Modelos predictivos de la distribución de especies: Una revisión de sus limitaciones. *Ecología* 15: 9-21.
- Skov, F., Borchsenius, F. 1997. Predicting plant species distribution patterns using simple climatic parameters: a case study of Ecuadorian palm. *Ecography* 20 : 347-355
- Soberón, J., Peterson, A. T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2: 1-10.
- Sopena, M.C. 1998. Estudio geoarqueológico de los yacimientos de la edad del Bronce de la Comarca del Cinca Medio (Huesca). *Bolskan* 15. 1-238
- SSS 1999. *Soil Taxonomy, Second Edition*. Soil Survey Staff, NRCS, United States Dept. of Agriculture, Washington, D.C. Estados Unidos.
- Terradas, J. 1999. Holm oak and holm oak forests: an introduction. En: Rodà, F., Retana, J., Gracia, C.A., Bellot, J. (eds.), *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*, pp. 3-14. Springer, Heidelberg, Alemania.
- Turc, L. 1961. Evaluation des besoins en eau d'irrigation. Evapotranspiration potentielle: formule climatique simplifiée et mise à jour. *Annales Agronomiques* 12(1):13-49.