

## SUELOS Y MASAS DE *PINUS HALEPENSIS* EN LA SIERRA DE ALCUBIERRE (HUESCA)

Rafael Rodríguez-Ochoa, José Ramón Olarieta Alberdi, Pilar Olóriz Ruiz y Sergio Agurta Nasarre

Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl. Universitat de Lleida. Avda. Rovira Roure 191. 25198-LLEIDA (España). Correo electrónico: rodriguez@macs.udl.es

### Resumen

Se han estudiado 34 estaciones forestales de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) en la Sierra de Alcubierre (Huesca), dentro de los Monegros. En cada estación se realizó una caracterización biofísica, dasométrica y edáfica y se analizó su influencia sobre el crecimiento de las masas de *Pinus halepensis*. Las estaciones se encuentran 550 m y 740 m de altitud. Los suelos se desarrollan sobre sedimentos coluviales calcáreos, alternancias de lutitas, calizas y yesos y sobre calizas. Se clasifican, principalmente, como *Xerorthents típicos*, *Torriorthents xéricos*, *Torriorthents líticos*, o *Haploxerepts gypsicos*. Son suelos bien drenados, no salinos, con pocos elementos gruesos, profundidad enraizable de 15-78 cm, texturas moderadamente finas, contenidos de carbonatos de 14-58% y de materia orgánica de 2-6% en el horizonte mineral superficial. Las masas, que frecuentemente ocupan antiguos bancales de cultivo, tienen edades de 40-65 años, densidades de 300-3800 pies.ha<sup>-1</sup>, áreas basimétricas de 15-59 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, y alturas dominantes de 5'2-15'2 m. La presencia de regenerado en estas masas es bastante pobre, debido quizás a su alta densidad. Es mucho mejor, en cambio, el regenerado de *Quercus ilex*, especialmente en umbrías. El crecimiento de pino carrasco está relacionado, principalmente, con la disponibilidad hídrica, de manera que índices de estación a los 40 años (IE40) de 9 m se producen en laderas de umbrías abancaladas y no abancaladas. Para alcanzar un IE40 de 11 m se requiere además que el suelo tenga una profundidad enraizable superior a 40 cm. La presencia de yeso en el suelo limita el crecimiento de esta especie, produciéndose en estas condiciones unos valores del IE40 del orden de 8 m, y siempre inferiores a 10 m. Las mejores calidades de estación están relacionadas con la presencia de *Juniperus phoenicea*, mientras que *Dorycnium pentaphyllum* se relaciona con las peores calidades.

Palabras clave: Pino carrasco, Calidad de estación, Entisoles, Evaluación del territorio, Semiárido, Reforestación, Conservación suelos, agua y biodiversidad, Aragón, Monegros

### INTRODUCCIÓN

El pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) es una de las especies forestales de mayor importancia en medios áridos y semiáridos mediterráneos, y la zona de Monegros (Zaragoza-Huesca), dentro de la cual se encuentra la Sierra de Alcubierre, constituye una de las regiones de procedencia de semilla de esta especie. Trabajos

realizados en áreas cercanas han mostrado la importancia de diversas características edáficas en el desarrollo de las masas de esta especie (LAATSCH, 1966; ZÖTTL Y VELASCO, 1966; KLOP et al., 1986; OLARIETA et al., 2000, 2005). De ahí la importancia de estudiar las condiciones de los suelos con el fin de planificar las posibles plantaciones futuras, la gestión de las masas existentes de esta especie, conservación de suelos y

aguas, recuperación de zonas degradadas y restauración de hábitats.

En este trabajo se pretende contribuir al conocimiento de los suelos y de sus relaciones con las masas de pino carrasco en la Sierra de Alcubierre.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La zona de estudio se localiza en el sector septentrional de la Sierra de Alcubierre, en el sector central de la Depresión del Ebro, ente altitudes de 460 y 705 m. Todos pertenecientes al termino de Alcubierre (Huesca, Aragón), en la zona de Los Monegros.

En este trabajo se incluyen 34 estaciones de 200 m<sup>2</sup> de superficie, distribuidas en función de las principales unidades geomorfológicas y presencia de abacalamientos. Se han evitado las situaciones de borde con parcelas agrícolas, árboles padre de gran tamaño y otras características especiales.

En cada estación se realizó una caracterización biofísica, edáfica y dasométrica. En la caracterización biofísica se han estudiado los materiales geológicos, geomorfología, topoclima, vegetación y usos del suelo, utilizándose los criterios de SINEDARES (CBDSA, 1983) y OLARIETA et al. (2000).

Las condiciones climáticas se han modelizado a nivel topoclimático de cada parcela. Para ello se han establecido regresiones en altitud específicas en la Sierra, correcciones de precipitación y temperatura por altitud y orientación propuestas por MONTERO DE BURGOS (1982). Se estimó la radiación incidente y la evapotranspiración potencial (ETP-Turc) para cada parcela mediante el modelo ECOSIM (GRACIA, 1990). La reserva máxima de agua del suelo se obtuvo a partir de los valores de CRAD de los horizontes enraizables y se efectuó un balance hídrico simple considerando que la extracción de agua del suelo en los meses secos sigue un modelo lineal. Se estimó así para cada parcela la evapotranspiración real y el déficit de humedad acumulado.

Las formaciones geológicas profundas, del Mioceno, están constituidas por alternancias de lutitas y calizas, con niveles de arenitas y yesos. Ebro. Las formaciones geológicas superficiales

están constituidas por sedimentos detríticos coluviales con diferentes proporciones de finos y elementos gruesos calcáreos, apareciendo fondos y mayoritariamente, y con espesores variables, en vertientes. Las formas generales de La Sierra de Alcubierre son de tipo estructural. Las principales unidades geomorfológicas a escala detallada (1:25.000) (RODRÍGUEZ-OCHOA et al., 1998) son plataformas estructurales sobre calizas, vertientes de umbría, vertientes de solana y fondos planos.

Para el análisis de la vegetación y usos del territorio se realizó una descripción cualitativa y cuantitativa mediante coberturas de arbolado y arbustos altos y transectos para los estratos con altura menor a 120 cm. Los transectos realizados sirvieron también para la cuantificación de la erosión. Para estudiar los suelos se realizó una calicata en cada parcela.

La descripción macromorfológica se efectuó según SINEDARES (CBDSA, 1983) y la clasificación a nivel de familia del pedión se hizo según "Soil Taxonomy System" (S.S.S., 1999). Además se tomaron muestras de suelo para analizarlas en laboratorio posteriormente. Los análisis de los suelos se han realizado conforme a las metodologías indicadas en PAGE et al. (1982), determinándose el pH (en agua, 1:2,5), prueba previa de salinidad (CE. [1:5]), materia orgánica (método Walkley-Black), carbonato cálcico equivalente mediante el calcímetro de Bernard, nitrógeno mediante el método Kjeldahl, potasio intercambiable (extracción con acetato amónico 1N a pH=7 y determinación por absorción atómica) y fósforo asimilable (método de Olsen-Watanabe). Para cada perfil de suelo se estimó la capacidad de retención de agua disponible (CRAD) para cada horizonte según HALL et al. (1977).

Se realizó un inventario forestal en parcelas rectangulares de 200 m<sup>2</sup>. Se determinó en cada parcela se midió mediante forcípula de brazo móvil el diámetro normal de los pies en que éste era igual o superior a 5 cm, y se contó el número de pies con diámetro inferior a 5 cm. Asimismo se midió la altura total de los dos pies dominantes de cada parcela y se determinó la edad de éstos en un testigo obtenido mediante barrena de Pressler en la base del tronco, según el criterio de Assman (GÓMEZ et al., 1997). Para

cada parcela se definió la clase de calidad de estación y el índice de estación a los 40 años (IE40) mediante las curvas de crecimiento de GÓMEZ *et al.* (1997).

Los tratamientos estadísticos de los datos se efectuaron con el paquete informático SAS (SAS INSTITUTE, 1998), realizando análisis de correlaciones ("Proc. Corr.") entre las variables cuantitativas dasométricas, topoclimáticas y edáficas, análisis de modelos lineales generalizados ("Proc. GLM") incluyendo las variables cualitativas del medio, y análisis de regresión lineal ("Proc.Reg.").

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se sintetizan algunas variables biofísicas de las estaciones forestales estudiadas por unidades de relieve. Las unidades geomorfológicas estudiadas son plataformas estructurales, laderas de umbría sin abancalamiento, laderas de umbría abancaladas y laderas de solana. Las laderas son en su mayoría rectilíneas tanto en perfil como en planta, y su pendiente oscila entre 8% y 58%, mientras que las plataformas son subhorizontales. Los procesos erosivos tienen una baja afección en las estaciones estudiadas.

El déficit hídrico varía significativamente entre las unidades de relieve ( $P < 0,05$ ), siendo con mayor déficit son las laderas de solana y plataformas (déficit medio respectivamente de 558,8 y 568,6 mm.año<sup>-1</sup>), mientras que las laderas de umbría con y sin abancalamientos presentan los valores medios mínimos respectivamente (435,5 y 367,7 mm.año<sup>-1</sup>).

Los suelos en laderas se han desarrollado en la mayoría de los casos sobre sedimentos detríticos coluviales, seguidos de calizas y en menor proporción lutitas alternando con calizas. En las plataformas se desarrollan solo sobre calizas. No se encuentran afloramientos rocosos en ninguna de las estaciones.

En la tabla 2 se indican algunas características destacables de los suelos. Son suelos bien drenados. La reacción de los suelos es básica con pH que varían entre 7,8 y 8,8. Presentan profundidades enraizables desde muy superficiales a profundas, entre 20 y 80 cm., con una media global de unos 39 cm presentando un carácter superficial, menor de 50 cm, en el 70% de los suelos. Las plataformas y solanas (prof. media de 24 y 26,5 cm) presentan valores significativamente más bajos que en las umbrías no abancaladas (49 cm).

Las texturas son medias y moderadamente finas, predominando texturas francas y franco

Unidad de relieve	Nº	Altitud (m)	Orient (°)	Pte (%)	Material geológico	Suelo desnudo (%)	Pedreg. superf. (%)	Deficit Hídrico (mm.año <sup>-1</sup> )
Ladera solana	5	637 ± 27 (610-670)	166 ± 26 (135-225)	35,0 ± 5,1 (28-40)	SDC (40%) Lutitas y calizas (60%)	8,5 ± 4,7 (3,5-16,8)	9,5 ± 4,9 (3-15)	558,8 ± 24,3 (535-592)
Ladera umbría abancaladas	11	650 ± 44 (590-710)	25 ± 18 (340-45)	15,8 ± 7,7 (8-28)	SDC (91 %) Lutitas y calizas (9%)	1,5 ± 2,9 (1-5,5)	6,9 ± 7,0 (1-25)	435,5 ± 39,1 (393-493)
Ladera umbría	12	652 ± 62 (550-740)	14 ± 26 (328-43)	36,7 ± 9,1 (19-58)	SDC (67 %) Lutitas y calizas (33%)	1,8 ± 2,5 (0-6)	9,3 ± 8,3 (2-25)	367,7 ± 85,0 (201-740)
Plataforma	6	662 ± 62 (580-730)	Sin orientación	2 ± 1 (1-3)	Calizas (100%)	1,3 ± 2,1 (0-5,5)	21,8 ± 15,8 (6-50)	568,6 ± 23,3 (528-730)

Nº: Número de estaciones; Altitud (m); Déficit: déficit hídrico media anual acumulado. Orient: orientación (grados respecto al Norte); Pte: pendiente (%); Material geológico originario (SDC: sedimentos detríticos coluviales); Pedreg. superf.: pedregosidad superficial (% cubierta suelo). Entre paréntesis, valores mínimo y máximo.

**Tabla 1.** Variables biofísicas de las estaciones forestales estudiadas

Unidad de relieve	Suelos (SSS, 1999) Grupo	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Ladera solana	Torriorthent (60 %)	8,1 ±0,2 (7,8-8,2)	0,67 ±0,57 (0,33-1,33)	38,3 ± 11,7 (25-47)	4,43 ± 0,64 (3,7-4,9)	0,20 ± 0,06 (0,14-0,27)	9,0 ± 3,0 (6-12)	180 ± 103 (66-266)	26,5 ±5,3 (21-32)	37,5 ±5,3 (31-44)
Ladera umbria abancalada	Xerorthent (64%)	8,3 ± 0,2 (8,1-8,7)	0,26 ± 0,05 (0,19-0,38)	37,2 ± 14,8 (15-58)	3,64 ± 1,35 (2,2-5,8)	0,16 ± 0,05 (0,1-0,26)	5,0 ± 2,3 (2-10)	245 ± 111 (67-474)	41,6 ±13,4 (22-64)	61,9 ±32,7 (24-125)
Ladera umbria	Xerorthent (33%) Haploxerept (25%) Haploxeroll (17%)	8,4 ± 0,2 (8,1-8,8)	0,39 ± 0,52 (0,15-2,1)	39,6 ± 10,9 (19-58)	4,38 ± 1,35 (2,2-6,1)	0,19 ± 0,04 (0,13-0,28)	8,5 ± 5,1 (4-18)	273 ± 171 (25-579)	49,2 ±14,0 (30-78)	76,2 ±33,1 (43-65)
Plataforma	Torriorthent (66 %)	8,2 ± 0,1 (8,0-8,3)	0,24 ± 0,07 (0,18-0,37)	33,6 ± 14,7 (14-50)	4,84 ± 1,67 (2,1-6,4)	0,24 ± 0,06 (0,16-0,33)	7,0 ± 1,9 (5-10)	443 ± 246 (129-728)	23,7 ±10,5 (15-43)	32,0 ±16,4 (15-59)

(1) pH [1:2,5]; (2)CE[1:5] (dS.m-1); (3) % CaCO<sub>3</sub>; (4) % materia orgánica; (5) % nitrógeno; (6) Fósforo extraíble (ppm); (7) Potasio extraíble (ppm); (8) Prof. enraizable: profundidad enraizable del suelo (cm); (9) CRAD: capacidad de retención de agua disponible del suelo (mm). Entre paréntesis, valores mínimo y máximo.

**Tabla 2.** Algunas características de los suelos de las parcelas estudiadas

limosas. Los contenidos de materia orgánica oscilan entre 2,1 y 6,6%, con una media global de un 4,2%. Las parcelas con mayor conductividad eléctrica, (C.E. [1:5]), superior a 0,35 dS.m<sup>-1</sup>, presentan acumulaciones de yeso y en ningún caso esta asociado a problemas de salinidad por sales soluble en exceso.

Las proporciones de carbonato cálcico son elevadas, entre 14 y 58%. Estos altos niveles hacen que el 74% de los suelos sean de la familia mineralógica carbonática, lo que se asocia a limitaciones en la disponibilidad de fósforo, micronutrientes, etc. Es destacable los altos niveles de potasio extraíble que presenta valores medios en las diferentes unidades de relieve entre 180 y 440 ppm.

La capacidad de retención de agua disponible de los suelos (CRAD) varía entre 125 y 15 mm, con una media global de 58 mm. La CRAD es Significativamente mayor en estaciones de orientación norte con o sin abancalamiento (entre 62 y 76 mm.) que en plataformas (32 mm) y laderas de solanas (37 mm).

Los suelos estudiadas son, en una gran mayoría, *Entisoles* (68%), y en menor medida, *Inceptisoles* (18%), *Mollisoles* (8%), *Inceptisoles* (23%), y *Aridisoles* (6%). En cualquier caso, una gran mayoría tienen carácter superficial (profun-

didad enraizable menor de 50 cm) (70%). De esta forma, el 50% de los *Entisoles* quedan incluidos en el grupo de los *Torriorthents*, y por tanto, un 38% de las parcelas se estima que tienen un régimen de humedad arídico. Dentro de los horizontes diagnóstico predominan los gypsicos, que aparecen en un 20% de las parcelas, siendo escasa la presencia de horizontes cálcicos.

La presencia de yeso en estos suelos está relacionada positivamente con la conductividad eléctrica del horizonte mineral superficial ( $r = 0,46$ ;  $p < 0,01$ ), que varía entre 0,15 y 2,06 dS/m, con aumento de la relación carbono/nitrógeno ( $r = 0,41$ ;  $p < 0,05$ ), y con una disminución de la disponibilidad de potasio ( $r = -0,41$ ;  $p < 0,05$ ).

El contenido en materia orgánica está relacionado positivamente con el contenido en nitrógeno ( $r = 0,38$ ;  $p < 0,05$ ) y en fósforo ( $r = 0,32$ ;  $p = 0,07$ ). Las masas de mayor edad presentan suelos con un mayor contenido en materia orgánica ( $r = 0,35$ ;  $p < 0,05$ ) y una mayor relación C/N ( $r = 0,43$ ;  $p < 0,05$ ) en el horizonte mineral superficial.

En las masas de *Pinus halepensis*, estudiadas aparecen con cierta frecuencia otras especies como *Quercus ilex* spp. *ballota*, *Juniperus phoenicea*, *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus thurifera*, y *Quercus faginea*. También se encuentra con cierta frecuencia *Quercus coccifera*,

*Rosmarinus officinalis*, *Rhamnus alaternus*, *Rhamnus lycioides*, *Thymelea tinctoria*, *Genista scorpius*, etc. En parcelas de umbría con o sin abancalamiento se han observado *Lonicera implexa*, *Ruscus aculeatus*, *Bupleurum rigidum*, *Thalictrum tuberosum*, etc. En suelos con yesos edáficos o geológicos aparecen *Gypsophila hispanica* ssp. *struthium* y *Ononis tridentata*.

Las mejores calidades de estación están relacionadas con la presencia de *Juniperus phoenicea*, *Quercus ilex* ssp. *ballota*, mientras que *Dorycnium pentaphyllum* y *Helychrisum stoechas* se relaciona con las peores calidades.

En la tabla 3 se indican los parámetros silvícolas en las parcelas de pino carrasco estudiadas. El número de pies adultos no varía significativamente respecto a ningún factor, oscilan entre unos 1200 y 2000 pies.ha<sup>-1</sup>. Solamente en tres parcelas (9%) no se alcanzan los 600 pies.ha<sup>-1</sup>.

El diámetro medio normal global es de 18,1 cm. Aunque no se han hallado diferencias significativas las estaciones de umbría y las de umbría con abancalamiento (19,2 y 23,7 cm) presentan diámetros medios superiores a las de plataformas y solanas (16,3 y 13,2 cm). El diámetro dominante medio global es de 23,8 cm siendo superior en las umbrías con y sin abancalamiento (30,5 y 25,7 cm), menores en plataformas (20,7 cm) y mínimos en solanas (18,3 cm).

Los resultados respecto al área basimétrica se encuentran entre valores extremos de 15,21 y 59,30 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, con un valor medio global de 36,28 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Las áreas basimétricas mayores son las umbrías abancaladas, seguidas de umbrías sin bancales y plataformas y por último las solanas.

La altura dominante media, Ho, es de 10,7 m. En las umbrías abancaladas son significativamente (Pr > F=0,05) mayores (13,5 m) que en laderas de solana (9,3 m) y plataformas (9,5 m). Así mismo, la altura dominante muestra una tendencia creciente al disminuir el déficit hídrico (P<0,10), y al aumentar la CRAD (P<0,10).

La edad media global de los pies es de 48 años. Se observan dos máximos de edades con 40-50 años y 60-65 años, correspondientes a los años 1950/60 y 1940/45 1975. Ambos periodos corresponden a épocas de éxodo rural generalizado y disminución de la presión agrícola y ganadera.

El crecimiento en altura medio global es 10,8 cm.año<sup>-1</sup>, con valores máximos de 15,6 y mínimos de 5,5 cm.año<sup>-1</sup>. Existen diferencias significativas entre los crecimientos de los pies dominantes en las laderas de umbría abancaladas (13,8 cm.año<sup>-1</sup>) con respecto a las de laderas de umbría (10,5 cm.año<sup>-1</sup>), plataformas (10,3 cm.año<sup>-1</sup>) y laderas de solana (8,5 cm.año<sup>-1</sup>).

El crecimiento diamétrico medio es de 2,31 mm.año<sup>-1</sup>, con valores extremos de 1,37 y 365

PARCELA	Np (pies/ha)	Dn (cm)	Do (cm)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	Ho (m)	Edad (años)	Crec. altura (cm/año)	Crec. diámetro (mm/año)	Estacion. con Regenera.(%)	IE 40 (m)
Ladera solana	1950 ±985 (850-3800)	13,2 ±2,6 (8,5-14,17)	18,3 ±3,9 (11,5-23)	25,4 ±7,1 (15,21-37,1)	9,3 ±2,8 (5,21-14,09)	42 ±2 (40-45)	8,5 ±1,6 (5,5-10,15)	2,03 ±0,38 (1,37-2,53)	0,0	7,7 ±1,3 (5,2-8,8)
Ladera umbría abancalada	1192 ±675 (350-2350)	23,7 ±5,3 (16,8-31,9)	30,5 ±5,7 (22,5-40,0)	45,9 ±12,2 (28,75-58,93)	13,5 ±1,4 (10,4-15,25)	50 ±9 (40-65)	13,8 ±1,4 (10,7-15,6)	2,7 ±0,4 (2,2-3,62)	18,0	11,8 ±1,2 (10,2-14,1)
Ladera umbría	1308 ±743 (250-2700)	19,2 ±6,4 (10,1-31,4)	25,75 ±5,4 (14,0-35,0)	37,9 ±14,6 (18,6-59,3)	10,6 ±2,4 (6,14-13,7)	50 ±8 (39-63)	10,5 ±1,4 (8,5-12,25)	2,35 ±0,27 (2,03-2,86)	16,7	9,1 ±2,2 (5,7-12,4)
Plataforma	1733 ±507 (900-2500)	16,3 ±2,7 (12,0-20,96)	20,7 ±3,3 (14,5-24,5)	35,9 ±9,4 (21,18-39,67)	9,5 ±1,8 (6,83-11,53)	49 ±7 (40-62)	10,33 ±1,20 (8,75-12,25)	2,14 ±0,30 (1,73-2,72)	33,4	8,4 ±1,4 (6,1-10,7)

NpJth: número medio de pies Jth; Np total: número medio de pies totales; BIF: porcentaje de pies bifurcados; Fcc: fracción de cubierta cubierta; Dn: diámetro normal medio; AB: área basimétrica; Hm: altura media; Ho: altura dominante; Edad: edad media de los pies dominantes; Np Jth Regener: número medio de regenerado; IE\$=: Índice de estación a los 40 años. Entre paréntesis, valores mínimo y máximo.

Tabla 3. Parámetros silvícolas de *Pinus halepensis* en las parcelas estudiadas

mm.año<sup>-1</sup>. En las umbrías abancaladas (2,70 mm.año<sup>-1</sup>) son significativamente mayores que en las parcelas de solanas (2,03 mm.año<sup>-1</sup>) y plataformas (2,14 mm.año<sup>-1</sup>).

El regenerado de pino es bajo, globalmente solo un 18% de las estaciones presenta regenerado natural de pino destacando las plataformas donde sube hasta un tercio de sus parcelas siendo por otro lado nula en las solanas. Es mucho mejor, en cambio, el regenerado de *Quercus ilex* especialmente en umbrías.

El índice de estación varía significativamente entre las clases de orientación definidas (plataformas, sur, norte, y norte en banal) ( $p < 0.05$ ), de forma que es significativamente mayor en bancales de laderas de umbría (IE medio de 11'8 m;  $n = 11$ ) que en el resto de exposiciones (en las que varía entre 9,0 m y 7,4 m).

El análisis de regresión se realizó por separado para las parcelas de bancales en umbría por un lado, y por otro, para el resto de parcelas. Para este último grupo no se obtiene ningún modelo satisfactorio. Pero para el primer grupo, la profundidad enraizable ("prof") es la variable que ella sola tiene una mayor poder explicativo, según la regresión siguiente:

$$IE40 = 9,3 + (0,06 * \text{prof})$$

$$(R^2 = 0,40; p < 0,05; n = 11)$$

Al añadir el pH y la materia orgánica ("mo"), se obtiene la regresión siguiente:

$$IE40 = -33,9 + (0,04 * \text{prof}) + (5,1 * \text{pH}) + (0,6 * \text{mo})$$

$$(R^2 = 0,77; p < 0,05; n = 11)$$

En este grupo de parcelas la profundidad enraizable varía entre 22 cm y 64 cm, el pH entre 8,1 y 8,7, y el contenido de materia orgánica en el horizonte mineral superficial entre el 2,2% y el 5,8%. La importancia de la profundidad enraizable del suelo, o de la disponibilidad de agua en términos más generales, para el crecimiento de *Pinus halepensis* ha sido resaltada en otros estudios realizados tanto en la Cuenca del Ebro (OLARIETA et al., 2000, 2005) como en otras regiones (KLOP et al., 1986; ARES, 1993; RATHGEBER et al., 2005). El efecto positivo de la materia orgánica que se refleja en la ecuación apuntaría en una dirección similar. Pero, sin embargo, no queda claro el sentido del efecto positivo del pH, dado el rango de valores que presentan las parcelas estudiadas.

## CONCLUSIONES

En el sector norte de la Sierra de Alcubierre el crecimiento de *Pinus halepensis* esta asociado a las formas del relieve siendo superior en umbrías y particularmente en zonas abancaladas, alcanzandose en dichas zonas y con altitudes superiores a unos 600 m índices de estación a los 40 años de 12 m y presenta correlación significativa positiva con la Profundidad enraizable. De cara a la evolución de las masas y frente a riesgos de incendios forestales es destacable la regeneración de *Quercus ilex*, particularmente en las orientaciones de umbría

## BIBLIOGRAFÍA

- ARES, A.; 1993. Application of multivariate analysis to site quality evaluation for coniferous plantations. *South Afr. For. J.* 167: 27-34.
- CBDSA (COMISIÓN DEL BANCO DE DATOS DE SUELOS Y AGUAS); 1983. SINEDARES. *Manual para la Descripción Codificada de Suelos en el Campo*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- GANDULLO, J.M.; NICOLAS, A.; SANCHEZ, O. Y MORO, J.; 1972. *Ecología de los Pinares Españoles*. III. *Pinus halepensis* Mill. INIA. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- GANDULLO, J.M. Y SÁNCHEZ, O.; 1994. *Estaciones Ecológicas de los Pinares Españoles*. ICONA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- GÓMEZ, J.A.; CAMARA, A. Y GRAU, J.M.; 1997. Curvas de calidad de estación para *Pinus halepensis* Mill. e idoneidades fitoclimáticas. En: F. Puertas y M. Rivas (eds.), *Actas del I Congreso Forestal Hispano-Luso y II Congreso Forestal Español* 4: 279-284. Gobierno de Navarra. Pamplona.
- GRACIA, C.; 1991. *ECOSIM. Simulación y Análisis de Problemas en Ecología. Versión 39.01/A*. Dept. Ecología, Universitat de Barcelona. Barcelona.
- HALL, D.G.M.; REEVE, M.J.; THOMASSON, A.J. & WRIGHT, V.F.; 1977. *Water Retention, Porosity and Density of Field Soils*. Tecnical Monograph No.9. Soil Survey of England and Wales. Harpenden. Gran Bretaña.

- HERRERO, C.; BOIXADERA, J.; DANÉS, R. Y VILLAR, J.M.; 1993. *Mapa de Sòls de Catalunya 1:25000. Full Núm. 360-1-2 (65-28) Bellvís*. Direcció General de Producció i Indústries Agroalimentàries, Institut Cartogràfic de Catalunya, Generalitat de Catalunya. Barcelona
- KLOP, A.; MULDER, M.A. & DIJKERMAN, J.C.; 1986. Establishing land use requirements by testing of assumptions made in a case study on Aleppo pine in Spain. *Soil Surv. Land Eval.* 6: 51-57.
- LAATSCH, W.; 1966. Relaciones entre el estado de nutrición y el crecimiento de algunas plantaciones de *Pinus halepensis* en España. *Anal. Edafol. Agrobiol.* 25: 205-230.
- MAESTRE, F.T. & CORTINA, J.; 2004. Are *Pinus halepensis* plantations useful as a restoration tool in semiarid Mediterranean areas?. *Forest Ecol. Manage.* 198: 303-317.
- MONTERO DE BURGOS, J.L.; 1982. El clima y la introducción de especies. *En: Principios de Introducción de Especies*: 215-239. INIA. IUFRO. Lourizán.
- OLARIETA, J.R.; USÓN, A.; RODRÍGUEZ-OCHOA, R.; ROSA, M.; BLANCO, R. & ANTÚNEZ, M.; 2000. Land requirements for *Pinus halepensis* Mill. growth in a plantation in Huesca (Spain). *Soil Use Manage.* 16: 88-92.
- OLARIETA, J.R.; SEMPERE, S.; RODRÍGUEZ-OCHOA, R. Y USÓN, A.; 2005. Aproximación a los requisitos del territorio para el crecimiento de *Pinus halepensis* en la Serra de Montsant (Tarragona). *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 20: 99-104.
- 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.
- RATHGEBER, C.B.K.; MISSON, L.; NICAULT, A. & GUIOT, J.; 2005. Bioclimatic model of tree radial growth: application to the French Mediterranean Aleppo pine forests. *Trees* 19: 162-176.
- RODRÍGUEZ-OCHOA, R. Y ARTIEDA, O.; 1998. Introducción a los suelos de Monegros. Manifiesto Científico por los Monegros. *Bol. S.E.A.* 24: 67-72.
- SAS INSTITUTE.; 1998. *SAS/STAT User's Guide*. Version 7. SAS Institute Inc. Cary.
- SCHILLER, G.; 2000. Ecophysiology of *Pinus halepensis* Mill. and *P. brutia* Ten. *In: G. Ne'eman & L. Trabaud (eds.), Ecology, Biogeography, and Management of Pinus halepensis and P. brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*: 51-65. Backhuys Publishers. Leiden.
- S.S.S. (SOIL SURVEY STAFF); 1999. *Soil Taxonomy, Second Edition*. N.R.C.S., United States Department of Agriculture. Washington.
- ZÖTTL, H.W. Y VELASCO, F.; 1966. Estado nutricional y crecimiento de diversas repoblaciones del género *Pinus* en España. *Anal. Edafol. Agrobiol.* 25: 249-268.