

APROXIMACION A LOS REQUISITOS DEL TERRITORIO PARA EL CRECIMIENTO DE *PINUS HALEPENSIS* EN LA SERRA DE MONTSANT (TARRAGONA)

J.R. Olarieta¹, S. Sempere¹, R. Rodríguez-Ochoa¹ y A. Usón²

¹ Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl. Universitat de Lleida. Rovira Roure 191. 25198-LLEIDA (España). Correo electrónico: jramon.olarieta@macs.udl.es.

² Departamento de Agricultura y Economía Agraria. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte s/n. 22071-HUESCA (España)

Resumen

Se analizaron los requisitos del territorio para el crecimiento de *Pinus halepensis* mediante la comparación entre el índice de estación a los 40 años (IE) y diversas características del territorio en 16 parcelas en la Sierra de Montsant (Tarragona) situadas a altitudes entre 400 m y 1000 m de altitud y con suelos desarrollados sobre pizarras o materiales calcáreos. Los suelos desarrollados sobre pizarras son *Xerorthents líticos* de familias esqueléticas, sin carbonatos y de pH neutro. Los suelos desarrollados sobre materiales calcáreos son, predominantemente, *Xerorthents típicos* de texturas finas y contenidos de carbonatos en el horizonte mineral superficial del 0-60%. El índice de estación disminuye significativamente con la altitud, lo que parece indicar que la disminución de temperaturas que conlleva tal ascenso tendría un efecto superior al aumento en la precipitación. En cambio, el índice de estación aumenta significativamente con la profundidad enraizable. Las calidades de estación significativamente más altas (IE medio de 130 m) se encuentran a altitudes alrededor de 460-700 m y con suelos de profundidad enraizable mayor de 30 cm.

Palabras clave: *Calidad de estación, Entisoles, Evaluación del territorio, Mollisoles, Suelos forestales*

INTRODUCCION

El pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) es la especie más utilizada en el Mediterráneo para plantaciones forestales, pero no son frecuentes los estudios sobre los requisitos del territorio necesarios para que estas plantaciones tengan éxito. En España se han realizado trabajos a escala estatal (GANDULLO et al., 1972), pero pocos a escala local (LAATSCH, 1966; ZÖTTL Y VELASCO, 1966; KLOP et al., 1986; OLARIETA et al., 2000).

Este trabajo pretende realizar una aportación al conocimiento de los requisitos del territorio para el crecimiento del pino carrasco en la Serra del Montsant, situada en la comarca del Priorat (Tarragona) en la que más del 60% de las masas forestales son de esta especie.

MATERIAL Y METODOS

La Serra de Montsant está situada al noroeste de la provincia de Tarragona ocupando un

intervalo de altitudes entre 400 m y 1170 m. Está dominada por potentes estratos de conglomerados, mientras que la base está constituida por rocas sedimentarias calcáreas, yesos, y pizarras paleozoicas. La temperatura media anual para el observatorio climático de Cornudella, único representativo de la zona de estudio y localizado a 530 m de altitud, es de 13'5°C, con una media del mes más frío de 5'5°C en enero, y una media del mes más caluroso de 22'3°C en julio. La precipitación media anual es de 570 mm. Para este trabajo se estudiaron 16 parcelas de 200 m² de superficie distribuidas en función de la altitud, orientación, y material original del suelo. Se establecieron tres clases de altitud (inferior a 600 m, 600-800 m, y 900-1000 m), dos clases de orientación (norte y sur), y dos tipos de material original, pizarras, que sólo aparecen a altitud inferior a 500 m, y materiales calcáreos (conglomerados, lutitas, calizas, y sus coluvios), que pueden aparecer a cualquier altitud).

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 en la base del tronco. 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). Para los casos en que aparecieron pies de *Pinus sylvestris* se utilizaron las curvas de GARCÍA Y TELLA (1986) para caracterizar la calidad e índice de estación para esta especie. Dado que el número de pies de esta especie que aparece en cada parcela es muy pequeño, menor del 10% del total, estos valores de índice de estación son meramente orientativos.

En cada parcela se caracterizó el territorio y se describió una calicata siguiendo los criterios SINEDARES (CBDSA, 1983). Los horizontes de suelo se muestrearon, analizándose el pH (1:2'5 en agua), materia orgánica (método de Walkley-Black), nitrógeno total (método Kjeldahl), carbonato cálcico equivalente (mediante el calcímetro de Bernard), potasio extraíble (extracción con acetato amónico 1N a pH=7 y determinación por absorción atómica), y fósforo asimilable (método Olsen-Watanabe). 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 en función de la textura y el tipo de horizonte propuestos por HALL *et al.* (1977). Los perfiles se clasificaron a nivel de familia de Soil Taxonomy (S.S.S., 1999).

Se realizó una aproximación a las condiciones microclimáticas de cada parcela. A partir de los datos del observatorio de Cornudella se consideró un descenso de la temperatura media mensual de 0'6 °C por cada 100 m de ascenso en altitud, así como un aumento de la precipitación anual de 50 mm. Las temperaturas se ajustaron posteriormente a la orientación de la parcela siguiendo las propuestas de MONTERO DE BURGOS (1982). Se estimó la radiación incidente y la evapotranspiración potencial (ETP) (Turc) para cada parcela mediante el modelo ECOSIM (GRACIA, 1991), y también se desarrolló 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.

Para el análisis estadístico de los datos, y en el caso particular de las características químicas de los suelos, se utilizó el valor promedio de cada característica en los 30 cm superficiales del suelo mineral. El tratamiento estadístico se realizó con el paquete SAS, empleando análisis de correlaciones con el coeficiente de correlación de Pearson, análisis de modelos lineales generalizados entre el índice de estación y las variables cualitativas del medio (clases de altitud, orientación, y material original del suelo), y en su caso, separación de medias mediante el test de Duncan, y análisis de regresión lineal entre el índice de estación y las variables cuantitativas edafo-climáticas, eligiendo modelos que cumplen las hipótesis de normalidad, linealidad, homocedasticidad, e independencia de las variables explicativas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las parcelas estudiadas tienen una ETP estimada de 500-600 mm en orientaciones norte a

Estación	Altitud (m)	Orientación	Pendiente (°)	ETP (mm)	Déficit (mm)	IE40 (m)	Material original
MON-1	460	N	23	779	258	7'5	cal
MON-2	460	S	32	1054	484	12'0	lut
MON-3	1000	S	15	929	181	8'2	cgl
MON-4	500	S	21	1034	480	13'9	pz
MON-5	460	S	13	1131	561	13'0	clv.calc.
MON-6	775	S	30	987	317	7'0	clv.calc.
MON-7	745	N	22	704	135	12'0	aluv.calc.
MON-8	740	N	27	651	92	7'7	clv.calc.
MON-9	490	N	33	618	203	8'8	pz
MON-10	420	S	17	1113	469	11'5	pz
MON-11	990	S	21	880	139	10'5	clv.calc.
MON-12	1000	N	26	499	0	12'0	cgl+cal
MON-13	1020	N	29	600	95	7'9	clv.calc.
MON-14	700	S	21	1091	421	14'0	lut
MON-15	440	N	25	772	293	11'5	pz
MON-16	580	N	25	772	202	13'0	clv.calc.

ETP: evapotranspiración potencial media anual (Turc); Déficit: déficit de humedad acumulado medio anual; N: norte; S: sur; cal: caliza; lut: lutita; cgl: conglomerado; pz: pizarra; clv.calc.: coluvio calcáreo; aluv.calc.: aluvión calcáreo.

Tabla 1. Caracterización fisográfica, microclimática, índice de estación a los 40 años para *Pinus halepensis* (IE40), y material original del suelo de las parcelas estudiadas

1000 m de altitud, y de 1100 mm en orientaciones sur a 500 m de altitud (Tabla 1). Por su parte, el déficit de humedad acumulado sería nulo en suelos de 100 cm de profundidad enraizable con orientaciones norte a 1000 m de altitud, y alcanza 560 mm en orientación sur a 500 m de altitud y profundidad enraizable de 40 cm. Los regímenes de humedad y temperatura de los suelos se han considerado, sin embargo, como xérico y méxico (S.S.S., 1999) respectivamente, ya que la vegetación observada en las parcelas responde más a unas condiciones de sequía de verano, y en todo caso, los déficits estimados resultan de un cálculo indirecto.

Los suelos desarrollados sobre pizarras y los desarrollados sobre materiales calcáreos difieren significativamente en su profundidad enraizable (valores medios de 31 cm y 69 cm respectivamente; $P < 0'01$), CRAD (11 mm y 95 mm; $P < 0'001$), y pH (7'0 y 8'2; $P < 0'001$) (Tabla 2).

Los suelos desarrollados sobre pizarras (4 parcelas), que sólo aparecen a altitudes inferiores a 500 m, son *Xerorthents líticos* de familia esquelética, e incluso fragmental, texturas

medias o moderadamente gruesas (HERRERO et al., 1993), pH neutro, y carecen de carbonatos.

Los suelos desarrollados sobre materiales calcáreos (conglomerados, lutitas, calizas, y sus coluvios) son, mayoritariamente, *Xerorthents típicos* de texturas finas y contenidos de carbonatos del 0-60%. Las texturas son moderadamente finas o finas en los horizontes superficiales, mientras que en los sub-superficiales dominan por completo las texturas finas.

Los Mollisoles aparecen con cierta frecuencia a partir de 700 m de altitud, aunque no en las masas de mayor edad, si utilizamos la edad de los pies dominantes como criterio. Su contenido de carbono orgánico en el horizonte mineral superficial es del 4-5% (Tabla 2).

Para el total de suelos estudiados aparecen correlaciones significativas entre el carbono orgánico y el nitrógeno total ($r=0'92$; $P < 0'001$), fósforo Olsen ($r=0'72$; $P < 0'005$), y potasio extraíble ($r=0'55$; $P < 0'05$), y entre el nitrógeno total y el fósforo Olsen ($r=0'68$; $P < 0'02$).

Los suelos con proporciones de carbono orgánico inferiores al 2% en los 30 cm minerales superficiales corresponden a parcelas que

parecen haber tenido usos agrícolas en el pasado (por la presencia de terrazas o bancales). En dos casos, además, estos suelos carecen de horizonte A, lo que demuestra la presencia de graves procesos de erosión, probablemente en algún período de este pasado agrícola.

En cambio, sólo uno de los perfiles desarrollados sobre materiales calcáreos aparece descarbonatado (Tabla 2), mientras que un tercio del total presenta procesos de translocación de material en suspensión. Mayoritariamente se trata de revestimientos matriciales, pero en un caso las evidencias apuntan a cutanes arcillosos aunque el horizonte se encuentra recarbonatado (perfil MON-12). Taxonómicamente este hecho no queda reflejado porque no está previsto ningún Subgrupo al efecto dentro de los Calcixerolls y porque este Gran Grupo está prio-

rizado frente a los Argixerolls, dentro de los cuales sí se define un Subgrupo Cálculo.

Las masas estudiadas, que corresponden tanto a plantaciones como a masas de regeneración, tienen edades comprendidas entre los 24 y 80 años, densidades de 470-3800 pies.ha⁻¹, y áreas basimétricas de 8'7 m² ha⁻¹ a 42'7 m² ha⁻¹. Los índices de estación (IE40) varían de 7 m a 14 m pero la mayor parte de las parcelas tienen una calidad de estación comprendida entre H8 y H12 (Tabla 1), lo que implica una posibilidad media anual de 2'3-3'1 m³ ha⁻¹ año⁻¹.

En comparación con estudios realizados en Huesca en zonas más áridas y continentales (OLARIETA et al., 2000), las clases de calidad máximas obtenidas en el Montsant son similares, pero desaparecen las peores clases de calidad, H4 y H6.

Estación	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
MON-1	<i>Haploxerept lítico</i> , arcilloso, mezclado, calcáreo	31	0	4'1	Ac	288	8
MON-2	<i>Xerorthent típico</i> , franco fino, mezclado, calcáreo	83	33	1'6	FL	74	7
MON-3	<i>Xerorthent típico</i> , franco fino, carbonático	50	64	2'3	AcL	58	5
MON-4	<i>Xerorthent lítico</i> , esquelético franco, mezclado, no ácido	48	0	0'9	FAcAr	37	6
MON-5	<i>Haploxerept lítico</i> , franco, mezclado	40	22	1'0	FAc	48	3
MON-6	<i>Xerorthent típico</i> , esquelético arcilloso, carbonático	50	52	1'9	AcL	112	5
MON-7	<i>Xerorthent típico</i> , franco fino, mezclado, calcáreo	55	37	2'2	FAcL	60	6
MON-8	<i>Haploxeroll éntico</i> , fino, carbonático	85	39	5'1	FL	80	18
MON-9	<i>Xerorthent lítico</i> , esquelético franco, mezclado, no ácido	29	0	3'3	F	74	7
MON-10	<i>Xerorthent lítico</i> , esquelético franco, mezclado, no ácido	23	0	3'6	F	44	7
MON-11	<i>Xerorthent típico</i> , fino, carbonático	74	34	3'1	FAc	79	6
MON-12	<i>Calcixeroll típico</i> , fino, carbonático	100	34	4'2	FAc	114	9
MON-13	<i>Xerorthent típico</i> , esquelético franco, mezclado, calcáreo	58	26	2'2	FL	60	5
MON-14	<i>Calcixeroll típico</i> , fino, carbonático	100	52	4'9	FAcL	96	8
MON-15	<i>Xerorthent lítico</i> , fragmental, mezclado, no ácido	25	0	1'8	FAr	31	4
MON-16	<i>Haploxerept gypsicó</i> , fino, mezclado	100	38	1'4	AcL	44	4

(1): clasificación (S.S.S., 1999); (2): profundidad enraizable (cm); (3): carbonatos (%); (4): carbono orgánico (%); (5): clase textural (USDA); (6): potasio extraíble (ppm); (7): fósforo Olsen (ppm). Todas las características referidas a los 30 cm minerales superficiales.

Tabla 2. Caracterización edáfica de las parcelas estudiadas

Para el total de parcelas estudiadas, la variabilidad en el índice de estación no queda explicada significativamente ($P > 0.10$) por el modelo constituido por la clase de altitud, la de orientación, y la de material original del suelo. De todas formas, los valores medios del IE40 disminuyen progresivamente de 11.4 m para las estaciones a 500 m de altitud a 10.2 m para las situadas a 700 m y hasta 9.7 m en las estaciones a 1000 m de altitud.

Este efecto negativo del ascenso en altitud aparece significativamente ($P < 0.05$) en el análisis mediante regresión lineal, en el que la profundidad enraizable tiene, en cambio, un efecto positivo: $IE40 = 12.3 - (0.006 * \text{altitud}) + (0.046 * \text{profundidad})$; ($R^2 = 0.35$; $P < 0.10$).

Todo ello parece indicar que a partir de 500-600 mm la precipitación ya no es un factor determinante en el crecimiento de esta especie. Y por otra parte, esta ecuación reflejaría un efecto negativo en el crecimiento de *P. halepensis* de la disminución de temperaturas al aumentar la altitud en esta región.

Para las parcelas situadas a altitud inferior a 600 m, la clase de profundidad enraizable es la única variable que por sí sola tiene un efecto significativo sobre el IE40 ($R^2 = 0.59$; $P < 0.05$), de forma que en suelos con una profundidad menor de 40 cm el IE40 medio es de 9.8 m mientras que en suelos con mayor profundidad el IE40 medio es de 13.0 m. Este efecto de la profundidad enraizable es, sin embargo, de menor importancia que en zonas más áridas, con 400 mm de precipitación media anual, donde la profundidad alcanza a explicar ella sola el 70% de la variabilidad en el crecimiento de *P. halepensis*. SCHILLER (2000) afirma que suelos con muy baja CRAD inducen la dormancia del sistema radicular superficial al final de la temporada húmeda, con lo que posteriormente la actividad depende de la disponibilidad de agua en profundidad.

En siete de las parcelas estudiadas, localizadas a altitudes superiores a 740 m, aparecen también pies de *Pinus sylvestris*. Las clases de calidad para esta especie son muy variables, de I a III, pero no son diferentes de las obtenidas a altitudes semejantes en el Prepirineo (OLARIETA et al., 2001). Los crecimientos de *P. halepensis* y *P. sylvestris* son similares en las parcelas en que coexisten, si bien son algo mejores los de *P.*

halepensis en parcelas a altitudes inferiores a 1000 m (IE40 medio de 10 m frente a IE40 medio de 9 m para *P. sylvestris*; $n=3$), y ligeramente superiores los de *P. sylvestris* en parcelas a 1000 m (IE40 medio de 11.5 m frente a IE40 medio de 10 m para *P. halepensis*; $n=2$).

CONCLUSIONES

En la Serra de Montsant el crecimiento de *Pinus halepensis* está determinado, principalmente, por la profundidad enraizable de los suelos y por la altitud, obteniéndose un índice de estación a los 40 años de 14 m en suelos con profundidad enraizable superior a 40 cm en altitudes de 500-700 m. El índice de estación disminuye con la altitud, por lo que el descenso de temperaturas al ascender no parece quedar compensado por el aumento de precipitación.

Agradecimientos

Agradecemos los comentarios realizados por dos revisores a una versión anterior de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- GARCIA, J.L. Y TELLA, G; 1986. *Tablas de Producción de Densidad Variable para Pinus sylvestris L. en el Sistema Pirenaico*. Comunicaciones INIA, Serie Recursos Naturales n°43. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

- GOMEZ, 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. Graficas Pamplona. 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*. Technical 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.
- 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.; USON, A.; RODRIGUEZ, R.; ROSA, M.; BLANCO, R. & ANTUNEZ, M.; 2000. Land requirements for *Pinus halepensis* Mill. growth in a plantation in Huesca, Spain. *Soil Use Manag.* 16: 88-92.
- OLARIETA, J.R.; MOLINS, J.; RODRIGUEZ, R.; BLANCO, R. Y ANTUNEZ, M.; 2001. Aproximación a los requerimientos del territorio para el crecimiento de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) en la Sierra de Odén. *Edafología* 8: 13-20.
- 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 D.C.
- 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.