

CRECIMIENTO EN REPOBLACIONES DE *Pinus halepensis* Mill. EN MEDIOS SEMIARIDOS: EL EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS DE SUELO Y PLANTA ESTÁ INFLUIDO POR LA VARIABILIDAD AMBIENTAL

J.F. MARTINEZ FERNANDEZ¹, G. GONZALEZ BARBERA², J.ALVAREZ ROGEL³, D.BAGO¹ & V.CASTILLO²

- (1) Dirección General del Medio Natural. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente de la Región de Murcia. Pza. San Agustín 5-6. 30005 Murcia (España)
- (2) Departamento de Conservación de Suelos y Agua. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. CSIC. Apdo. 4195. 30080 Murcia (España).
- (3) Departamento de Producción Agraria. Area de Edafología y Química Agrícola. Universidad Politécnica de Cartagena.

RESUMEN

Se estudian los efectos de distintos tratamientos de preparación del suelo y planta. El crecimiento en altura y diámetro está relacionado con ambos factores. Los tratamientos con adición de residuos orgánicos presentan crecimientos superiores en altura. Respecto a los tratamientos de planta, los pinos con tubo presentan el mayor crecimiento en altura y el menor en diámetro. Sin embargo, la variabilidad espacial y temporal es muy importante para explicar los crecimientos tal y como ponen de manifiesto las numerosas interacciones estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales y bloque y/o fecha. En ausencia de enmienda orgánica, el efecto del subsolado y el hoyo depende de factores ambientales locales y es poco importante. La enmienda añadida en surco y en fresco favorece el crecimiento, aunque de nuevo las interacciones con la variabilidad espacial son muy importantes. Es necesario profundizar en la influencia de la variabilidad espacial en el éxito y desarrollo de las repoblaciones

P.C.: *Pinus halepensis*, repoblación, preparación del suelo, tratamiento de planta, variabilidad ambiental.

SUMMARY

We study the effects of different treatments of soil preparation and plant. Growth in height and diameter is related to both factors. Treatments with organic amendments show better height growth. With respect to plant treatment, the sheltered pines got the best growth in height and the worst in diameter. However, temporal and spatial variability is very important to explain growth as it is observed from the numerous statistically significant interactions between experimental treatments and block and/or date. In absence of organic amendment, the effect of subsoiling and hole depends on local environmental conditions, being hardly important. Organic amendment added in the subsoiled line and fresh favours the growth, although interactions with environmental variability are very important. It is necessary to focus research on the effect of spatial and temporal variability in the success and development of afforestations.

K.W.: *Pinus halepensis*, afforestation, soil preparation, plant treatment, environmental variability.

INTRODUCCIÓN

La Dirección General del Medio Natural de la Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente de la Región de Murcia, en el marco de los trabajos de reforestación en los montes públicos, y en colaboración con el C.E.B.A.S.-C.S.I.C. de Murcia, está impulsando el desarrollo e incorporación de nuevas tecnologías para la realización de forestaciones. En las regiones áridas mediterráneas donde la humedad del suelo es un claro factor limitante para el desarrollo de la vegetación, la combinación de los tratamientos mecánicos del suelo con la adición de materia orgánica produce una clara mejora de las relaciones suelo/agua, tal como se ha comprobado en estudios previos realizados en parcelas experimentales en la Región de Murcia (Querejeta *et al.*, 1998).

En otoño de 1996 se realizó una repoblación experimental con *Pinus halepensis* en las inmediaciones de la Sierra del Picarcho, en el norte de la Región de Murcia con objeto de evaluar distintas técnicas que combinan la adición de materia orgánica procedente de diversas fuentes con tratamiento previos de las plantas que mejoran su resistencia al estrés hídrico (Martínez *et al.*, 1999). Los métodos de reforestación ensayados contemplan la preparación mecánica del terreno, la mejora del suelo, el tratamiento previo en vivero y la colocación de tubos protectores para las plantas

a introducir.

Se presentan a continuación los resultados de crecimiento de los pinos y se discuten su relación con los tratamientos estudiados y la variabilidad ambiental del terreno.

MATERIAL Y MÉTODOS

El área se estableció en el término municipal de Cieza, en el monte nº 46 del C.U.P., denominado "El Picarcho". Esta zona se vio afectada por el gran incendio de Moratalla en julio de 1994. Geomorfológicamente se trata de un glacis o piedemonte de la sierra del Picarcho, con pendiente inferior al 10%, con suelos que presentan un potente horizonte petrocálcico. Se ha analizado el crecimiento de los pinos en cada tratamiento mediante la medición de su altura y diámetro basal. Las mediciones se realizaron semestralmente entre Junio de 1997 y Julio de 2000 con la excepción del invierno 1999-2000 (Tabla 1).

El diseño experimental consta de dos factores principales (Tabla 1): preparación del suelo (S, 12 tratamientos) y preparación de la planta (P, 5 tratamientos). Asimismo, el diseño experimental incluye el factor aleatorio bloque (B, 3 unidades) y el factor fecha (F, 6). En cada visita se midieron 5 pinos seleccionados al azar en cada una de las combinaciones de preparación de suelo y planta en cada bloque. Dado que existe una correlación evidente entre las medias y las varianzas de ambas variables, los datos fueron transformados logarítmicamente. A partir de este diseño se realiza un ANOVA mixto equilibrado con tres factores fijos (S, P, F) y uno aleatorio (B).

A su vez, la preparación del suelo puede descomponerse en subfactores (Tabla 1): adición o no de polímero; adición o no de residuo sólido urbano (RSU); modo de distribución del RSU, en su caso; ahoyado *versus* subsolado. La combinación de estos subfactores da lugar a un diseño factorial incompleto, por lo que es preferible realizar el análisis según subconjuntos de experimentos. En este caso, en aras a simplificar el análisis y exposición de los resultados, se ignora el efecto de la fecha, realizándose el análisis exclusivamente sobre los datos correspondientes a Junio de 2000. Se analizan en esta comunicación dos cuestiones relevantes en la ejecución de la reforestación:

- Plantaciones mediante ahoyado *versus* plantaciones con subsolado (2 tratamientos), con y sin adición de polímero (2 tratamientos) y efecto de preparación de la planta (5 tratamientos). ANOVA mixto equilibrado de 3 factores fijos más un factor aleatorio (B).
- Plantaciones en subsolado con RSU: con y sin adición de polímero (2 tratamientos), con adición de RSU fresco o seco (2 tratamientos), con adición de RSU en surco o en banda (2 tratamientos) y efecto de preparación de la planta (5 tratamientos). ANOVA mixto equilibrado de 4 factores fijos más un factor aleatorio (B).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todos los tratamientos de preparación de suelo y planta

En la Tabla 2 se muestran los resultados de los ANOVA del crecimiento en altura de los *Pinus halepensis*. El efecto de los cuatro factores sobre el crecimiento en altura (Tabla 2) es estadísticamente significativo, así como todas las interacciones de dos factores, excepto la interacción entre la Preparación del Suelo y Preparación de Planta ($S \times P$). Asimismo, son significativas dos de las cuatro interacciones de tres factores, las que se dan entre Bloque, Fecha y Preparación de la Planta ($B \times F \times P$), y entre Bloque, Preparación del Suelo y Preparación de la Planta ($B \times S \times P$). El crecimiento diamétrico muestra también efectos significativos de los cuatro factores y de todas las interacciones de dos factores excepto $F \times P$ y $S \times P$. Todas las interacciones de tres factores son estadísticamente significativas.

Los dos modelos ANOVA muestran, pues, un comportamiento complejo de las variables de crecimiento de *Pinus halepensis* en la reforestación, jugando las interacciones un papel destacado. Especialmente reseñables son aquéllas que relacionan los efectos de los tratamientos *per se* (preparación de suelo y planta) con la variación espacial (bloques) y temporal (fecha). Es importante notar que la interacción $S \times P$ no tiene efecto ni sobre el crecimiento en altura ni sobre el crecimiento en diámetro, aunque en el caso de interacciones de tres factores si son significativas para altura si se incorpora la variación espacial ($B \times S \times P$) y para diámetro tanto si se tiene en cuenta la variación espacial ($B \times S \times P$) como la temporal ($B \times S \times F$). Esto significa que el sentido de la interacción entre

preparación de suelo y planta viene condicionada por características ambientales locales en el espacio y en el tiempo.

Código preparación del suelo (S)	<i>Laboreo</i>	<i>Tipo de RSU</i>	<i>Forma de Aplicación del RSU</i>	<i>Adición de Polímero</i>	Preparación de la planta (P)	Fecha (F)
SFSP+	Subsolado (S)	Fresco (F)	Surco (S)	Sí (P+)	Micorrizada (M)	Junio 1997
SFSP-	Subsolado (S)	Fresco (F)	Surco (S)	No (P-)	Fertilizada (F)	Enero 1998
SFBP+	Subsolado (S)	Fresco (F)	Banda (B)	Sí (P+)	Tubo (T)	Junio 1998
SFBP-	Subsolado (S)	Fresco (F)	Banda (B)	No (P-)	Control (C)	Diciembre 1998
SSSP+	Subsolado (S)	Seco (S)	Surco (S)	Sí (P+)	Envase alveólo (E)	Julio 1999
SSSP-	Subsolado (S)	Seco (S)	Surco (S)	No (P-)		Julio 2000
SSBP+	Subsolado (S)	Seco (S)	Banda (B)	Sí (P+)		
SSBP-	Subsolado (S)	Seco (S)	Banda (B)	No (P-)		
SNNP+	Subsolado (S)	Ninguno (N)	No procede (N)	Sí (P+)		
SNNP-	Subsolado (S)	Ninguno (N)	No procede (N)	No (P-)		
HNNP+	Hoyo (H)	Ninguno (N)	No procede (N)	Sí (P+)		
HNNP-	Hoyo (H)	Ninguno (N)	No procede (N)	No (P-)		

Tabla 1. Relación de tratamientos experimentales aplicados en la reforestación de *Pinus halepensis* en el Picarcho (Murcia). El tratamiento preparación del suelo resulta de la combinación de los subfactores (*en cursiva*): laboreo, tipo de residuo sólido urbano (RSU), forma de aplicación del RSU y adición o no de Polímero.

Fuente de variación	DF	SS	MS	F	P
Bloque (B)	2	3.340	1.670	37.70	0.000
Fecha (F)	5	670.584	134.117	150.39	0.000
Preparación del suelo (S)	11	141.948	12.904	20.84	0.000
Preparación de la planta (P)	4	123.019	30.755	21.47	0.000
B´F	10	8.918	0.892	20.13	0.000
B´S	22	13.622	0.619	13.98	0.000
B´P	8	11.460	1.433	32.34	0.000
F´S	55	12.982	0.236	5.07	0.000
F´P	20	12.916	0.646	2.01	0.029
S´P	44	14.452	0.328	0.95	0.569
B´F´S	110	5.126	0.047	1.05	0.345
B´F´P	40	12.829	0.321	7.24	0.000
B´S´P	88	30.494	0.347	7.82	0.000
F´S´P	220	11.415	0.052	1.16	0.102
B´F´S´P	440	19.733	0.045	1.01	0.435
Error	4320	191.345	0.044		
Total	5399	1284.186			

Tabla 2. Resultados del ANOVA de la variable *altura* de plantaciones de *Pinus halepensis*. Descripción de los niveles de cada tratamiento en la Tabla 1. Los datos originales fueron transformados logarítmicamente.

Los valores medios de altura y diámetro en cada nivel de S se muestran en las Figuras 1.a y 1.b. Asimismo, los valores medios de altura y diámetro para cada nivel de P se muestran en las

Figuras 2.a. y 2.b.

Los tipos de preparación de suelo que proporcionan mejores crecimiento tanto en altura como diamétricos son los que suponen una adición de RSU, observándose mayores crecimientos medios en los que el RSU fue añadido en el surco que en aquéllos que se añadió en banda. Asimismo, los crecimientos medios son mayores, por lo general, cuando el RSU es añadido en fresco en vez de seco. Por otro lado, en las preparaciones sin RSU los valores medios de altura y diámetro son mayores en dónde el laboreo fue por subsolado frente a ahoyado. En cualquier caso, estas diferencias no constituyen un test de hipótesis de las diferencias inducidas por los subfactores de preparación del suelo, que se realizan formalmente en las siguientes secciones.

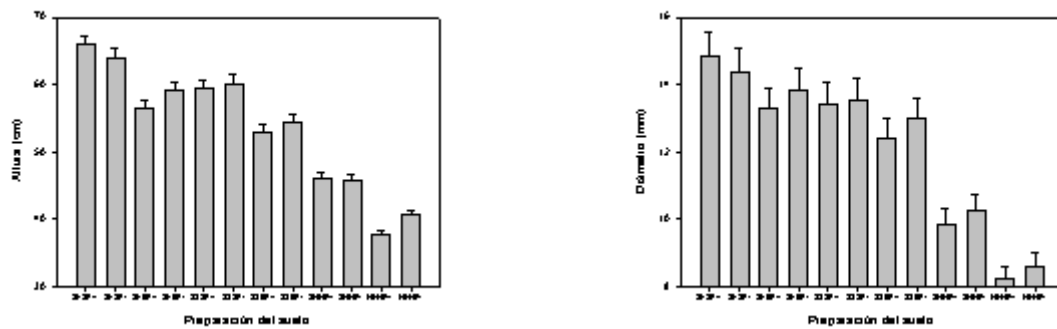


Figura 1. Valores medios de altura (a) y diámetro basal (b) de *Pinus halepensis* por tipo de preparación del suelo. Los códigos de preparación de suelo se pueden consultar en la Tabla 1. Todas las fechas de observación agrupadas. Las barras muestran el error estándar dentro de cada grupo.

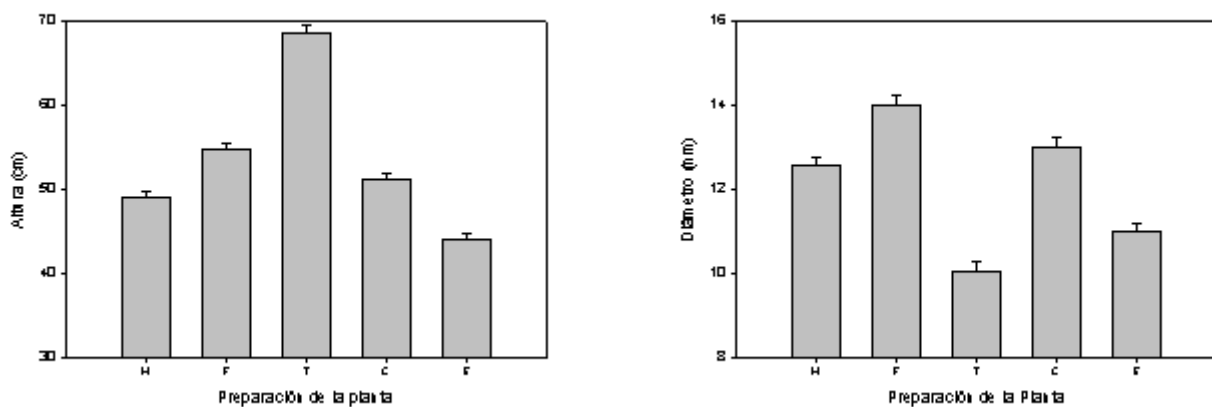


Figura 2. Valores medios de altura (a) y diámetro basal (b) de *Pinus halepensis* por tipo de preparación de la planta. Los códigos de preparación de la planta se pueden consultar en la Tabla 1. Todas las fechas de observación agrupadas. Las barras muestran el error estándar dentro de cada grupo.

Los valores medios de altura y diámetro por preparación de la planta, muestran que mientras que los pinos tratados con tubo mostraron los mayores crecimientos en altura tienen también los menores diámetros medios. El resto de los tipos de preparación de la planta se comportan con un patrón similar en valores medios de altura y diámetro. Con un gradiente de mayor a menor crecimiento: fertilizado > control > micorrizas > envase alveolo

Efectos del laboreo

El resultado más destacado del análisis del efecto del laboreo y otros factores de preparación del suelo y planta es que en ninguna de las dos variables medidas se aprecia un efecto del laboreo en

el crecimiento. Sin embargo, para la altura la interacción B×L (L; tipo de laboreo:ahoyado, subsolado) es marginalmente significativa y B×L×P significativa, mientras que para el diámetro B×L es significativa (Tabla 3). El efecto del tratamiento P es estadísticamente significativo tanto sobre altura como sobre diámetro, así como, en ambos casos, la interacción B×P, aunque B×L×P, sólo es estadísticamente significativa para la altura. Por último no se aprecian efectos significativos de adición del polímero, salvo para la variable altura en la que la interacción B×PO es marginalmente significativa.

En la Figura 5 se muestran las alturas y diámetros medios de los pinos en cada tipo de laboreo por bloques. Se observa que aunque ambas variables son siempre mayores en subsolado que en hoyo están diferencias son muy pequeñas salvo para el caso del Bloque 1, donde existe mayor contraste.

Efectos de la aplicación RSU

En los tratamientos con adición de RSU el modelo de ANOVA para el crecimiento en altura es bastante diferente al del crecimiento diamétrico (Tablas 4 y 5). En el crecimiento en altura el Bloque (B), la forma de aplicación del residuo (A) y la preparación de la planta (P) tienen efectos significativos. El residuo en fresco y añadido en el surco favorece el crecimiento. Los efectos de la preparación de la planta son idénticos a los ya descritos en el análisis de todos los tratamientos. El efecto del tipo del residuo es significativo en interacción con el bloque (B×T). También es altamente significativa la interacción entre el tipo y forma de adición de residuo y la preparación de la planta (T×A×P). Existe una interacción marginalmente significativa entre el polímero y la preparación de la planta.

Fuente de variación	DF	SS	MS	F	P
Bloque (B)	2	0.5099	0.2549	3.58	0.029
Polímero (PO)	1	0.0281	0.0281	0.31	0.632
Laboreo (L)	1	2.1505	2.1505	6.00	0.134
Preparación de la planta (P)	4	6.4793	1.6198	6.77	0.011
B´L	2	0.7173	0.3586	5.03	0.007
B´P	8	1.9131	0.2391	3.36	0.001
Error	240	17.1017	0.0713		
Total	299	33.0183			

Tabla 3. Resultados del ANOVA de la variable *diámetro* de plantaciones de *Pinus halepensis*. Descripción de los niveles de cada tratamiento en la Tabla 1. Los datos originales fueron transformados logarítmicamente. Se muestran todos los términos simples pero sólo las interacciones estadísticamente significativas

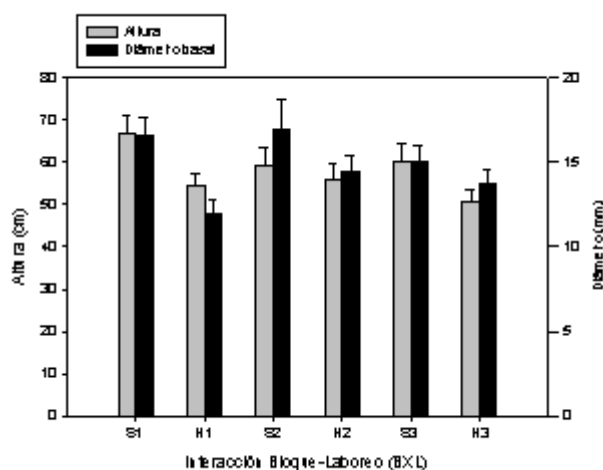


Figura 5. Alturas y diámetros medios de *Pinus halepensis* por tipo de laboreo y bloque. S indica subsolado y H hoyo. El número indica el bloque correspondiente.

En el crecimiento diamétrico sólo es significativo como término simple el Bloque. Asimismo son significativas las interacciones B×T, B×P, B×T×A, B×PO×A×P, y marginalmente significativa B×PO. En este caso el residuo en fresco añadido en surco favorece los crecimientos pero sólo en aquellos bloques dónde los crecimientos diamétricos son menores (bloques 1 y 3).

Fuente de variación	DF	SS	MS	F	P
Bloque (B)	2	2.350	1.175	19.03	0.000
Polímero (PO)	1	0.016	0.016	0.14	0.741
Tipo de RSU (T)	1	0.813	0.813	2.26	0.272
Aplicación del RSU (A)	1	1.888	1.888	40.47	0.024
Preparación de la planta (P)	4	5.429	1.357	13.53	0.001
B´T	2	0.720	0.360	5.83	0.003
PO´P	4	0.350	0.087	3.45	0.064
T´A´P	4	1.081	0.270	6.19	0.014
Error	480	29.639	0.062		
Total	599	48.233			

Tabla 4. Resultados del ANOVA de la variable *altura* de plantaciones de *Pinus halepensis*. Descripción de los niveles de cada tratamiento en la Tabla 1. Los datos originales fueron transformados logarítmicamente. Se muestran todos los términos simples pero sólo las interacciones estadísticamente significativas

Fuente de variación	DF	SS	MS	F	P
Bloque (B)	2	2.544	1.272	14.63	0.000
Polímero (PO)	1	0.058	0.058	0.24	0.671
Tipo de RSU (T)	1	0.842	0.842	2.27	0.271
Aplicación del RSU (A)	1	1.079	1.079	5.97	0.135
Preparación de la planta (P)	4	1.548	0.387	1.58	0.270
B´PO	2	0.481	0.240	2.77	0.064
B´T	2	0.741	0.370	4.26	0.015
B´P	8	1.963	0.245	2.82	0.005
B´T´A	2	0.760	0.380	4.37	0.013
B´PO´A´P	8	1.360	0.170	1.96	0.050
Error	480	41.72	0.087		
Total	599	61.287			

Tabla 5. Resultados del ANOVA de la variable *diámetro* de plantaciones de *Pinus halepensis*. Descripción de los niveles de cada tratamiento en la Tabla 1. Los datos originales fueron transformados logarítmicamente. Se muestran todos los términos simples pero sólo las interacciones estadísticamente significativas

CONCLUSIONES

La preparación de suelo y planta tienen efectos estadísticamente significativos en reforestaciones de *Pinus halepensis* de glaciares encostrados de medios semiáridos. La adición de RSU, sobre todo en fresco y el surco, favorecen el crecimiento. En ausencia de RSU, el efecto del laboreo es débil o ausente. En todos los casos se observa una importante influencia de factores ambientales a pequeña escala espacial, modificando sensiblemente el grado de influencia de la preparación de suelo y planta y de sus interacciones, lo que es notable en un lugar aparentemente tan homogéneo. También se observa efecto de las variaciones temporales. Estos resultados indican que en la valoración de tratamientos experimentales de reforestación debe ser muy prudente cuando se realizan en condiciones muy controladas y/o en pequeñas parcelas. Por último, es necesario profundizar en el estudio del efecto de la variabilidad espacial y temporal en el éxito y desarrollo de las

reforestaciones, especialmente en medios semiáridos.

AGRADECIMIENTOS

Los resultados expuestos en este trabajo se han obtenido en el marco del proyecto AGF99-1132 financiado por la CICYT dentro del Plan Nacional de I+D.

REFERENCIAS

- Martinez,J.F.; Castillo,V., Bago,D.; Roldan,A. & J.Albaladejo (1999) Reforestación en áreas mediterráneas semiáridas. Evaluación de nuevas técnicas: adición de residuos sólidos urbanos.*Foresta* 7: 136-139
- Querejeta,I., Roldan,A., Albaladejo,J. & V.Castillo, (1998) The role of mycorrhizae, site preparation,and organic amendment in the afforestation of a semi-arid Mediterranean site with *Pinus halepensis*. *Forest Science* 43:203-211