

CLIMA, TIPO DE SUELO Y ENMIENDAS ORGÁNICAS COMO FACTORES REGULADORES DE LA DINÁMICA DE RAÍCES FINAS EN BRINZALES DE *PINUS HALEPENSIS*

Amina Gobbi¹, David Fuentes Delgado², Karen Disante¹, Alejandro Valdecantos Demá^{2,3} y Jordi Cortina i Segarra¹

¹Dept. d'Ecologia i IMEM, Universitat d'Alacant. Ap 99. 03080-ALACANT (España)

²Fundación CEAM, C/ Charles R. Darwin 14, Parque Tecnológico 46980- PATERNA (Valencia, España).

³Dep. Ecosistemas Agroforestales. E.P.S. Gandía. U.P.V. Ctra. Nazaret-Oliva s/n. 46730-GANDÍA (Valencia, España)

Resumen

Hemos estudiado el efecto de la aplicación de 60 Mg.ha⁻¹ de peso seco de biosólidos sobre la producción y mortalidad de raíces de brinzales de 1 savia de *Pinus halepensis* plantados sobre suelos forestales contratados, desarrollados sobre roca caliza, marga y arenisca. Para ello dispusimos de rizotrones de 40x40x70 cm simulando un hoyo de plantación, con pared frontal transparente e inclinada, a través de la cual fue posible hacer el seguimiento de la aparición y desaparición de raíces durante los meses posteriores a la plantación. La colonización del suelo por las raíces de *P. halepensis* fue rápida, prolongándose hasta finales de primavera y mediados de verano, según el suelo. La mortalidad de raíces se inició algunas semanas después, decayendo al poco tiempo. En consecuencia, la densidad de raíces incrementó hasta alcanzar un máximo que se mantuvo relativamente constante durante buena parte del verano y el principio de otoño. El tipo de suelo modificó el patrón temporal de producción de raíces, pero no afectó a la producción, mortalidad o densidad de raíces. La aplicación de biosólidos no afectó a la dinámica radical. Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de la respuesta de los brinzales durante las semanas posteriores a la plantación y antes del inicio de la sequía estival, y su relativa independencia de las condiciones edáficas.

Palabras clave: Reforestación, *Pinus halepensis*, Lodos de depuradora, Rizotrón, Producción de raíces finas, Mortalidad de raíces finas

INTRODUCCIÓN

En los últimos años han abundado estudios acerca de los efectos de la aplicación de biosólidos y residuos sólidos urbanos sobre el establecimiento de especies forestales mediterráneas (FUENTES *et al.*, 2007; QUEREJETA *et al.*, 2007). Para dosis de biosólidos superiores a los 30 Mg

ha⁻¹ de peso seco, con frecuencia se ha observado un aumento de la mortalidad de los brinzales, así como de la tasa de crecimiento (FUENTES *et al.*, 2008). Estos cambios van a menudo asociados a variaciones en los patrones de asignación de biomasa a las raíces (VALDECANTOS, 2001).

Una rápida colonización del suelo puede resultar crucial para asegurar la supervivencia de

brinzales recién plantados (BURDETT, 1990). Esto puede ser particularmente importante en climas con marcada variabilidad en la distribución temporal de las lluvias, en los que la colonización de horizontes profundos permitiría aprovechar reservas de agua almacenadas a ese nivel y superar períodos de sequía (LLORET *et al.*, 1999; OTIENO *et al.*, 2006). La capacidad de enraizamiento se suele evaluar mediante la estimación del potencial de crecimiento radical. Este potencial, que integra la capacidad de elongar raíces existentes y producir raíces nuevas en condiciones óptimas de disponibilidad hídrica y nutricional, ha sido utilizado como indicador de calidad de planta forestal, estando relacionado con diversas variables morfofuncionales de los brinzales (VILLAR-SALVADOR *et al.*, 1999). Sin embargo, existe poca información sobre el crecimiento de raíces en brinzales recién plantados, sobre su fenología, y sobre los factores que la limitan. En este trabajo hemos evaluado (1) la dinámica radical de brinzales de *Pinus halepensis* de una savia plantados sobre 3 tipos de suelo forestal contrastados, y (2) el efecto de la fertilización con biosólidos sobre ésta.

MATERIALES Y MÉTODOS

En febrero de 2003 plantamos un brinzal de una savia de *P. halepensis* en cada uno de los 30 rizotrones de 40x40x70 cm que previamente habí-

an sido rellenados con suelos forestales desarrollados sobre calizas, margas y areniscas (10 rizotrones por tipo de suelo; Tabla 1). Estos rizotrones (Fundación CEAM, Patente pendiente) disponen de una pared frontal de metacrilato transparente y ligeramente inclinado, que permite la identificación de las raíces finas de los pinos, además de sensores de humedad (sondas TDR a 0, 20 y 35 cm de profundidad) y temperatura (termistores situados a 15 cm de profundidad). El suelo de la mitad de los rizotrones había sido previamente mezclado con el equivalente de 60 Mg ha⁻¹ de biosólido seco no compostado, estabilizado anaeróbicamente, procedentes de una planta de depuración de aguas domésticas (Tabla 1). Únicamente efectuamos un riego de emergencia a final de agosto equivalente a una lluvia de 20mm (3,2L por rizotrón). En 9 ocasiones durante los 7 meses de duración del experimento, dibujamos sobre papel de acetato el trazo de las raíces finas que contactaban con la pared transparente. Posteriormente digitalizamos estas imágenes con el fin de calcular la longitud de raíces observadas en cada fecha de muestreo. Seguidamente determinamos la longitud de nuevas raíces a partir de los tramos de raíces aparecidas entre sucesivas fechas de muestreo (en adelante, producción de raíces), y la longitud de raíces muertas a partir de las raíces finas desaparecidas o con evidentes muestras de descomposición. Se pueden encontrar detalles adicionales de este experimento en FUENTES *et al.* (2007).

Suelo	Tratamiento	Caliza	Marga	Arenisca
Arena (%)		40	23	43
Limo (%)		40	34	40
Arcilla (%)		20	43	17
CEC cmol (+) kg ⁻¹		3.8	10.0	3.9
CaCO ₃ (%)		51	15	4
pH (H ₂ O)		8.4	8.4	5.9
C orgánico (%)		2.8	2.4	0.4
Cu (mg.kg ⁻¹)	Control	1.6	12.0	7.0
	Biosólido	3.3	14.0	8.0
Ni (mg.kg ⁻¹)	Control	6.3	29.0	16.0
	Biosólido	6.5	30.0	18.0
Zn (mg.kg ⁻¹)	Control	13.0	52.0	10.0
	Biosólido	17.0	56.0	14.0

Tabla 1. Propiedades físico-químicas de los 3 tipos de suelo utilizados en el experimento y concentración de Zn, Cu y Ni (extraídos con agua regia) en suelos no enmendados (Control) y suelos enmendados con biosólido (Biosólido; TORIBIO & ROMANYÀ, 2006)

RESULTADOS

A las 3 semanas de la plantación detectamos crecimiento de raíces en la mayoría de rizotrones (Figura 1). La tasa de aparición de raíces nuevas aumentó a lo largo de la primavera en todos los rizotrones, y disminuyó gradualmente durante el verano, mostrando ausencia de crecimiento en la mayoría de rizotrones desde principios de agosto hasta finales de septiembre. Más allá de este patrón general, la variabilidad de patrones de crecimiento de raíces entre tratamientos y dentro de los tratamientos fue muy elevada. La tasa máxima de crecimiento observada (en calizas control a finales de invierno y en areniscas enmendadas a finales de primavera) se acercó a 1 cm de raíces nuevas por día.

La aparición de nuevas raíces mostró variaciones temporales significativas y dependientes del tipo de suelo (interacción tiempo x suelo sig-

nificativa; Tabla 2). Sin embargo, ni el tipo de suelo ni la aplicación de biosólidos tuvo un efecto significativo sobre el crecimiento de nuevas raíces. El análisis de cada fecha de muestreo por separado mostró diferencias entre tipos de suelo en los muestreos de mayo, junio y mediados de septiembre (calizas por debajo de los otros dos tipos de suelo en mayo; test de Tukey para un nivel de significación del 0,05). A finales de primavera observamos una tendencia hacia una mayor producción de raíces en los rizotrones que recibieron biosólidos, pero ésta no fue estadísticamente significativa.

La desaparición de raíces también mostró variaciones temporales significativas, pero no interacción con el tipo de suelo (Tabla 1). Detectamos mortalidad de raíces finas únicamente en los meses de verano (julio y agosto), con un máximo por debajo de 0,5 cm.día⁻¹ (Figura 1) El análisis del conjunto de los datos

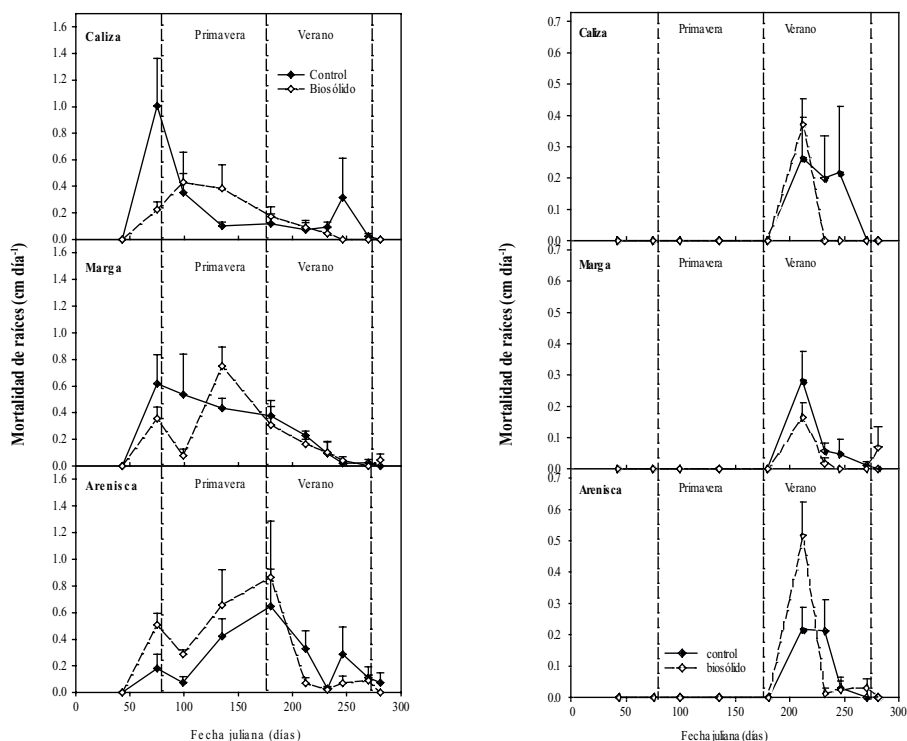


Figura 1. Producción (izquierda) y mortalidad (derecha) de raíces en brinzales de *Pinus halepensis* durante los meses posteriores a la plantación en función del tipo de suelo y la aplicación de biosólidos. Se muestra la media y el error típico de $N = 5$ rizotrones por tipo de suelo y tratamiento

no mostró efecto del tipo de suelo y de la aplicación de biosólidos sobre la mortalidad de raíces (Tabla 2). De las diferentes fechas de muestreo, sólo en agosto observamos un efecto significativo de la aplicación de biosólidos (menor mortalidad), pero no del tipo de suelo.

Como reflejo del balance entre la aparición de raíces y la mortalidad de éstas, la densidad de raíces finas incrementó a lo largo de la primavera, y se mantuvo constante o disminuyó ligeramente

durante el verano cuando la temperatura del suelo superó los 30°C y la humedad del suelo a 35 cm de profundidad descendió por debajo de -1,9 MPa, -1,2 MPa y -1,8 MPa, en los suelos desarrollados sobre caliza, margas y rodano, respectivamente (Figura 2, Tabla 2). El tipo de suelo y la aplicación de biosólido no afectaron a la densidad de raíces ni cuando consideramos todas las fechas de muestreo conjuntamente, ni cuando las analizamos separadamente (datos no mostrados).

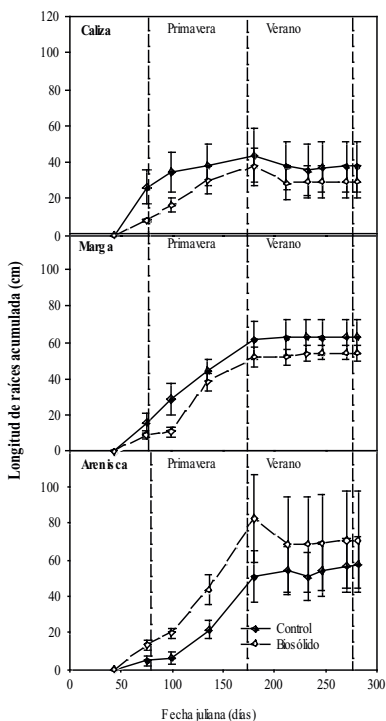


Figura 2. Acumulación de raíces en brinzales de *Pinus halepensis* durante los meses posteriores a la plantación en función del tipo de suelo y la aplicación de biosólidos. Se muestra la media y el error típico de $N = 5$ rizotronos por tipo de suelo y tratamiento

	Raíces nuevas			Raíces muertas			Raíces acumuladas		
	F	g.l.	p	F	g.l.	p	F	g.l.	p
T	10,94	4,42	0,001	21,58	2,59	0,001	33,53	1,23	0,001
TxS	2,30	8,85	0,022	0,75	5,19	0,591	4,09	2,46	0,021
TxB	1,78	4,42	0,131	2,63	2,59	0,066	0,52	1,23	0,514
TxSxB	1,49	8,85	0,162	1,41	5,19	0,233	0,20	2,46	0,864
S	1,28	2	0,297	1,85	2	0,179	1,50	2	0,243
B	0,37	1	0,551	1,20	1	0,285	0,01	1	0,913
SxB	0,71	2	0,500	1,60	2	0,223	1,01	2	0,379

Tabla 2. Resultados del análisis de la varianza para medidas repetidas realizado para evaluar el efecto del tiempo (factor intra-sujetos), el tipo de suelo y la presencia de biosólidos (factores inter-sujetos), y de sus interacciones sobre la longitud de raíces nuevas, muertas y acumuladas. En negrita se destacan los casos en que $p < 0,05$

DISCUSIÓN

El crecimiento de raíces finas se inició a los pocos días de la plantación y progresó hasta alcanzar un máximo a finales de invierno (suelos desarrollados sobre calizas y margas), o finales de primavera (suelos sobre areniscas). Con la llegada de la sequía estival, el crecimiento de raíces se redujo hasta alcanzar valores casi nulos. Estas oscilaciones estacionales han sido observadas en otros medios mediterráneos (FABIÃO *et al.*, 1985; LÓPEZ *et al.*, 2001). La presencia de biosólidos aceleró (calizas y margas) o retrasó (areniscas) el crecimiento de nuevas raíces, pese a que los biosólidos no afectaron significativamente a la producción de raíces. Las lluvias de finales de verano (20 mm el 25/08/2003) promovieron una respuesta sobre calizas no enmendadas y sobre areniscas. La capacidad de respuesta rápida a pulsos de precipitación representa una adaptación a medios áridos y cálidos en los que estos eventos de lluvia son frecuentes (NOBEL *et al.*, 1991; REYNOLDS *et al.*, 1999).

Los resultados de este estudio apoyan las observaciones de campo que sugieren que el crecimiento de las raíces en brinzales se inicia pocos días después de la plantación (FONSECA, 1999; GROSSNICKLE 2005) cuando ésta se realiza a finales de invierno, y ponen de manifiesto la importancia de la respuesta de estas plantas durante las semanas posteriores a la plantación. Por otro lado, la plantación en condiciones de suelo limitantes, o una rápida desecación del suelo (fenómenos frecuentes en medio semiárido), podrían inhibir el desarrollo de nuevas raíces (CORTINA *et al.*, 2007).

La mortalidad de raíces fue en general baja, y se inició pocas semanas después de que los suelos llegaran a valores cercanos al mínimo contenido volumétrico de agua (cerca de 10% sobre calizas y margas, 5% sobre arenisca). Este máximo de mortalidad fue efímero, observándose valores de nuevo muy bajos en los muestreos de finales de verano y principios de otoño. Bajas tasas de mortalidad de raíces finas durante el período seco no son infrecuentes en medios secos y áridos (HUCK *et al.*, 1987; REYNOLDS *et al.*, 1999). Por otra parte, la simultaneidad entre los máximos de producción y mortalidad de raíces, o un ligero retraso de este último respecto al primero han sido

observados en diversos medios con sequía estacional (FABIÃO *et al.*, 1985; LÓPEZ *et al.*, 2001).

Las variables estudiadas mostraron un patrón común en los 3 tipos de suelo; pero la variabilidad entre rizotrones fue considerable. Esta variabilidad puede explicar la escasa significación del efecto del tipo de suelo, la aplicación de biosólido y de la interacción entre ambos. Las observaciones sobre la respuesta de las raíces finas al incremento de la disponibilidad de recursos, incluida el agua, son contradictorias, y probablemente dependen de la especie y el sitio (PREGITZER *et al.*, 1995; REYNOLDS *et al.*, 1999; WILCOX *et al.*, 2004). La modesta respuesta de la dinámica de raíces a los tratamientos coincide, por otra parte, con el escaso efecto que éstos tuvieron sobre el estado nutricional de los brinzales y sobre otras variables morfo-fisiológicas (FUENTES *et al.*, 2007).

Los resultados de este estudio muestran que las raíces finas de brinzales de *P. halepensis* durante el año posterior a la plantación muestran una dinámica estacional dependiente del tipo de suelo. La presencia de biosólidos, por el contrario, no parece alterar la dinámica de producción/desaparición de raíces y su patrón estacional.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido llevado a cabo gracias a la financiación recibida del MEC-FEDER, proyecto Bases científicas para la aplicación de biosólidos en montes mediterráneos (BIOMON; REN2000-0181P4-03), a la beca concedida a A. Gobbi por la Agencia Española de Cooperación Internacional, y al apoyo del proyecto Consolider-Ingenio 2010 Multidisciplinary research consortium on gradual and abrupt climate changes, and their impacts on the environment (GRACCIE). Agradecemos la ayuda recibida de EPSAR Comunidad Valenciana y especialmente de F. Llavador. La Fundación CEAM está financiada por la Generalidad Valenciana y Bancaixa.

BIBLIOGRAFÍA

BRODERSEN, J.; JUUL, J.; & JACOBSEN, H.; 2002. *Review of selected waste streams: sewage*

- sludge, construction and demolition waste, waste oils, waste from coal-fired power plants and biodegradable municipal waste.* European Environmental Agency, Technical Report n° 69. Copenhagen, Denmark.
- BURDETT, A.N.; 1990. Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock. *Can. J. For. Res.* 20: 415-427.
- CORTINA, J.; GREEN, J.J.; BADDELEY, J.A. & WATSON, C.A.; 2007. Root morphology and water transport of *Pistacia lentiscus* seedlings under contrasting water supply: a test of the pipe stem theory. *Environ. Exp. Bot.* (en prensa)
- FABIÃO, A.; PERSSON, H. & STEEN, E.; 1985. Growth dynamics of superficial roots in Portuguese plantations of *Eucalyptus globulus* Labill. Studied with a mesh bag technique. *Plant Soil* 83: 233-242.
- FONSECA, D.E.; 1999. *Manipulación de las características morfoestructurales de plántones de especies forestales mediterráneas producidos en vivero. Implicaciones sobre su viabilidad y adaptación a condiciones de campo en ambiente semiárido.* M.Sc. Thesis. CIHEAM-IAMZ. Zaragoza.
- FUENTES, D.; VALDECANTOS, A. & CORTINA, J.; 2008. Evaluación a medio plazo de la aplicación de biosólidos en repoblaciones forestales de *Pinus halepensis* Mill. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 28: 75-80.
- FUENTES, D.; DISANTE, K.; VALDECANTOS, J.; CORTINA, J. & VALLEJO, V.R.; 2007. Response of *Pinus halepensis* Mill. seedlings to biosolids enriched with Cu, Ni and Zn in three Mediterranean forest soils. *Env. Poll.* 145: 316-323.
- FUENTES, D.; VALDECANTOS, A.; CORTINA, J. & VALLEJO, V.R.; 2007. Seedling performance in sewage sludge-amended degraded Mediterranean woodlands. *Ecol. Eng.* 31: 281-291.
- GROSSNICKLE, S.C.; 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests* 30: 273-294.
- HUCK, M.G.; HOOGENBOOM, G. & PETERSON, C.M.; 1987. Soybean root senescence under drought stress. In: H.M. Taylor (ed.), *Minirhizotron observation tubes: methods and applications for measuring rhizosphere dynamics*: 109-121. ASA Special Publication #50.
- LLORET, F.; CASANOVAS, C. & PEÑUELAS, J.; 1999. Seedling survival of Mediterranean shrubland species in relation to root:shoot ratio, seed size and water and nitrogen use. *Funct. Ecol.* 13: 210-216.
- LÓPEZ, B.; SABATÉ, S. & GRACIA, C.A.; 2001. Annual and seasonal changes in fine root biomass of a *Quercus ilex* L. forest. *Plant Soil* 230: 125-134.
- NOBEL, P.S. 1991.; Ecophysiology of roots of desert plants, with special emphasis on agaves and cacti. In: Y. Waisel, A. Eshel y U. Kafkafi (eds.), *Plant Roots: the Hidden Half*: 839-866 M. Dekker Inc. New York.
- OTIENO, D.O.; KURZ-BESSON, C.; LIU, J., SCHMIDT, M.W.T.; VALE-LOBO, R.; DAVID, T.S.; SIEGWOLF, R.; PEREIRA, J.S. & TENHUNEN, J.D.; 2006. Seasonal variations in soil and plant water status in a *Quercus suber* L. stand: roots as determinants of tree productivity and survival in the Mediterranean-type ecosystem. *Plant Soil* 283: 119-135.
- PREGITZER, K.S.; ZAK, D.R.; CURTIS, P.S.; KUBISKE, M.E.; TEER, J.A. & VOGEL, C.S.; 1995. Atmospheric CO₂, soil nitrogen and turnover of fine roots. *New Phytol.* 129: 579-585.
- REYNOLDS, J.F.; VIRGINIA, R.A.; KEMP, P.R.; DE SOYZA, A.G. & TREMMEL, D.C.; 1999. Impact of drought on desert shrubs: effects of seasonality and degree of resource island development. *Ecol. Monog.* 69: 69-106.
- TORIBIO, M. & ROMANYÀ, J.; 2006. Leaching of heavy metals (Cu, Ni and Zn) and organic matter after sewage sludge application to Mediterranean forest soils. *Sci. Tot. Environ.* 363: 11-21.
- VALDECANTOS, A.; 2001. *Aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos en la restauración de zonas degradadas de la Comunidad Valenciana.* Tesis Doctoral. Universidad de Alicante. Alicante.
- VALDECANTOS, A.; FUENTES, D. & CORTINA, J.; 2004. Utilización de biosólidos en la restauración forestal. En: V.R. Vallejo y J.A. Alloza (eds.), *Avances en el estudio de la gestión*

- del monte mediterráneo*: 313-344. Fundación CEAM. Valencia.
- VILLAR-SALVADOR, P.; OCAÑA, L.; PEÑUELAS, J. & CARRASCO, I.; 1999. Effect of water stress conditioning on the water relations, root growth capacity, and the nitrogen and non-structural carbohydrate concentration of *Pinus halepensis* Mill. (Aleppo pine) seedlings. *Ann. For. Sci.* 56: 459-465.
- WILCOX, C.S.; FERGUSON, J.W.; FERNÁNDEZ, G.C.J. & NOWAK, R.S.; 2004. Fine root dynamics of four Mojave Desert shrubs as related to soil moisture and microsite. *J. Arid. Environ.* 56: 129-148.