

¿PERDURAN EN EL SUELO LAS ENMIENDAS ORGÁNICAS? ANÁLISIS EN REPOBLACIONES FORESTALES

Joan Llovet López¹, David Fuentes Delgado¹, Alejandro Valdecantos Dema^{1,2}, Silva Maria Gonçalves do Vale³, Maria João Ribeiro da Silva³ y Yolanda Valiente Clavel⁴

¹ Fundación CEAM. Dep. Ecología (CEAM). Edificio Ciencias Fase 5. Ap. 99. 03080-ALICANTE (España). Correo electrónico: juan.llovet@ua.es

² Dep. Ecosistemas Agroforestales. E.P.S. Gandía. U.P.V. Ctra. Nazaret-Oliva s/n. 46730-GANDÍA (Valencia, España)

³ E.S.A. Castelo Branco. Quinta da Senhora de Mércules. Ap. 119. 6001-909-CASTELO BRANCO (Portugal)

⁴ I.E.S. Canastell. Pg. Canastell, 1. 03690-SAN VICENTE DEL RASPEIG (Alicante, España)

Resumen

Este trabajo tuvo como objetivo general la evaluación a medio-largo plazo de aplicaciones de una amplia gama de dosis y tipos de lodos de depuradora en experiencias de repoblación forestal en ambiente mediterráneo seco. El muestreo de campo se desarrolló aprovechando parcelas experimentales establecidas en el interior de la provincia de Valencia, en las que se aplicó lodos de depuradora en hoyos de plantación. Se tomaron muestras de suelo (0-18 cm de profundidad) en 10 hoyos de plantación por cada parcela y tratamiento (total 280 muestras). Dosis elevadas de lodo (> 250 Mg.ha⁻¹) dieron lugar a un incremento tanto de la conductividad eléctrica como de su heterogeneidad. Estas dosis altas de lodo se correspondieron con casos de mayor cantidad de materia orgánica en el suelo, incluso a los 7 años de su aplicación. Dosis medias (30-60 Mg.ha⁻¹) o elevadas de lodo se tradujeron en mayores porcentajes de nitrógeno total y fósforo disponible en el suelo de los hoyos de plantación, tanto a los 4 como a los 7 años de su aplicación. A los 10 años de la plantación, dosis bajas de lodo (10 Mg.ha⁻¹) se asociaron a incrementos significativos de la respiración edáfica y de la estabilidad estructural.

Palabras clave: *Lodos de depuradora, Medio-largo plazo, Hoyos de plantación, Características físico-químicas, Comunidad Valenciana*

INTRODUCCIÓN

Debido a las cada vez más exigentes regulaciones tanto nacionales como europeas sobre el tratamiento de aguas residuales, la cantidad de lodos de depuradora generada en la Comunidad Valenciana y en el conjunto de España se ha multiplicado notablemente en los últimos años. Por otro lado, las rutas tradicionales de eliminación de estos lodos han sido restringidas, des-

aconsejadas (vertedero, incineración) o incluso prohibidas (vertido al mar), por lo que se hacen necesarias vías alternativas. La aplicación de lodos de depuradora (biosólidos) en el sector forestal está contemplada en la revisión de la normativa europea de gestión de lodos (E.W.A., 2000). Si bien no se recomienda su aplicación en bosques, sí se permite a los Estados miembros su utilización en reforestaciones donde se necesita un aporte extra de materia orgánica y

nutrientes, así como en actuaciones dirigidas a la recuperación de suelos degradados.

La aplicación de enmiendas orgánicas en repoblaciones y en restauración forestal es una técnica cuyos estudios están aumentando en España en los últimos años (ROLDÁN et al., 1996; SEVA et al., 1996; DÍAZ et al., 1997; NAVAS et al., 1999; VALDECANTOS et al., 2000; WALTER et al., 2000; GUERRERO et al., 2001a; VALDECANTOS et al., 2004), si bien no es tan habitual su implementación en proyectos piloto o de ejecución (CASANOVA, 2001; VALDECANTOS et al., 2001; FUENTES et al., 2007). La aplicación de residuos orgánicos (residuos sólidos urbanos, lodos de depuradora) en repoblaciones suele ofrecer resultados netos positivos (QUEREJETA et al., 2000) convirtiendo el residuo en recurso. No obstante, la calidad y cantidad del mismo, así como la técnica de aplicación, puede condicionar de manera significativa el resultado final (FUENTES, 2003; ROSELLÓ, 2005). Su aplicación en el hoyo de plantación persigue una mínima perturbación de la zona a restaurar, así como reducir el arrastre por escorrentía superficial, los malos olores y la alarma social.

A pesar de la proliferación de estudios y del interés creciente en el tema, todavía hay poca información sobre el efecto de las enmiendas orgánicas en el propio hoyo de plantación, especialmente a medio y largo plazo. Por este motivo, se llevó a cabo un estudio cuyo objetivo fue evaluar, a medio-largo plazo, la aplicación de una amplia gama de dosis y tipos de lodos de depuradora en experiencias de repoblación forestal en ambiente mediterráneo.

METODOLOGÍA

Este estudio se desarrolló aprovechando parcelas experimentales establecidas en las comarcas del Valle de Ayora y La Canal de Navarrés (interior de la provincia de Valencia), en el marco de diversos proyectos de investigación. La zona de estudio presenta un tipo climático entre semiárido y subhúmedo seco, mesotérmico, con poco o nada de superávit hídrico en invierno (PÉREZ-CUEVA, 1994). Los suelos están desarrollados sobre rocas calizas, en general son poco profundos (≤ 40 cm), y con frecuencia se encuentran limitados por horizontes petrocálcicos. La textura dominante es franca o franca-arenosa. La vegetación está formada por matorrales de regeneración tras incendios forestales. Las especies dominantes son *Rosmarinus officinalis*, *Cistus* spp., *Ulex parviflorus* y *Quercus coccifera*, entre otras.

Los años de actuación así como la dosis y el tipo de lodo de depuradora aplicado varían entre las parcelas experimentales (Tablas 1 y 2). En todas las situaciones la aplicación del lodo fue incorporándolo al hoyo de plantación y mezclándolo con el suelo, por lo que no quedaron restos de lodo en superficie.

Entre noviembre de 2006 y enero de 2007 se tomaron muestras de suelo mineral (0-18 cm de profundidad) en 10 hoyos de plantación por cada parcela y tratamiento, incluyendo todas las combinaciones de localidades de estudio y aplicaciones de enmiendas orgánicas, dando un total de 280 muestras. Una vez en el laboratorio, se secaron al aire y/o con una aportación suave de calor (siempre por debajo de 40°C). Se determi-

| Nombre | Año | Localidades | Tratamientos | Dosis equivalente de lodo (peso seco) |
|---------|------|-------------|---|---------------------------------------|
| Enguera | 2003 | 1 | Control Lodo seco Lodo compostado | 15-30-60 Mg.ha ⁻¹ |
| Zarra | 2000 | 3 | Control Lodo fresco lineal* Lodo fresco puntual | 250-350 Mg.ha ⁻¹ |
| Ayora | 1997 | 3 | Control Lodo seco Lodo líquido | 10 Mg.ha ⁻¹ |

Tabla 1. Características principales de los diseños experimentales considerados en el presente estudio. *: Los hoyos se alargaron linealmente siguiendo las curvas de nivel

| | Enguera | | Zarra | Ayora |
|---|---------|------------|-------|-------|
| | Seco | Compostado | | |
| Materia orgánica (%) | 38 | 62 | 55 | 29 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | (nd) | 5,5* | 4,2** | (nd) |
| Nitrógeno total (%) | 3,5 | 3,0 | 2,7 | 5,6 |
| Fósforo total (%) | 1,6 | 0,7 | 4,9 | 2,0 |

Tabla 2. Características principales de los lodos utilizados como enmienda en este experimento. *: Solución 1:10 en agua. **: Solución 1:5 en agua. (nd): no determinado

naron las siguientes variables: fósforo asimilable (método Olsen), nitrógeno total (analizador elemental), conductividad eléctrica (pasta saturada), materia orgánica (oxidación con dicromato potásico), respiración (trampa de NaOH) y estabilidad estructural (emisor de ultrasonidos).

Para cada diseño experimental, los datos se analizaron mediante ANOVA de un factor (tratamiento), con tantos niveles como combinaciones de dosis y tipos de lodo había en cada diseño experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 muestra los resultados más importantes obtenidos en este estudio. A los 7 años del tratamiento, las parcelas con alta dosis de lodo en Zarra presentaron un porcentaje de materia orgánica significativamente superior al de las parcelas sin lodos. Las medias pasaron de algo menos del 4% en el control, a superar ligeramente el 6% aplicando una dosis equivalente a 350 Mg.ha⁻¹ en forma lineal. En los ensayos con dosis moderadas o bajas de lodos (Enguera y Ayora) se observó una tendencia al incremento del porcentaje de materia orgánica, aunque no fue significativo. Teniendo en cuenta el aporte directo de materia orgánica que representa la aplicación del lodo, las diferencias entre los porcentajes de materia orgánica de las parcelas tratadas y las parcelas control deberían ser superiores a las observadas, lo cual nos indica que buena parte de los lodos ha sido mineralizada. La tasa de mineralización de la materia orgánica varía mucho en función del tipo de materia orgánica y de las condiciones ambien-

tales. En el caso de hojarasca, son comunes pérdidas de biomasa y de carbono orgánico cercanas o superiores al 50% a los 2 años (ROVIRA & VALLEJO, 1997). En el caso de lodo de depuradora, especialmente si no está compostado, cabe esperar un alto porcentaje de materia orgánica lábil, y por lo tanto tasas de mineralización elevadas (FERNÁNDEZ *et al.*, 2007).

La conductividad eléctrica siguió un patrón parecido al de la materia orgánica: incremento significativo con las dosis altas de Zarra (en este caso tanto en aplicación lineal como puntual), y tendencias no significativas con las dosis moderadas de Enguera y Ayora. Otros autores describen incrementos en la conductividad con dosis moderadas durante el año posterior a la aplicación (KOWALJOW & MAZZARINO, 2007). El incremento en salinidad puede asociarse tanto a sales presentes en los propios lodos, como a la mineralización de la materia orgánica. En caso de dosis altas la salinidad en la rizosfera de la planta puede aumentar de manera notable durante el primer año y mantenerse elevada durante largos períodos (FUENTES *et al.*, 2007), principalmente en años secos.

Tanto en el caso del nitrógeno total como en el del fósforo asimilable, hubo un efecto significativo del tratamiento a los 4 años (lodo compostado) y a los 7 años de la aplicación (todos los niveles de tratamiento para el nitrógeno total, y sólo las dosis más elevadas para el fósforo asimilable). En el caso del fósforo asimilable cabe destacar la elevada variabilidad entre las diferentes muestras, y las grandes diferencias entre las medias de parcelas control y de parcelas tratadas (diferencias de 1 orden de magnitud en Enguera,

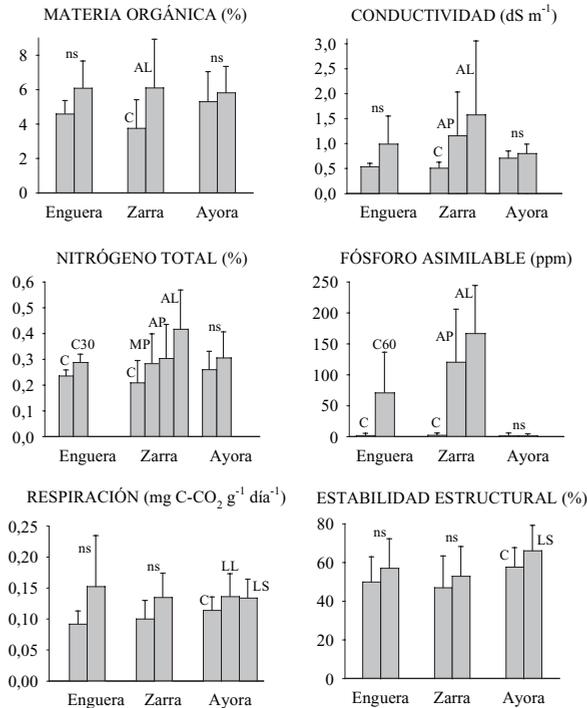


Figura 1. Síntesis de los resultados obtenidos en el presente estudio (medias y desviaciones estándar). Variables estimadas en el suelo de los hoyos de plantación a los 4 años (Enguera), a los 7 años (Zarra) y a los 10 años (Ayora) de la aplicación de lodos de depuradora. En el caso de efecto significativo del tratamiento, se especifican los niveles con valores diferentes a los controles sin lodo (C). MP: 250 Mg.ha⁻¹, AP: 350 Mg.ha⁻¹ con aplicación puntual, AL: 350 Mg.ha⁻¹ con aplicación lineal, C30: 30 Mg.ha⁻¹ de lodo compostado, C60: 60 Mg.ha⁻¹ de lodo compostado, LL: 10 Mg.ha⁻¹ de lodo líquido, LS: 10 Mg.ha⁻¹ de lodo seco. El caso de no haber significación (ns), se muestra la media de los hoyos control (que siempre correspondió con el valor más bajo) y del tratamiento con la media más alta

y de hasta 2 órdenes de magnitud en Zarra). Los hoyos no tratados presentaron unas cantidades de fósforo asimilable que pueden considerarse como deficitarias, tal como muestra la respuesta de brinzales plantados y enmendados, especialmente a dosis de lodo medias y bajas (VALDECANTOS et al., 2006). Con las dosis más altas de Zarra, el incremento de fósforo asimilable estuvo asociado a una conductividad eléctrica mayor. A los 10 años de la aplicación de dosis bajas de lodo, no se observaron diferencias significativas sobre el nitrógeno total y el fósforo asimilable.

Los resultados de respiración también presentaron una gran variabilidad. El análisis de los datos no mostró diferencias debidas al tratamiento con lodos en los experimentos de Enguera (4 años) y Zarra (7 años). Por el contrario, el incremento en respiración edáfica fue dis-

creto, pero significativo, en el experimento de Ayora, donde se aplicó lodos 10 años antes del muestreo. Con la estabilidad estructural hubo una respuesta parecida a la respiración edáfica: el análisis de datos no mostró significación ni a los 4 ni a los 7 años del tratamiento, mientras que a los 10 años de la aplicación de lodo seco, los hoyos tratados mostraron una estabilidad estructural significativamente mayor que los controles no tratados. Estos últimos resultados estarían en consonancia con los descritos por GUERRERO et al. (2001b) en condiciones de laboratorio, y por CARAVACA et al. (2002) a los 6 años de la aplicación en el campo. El tratamiento podría haber potenciado la actividad biológica y el desarrollo de raíces (sea de brinzales o de la vegetación espontánea), que a su vez modificarían la estructura del suelo.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio parecen indicar una mineralización de parte de los lodos a corto-medio plazo. Durante este período se manifestaron efectos directos de la aplicación del lodo (aporte de materia orgánica, de nitrógeno, de fósforo y de sales solubles).

A largo plazo, estos efectos se diluirían y cobrarían significación la actividad biológica y la estabilidad estructural.

Agradecimientos

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto BIOMET (Ministerio de Medio Ambiente, exp. nº 608/2006/1-4.4) y del Programa CONSOLIDER-INGENIO 2010 (Proyecto GRACCIE). La Fundación CEAM recibe el apoyo de la Generalitat Valenciana y de Bancaixa.

BIBLIOGRAFÍA

- CARAVACA, F.; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T. & ROLDÁN, A.; 2002. Aggregate stability changes after organic amendment and mycorrhizal inoculation in the afforestation of a semiarid site with *Pinus halepensis*. *Appl. Soil Ecol.* 19: 199-208.
- CASANOVA, G.; 2001. *Evaluación de la aplicabilidad de lodos de depuradora en repoblaciones forestales en la Comunidad Valenciana*. Proyecto Final de Carrera. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Montes, Universitat de Lleida. Lleida.
- DÍAZ, E.; ROLDÁN, A.; CASTILLO, V. & ALBALADEJO, J.; 1997. Plant colonization and biomass production in a xeric torriorthent amended with urban solid refuse. *Land Degradation & Development* 8: 245-255.
- E.W.A.; 2000. *Working Document on Sludge 3rd Draft* (http://www.ewaonline.de/downloads/sludge_en.pdf)
- FERNÁNDEZ, J.M.; PLAZA, C.; HERNÁNDEZ, D. & POLO, A.; 2007. Carbon mineralization in an arid soil amended with thermally-dried and composted sewage sludges. *Geoderma* 137: 497-503.
- FUENTES, D.; 2003. *Memoria para la obtención el Diploma de Estudios Avanzados*. Universidad de Alicante. Alicante.
- FUENTES, D.; VALDECANTOS, A.; CORTINA, J. & VALLEJO, V.R.; 2007. Seedling performance in sewage sludge-amended degraded Mediterranean woodlands. *Ecol. Eng.* 31: 281-291.
- GUERRERO, C.; GÓMEZ, I.; MORAL, R.; MATAIX-SOLERA, J.; MATAIX-BENEYTO, J. & HERNÁNDEZ, T.; 2001a. Reclamation of a burned forest soil with municipal waste compost: macronutrient dynamic and improved vegetation cover recovery. *Bioresource Tech.* 76: 221-227.
- GUERRERO, C.; MATAIX-SOLERA, J.; NAVARRO-PEDREÑO, J.; GARCÍA-ORENES, F. & GÓMEZ, I.; 2001b. Different patterns of aggregate stability in burned and restored soils. *Arid Land Res. Manage.* 15: 163-171.
- KOWALJOW, E. & MAZZARINO, M.J.; 2007. Soil restoration in semiarid Patagonia: Chemical and biological response to different compost quality. *Soil Biol. Biochem.* 39: 1580-1588.
- NAVAS, A.; MACHÍN, J. & NAVAS, B.; 1999. Use of biosolids to restore the natural vegetation on degraded soils in the badlands of Zaragoza (NE Spain). *Bioresource Tech.* 66: 105-111.
- PÉREZ-CUEVA, A.; 1994. *Àtles climatic de la Comunitat Valenciana*. Conselleria d'Obres Públiques. Valencia.
- QUEREJETA, J.I.; ROLDÁN, A.; ALBALADEJO, J. & CASTILLO, V.; 2000. Soil physical properties and moisture content affected by site preparation in the afforestation of a semiarid rangeland. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 2087-2096.
- ROLDÁN, A.; QUEREJETA, I.; ALBALADEJO, J. & CASTILLO, V.; 1996. Survival and growth of *Pinus halepensis* Miller seedlings in a semiarid environment after forest soil transfer, terracing and organic amendments. *Ann. Sci. For.* 53: 1099-1112.
- ROSELLÓ, C.; 2005. *Aplicación de biosólidos como fertilizantes en repoblaciones forestales en clima termomediterráneo seco*. Proyecto Final de Carrera. Escuela Politécnica Superior de Gandía, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.
- ROVIRA, P. & VALLEJO, V.R.; 1997. Organic carbon and nitrogen mineralization under Mediterranean climatic conditions: The

- effects of incubation depth. *Soil Biol. Biochem.* 29(9-10): 1509-1520.
- SEVA, J.P.; VILAGROSA, A.; VALDECANTOS, A.; CORTINA, J.; VALLEJO, V.R. & BELLOT, J.; 1996. Mycorrhization et application de compost urbain pour l'amélioration de la survie et de la croissance des semis de *Quercus ilex* ssp. *ballota* en milieu sec. *Cahiers Options Méditerranéennes* 20: 105-121.
- VALDECANTOS, A.; CORTINA, J. Y VALLEJO, V.R.; 2000. Respuesta de plantones de pino carrasco y encina carrasca a la fertilización. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 10: 63-68.
- VALDECANTOS, A.; CORTINA, J.; FUENTES, D., CASANOVA, G.; DÍAZ, J.M.; LLAVADOR, F. & VALLEJO, V.R.; 2001. Use of biosolids for reforestation in the Region of Valencia (E Spain). First results of a pilot proyect. *In: International Conference ORBIT 2001 on Biological processing of waste: A product-oriented perspective*: 137-141. Sevilla.
- VALDECANTOS, A.; FUENTES, D. Y 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.
- VALDECANTOS, A.; FUENTES, D. Y CORTINA, J.; 2006. Cambios a corto plazo en la distribución de biomasa y nutrientes en brinzales de *Pinus halepensis* Mill. plantados a dosis creciente de biosólidos. *En: II Congreso Ibérico de Ecología*. Lisboa.
- WALTER, I.; CUEVAS, G.; GARCÍA, S. & MARTÍNEZ, F.; 2000. Biosolid effects on soil and native plant production in a degraded semiarid ecosystem in central Spain. *Waste Manage. Res.* 18: 259-263.