

EVOLUCIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL Y LA RED TRÓFICA EDÁFICA TRAS LA INCORPORACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN LAS LABORES DE RESTAURACIÓN FORESTAL DE UN ÁREA QUEMADA

Casilda Olalla Gómez^{1,*}, Mario Fernández-Peña¹, Carlos Rad Moradillo¹, Salvador González-Carcedo¹, Francisco Lafuente Álvarez² y Baudilio Herrero Villacorta²

¹ Grupo de Investigación en Compostaje. Universidad de Burgos. EPs. Campus Av. Cantabria. 09006-BURGOS (España). Correo electrónico: colalla@ubu.es

² Dpto. Ciencias Agroforestales. Universidad de Valladolid, ETSIA. Av. Madrid 44. 34004-PALENCIA (España)

Resumen

El presente trabajo muestra la eficacia del uso de compost de residuos urbanos en el restablecimiento de la cubierta vegetal y la evolución posterior de la red trófica edáfica en un área forestal afectada por el fuego. Con un diseño factorial en bloques con cinco réplicas por tratamiento y con dos factores: forma de aplicación, en el fondo del hoyo (F) y mezclado con el suelo (M), y dosis de compost, 1,5 y 3 kg.pie⁻¹. Los resultados obtenidos muestran diferencias estadísticamente significativas entre las parcelas a las que se incorporó el residuo con respecto al testigo, tanto en el porcentaje de superficie cubierta como en altura de la vegetación desarrollada. Dichas diferencias también se mantuvieron con respecto al número total de nematodos, ácaros y colémbolos, si bien su significación estadística fue menor. La tendencia observada es a la obtención de mayores valores de cobertura vegetal y mayor abundancia faunística en las parcelas en las que se realizó la mezcla en el hoyo del residuo con la tierra. La adición de materia orgánica exógena en las labores de repoblación forestal permite un rápido restablecimiento de la cobertura vegetal con una mayor abundancia y diversidad de la red trófica edáfica.

Palabras clave: *Nematodos, Ácaros, Colémbolos, Compost, Reforestación, Ecosistemas forestales*

INTRODUCCIÓN

En áreas de clima mediterráneo, el fuego es un mecanismo ecológico natural y usual que contribuye a la regeneración y evolución del bosque mediterráneo. En las últimas décadas, los fuegos de origen antrópico han aumentado sustancialmente no sólo en su número sino también en su frecuencia y extensión, lo cual ha provocado la reducción de los periodos de recuperación.

Bajo condiciones semiáridas, las velocidades de restablecimiento de la vegetación tras el paso de un fuego son, en general, bajas favoreciéndose los procesos erosivos. La disminución de la cantidad y calidad de materia orgánica edáfica, junto con las nuevas condiciones edafoclimáticas, pueden dificultar el restablecimiento de los microorganismos edáficos, ya de por sí afectados de forma directa por el fuego (ACEA & CARBALLAS, 1999). Diversos estudios muestran una drástica

disminución de la biomasa microbiana efecto del fuego, necesiéndose varios años para su restablecimiento (HERNÁNDEZ et al., 1997; PRIETO-HERNÁNDEZ et al., 1998). La biomasa microbiana es una pequeña fracción de la materia orgánica, pero por su alto "turnover" supone una rápida fuente de nutrientes de gran importancia para la nutrición vegetal, además de estar implicada, entre otros, en los procesos de formación y estabilización de los agregados.

El efecto del fuego tiene como consecuencia la aparición de cambios drásticos o incluso a la eliminación de la cubierta vegetal, alterando y degradando las características del ecosistema. Sus efectos contribuyen a un deterioro progresivo de los ecosistemas forestales y a la intensificación de los procesos erosivos lo que favorece e incrementa el avance de la desertificación. La aplicación de residuos orgánicos se muestra como una técnica eficaz para incrementar, aunque a veces de manera sólo transitoria, los niveles de materia orgánica del suelo. El contenido de energía, carbono y otros nutrientes que tienen estos compuestos orgánicos permite incrementar la microflora edáfica, restableciéndose los procesos biogeoquímicos alterados por el fuego (ACEA & CARBALLAS, 1999). Los cambios producidos tras la aplicación de enmiendas suelen incrementar de manera rápida la recolonización vegetal, reduciéndose de esta manera los tiempos de exposición del suelo a los procesos erosivos (GUERRERO et al., 2001).

Como objetivo el presente trabajo se plantea la evaluación del uso del compost de residuos urbanos en las labores de restauración forestal determinando su efecto sobre la viabilidad de los plántones introducidos, el incremento de la cobertura vegetal y la recuperación de la red trófica edáfica.

METODOLOGÍA

La parcela experimental se localizó en el paraje conocido como Monte de la Abadesa (42° 19' 14" N y 3° 41' 11" O), situado a una altitud de 897 m, en la cercanía de la ciudad de Burgos, sobre un área forestal poblada con *Pinus sylvestris* y *P. pinaster* como especies predominantes. Dicho área sufrió un incendio en Octubre de 2004 siendo repoblada en Abril de 2005 con plántones de *P. pinea* a los que se incorporaron

diferentes dosis de un compost de residuos urbanos de la ciudad de Burgos. La experiencia se desarrolló con un diseño factorial por bloques con cinco réplicas por tratamiento y dos factores: la forma de aplicación, en el fondo del hoyo (F) y mezclado con el suelo en el propio hoyo (M), y la dosis de compost añadido, 1,5 y 3 kg.pie⁻¹. En cada parcela se introdujeron 15 plántones con un marco de plantación de 3 m en hoyos de 1 m² de superficie y 40 cm de profundidad.

El suelo sobre el que se desarrolló la experiencia fue un *Eutric Cambisol* de acuerdo con la clasificación de la F.A.O. y sus propiedades físico químicas son las siguientes: arena 40,56%; limo 25,28% y arcilla 34,16%; pH 7,88; C.E. 0,28 mmhos cm⁻¹; M.O. 3,45%, N-total 0,21%; P-Olsen 0,95%; carbonatos 6,68%; C.I.C. 18,75 meq/100 g. Las características del compost son: pH 7,55; CE 3,52 mmhos cm⁻¹; MO 52,26%; N-total 1,99%; P-Olsen 8,58 µg.g⁻¹; Metales pesados en µg.g⁻¹: Cd 1,83; Cr 57,00; Cu 187,49; Ni 29,84; Pb 120,99 y Zn 294,84.

En las primaveras de 2006 y 2007 se procedió al muestreo de 5 hoyos distribuidos al azar en cada parcela, si bien utilizando en todas ellas un mismo patrón de muestreo que fue diferente para cada año. Las cinco muestras de suelo se juntaron para construir un muestra compuesta sobre la que se realizó el estudio faunístico. Paralelamente, en 2007, se estimó en cada hoyo la proyección de la cobertura vegetal, para el estrato de 0-15 cm en abril, tomada como superficie cubierta en una vista cenital, y de los estratos de 15-30 cm y > 30 cm en junio, como la suma de las proyecciones de las distintas especies en cada estrato, sin descontar los solapamientos.

Para la determinación de los distintos grupos tróficos de nematodos de vida libre se utilizó el método descrito por RODRÍGUEZ-KABANA Y POPE (1981) y para la determinación del número total de ácaros y colémbolos el método de Tüllgren-Berlesse (COINEAU, 1974). La identificación de los grupos tróficos de nematodos se realizó mediante el análisis morfológico de la zona estomática asociada con sus hábitos alimenticios, utilizando microscopía con contraste de interferencia diferencial y cámara clara incorporados. En el caso de ácaros y colémbolos, la identificación específica de los ejemplares se efectuó mediante microscopio estereoscópico.

RESULTADOS

La reposición de marras realizada en Marzo de 2006 fue de un 33% de los plántones introducidos inicialmente, afectando dicha mortalidad más a las parcelas tratadas con compost que a los testigos. Dentro de éstas, la mortalidad afectó de una forma más intensa, si bien sin significación estadística, a las parcelas donde el residuo fue mezclado en todo el hoyo de plantación (Figura 1). Por el contrario, los mayores crecimientos de los plántones al año de efectuada la repoblación fueron mayores, aunque sin mostrar diferencias estadísticamente significativas, en las parcelas tratadas con la dosis intermedia de compost (1,5 kg.pie⁻¹), especialmente

si la adición se efectuaba mezclada (M) en el hoyo de plantación. La segunda reposición de marras efectuada en Marzo de 2007 afectó a un número inferior al 10% de los plántones totales y sin diferencias estadísticas entre tratamientos.

En cuanto al porcentaje de superficie cubierta del hoyo y la altura de la vegetación desarrollada, aparecen diferencias estadísticamente significativas entre las parcelas a las que se incorporó el residuo con respecto al testigo, si bien dicha significación se perdía respecto al modo de aplicación o la dosis de compost empleada (Figura 2). El aporte de cenizas por el incendio, la remoción del suelo en el hoyo de plantación y la aplicación de la enmienda orgánica supuso la aparición de diferentes tipos de

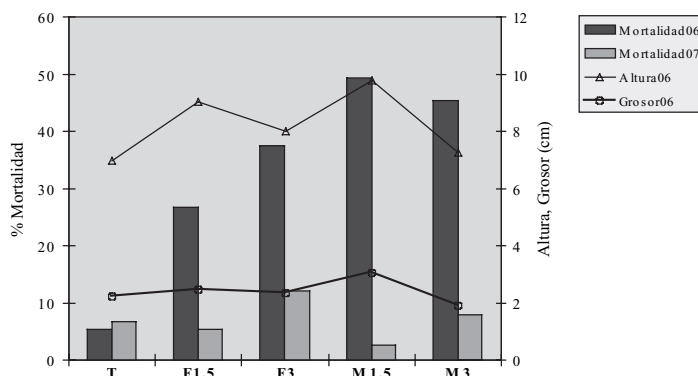


Figura 1. Mortalidad de los plántones y su evolución en altura y grosor tras la aplicación del compost (F, fondo o M, mezcla) y la dosis (1,5 ó 3 kg.pie⁻¹)

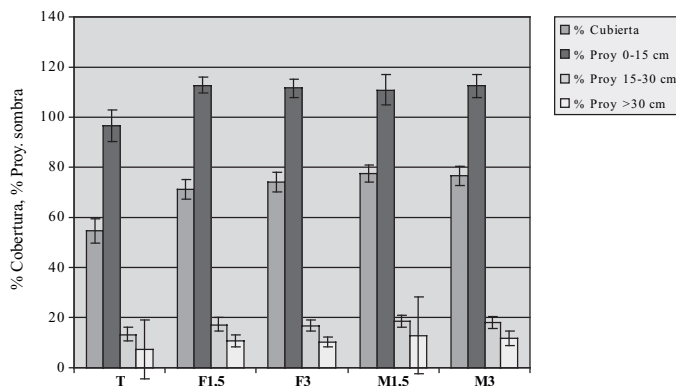


Figura 2. Cobertura en el hoyo de plantación y proyección de sombra en función de la forma de aplicación del compost (M, mezclada o F, fondo) y la dosis (1,5 ó 3 kg.pie⁻¹)

especies vegetales oportunistas como *Cirsium arvense*, *Carduus nigrescens* y crucíferas: *Sinapis arvense*, *Rapistrum rugosum*, *Sisymbrium orientale*, que mostraban una distribución general en grupos más o menos densos y mayores portes, así como algunas compuestas como *Andryala integrifolia*, *Sonchus asper*, *Sonchus oleraceus* con una distribución más regular, al igual que las gramíneas, entre otras, *Brachypodium rupestre*, *Bromus erectus*, *Poa annua*, *Poa bulbosa*, *Dactylus glomerata*. Otras especies de menor porte ampliamente representadas fueron *Convolvulus lineatus*, *Plantago lanceolata*, *Potentilla reptans* y *Daucus carota*. Entre las especies de floración precoz aparecen *Cerastium glomeratum*, *Senecio vulgaris*, *Capsella bursa-pastoris* y entre las de floración tardía se destacan *Conyza canadensis* y *Epilobium brachycarpum*.

Con respecto al número total de ácaros y colémbolos (Figura 3), también aparecieron mayores valores de abundancia de individuos en las parcelas tratadas con compost, especialmente aquellas con mezcla del residuo, si bien su significación estadística fue menor, no existiendo tampoco respuesta estadísticamente significativa con respecto a la dosis aplicada. En el caso de los ácaros, se observaron mayores valores de abundancia en el segundo año de muestreo. Analizando la población de nemátodos en función de sus hábitos tróficos (datos no mostrados), se observó que la población de bacteriófagos incrementa significativamente su número con la adición del residuo, especialmente mezclado en el hoyo de plantación, efecto que tam-

bién se mantiene en las muestras correspondientes a primavera de 2007, si bien perdiendo la significación estadística. Dicho efecto se observó aunque de forma menos clara en el número de nematodos fungívoros, cuyas poblaciones también fueron menos numerosas en 2007. Aunque los porcentajes de suelo cubierto y los datos de fauna siguen un patrón parecido, no fue posible obtener correlaciones significativas entre ambos.

DISCUSIÓN

Uno de los hechos más significativos de la experiencia fue el elevado porcentaje de mortalidad en los plantones introducidos. La posible explicación de este hecho puede encontrarse en las bajas precipitaciones, a penas 100 mm de lluvia, y la fuerte ola de calor que afectó al área de la plantación durante la primavera y el verano de 2005. A dichas condiciones especialmente adversas, se unió el hecho de introducirse los plantones inmediatamente tras la adición de un compost caracterizado por tener un alto contenido salino, lo que pudo inducir la elevada mortalidad de los plantones, especialmente en las parcelas con mezcla del residuo (M), dada su mayor incidencia sobre la zona radicular. Sin embargo, los mayores crecimientos de los plantones viables fueron obtenidos en las parcelas enmendadas, lo que supone un efecto positivo de la enmienda orgánica como consecuencia del incremento de nutrientes disponibles que se produce en el hoyo de plantación. La dosis con

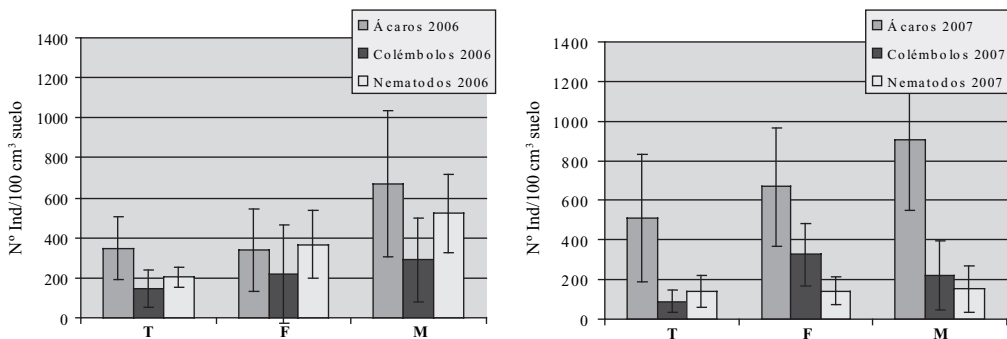


Figura 3. Variación de las poblaciones totales de ácaros, colémbolos y nematodos en función de la forma de aplicación del compost (F, fondo o M, mezcla) en los años 2006-07

mejor respuesta fue la de 1,5 kg.pie⁻¹ al ser la que mejor balance presentaba entre disponibilidad de nutrientes y fitotoxicidad inducida.

En cuanto a la cubierta vegetal desarrollada en el hoyo de plantación, se encontró una fuerte influencia de la vegetación preexistente sobre el tipo de especie colonizadora y la densidad desarrollada en cada hoyo de plantación. En la parcela experimental se apreciaron diferentes intensidades de quemado en función de la vegetación preexistente, con aspecto más arrasado en el espacio alrededor de los troncos de árboles, donde existía una mayor acumulación previa de restos vegetales, áreas que fueron posteriormente colonizadas por especies oportunistas, mientras que permaneció un tapiz de gramíneas en las áreas donde se localizaba un anterior claro de bosque. La introducción de una enmienda orgánica con un alto contenido de N favoreció la dominancia de numerosas especies nitrófilas y una mayor cobertura a las distintas alturas, especialmente en las parcelas donde se mezcló el residuo orgánico (M), dada la mayor disponibilidad de nutrientes en el entorno rizosférico.

La recuperación de la cubierta vegetal tras un incendio es clave en la minimización del impacto del fuego en los ecosistemas forestales, ya que conlleva la protección del suelo, la conservación de su humedad, lo que permite mantener un régimen térmico adecuado y protegiendo así de la desecación a la fauna edáfica. Dicha recuperación puede ser mejorada mediante la aplicación de residuos orgánicos como son los procedentes del tratamiento de sólidos urbanos, ya que contribuye de forma decisiva a un rápido restablecimiento de la vegetación (CARAVACA *et al.*, 2002; LARCHERVÉQUE *et al.*, 2006), hecho que también queda patente en este estudio donde la aplicación de residuos orgánicos se mostró como una técnica eficaz para incrementar, aunque a veces sólo de forma transitoria, los niveles de materia orgánica del suelo.

En general, los efectos directos que los incendios tienen sobre los invertebrados edáficos son menos marcados que los que tienen sobre la microflora del suelo, debido a su mayor movilidad lo que les permite escapar de la acción directa del fuego migrando a zonas más profundas del suelo (CERTINI, 2005). MATLACK (2001), después del muestreo en 99 suelos forestales quemados y

no quemados, llegó a la conclusión de que, a largo plazo, el fuego no afecta significativamente a la comunidad de nematodos, ya sea en el número de individuos o en su diversidad.

Sin embargo, los efectos indirectos del fuego, en particular la reducción de la materia orgánica, provocan una disminución drástica tanto de la biomasa total como del número de especies de invertebrados que habitan el suelo (CERTINI, 2005). En el presente estudio, se observaron que las poblaciones de nematodos, se restablecen en el transcurso de un año tras la aplicación de materia orgánica exógena, especialmente los grupos tróficos especializados en la predación de bacterias y en menor medida de hongos, mientras que en el segundo año dichas poblaciones disminuyen y se estabilizan. Un resultado similar fue encontrado por MCSORLEY (1993) quien observó que a las seis semanas después de un incendio controlado en un pinar, el número total de nematodos omnívoros y predadores se incrementaron, mientras que el número de fitófagos fue el mismo.

En referencia a otros grupos faunísticos del suelo y en respuesta a la adición de materia orgánica, las poblaciones de ácaros experimentaron un incremento importante en el transcurso del primer año, mientras que las poblaciones de colémbolos se incrementaron de manera más moderada; durante el segundo año se observó un cierto restablecimiento de las condiciones iniciales pero persistiendo una mayor riqueza faunística global de estos grupos, sobre los que es más difícil hacer una diferenciación con respecto a sus hábitos tróficos.

Los procesos de recuperación del ecosistema edáfico forestal en áreas afectadas por el fuego se pueden asimilar al modelo propuesto por BARDGETT (2005) para la recuperación de sistemas manejados o degradados. En dichos sistemas, la liberación de nutrientes o su adición exógena, inducen la aparición de una vegetación oportunista de crecimiento rápido y alta calidad nutricional, lo que supone la substitución de una microflora edáfica de predominio fúngico, de lento crecimiento y muy adaptada al medio, por una microflora bacteriana de rápido crecimiento, lo que favorece el predominio de sus correspondientes grupos de predadores especializados. La adición de residuos orgánicos ricos en formas de N rápi-

damente mineralizables, puede acelerar este proceso favoreciendo la creación de una cubierta vegetal inicial que proteja el suelo, incremente su capacidad de retención de agua, proyecte sombra, lo que facilitará el restablecimiento de la red trófica y la evolución posterior del ecosistema edáfico hacia las condiciones iniciales del suelo antes de ser destruidas por la acción del fuego.

CONCLUSIONES

La adición de materia orgánica exógena contribuyó a un más rápido restablecimiento de la cobertura vegetal, permitiendo soportar una red trófica edáfica con una mayor abundancia y diversidad de los principales grupos faunísticos estudiados.

En general, la mezcla del compost con la tierra del hoyo, resultó más eficaz en el restablecimiento de la cobertura del suelo, el crecimiento de los plantones y el incremento de la fauna edáfica estudiada.

La adición de materia orgánica exógena facilitó la introducción de especies vegetales oportunistas, muchas de ellas nitrófilas lo que supone el restablecimiento de una red trófica edáfica con un claro predominio bacteriano, propio de sistemas inmaduros, pero cuya evolución posterior permitirá recuperar el ecosistema forestal.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Consejería de Medio Ambiente de Castilla y León y el Ministerio de Educación y Ciencia, CGL2006-13505-C03-01/03/BOS.

BIBLIOGRAFÍA

ACEA, M.J. & CARBALLAS, T.; 1999. Microbial fluctuations after soil heating and organic amendment. *Biores. Tech.* 67(1): 65-71.

BARDGETT, R.D.; 2005. *The Biology of the Soil. A Community and Ecosystem Approach.* Oxford University Press. Oxford.

CARAVACA, F.; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, M.T. & ROLDAN, 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(3): 199-208.

CERTINI, G.; 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143(1): 1-10.

COINEAU, Y.; 1974. *Introduction á l'étude des microarthropodes du sol et ses anexes.* Ed. Doïn. Paris.

GUERRERO, C.; GÓMEZ, I.; MORAL, R.; MATAIX-SOLERA, J.; MATAIX-BENEYTO, J. & HERNÁNDEZ, T.; 2001. Reclamation of a burned forest soil with municipal waste compost: macronutrient dynamic and improved vegetation cover recovery. *Biores. Tech.* 76(3): 221-227.

HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. & REINHARDT, I.; 1997. Short-term effect of wildfire on the chemical, biochemical and microbiological properties of Mediterranean pine forest soils. *Biol. Fertil. Soils* 25(2): 109-116.

LARCHEVEQUE, M.; BALLINI, C.; KORBOULEWSKY N. & MONTES, N.; 2006. The use of compost in afforestation of Mediterranean areas: Effects on soil properties and young tree seedlings. *Sci. Tot. Environ.* 369(1-3): 220-230.

MATLACK, G.R.; 2001. Factors determining the distribution of soil nematodes in a commercial forest landscape. *Forest Ecol. Manage.* 146(1-3): 129-143.

MCSORLEY, R.; 1993. Short-term effects of fire on the nematode community in a pine forest. *Pedobiologia* 37(1): 39-48.

PRIETO FERNÁNDEZ, A.; ACEA, M.J. & CARBALLAS, T.; 1998. Soil microbial and extractable N and C after wildfire. *Biol. Fertil. Soils* 27(2): 132-142.

RODRÍGUEZ-KÁBANA, R. & POPE, M.H.; 1981. Un método simple para la extracción de nematodos del suelo. *Nematopica* 11(2): 175-186.