

Reciclaje de residuos orgánicos

Rogelio Nogales, Esperanza Romero, Emilio Benitez y Alfredo Polo

Resumen

El presente estudio se centra en las principales estrategias de valorización, tanto agrícola como medioambiental, de los residuos orgánicos. Para ello, inicialmente se revisa el estado actual de los sistemas y/o procesos de compostaje y vermicompostaje; procesos ecotecnológicos de bajo coste ampliamente utilizados para la biodegradación y estabilización de los residuos orgánicos. A continuación, se exponen algunos criterios de calidad y la normativa española que debe cumplir los productos finales obtenidos -composts y vermicomposts de residuos orgánicos- antes de su uso agrícola. Posteriormente, se resumen los principales efectos que sobre suelos y plantas ocasiona el uso de estos productos finales como bioenmiendas, abonos y biocorrectores orgánicos en la agricultura tradicional, bajo cubierta y ecológica. La ponencia finaliza con una breve reseña acerca de las posibilidades que presentan los composts y vermicomposts para ser utilizados como fungicidas naturales con capacidad para reducir hongos patógenos de cultivos o bien como biorrecuperadores de suelos contaminados por compuestos orgánicos o metales pesados. Ambas temáticas han sido escasamente estudiadas, lo cual abre un campo científico de indudable interés innovador.

Palabras clave: Residuos orgánicos, compostaje, vermicompostaje, calidad agrícola, suelos, plantas, fitopatógenos, biorremediación

Introducción

Una de las características de la sociedad de consumo y que mejor la definen es la generación de ingentes cantidades de residuos. La identificación de calidad y nivel de vida con la posesión de materiales, junto con la voracidad comercial de la sociedad industrial y la creencia de que los recursos naturales son inagotables han contribuido a la actual situación insostenible para el planeta Tierra desde un punto de vista ecológico. A modo de ejemplo, los quince países de la Unión Europea generan anualmente 2000 millones de toneladas de residuos, de los cuales 30 millones se clasifican como residuos tóxicos y peligrosos.

De acuerdo con nuestra legislación (Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos; BOE número 96 de 22 de abril de 1998) se entiende por residuo

cualquier sustancia u objeto perteneciente a alguna de las categorías que figuran en el anejo de esta Ley, del cual su poseedor se desprenda o del que tenga la intención u obligación de desprenderse. En todo caso, tendrán esta consideración los que figuren en el Catálogo Europeo de Residuos (CER), aprobado por las Instituciones Comunitarias.

Definido el concepto de residuo, el calificativo de sólido y orgánico es siempre impreciso, ya que la mayoría de los efluentes líquidos y gaseosos, son realmente suspensiones de sólidos orgánicos en otros medios. De acuerdo con los distintos sectores de actividades de nuestra sociedad, los residuos generados pueden clasificarse según procedencia:

a) Sector primario (agricultura y ganadería): representan el 80% del total de residuos generados incluyendo los residuos agrícolas, residuos ganaderos y residuos forestales.

b) Sector secundario (transformación): representan el 10% del total de residuos generados e incluyen los residuos industriales, residuos asimilables a urbanos, residuos inertes, residuos tóxicos y peligrosos y residuos mineros

c) Sector terciario (servicios): representan el 10% restante, incluyéndose los residuos sólidos urbanos y las aguas residuales urbanas.

La gestión (recogida, almacenamiento, transporte, tratamiento y eliminación) de las enormes cantidades de residuos que se generan ha avanzado de forma simultánea a la mayor concienciación ciudadana y al interés medioambiental por las administraciones públicas y privadas. La mayoría de los profesionales en la gestión de los residuos reconocen y están de acuerdo en que no hay una solución individual y única para los problemas en el campo de los residuos, lo que obliga a combinar elementos de diversas técnicas. Actualmente la gestión de los residuos orgánicos se comprende como una combinación de cuatro elementos claves: a) Reducción del volumen y toxicidad de los residuos generados; b) Reciclaje y reutilización, tanto como sea posible, de los residuos generados, c) Recuperación energética de los residuos sobrantes con sistemas dotados de los mejores equipos técnicos para evitar la contaminación y d) Utilización de vertederos con adecuados controles medioambientales.

En relación a estos cuatro elementos clave, el presente artículo se centrará en el segundo de ellos, reciclaje y reutilización de residuos y particularmente en las principales vías de valorización de los desechos orgánicos en agricultura.

Sistemas de bajo coste para la reutilización de los residuos orgánicos

La principal vía de reutilización de los residuos orgánicos es el sector agrícola, aunque en los últimos años también se está acrecentando su uso en el denominado "sector medioambiental". La utilización de los residuos orgánicos en estos sectores requiere que ellos sean previamente sometidos a tratamientos de estabilización, con objeto de evitar efectos adversos sobre el suelo y la planta, (Nogales et al., 1995). Esos efectos pueden ser: i) inmovilización del N asimilable del suelo, que puede conducir a deficiencias de este elemento en la planta; ii) disminución de O_2 del suelo, creándose condiciones anaerobias del medio edáfico, que podrían aumentar o disminuir la capacidad de las plantas para asimilar algunos nutrientes esenciales y no esenciales; iii) liberación de sustancias fitotóxicas por esos materiales no estabilizados que afectarían negativamente al desarrollo de los cultivos.

Aunque existen un gran número de tecnologías para la biodegradación y estabilización de los residuos orgánicos, los más utilizados son los sistemas de compostaje y/o vermicompostaje, debido a su bajo coste económico.

Tipos de residuos orgánicos susceptibles de ser compostados y/o vermicompostados

La mayoría de los residuos orgánicos de origen biológico, así como muchos productos orgánicos sintéticos, son biodegradables y, por lo tanto, susceptibles de ser sometidos a compostaje y vermicompostaje. Los límites para el uso de estos residuos orgánicos vendrán condicionados por la presencia en algunos de ellos de materiales y sustancias incompatibles con ambos procesos biodegradativos, como son los materiales inertes (plásticos, metales, vidrios, etc) y los productos químicos peligrosos (metales pesados, contaminantes orgánicos). Por ello, los materiales de partida deben ser seleccionados previamente con objeto de que no

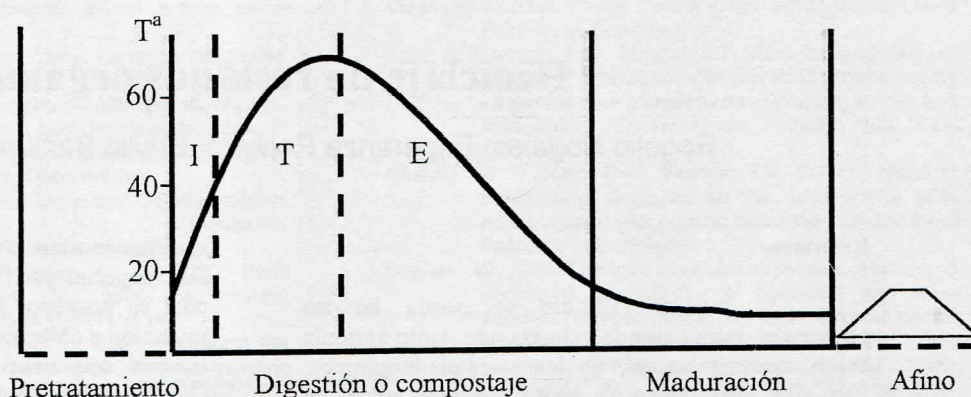


Figura 1 Etapas de un sistema de compostaje

contaminen los compost y vermicomposts producidos, y éstos no polucionen el suelo, no resulten tóxicos para las plantas y no representen un riesgo para la salud de animales y seres humanos (Senesi, 1992). Otro elemento a considerar es el tamaño de las partículas de estos materiales, que según Golueke (1975) debe encontrarse entre 0.5 y 5 cm, lo que en muchos casos obliga al desmenuzamiento y trituración previa de los mismos. Por último, también resulta fundamental que la relación C/N de estos materiales iniciales sea adecuada para que el proceso de compostaje y vermicompostaje se desarrolle de forma eficaz. Por lo general, dicha relación debe encontrarse comprendida entre 26 y 35 (Nogales y col., 1982), por lo cual resulta apropiado la mezcla de varios residuos orgánicos (co-compostaje y vermicompostaje). Además de ello y específicamente para los procesos de vermicompostaje, algunos residuos necesitan ser lavados previamente o sometidos a un proceso de precompostaje (Nogales y col., 1995). Del gran número de residuos orgánicos susceptibles de ser compostados o vermicompostados, nuestro grupo de investigación constituido por investigadores de la Estación Experimental del Zaidín, CSIC de Granada, Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC de Madrid, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, CSIC de Murcia y Dpto de Recursos Naturales de la Universidad de Vigo les ha dedicado y dedica una especial atención a aquellos que se exponen en la Tabla 1

Compostaje de residuos orgánicos

El compostaje es un proceso de biooxidación controlada que requiere sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, y que implica el paso por una etapa termófila y la producción temporal de fitotoxinas. Los productos finales del proceso son dióxido de carbono, agua, minerales y materia orgánica estabilizada (compost), libre de fitotoxinas y

apta para su empleo en agricultura sin que provoque efectos adversos (García, 1990).

La tecnología del compostaje (Figura 1) consta de las siguientes etapas: Pretratamiento (dependiente del tipo de residuo), Digestión o compostaje, Maduración (tradicional o con lombrices) y afino. Para la viabilidad de esta tecnología es imprescindible que la segunda etapa se realice adecuadamente ya que en ella se produce, bajo condiciones controladas aerobias, la descomposición de las porciones orgánicas de los residuos orgánicos. Esta etapa se compone a su vez de 3 fases: a) una fase inicial, durante la cual se descomponen los componentes fácilmente degradables; b) una etapa termófila, durante la cual los componentes celulolíticos o similares, contenidos en los materiales iniciales, son degradados por la actividad biooxidativa de los microorganismos, liberándose CO₂, H₂O, compuestos inorgánicos y fitotoxinas, destruyéndose los microorganismos patógenos y conservándose los componentes orgánicos más estables; y c) una fase de estabilización, caracterizada por un descenso de la temperatura, disminución de la velocidad de degradación, y recolonización del sustrato por microorganismos. Esta fase junto con la etapa de maduración origina una materia orgánica más estabilizada, que contendrá compuestos de naturaleza similar al humus.

La etapa de compostaje se realiza colocando los residuos orgánicos en pilas de tamaño variable (compostaje natural o en montones), las cuales son volteadas periódicamente o bien permanecen estáticas en cuyo caso es necesario suministrar aire. También los residuos pueden ser colocados en reactores o digestores (Compostaje acelerado o en digestores), pero su elevado coste prácticamente los ha eliminado. En todo caso, durante la etapa de compostaje deben controlarse y habrá que tener en cuenta una serie de parámetros, como los que se exponen la Tabla 2.

Vermicompostaje de residuos orgánicos

El vermicompostaje es un proceso de biooxidación y estabilización de la materia orgánica mediado por la acción combinada de lombrices y microorganismos, mediante el cual se obtiene un producto denominado vermicompost. Esta práctica de biotransformación aprovecha varias de las ventajas derivadas

de la actividad de ciertas especies de lombrices, las cuales aceleran la descomposición y humificación de la materia orgánica, ya sea de un modo directo (alimentación detritívora y desplazamiento a través de galerías) o indirecto (estímulo de la actividad microbiana). Por otro lado, mejoran la estructura del producto final, al provocar la ruptura de los materiales orgánicos, reduciendo su tamaño de partículas y favoreciendo la formación de agregados estables. Además la actividad de estos detritívoros aumenta el contenido de nutrientes, convirtiéndolos a través de la actividad microbiana, en formas solubles y asimilables por los cultivos. Asimismo, mediante este proceso se favorece la producción de sustancias que pueden actuar con acción fitohormonal sobre las plantas. Por último, el proceso de vermicompostaje posibilita la explotación de las lombrices como fuente proteica para consumo animal (Nogales et al., 1998).

La tecnología del vermicompostaje (Figura 2) consta de las siguientes etapas: Pretratamiento (dependiente del tipo de residuo), Digestión o vermicompostaje y afino. Aunque durante la etapa de vermicompostaje no hay modificaciones de la temperatura del sustrato, estudios recientes sobre monitorización del proceso mediante el uso de biomarcadores han evidenciado que durante ella se pueden separar dos subetapas; a) sub etapa hidrolítica b) sub etapa de maduración (Benítez et al., 1999a).

La mayoría de los sistemas de vermicompostaje se basan en colocar los residuos orgánicos en literas o montones de 50 cm de altura como máximo, al aire libre o bajo cubierta, inoculándolos con lombrices, y manteniendo condiciones óptimas de temperatura, humedad y pH durante el proceso. A pequeña escala, puede ser realizado en cajas y contenedores colocados en estantes.

Aunque de una forma teórica numerosas especies de lombrices epigeicas podrían ser utilizadas en la degradación de residuos orgánicos, las mas utilizadas son *Eisenia fétida* y *Eisenia andrei* debido a los siguientes hechos: a) son ubicuas y colonizan diversos residuos orgánicos de forma natural, b)

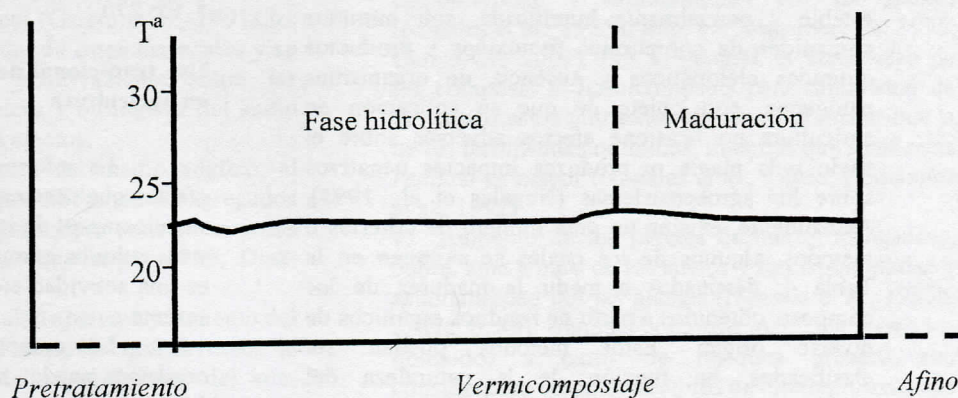


Figura 2. Etapas de un sistema de vermicompostaje

toleran amplios rangos de temperatura y humedad, c) son fuertes, resistentes y fáciles de manejar, d) gracias a su elevada tasa reproductora, son colonizadoras efectivas de todo tipo de ambientes ricos en materia orgánica, pudiendo reemplazar a

métodos bioquímicos; d) métodos biológicos y e) otros métodos.

Según nuestra legislación (OM del 2 de Junio de 1998, modificada por la O del 2 de Noviembre de 1999), el compost y en su caso el

Tabla 1 Tipos de residuos orgánicos utilizados en procesos de compostaje y vermicompostaje.

TIPO DE RESIDUO	COMPOSTAJE	VERMICOMPOSTAJE
Sector primario		
Sarmiento de vid	Lobo, 1985	Acción Coordinada. JA (2002-3)
Estiércoles diversos		Elvira y col., 1996a
Purines	Dominguez, 1996	Dominguez, 1996
Sector Secundario		
Residuos del olivar		Nogales y col., 1998; Benitez y col., 2001a
Lodos Centrales lácteos		Gratelly y col., 1995; Elvira y col., 1998
Lodos de Industria Papel		Elvira y col., 1995, 96b
Residuos industria azúcar	Baca y col., 1993	Proyecto 01CU007
Sector terciario		
Fracción orgánica RSU	Otero, 1993, Garcia y col., 1991	Nogales y col., 1995a
Lodos de depuradora	Garcia y col., 1993; Diaz-Burgos y col., 1993	Benitez y col., 1999a,b

alguna de las especies nativas ya establecidas. Además del tipo de lombriz, durante la etapa de vermicompostaje deben controlarse y habrá que tener en cuenta una serie de parámetros, como los que se exponen la tabla 3.

Composts y vermicomposts de residuos orgánicos. Calidad y legislación

La calidad y madurez de los compost y vermicomposts obtenidos a partir de los residuos orgánicos se define como el grado de estabilidad de estos materiales en función de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Ello implica que estos materiales deben contener una materia orgánica estable y parcialmente humificada, con mínimos contenidos de compuestos fitotóxicos y productos químicos alelopáticos y ausencia de organismos patógenos, con objeto de que su aplicación en agricultura no ocasione efectos adversos sobre el suelo y la planta ni produzca impactos negativos sobre los agroecosistemas (Nogales et al., 1995). Actualmente, existen un gran número de criterios o métodos, algunos de los cuales se exponen en la Tabla 4, destinados a medir la madurez de los composts obtenidos a partir de residuos orgánicos de diverso origen. Estos métodos pueden ser clasificados, en función de la naturaleza del parámetro que determinan, en cinco grupos: a) métodos de observación, b) métodos químicos; c)

vermicompost se define como el producto obtenido por fermentación aeróbica de residuos orgánicos. Debe cumplir los siguientes requisitos: M.O. total. > 25%, N orgánico > 1%, Humedad: < 40 %, el 90 % de las partículas deben pasar por una malla de 25 mm, y el tamaño de las partículas de plásticos y otros inertes eventualmente presentes no superarán los 10 mm. Deben declararse las materias primas utilizadas cuando alcancen el 30% y facultativamente los niveles de P_2O_5 y K_2O deben ser superior al 1%. Además de ello, no deben contener *Salmonella* en 25 g compost y los contenidos de *E. coli*: <1000 NMP/g compost. Por último las concentraciones de metales pesados no deben superar los siguientes niveles (mg kg^{-1}): Cd: 3, Cu: 450, Ni: 120, Pb: 150, Zn: 1100, Hg: 5, Cr: 270.

Uso tradicional de los composts y vermicomposts en agricultura

La información bibliográfica relativa a los efectos que ocasiona el uso agrícola de los compost y vermicompost de residuos orgánicos sobre los suelos y los cultivos es muy abundante ya que esta temática es una actividad científica iniciada allá por los años sesenta.

Los compost y vermicomposts de residuos orgánicos pueden ser considerados como sustancias fertilizantes, entendiéndose fertilizantes a aquellas sustancias que añadidas al suelo son capaces de

actuar en sentido positivo sobre la fertilidad del medio edáfico. Preciado ello, estos materiales se considerarían a su vez como: *bioenmiendas orgánicas*, ya que pueden modificar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; *abonos orgánicos*,

ya que contienen elementos esenciales para la planta, con potencialidad para cederlos al cultivo y *biocorrectores orgánicos*,

ya que pueden mejorar el pH del suelo y suministrar micronutrientes al sistema suelo-planta. Sin embargo, su empleo agrícola puede encontrarse a veces limitado, debido a la presencia en estos materiales de inertes, sales, así como otros elementos o sustancias potencialmente contaminantes, como los metales pesados y los microcontaminantes orgánicos.

Los hechos mencionados favorecen la utilización de materiales orgánicos en la agricultura tradicional, tanto de secano como regadío, contrarrestando las pérdidas de materia orgánica de los suelos, especialmente aquellos situados en zonas áridas y semiáridas. Además estos materiales pueden ser utilizados como sustratos orgánicos de cultivos bajo cubierta, aunque para ello deben presentar una gran calidad (Mustin, 1987). Por último, ya que su uso reduciría el consumo de abonos químicos, constituyen materiales idóneos para ser utilizados en la agricultura sostenible y la agricultura ecológica. Un breve resumen de la información existente a través de nuestra experiencia relativa a los efectos que los composts y vermicomposts sobre el suelo y la planta se expone a continuación:

1. Los composts y vermicomposts contienen elevados niveles de materia orgánica (entre 20-60%), parte de la cual se encuentra parcialmente humificada (ácidos húmicos y fúlvicos) (García et al., 1991a,b). Además, el carácter coloidal de estos materiales y su baja densidad influyen positivamente sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo provocando los siguientes efectos:

- Mejora de la estructura del medio edáfico, al aumentar la formación y estabilidad de los agregados del suelo, permitiendo una mayor resistencia a los procesos de erosión (Hernando et al., 1989; Díaz-Marcote y Polo, 1996)
- Reducción de la densidad aparente y aumento del tamaño de los poros del suelo lo que favorece la penetración del agua y la permeabilidad del aire,

estimulándose el crecimiento del sistema radicular de las plantas (Nogales et al., 1986a)

- Aumento de la capacidad de retención del agua, de modo que los suelos resisten mejor los periodos de sequía (Hernando, 1987; Benítez, 1996).

Tabla 2. Parámetros a considerar durante el proceso de compostaje

Temperatura	T ^a óptima 65-71°C (fase termófila). Descenso posterior T ^a ambiente
pH	Aumento paulatino. Estabilización entre 7 y 8
Humedad	Entre 45 y 55%
Aireación	Entr 5-15% O ₂ en el sustrato
Relacion C/N	Descenso continuo y significativo. Optimo al final <20
CIC	Aumento significativo. Optimo al final del proceso (70-80 meq/100g)
Biomarcadores	Actividades enzimáticas tienden a descender significativamente
Microorganismos	Bacterias, hongos y actinomicetos
Patógenos	Desaparición por elevadas T ^a Compostaje=Tecnología biosanitario

- Aumento de la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Díaz-Marcote, 1995, García-Gil, 2001).
- Aumento del pH en suelos ácidos y disminución del mismo en suelos alcalinos. La capacidad tampón de los composts y vermicomposts impide la movilización de metales pesados en suelos ácidos y aumenta la asimilabilidad de nutrientes en suelos alcalinos (Gallardo-Lara et al., 1990; Díaz-Marcote y Polo, 1996)
- Aumento de los niveles de materia orgánica total y humificada del suelo (Hernando et al., 1989; García et al., 1992). Ello conlleva un aumento la cantidad y diversidad de hongos, actinomicetos, bacterias aerobias, celulolíticos, etc, en el suelo proporcional a la dosis aplicada, favoreciendo la formación de micorrizas (Gallardo-Lara y Nogales, 1987). Además, aumenta las actividades de diferentes enzimas del suelo (deshidrogenasa, glucosidasa, ureasa, proteasa, amilasa, etc.) (García et al., 1993,94; Benítez et al., 2000; Díaz-Marcote et al., 2001).

2. Los composts y vermicomposts de residuos orgánicos contienen nutrientes a concentraciones variables. Ello da lugar a los siguientes efectos:

- Aumento de los niveles de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio y magnesio de los suelos y su disponibilidad y asimilabilidad por las plantas (Nogales et al., 1985a, 86b, 88; Díaz-Marcote, 1995; García-Gil, 2001). Por lo general, la efectividad de los composts y vermicomposts para suministrar de inmediato estos nutrientes al cultivo es menor que la de los fertilizantes químicos, mientras que su eficacia residual es mayor (Nogales et al., 1996a; Hernández et al., 1992).
- Aumento de los niveles de hierro, manganeso, cobre, zinc y boro de los suelos y su disponibilidad y asimilabilidad por las plantas (Nogales et al., 1985b, c; 87a, b; 89). Algunos composts, particularmente los obtenidos a partir de residuos urbanos son considerados como correctores de micronutrientes de suelos deficientes (Gallardo-Lara y Nogales, 1987).

- Además de ello, los vermicomposts a diferencia de lo observado con los composts contienen sustancias con marcado carácter fitohormonal, por lo que estimulan el crecimiento de los cultivos (Tomati et al., 1987).

3. Salvo excepciones, y como consecuencia de los efectos anteriormente indicados, el empleo de los composts y vermicomposts de residuos orgánicos, tanto en campo como en invernadero, promueven aumentos apreciables de los rendimientos de cosecha de diferentes cultivos (Díaz-Marcote, 1995; Gallardo y Nogales, 1987). En todo caso, la respuesta de la cosecha vendrá condicionada por la fertilidad innata del suelo, de tal modo que los mayores aumentos corresponderán a los suelos con menor fertilidad (Gallardo-Lara y Nogales, 1987). Aunque su efectividad inmediata es menor que la que ejercen los fertilizantes químicos, inciden favorablemente sobre la utilización de estos por los cultivos. Por último hay que señalar que a mezcla de los compost urbanos con dosis pequeñas de fertilizantes químicos da mejores rendimientos de cosecha que el aporte exclusivo de compost o de fertilización mineral (Nogales et al., 1996a).

4. Algunos composts y vermicomposts obtenidos a partir de residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora pueden contener apreciables niveles de metales pesados y contaminantes orgánicos. Ello podría tener consecuencias desfavorables sobre los sistemas agrarios, tales como: i) contaminar la capa superficial de los suelos de cultivo (Nogales et al., 1996b), ii) inducir fitotoxicidades en las plantas (Adriano, 1986); iii) entrar en la cadena trófica y provocando toxicidades en animales y hombres (Fergusson, 1990) y iv) contaminar por migración a través del perfil del suelo las aguas subterráneas (Christensen y Tjell, 1984). Sin embargo y salvo excepciones, no se han observado que el uso agrícola de estos materiales ocasione problemas de contaminación del suelo y la planta (Moreno et al., 1996; Benitez et al., 2001b)

Nuevas alternativas de utilización de los composts y vermicomposts de residuos orgánicos

vermicomposts de residuos orgánicos para otros fines distintos a los que tradicionalmente habían sido empleados en agricultura. El conocimiento existente sobre estos "nuevos usos" todavía es muy escaso, lo cual abre un campo científico casi inexplorado, de indudable interés innovador. Un breve resumen sobre algunos posibles nuevos usos de estos materiales se expone a continuación:

8.1. Utilización de los composts y vermicomposts de residuos orgánicos para el control de fitopatógenos.

Los composts y vermicomposts maduros, obtenidos a partir de residuos orgánicos, han sido evaluados en cuanto a su capacidad para suprimir fitopatógenos y se consideran, en la mayoría de los casos, como eficaces controladores de las enfermedades de las plantas. Según diferentes autores (Alvarez et al., 1995; Hoitink et al., 1996; Zhang et al., 1996), los mecanismos por los que se produce la capacidad supresora de fitopatógenos por los composts y vermicomposts son los siguientes: i) producción de antibióticos por los microorganismos que el compost incorpora al suelo y que inhiben el desarrollo de fitopatógenos; ii) competición interespecífica de los microorganismos beneficiosos y patógenos por los nutrientes; iii) aumento de la predación y el parasitismo de los microorganismos; iv) producción de enzimas que destruyen las paredes celulares de los fitopatógenos; v) cambios en las condiciones ambientales del suelo que inhiben el crecimiento de los patógenos; vi) inducción de la resistencia sistémica de las plantas a los fitopatógenos.

La capacidad supresora de fitopatógenos que presentan los composts y vermicomposts es especialmente acusada cuando los patógenos son hongos que ocasionan podredumbre y necrosis radicular de plantas cultivadas. Entre los diferentes composts ensayados, los obtenidos a partir de cortezas y residuos forestales han sido los más ampliamente utilizados como fungicidas (Hoitink et al., 1977). Además, otros composts obtenidos a partir de diferentes residuos orgánicos han mostrado una notable capacidad supresora de hongos patógenos,

Tabla 3. Parámetros a considerar durante el proceso de vermicompostaje

En los últimos años un gran interés científico y comercial ha suscitado la posibilidad de utilizar los composts y	Temperatura	Entre 10 y 35°C. T ^a óptima 18-24°C
	PH	Entre 5-8.5
	Humedad	Entre 80 y 90%
	Relacion C/N	Descenso continuo y significativo. Óptimo al final <20
	Biomarcadores	Actividades enzimáticas tienden a descender significativamente
	Microorganismos	Bacterias, hongos y actinomicetos
	Patógenos	Reducción por acción bactericida del líquido celomático de lombriz
	Conductividad	< 0.5 % 0 <7 dS m ⁻¹
	Amonio	< 0,5 mg g ⁻¹

aunque, generalmente menor que la ejercida por los composts de residuos forestales. Entre otros destacan los composts de estiércol animal (Ringer et al., 1997), de lodos residuales urbanos (Dickerson, 1996), y de residuos sólidos urbanos (Pascual et al., 2000). Respecto a los vermicomposts, los estudios realizados son muy escasos, aunque también se ha puesto de manifiesto su capacidad supresora de patógenos, especialmente de aquellos producidos a partir de residuos forestales (Orlikowski y Skrzypzak, 1997; Szech, 1999; AGL2000-1424-CO2-01).

8.2. Utilización de los composts para la biorrecuperación de suelos contaminados

La existencia de grandes extensiones de suelos contaminados por compuestos orgánicos y metales pesados constituye uno de los más graves problemas ambientales con los que se enfrentan la mayoría de los países desarrollados o en vías de desarrollo. La limpieza, depuración, recuperación y regeneración de estos suelos han sido los aspectos más olvidados durante el pasado en la gestión medioambiental, debido en gran parte, a la infravaloración del problema, a la falta de tecnologías suficientemente desarrolladas y a sus elevados costes.

El empleo de composts y vermicomposts, constituye una alternativa muy novedosa de biorrecuperación de suelos contaminados y por ello todavía poco utilizada a nivel mundial. La aplicación de los composts y vermicomposts a un suelo contaminado mejora sus propiedades físicas, químicas y biológicas, aumentando apreciablemente la biomasa microbiana indígena del mismo y su actividad. Estos aumentos favorecen la degradación de contaminantes orgánicos, los cuales se reducirán significativamente, transformándose en humus y compuestos inertes (Stegmann, 1991, Hupe, 1996; CAO01-007). Los metales pesados de los suelos contaminados tienden a quedar fijados y adsorbidos por las sustancias húmicas contenidas en los composts o formadas de novo en el suelo, lo que reduce su movilidad y transferencia a las plantas, a

las capas profundas del suelo y a las aguas subterráneas (Warmam, 1995; Chen et al., 1997).

Además, el propio proceso de compostaje puede

Tabla 4. Algunos criterios para la determinación del grado de madurez de los composts y vermicompost de residuos orgánicos (Nogales y col., 1995). IH: Índice de humificación, NH: Fracción no humificada, AH: Ácidos húmicos, AF: Ácidos fúlvicos, IG: Índice de germinación.

Olor	Tierra húmeda	d) C/N	5-6
		extracto	
Color	Oscuro-negro. Y 11-13	C hidrosoluble g kg⁻¹	< 5
pH	≥ 7	NH₄ g kg⁻¹	< 0.4
CIC meq/100g	> 60	IH: NH/AH+AF	< 1
C/N fase sólida	< 20	IG en <i>Lepidium</i> (%)	> 60

considerado como una tecnología biorremediadora, ya que a través de él se puede conseguir la reducción o eliminación de algunos compuestos orgánicos. Para ello se aprovecha la gran biodegradación producida en el compostaje de residuos orgánicos para integrar en ellos otros residuos o suelos contaminados sobre los que se llevará a cabo la biorremediación. Esta técnica ha sido utilizada para remediar residuos y suelos contaminados con petróleo (Persson, 1995), plaguicidas (Dooley, 1995), explosivos (Williams, 1991), etc.

Agradecimientos

El presente estudio ha sido financiado por la CICYT a través del proyecto 1FD97-0795 y AGL2000-1424-CO2-10. E. Romero y E. Benítez agradecen al Ministerio de Ciencia y Tecnología las financiaciones concedidas para la realización del presente estudio.

Referencias

- Adriano, D.C. 1986. Trace elements in the terrestrial environment. Springer-Verlag, New York.
- Alvarez, M.A., Gagne, S., Antuon, H. 1995. Effects of compost on rhizosphere microflora of the tomato and on the incidence of plant growth-promoting rhizobacteria. *Applied Environmental Microbiology*, 61: 194-99.
- Baca, M.T., Esteban, E., Almendros, G and Sanchez-Raya, A.J. 1993. Changes in the gas phase of compost during solid-state fermentation of sugarcane bagasse. *Bioresource Technology* 33: 5-8.
- Benítez, E. 1996. Capacidad fertilizante y contaminante de lodos de depuradora generados en la provincia de Granada. Tesis Doctorales de la Universidad de Granada. Director: Dr. Rogelio Nogales Vargas-Machuca

- Benítez, E., Nogales, R., Elvira, C., Masciandaro, G., Ceccanti, B. 1999a. Enzymes activities as indicators of the stabilization of sewage sludges composting by *Eisenia andrei*. *Bioresource Technology*, 67: 297-303.
- Benítez, E., Nogales, R., Elvira, C., Masciandaro, G. y Ceccanti, B. 1999b. Enzyme and earthworms activities during vermicomposting of carbaryl treated sewage sludge. *Journal Environmental Quality*, 28: 1099-1104
- Benítez, E., Melgar, R., Sainz, H., Gómez, M. y Nogales, R. 2000. Enzyme activities in the rhizosphere of pepper (*Capsicum annuum*, L.) grown with olive cake mulches. *Soil Biology & Biochemistry*, 32: 1829-1835
- Benítez, E., Sainz, H., Melgar, R. y Nogales, R. 2001a. Vermicomposting of a lignocellulosic by-product from olive oil industry: a pilot scale study. *Waste Management & Research*. Aceptado
- Benítez, E., Romero, E., Gómez, M., Gallardo Lara, F. and Nogales, R. 2001b. Biosolids and biosolids ash as sources of trace elements in the plant soil system. *Water, Air, and Soil Pollution*. 132: 75-87 2001
- Chen, Z.S. and Lee, D.Y. 1993. Evaluation of remediation techniques on two cadmium-polluted soils in Taiwan. 209-223. En Iskander, I.K. and Adriano, D.C. editores. Proceedings of a conference on the biogeochemistry of trace elements, Taipei, Taiwan.
- Christensen, T.H. y Tjell, J. 1984. Leaching from land disposed municipal compost. 4. Heavy metals. *Wastes Management Research*, 2: 345-357
- Díaz-Burgos M.A., Ceccanti B., and Polo A. 1993. Monitoring biochemical activity during sewage sludge composting. *Biology Fertility Soils*, 16: 145-250.
- Díaz-Marcote I. 1995. Aprovechamiento del compost de los residuos sólidos urbanos: Estudio de su capacidad fertilizante y del efecto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Tesis Doctoral de la Universidad Politécnica de Madrid.
- Díaz-Marcote I. and Polo A. 1996. Evolution of the physical and chemical properties of soil with the application of M.S.W. compost. *J. Solid Waste Technology and Management*, 23: 101-106
- Díaz-Marcote, I., Hernández, T., García, C. y Polo, A. 2001. Influence of one or two successive annual applications of organic fertilizers on the enzyme activity of a soil under barley cultivation. *Bioresource Technology*, 79: 147-154
- Dickerson, G.W. 1996. Compost dressing helps chile peppers. *Biocycle*, 37:80-82
- Dominguez, J. 1996. Estudio y comparación de los procesos de compostaje y vermicompostaje. Aplicación práctica al tratamiento de purines de cerdo. Tesis Doctoral de la Universidad de Vigo. Director: Dr. S. Mato
- Dooley, M.A., K. Taylor, and B. Allen. 1995. Composting of Herbicide-contaminated Soil. Pages 199-207. En R.E. Hinchee, D.B. Anderson, and R.E. Hoepfel, editores. *Bioremediation of Recalcitrant Organics*. Battelle Press.
- Elvira, C., Mato, S., Nogales, R. 1995. Changes in heavy metal extractability and organic matter fractions after vermicomposting of sludges from a paper industry and wastewater. *Fresenius Environmental Bulletin*, 4: 503-507
- Elvira, C., Domínguez, J., Mato, S. 1996a. The growth and reproduction of *Lumbricus rubellus* and *Dendrobaena rubida* in cow manure mixed with cultures of *Eisenia andrei*. *Applied Soil Ecology*, 5: 97-103
- Elvira, C., Goicoechea, M., Sampedro, L., Mato, S. and Nogales, R. 1996b. Bioconversion of solid paper pulp mill sludge by earthworms. *Bioresource Technology*, 57: 173-177
- Elvira, C., Sampedro, L., Benítez, E., Nogales, R. 1998. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: a pilot scale study. *Bioresource Technology*. 6: 205-211.
- Gallardo-Lara, F. y Nogales, R. 1987. Effect of the application of town refuse compost on the soil-plant system: A review. *Biological Wastes*, 19: 35-62.
- Gallardo-Lara, F., Nogales, R. y Navarro, A. 1990. Extractable sulphate in two soils affected by applied town refuse compost and agricultural wastes. *Biological Wastes*, 33: 39-51
- García, C. 1990. Estudio del compostaje de residuos orgánicos. Valoración agrícola. tesis doctoral de la Universidad de Murcia.
- García, C., Hernández, T., Costa, F. y Polo, A. 1991a. Residuos orgánicos. Manejo y utilización. Cebasa-Cajamurcia. Murcia.
- García, C., Hernández, T. y Polo, A. 1991b. Humic substances in composted sewage sludge. *Waste Management & Research* 9: 71-73.
- García, C., Hernández T. and Costa, F. 1992. Variation in some chemical parameters and organic matter in soils regenerated by the addition of municipal solid waste. *Environmental Management*, 16: 763-768.
- García, C., Hernández, T., Costa, F., Ceccanti, B. y Ganni, A. 1993. Hydrolases in the organic matter fractions of sewage sludge: changes with composting. *Bioresource Technology* 45: 47-52.
- García, C., Hernández T. and Costa, F. 1994. Biochemical parameters in soils regenerated by the addition of organic wastes. *Waste Management & Research*, 12: 457-466.
- García-Gil, J.C. 2001. Efectos residuales y acumulativos producidos por la aplicación de compost de residuos urbanos y lodos de depuradora sobre agrosistemas mediterráneos degradados. Tesis Doctoral de la Universidad Autónoma de Madrid. Director: Dr. Alfredo Polo Sánchez.
- Golueke, C.G. 1975. Composting. A review of rationales principles and public health. *Compost Science*, 17: 11-14.
- Gratelly, P., Benítez, E., Elvira, C., Polo, A., Nogales, R. 1995. Stabilization of sludges from a dairy processing plant using vermicomposting. Pages 341-344. En: Rodríguez-Barrueco, C. Editor. *Fertilizers and Environment*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands
- Hernández, M.T., García, C., Costa, F., Valero, J.A. y Ayuso, M. 1992. Utilización de residuos urbanos como fertilizantes orgánicos. *Suelo y Planta*, 2: 373-384.
- Hernando, S. 1987. Aprovechamiento de residuos sólidos urbanos como fuente de materia orgánica y sus efectos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Tesis Doctoral de la Universidad Autónoma de Madrid.
- Hernando, S., Lobo, M.C. y Polo, A. 1989. Effect of the application of a municipal refuse compost on the physical and chemical properties of a soil. *Science Total Environment*, 82: 589-96.
- Hoitink, H.A.J., D.M. VanDoren, Jr., A.F. Schmitthenner. 1977. Suppression of *Phytophthora cinnamomi* in a Composted Hardwood Bark Potting Medium. *Phytopathology*, 67: 561-565.
- Hoitink, H.A.J., Stone, A.G. y Grebus, M.E. 1996. Suppression of plant diseases by compost. Pages 373-381. En M. de Bertoldi, P. Sequi, B. Lammes y T. Papi editores. *The Science of composting*. Blackie Academic & Professional. London.
- Hupe, K., J.C. Luth, J. Heerenklage, and R. Stegmann. 1996. Enhancement of the Biological Degradation of

- Contaminated 913-923. En M. de Bertoldi, P. Sequi, B. Lammes y T. Papi editores *The Science of composting*. Blackie Academic & Professional. London.
- Lobo, C. 1986. Estudio agrobiológico y bioquímico del sarmiento de vid. Caracterización agrológica de los composts obtenidos. Tesis Doctoral de la Universidad Autónoma de Madrid. Director: Dr. A. Polo
- Moreno, J.L., García, C., Hernandez, T. and Ayuso, M. 1996. Transference of heavy metals from a calcareous soil amended with composted sewage sludges to barley plants. *Bioresource Technology*, 55: 251-258. 1996.
- Mustin, M. 1987. *Le compost: gestion de la matière organique*. Ed. Francois Dubusc, Paris.
- Nogales, R., Gallardo-Lara, F. y Delgado, M. 1983. Aspectos físico-químicos y microbiológicos del compostaje de basuras urbanas. *Anales Edafología y Agrobiología*, 41 1159-1174.
- Nogales, R., Azcón, M. y Gallardo-Lara, F. 1985a. Sequential sulphur availability affected by town refuse compost application. *Biological Agriculture. Horticulture*, 2: 323-328
- Nogales, R., Gómez, M. y Gallardo-Lara, F. 1985b. Town refuse compost as potential source of zinc for plants. Pages 487-489. En T.D. Lukas editor *Heavy Metals in the Environment*. CEP Consultants, Edimburgh.
- Nogales, R., Mingorance, M.D. y Gallardo-Lara, F. 1985c. Influence of applied town refuse compost and mineral complements on sequential iron availability. *Polish Journal. Soil Science*, 18: 43-48.
- Nogales, R., Ortega, E., Gallardo-Lara, F. y Delgado, M. 1986a. Effect of town refuse compost and nitrogen supplemented with different mineral fertilizers on the porosity of a spanish topsoil. *International Agrophysics*, 2: 333-339.
- Nogales, R., Gómez, M. y Gallardo-Lara, F. 1986b. Influencia de la fertilización con compost de basura urbana sobre la disponibilidad de potasio asimilable. *Agrochimica*, 30: 45-57.
- Nogales, R., Robles, J. y Gallardo-Lara, F. 1987a. Interactive effect of applied town refuse compost and mineral complements on the sequential copper uptake by ryegrass. *Agricoltura Mediterranea*, 117: 3-7
- Nogales, R., Robles, J. y Gallardo-Lara, F. 1987b. Boron release from town refuse compost as measured by sequential plant uptake. *Waste Management & Research*, 5: 513-520.
- Nogales, R., Gómez, M. y Gallardo-Lara, F. 1988. Influence of applied municipal garbage compost and mineral complements on nitrogen availability at short, medium and long term. p. 54. En *International Symposium Humus et Planta IX*, Praga.
- Nogales, R., Navarro, A., Baca, M.T. y Gallardo-Lara, F. 1989. DTPA-extractable micronutrients in soils of contrasting pH affected by organic wastes and elemental sulphur. *Trends in Trace Elements*, 1: 93-106.
- Nogales, R., Elvira, C., Benítez, E., Gomez, M. 1995. Uso agrícola de compost y vermicompost de basuras urbanas I: procesos, madurez y calidad de los productos. *Residuos*, 26: 53-57
- Nogales, R., Elvira, C., Benítez, E., Gomez, M. 1996a. Uso agrícola de compost y vermicompost de basuras urbanas III: Capacidad de cesión de nutrientes al suelo y la planta. *Residuos*, 29: 61-67
- Nogales, R., Elvira, C., Benítez, E., Gomez, M. 1996b. Uso agrícola de compost y vermicompost de basuras urbanas IV: Riesgos Sobre el suelo y la planta. *Residuos*, 31 42-45.
- Nogales, R., Thompson, R., Calmet, A., Benítez, E., Gómez, M., Elvira, C. 1998. Feasibility of vermicomposting residues from oil production obtained using two stages centrifuge. *Journal of Environmental Science and Health - Part A*, A33: 1491-1506.
- Orlikowski, L.B., Skrypczak, C. 1997. Calcium, antifug and keratin-bark-urea extract in the control of *Fusarium wilt* and *Phytophthora rot* on some plants. *Progress Plant Protection*, 37: 151-156.
- Otero, D. 1993. *Tecnologías para el tratamiento de los residuos urbanos. Evaluación de técnicas y estudio del compost*. Tesis Doctoral de la Universidad de Santiago. Director: Dr. S. Mato
- Pascual, A. Hernández, T. García, C., De Leij, F.A.A.M. and Lynch, J. M. 2000. Long term suppression of *Phytium ultimum* in arid soil using fresh and composted municipal wastes. *Biology Fertility Soils*, 30: 478-484
- Persson, A., M. Quednau, and S. Ahrne. 1995. Composting Oily Sludges: Characterizing Microflora Using Randomly Amplified Polymorphic DNA. Pages 147-155. En R.E. Hinchee, G.S. Douglas, and S.K. Ong, editores. *Monitoring and Verification of Bioremediation*, Columbus, OH
- Ringer, C.E., Millner, P.D., Teerlinck, L.M., Lyman, B.W. 1997. Suppression of seedling damping-off disease in potting mix containing animal manure composts. *Compost Science & Utilization*, 5: 6-14.
- Sczech, M.M. 1999. Suppressiveness of vermicomposts against *Fusarium wilt* of tomato. *J. Phytopathology*, 147: 155-161.
- Senesi, N. 1989. Composted materials as organic fertilizers. *Science Total Environment*, 81/82: 521-542.
- Stegmann, R., S. Lotter, and J. Heerenklage. 1994. Biological treatment of oil-contaminated soils in bioreactors. Pages 188-208. In R.E. Hinchee and R.F. Olfenbuttel, editores. *On-Site Bioreclamation*, edited by 188-208. Boston: Butterworth-Heinemann,
- Tomati, U., Grappelli, A. y Galli, E. 1987. The presence of growth regulators in earthworm-worked wastes. Pages 423-435. En A.M. Bonvicini editor. *On Earthworm. Cool. U.Z.I. Sel. Symp. Mon.*, 2, Mucchi Ed. Modena.
- Warman, P.R., T. Muizelaar, and W.C. Termeer. 1995. Bioavailability of As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, and Zn From Biosolids Amended Compost." *Compost Science and Utilization* 34: 40-50.
- Williams, R.T. and P.J. Marks. 1991. Optimization of Composting of Explosives Contaminated Soil: Final Report. CETHA-TS-CR-91053. U.S. Army Corps of Engineers. Washington, DC
- Zhang, W., Dick, W.A., Hoitink, H.A.J. 1996. Compost-induced systemic acquired resistance in cucumber to *Pythium root rot* and anthracene. *Phytopathology*, 86: 1066-70.
- Acción Coordinada. 2002-2003. Estudios dirigidos a valorizar residuos y/o subproductos generados por el cultivo de la vid y la agroindustria vitivinícola andaluza, mediante su reutilización como alimento de pequeños rumiantes y como enmiendas orgánicas estabilizadas. Consejería de Educación y Ciencia, Junta de Andalucía. IP: Dr. Rogelio Nogales
- AGL2000-1424-CO2-01 2000-2003. Nuevas alternativas para la recuperación y valorización de los subproductos agroindustriales del sector olivarero. I. Optimización de su uso para el control de fitopatógenos, substratos de cultivos de setas y biorrecuperación de suelos contaminados por metales pesados. CICYT Plan Nacional I+D+I. IP: Dr. Rogelio Nogales

CAO01-007 2002-2005. Aprovechamiento y valorización de residuos de las industrias del aceite de oliva como enmiendas orgánicas para controlar fitopatógenos de cultivos y mitigar los efectos adversos de plaguicidas en agricultura. Programa de Mejora de la Calidad de la Producción de Aceite de Oliva. Subprograma VII. Consejería de Agricultura y

Pesca. Junta de Andalucía. IP: Dr. Rogelio Nogales

2001CU009. 2001-2002. Proyecto: Potencialidad del vermicompostaje como tecnología de biorrecuperación de residuos lignocelulósicos para su uso en agricultura. CSIC (España) CITMA (Cuba). IP: Dr. Rogelio Nogales