

VERMICOMPOSTAJE EN EL RECICLADO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Rogelio Nogales Vargas-Machuca¹

¹ Estación Experimental del Zaidín, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EEZ-CSIC), Granada, España.
Corre electrónico: rogelio.nogales@eez.csic.es

INTRODUCCION

Las lombrices de tierra (Oligoquetos, Anélidos) son un grupo de invertebrados caracterizados por su sencillo diseño estructural (cuerpo vermiforme y segmentado, cabeza no diferenciada, sin órganos sensoriales especializados, cavidad del cuerpo recorrida por un tubo digestivo, un cordón nervioso ventilar y un sistema cerrado de vasos sanguíneos, intercambio gaseoso a través de superficie corporal húmeda y limitados mecanismos de control del equilibrio osmótico (Elvira et al., 1995a).

Las ventajas que estos organismos tienen, como componente fundamental de la comunidad degradadora edáfica, han sido enfocadas hacia varios usos prácticos dirigidos a la protección y mejora de la calidad de los suelos (bioregeneración de suelos degradados y/o contaminados, biorestauración de suelos empobrecidos, biomarcadores de contaminación edáfica, etc) y a la biodegradación de residuos orgánicos.

El vermicompostaje o compostaje de lombrices es un proceso de biooxidación y estabilización de residuos orgánicos, mediada por la acción combinada de lombrices epigeicas y microorganismos, que da lugar a un producto denominado, en sus diferentes acepciones vermicompost, lumbricompost, lombricompost o humus de lombriz. Esta práctica de biotransformación aprovecha una serie de ventajas derivadas de la acción de las lombrices, que aceleran la descomposición y humificación de la materia orgánica de forma directa (alimentación detritívora y desplazamiento a través de las galerías) o indirecta (estímulo de la actividad microbiana). Por otro lado, mejoran la estructura del producto final al provocar la rotura de los materiales orgánicos y favorecer la formación de agregados estables. Además, la actividad de estos detritívoros aumenta el contenido de nutrientes fácilmente asimilables por las y es responsable, directa o indirectamente, de la producción de sustancias que actúan como fitohormonas. Además el vermicompostaje es un proceso que permite además la explotación de las lombrices como fuente proteica para consumo animal y la reutilización de las aguas de percolación en usos agrarios por su elevada capacidad fertilizante.

Tabla 1. Parámetros a considerar durante el proceso de vermicompostaje.

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. Optimo al final <20
Biomarcadores	Actividades enzimáticas disminuyen 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 de una forma teórica numerosas especies de lombrices epigeicas podrían ser utilizadas en la degradación de residuos orgánicos, las más utilizadas son *Eisenia fétida* y *Eisenia andrei* debido a los siguientes hechos: a) son ubicuas y colonizan diversos residuos

orgánicos de forma natural., b) 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 alguna de las especies nativas ya establecidas. Además del tipo de lombriz, durante la etapa de vermicompostaje deben controlarse una serie de parámetros (Tabla 1) para que el proceso se lleve a cabo eficientemente.

El Grupo de Investigación Relaciones Planta-Suelo de la Estación Experimental del Zaidin, CSIC, Granada, España viene desarrollando, desde hace más de diez años, una línea de investigación, de carácter básico-aplicado, dirigida al reciclado de residuos orgánicos generados por las industrias agroalimentarias e invernaderos mediante procesos de vermicompostaje, temática que en esos residuos ha tenido un carácter pionero a nivel mundial. Un breve resumen de la metodología utilizada, la monitorización y evolución de diferentes parámetros químicos y microbiológicos durante el desarrollo de esos procesos, el posterior uso de los vermicomposts obtenidos y la bibliografía generada durante el periodo de tiempo dedicado a esta línea de investigación es el objetivo de este artículo.

RESIDUOS ORGANICOS UTILIZADOS

Una especial atención se le ha dedicado a los residuos generados en la comunidad autónoma andaluza, como los producidos por la industria de extracción del aceite de oliva, agroindustria vitivinícola y cultivos de invernadero.

Residuos de la agroindustria de extracción del aceite de oliva

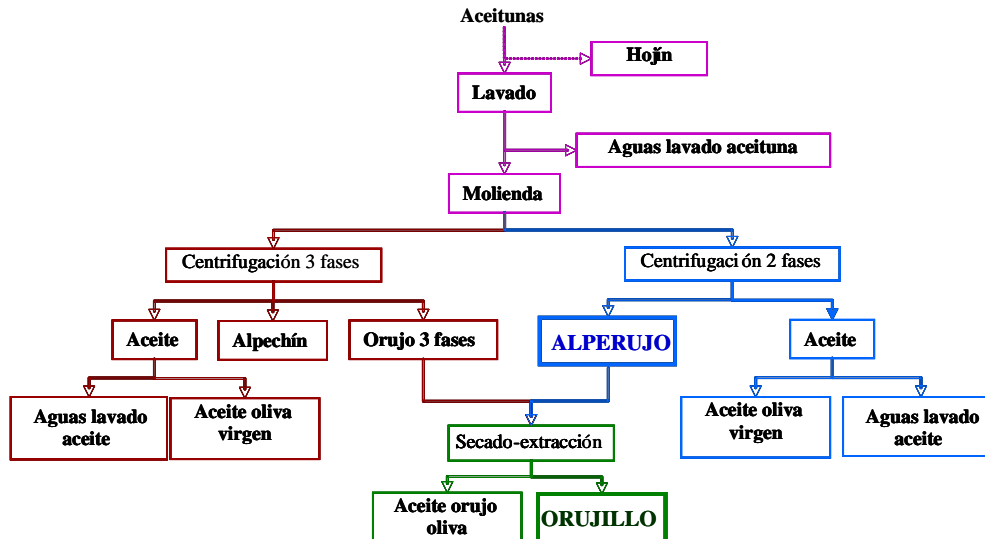


Figura 1. Principales residuos/subproductos generados por la agroindustria del olivar.

El cultivo del olivar y la industria de obtención del aceite de oliva tienen una enorme importancia económica y social en los países de la cuenca mediterránea. Estas actividades generan grandes cantidades de subproductos y/o residuos, cuya eliminación constituye uno de los mayores problemas medioambientales en estas áreas. En España, la extracción del aceite de oliva se lleva a cabo, mayoritariamente, por el sistema de centrifugación de 2 fases que genera un residuo denominado “orujo húmedo, o alperujo”. En la campaña 2009/10 en Andalucía se generaron 3.5 millones de toneladas de alperujo. El alperujo suele ser desecado y sometido a una nueva extracción industrial para la obtención de aceite de orujo quedando

un nuevo residuo denominado orujo seco y extractado u orujillo ($0.6 \cdot 10^6$ Tm/año). Además de ello, el alperujo es utilizado como biocombustible para la obtención de energía termo-eléctrica, o, para otros fines. Un esquema de los principales subproductos generados por el sector del olivar se expone en la **Figura 1**. De la amplia gama de residuos generados por la agroindustria del olivar, los alperujos y orujillos han sido los utilizados en procesos de vermicompostaje.

Residuos de la agroindustria vitivinícola

España es tercer productor mundial de vino, que el año 2009 alcanzó los 37 millones de Hl. Esa producción generó millón de toneladas de residuos sólidos y 18 millones de Hl de residuos líquidos. Los principales residuos de esta agroindustria son el sarmiento y el orujo de uva o fresco, el cual, mayoritariamente, es utilizado para la obtención de alcoholes. La destilación del alcohol genera dos nuevos residuos, uno sólido de naturaleza lignocelulósica “orujo agotado” y un residuo líquido ácido y de baja viscosidad denominado “vinazas”. La alta carga contaminante de las vinazas ha forzado su depuración, tras la cual se obtiene un efluente líquido no contaminante y un residuo orgánico denominado “lodo de vinazas (**Figura 2**). El sarmiento, orujo agotado, lias deshidratadas y lodo de vinaza fueron los tres residuos utilizados en los procesos de vermicompostaje desarrollados.

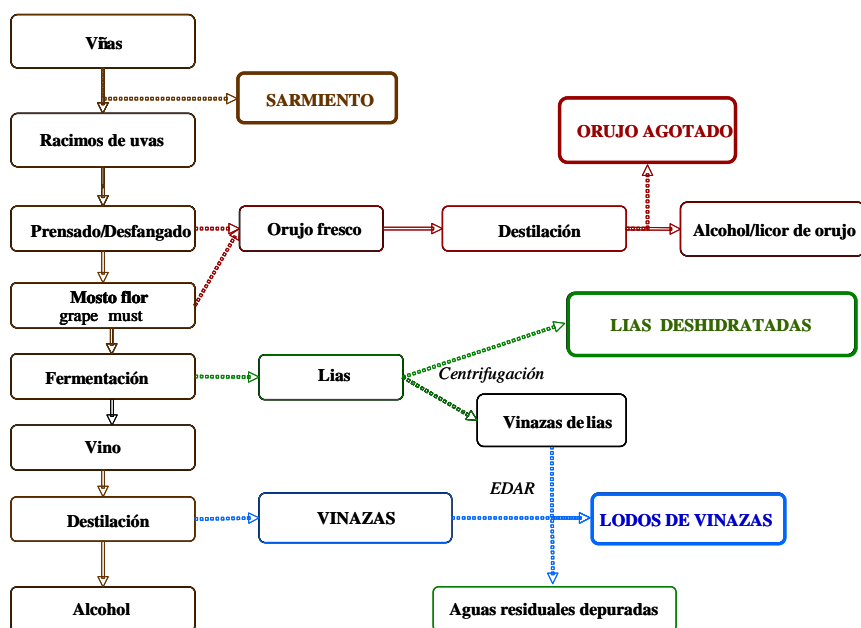


Figura 2. Principales residuos/subproductos generados por la agroindustria vitivinícola.

Residuos vegetales de invernadero

Los cultivos de invernadero o bajo cubierta se encuentran ampliamente extendidos en Andalucía ocupando un área de 44000ha. Estos cultivos general grandes cantidades de residuos (entre 29 y 31 Tm/ha) constituidos por restos de mata de diferentes cultivos hortícolas y por destrios que son los frutos de los cultivos no aptos para su comercialización por efecto de magulladuras, tamaño inadecuado, podredumbre, rajado, ataque de insectos o bien por frutos comercializables que son desechados por cuestiones diversas de mercado. Ambos tipos de residuos, que superaron el millón y medio de Tm durante el año 2009, fueron ensayados en los procesos de vermicompostaje

Otros residuos orgánicos

Además de los residuos orgánicos señalados, también se han ensayado otros procedentes de la depuración de las aguas residuales mediante tratamientos primarios y secundarios. Entre otros destacan los lodos producidos por la depuración de aguas residuales urbanas (lodos urbanos), de aguas residuales de centrales lácteas (lodos lácteos) y de aguas residuales de industrias del papel (lodos de papeleras). Por último y generalmente como controles, se han utilizado estiércoles de diferente naturaleza (vacuno, ovino-caprino, caballar) que son los medios naturales del crecimiento de las lombrices epigeicas utilizadas en procesos de vermicompostaje.

TIPOS DE PROCESOS DE VERMICOMPOSTAJE DESARROLLADOS

Los procesos de vermicompostaje se han desarrollado a diferente escala, dependiendo de los fines científicos que se perseguían. Básicamente se ha establecido tres escalas:

Escala microcosmos

Los experimentos a escala microcosmos tienen como objetivo conocer la viabilidad de un residuo orgánico problema, sólo o acondicionado, como alimento para las lombrices, y seleccionar aquellos como sustratos más idóneos para ser vermicompostados a escala mayor. Los experimentos se realizan bajo condiciones controladas de temperatura y humedad y generalmente se han utilizado como receptáculos placas petri de diferente tamaño.

Escala laboratorio o mesocosmos

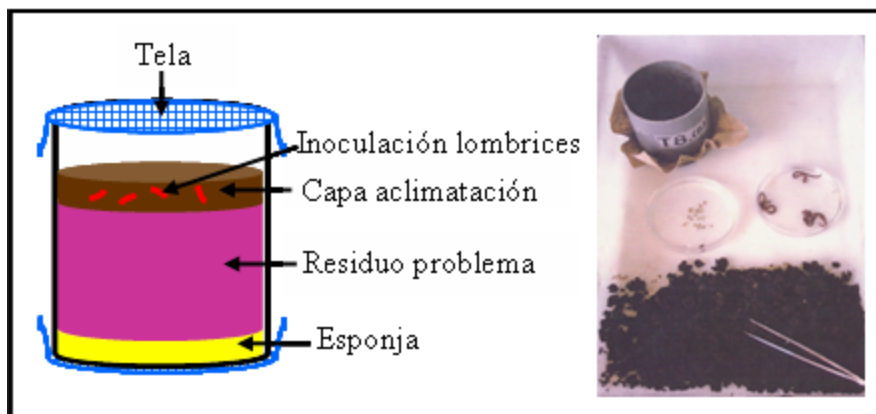


Figura 3. Receptáculo utilizados en procesos de vermicompostaje desarrollados a escala laboratorio.

El objetivo es dar información sobre las bases científicas del proceso del vermicompostaje y sobre la viabilidad de la utilización de nuevos residuos orgánicos, solos o mezclados con otros, y seleccionados en la escala de microcosmos, para su biodegradación por la acción combinada de lombrices y microorganismos. Las condiciones ambientales en estos procesos están controladas, manteniéndose constantes la humedad y temperatura y suelen ubicarse en cámaras especiales para este fin. Generalmente, el tipo de receptáculo que utilizamos es un tubo cilíndrico y abierto de PVC, de diferente diámetro y altura. En la base se introduce una fina esponja ajustada al fondo para facilitar el drenaje. Sobre la esponja se deposita el residuo

orgánico a ensayar y sobre él una capa de aclimatación constituida por vermicompost maduro; material en el son introducidas las lombrices. Por último, el receptáculo es tapado, superior e inferiormente, con una tela la cual tenía pequeños orificios para facilitar el intercambio de gases y el drenaje del agua en exceso (**Figura 3**). La duración de los procesos desarrollados varió entre 2 y 6 meses.

Escala piloto o macrocosmos

El objetivo de esta escala es desarrollar, optimizar y monitorizar el proceso de vermicompostaje bajo condiciones ambientales y a gran escala que permita su transferencia al sector empresarial. Además, generar abonos o enmiendas orgánicas rentables susceptibles de ser utilizados en el sector agrícola o como regeneradores/bioremediadores de suelos. En los sistemas no continuos, se utilizan literas entre 1 y 2 m² ligeramente inclinadas (5%) para facilitar el drenaje. El residuo problema se coloca en el centro, y a ambos lados se coloca un cordón de amortiguación (vermicompost maduro) donde se realiza la inoculación de lombrices (**Figura 4**). En los sistemas continuos se utilizan reactores (4-8 m²), en cuya base se coloca una capa de estiércol maduro, el cual es inoculado con lombrices epigeicas. Periódicamente, el reactor es alimentado con el residuo problema (**Figura 4**). La duración de proceso es variable entre 3 meses y 2 años, ya que el vermicomposts obtenido es retirado periódicamente del reactores.



Figura 4. Dispositivos experimentales utilizados en procesos de vermicompostaje a escala piloto.

PARAMETROS ANALIZADOS EN LOS PROCESOS DE VERMICOMPOSTAJE

Evolución de las lombrices inoculadas

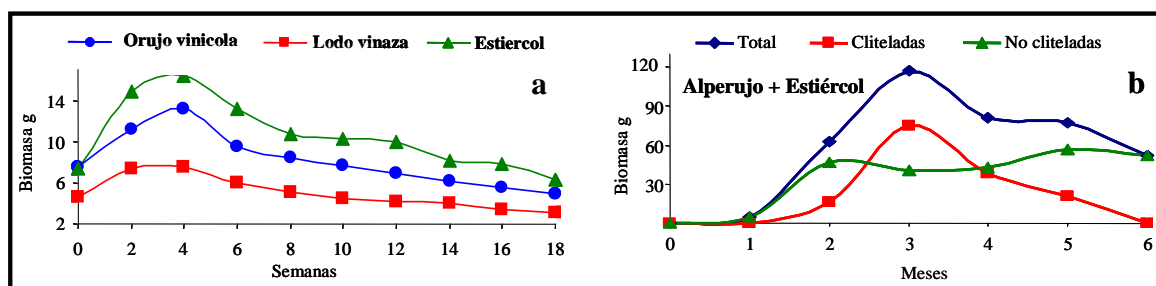


Figura 5. Evolución de la biomasa de lombrices en procesos de vermicompostaje a escala laboratorio (a) y piloto (b).

En los diferentes procesos desarrollados y periódicamente (semanal, quincenal o mensualmente) se determina la biomasa y número total de las lombrices, la biomasa y número de lombrices cliteladas y no cliteladas y el número de cápsulas producidas. En algunas de ellos, además se ha procedido a determinar el número de lombrices eclosionadas de las cápsulas producidas. En la **Figura 5** se representa las curvas de la evolución de la biomasa total de lombrices procesos de vermicompostaje a escala laboratorio y piloto utilizando diferentes residuos orgánicos agroindustriales

Cambios químicos producidos durante los procesos de vermicompostaje

En los diferentes procesos de vermicompostaje desarrollados se ha realizado el análisis químico y fitotóxico al inicio y al final del proceso, y en alguno de ellos, periódicamente durante su desarrollo. Los análisis efectuados fueron los siguientes: pH, conductividad, materia orgánica, carbono orgánico total, carbono hidrosoluble, celulosa, hemicelulosa, lignina, sustancias húmicas y análisis elemental (N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Ni, Pb). La fitotoxicidad de los residuos se realiza utilizando extractos acuosos de los residuos al inicio y final del proceso de vermicompostaje en mediante ensayos de germinación “in vitro” de semillas de *Lepidium sativum* L., comúnmente denominado “berro de agua”. La **Figura 6** expone los cambios porcentuales de algunos parámetros analizados inducidos por el vermicompostaje de residuos agroindustriales.

Además, y en algunos procesos se ha llevado a cabo la caracterización de las sustancias húmicas en los residuos orgánicos ensayados. Los resultados obtenidos evidenciaron que el proceso de vermicompostaje produce una reducción de las estructuras alifáticas y polipeptídicas y un aumento de los grupos funcionales acídicos y de los anillos aromáticos policondensados de los ácidos húmicos, presentando en los al final de proceso unas características semejantes a los de los suelos naturales.

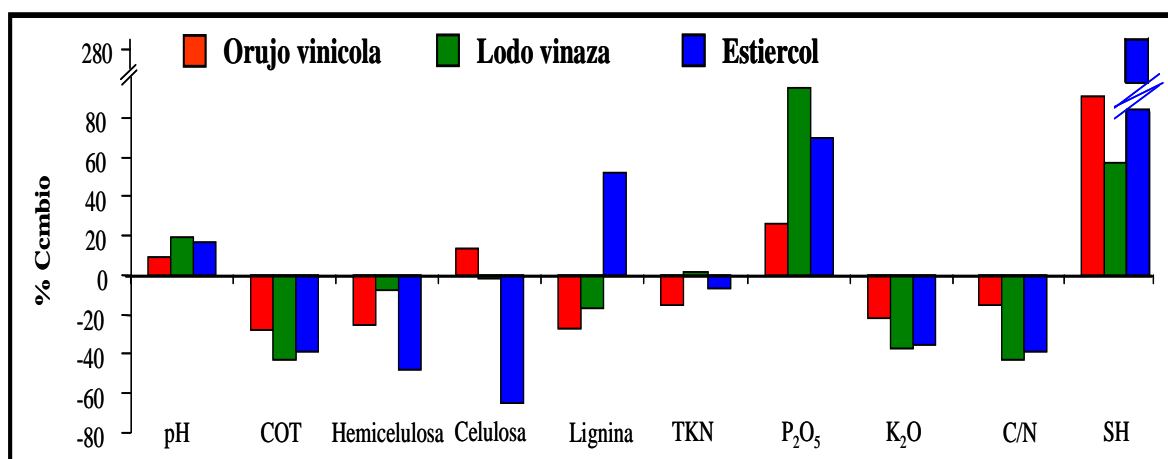


Figura 6. Cambios porcentuales de algunos parámetros químicos inducidos por el proceso de vermicompostaje.

Por último, los análisis químicos efectuados sirven de guía para valorar la calidad fertilizante de los vermicomposts obtenidos y si ellos cumplen con las especificaciones que contempla la legislación del Reino de España sobre contenidos mínimos en principios activos exigibles en vermicomposts (RD 824,2005, **Tabla 2**).

Tabla 2. Analisis de vermicomposts de residuos de la agroindustria del olivar.

	<i>Orden APA/863/2008, RD824/2005</i>	Vermicompost de alperujo	Vermicompost de orujillo
Humedad %	<40	25.35	20-25
Materia orgánica %	> 30	60-80	65-80
Nitrógeno %	>1	1.4-1.8	1.2-1.7
P ₂ O ₅ % (recomendable)	>1	0.3-0.7	0.3-0.4
K ₂ O % (recomendable)	>1	1.2-1.4	1.2-1.6
pH		7.5-8.5	7.9-8.2
Conductividad dS m ⁻¹		1.5-3	2-5
<i>Salmonella</i>	0 en 25 g	0	0
<i>E. coli</i> NMP/g	<1000	1-3	1-4
Cd mg kg ⁻¹	<0.7	nd	nd
Cr mg kg ⁻¹	270	50-60	10-25
Cu mg kg ⁻¹	<70	25-95	20-70
Ni mg kg ⁻¹	<25	6-20	4
Pb mg kg ⁻¹	<45	2-4	2
Zn mg kg ⁻¹	<200	50-100	40-50
IG (%)	>80	90-102	88-110

Evolución de actividades enzimáticas (biomarcadores) durante los procesos de vermicompostaje

En los últimos años, ha suscitado un gran interés los estudios y el conocimiento sobre la evolución de diferentes actividades enzimáticas como biomarcadores de los procesos de vermicompostaje, con objeto de obtener información sobre de los cambios de los residuos orgánicos, así como del funcionamiento de los ciclos de elementos. En general, la mayoría de las actividades enzimáticas estudiadas (deshidrogenasa, proteasa, ureasa, β-glucosidasa, fosfatasa, etc), después de un aumento durante los primeros estadios del proceso, tienden a disminuir a medida que avanza la biodegradación de los residuos orgánicos por la acción de las lombrices y microorganismos. Por ello, los vermicomposts obtenidos presentan una menor actividad que los residuos orgánicos frescos. Sin embargo hay que señalar, que los vermicomposts, al tener estabilizada su materia orgánica, conseguirán mayor eficacia en la construcción de un pool enzimático “estable”, es decir, complejos “enzima-humus” capaces de resistir la desnaturalización de los enzimas.

Microorganismos y procesos de vermicompostaje

En los procesos de vermicompostaje se encuentran involucrados un gran número de microorganismos, fundamentalmente bacterias, hongos y actinomicetos mesófilos. El desarrollo y actividades de las lombrices y microorganismos se encuentran estrechamente ligada ya que por una parte los microorganismos constituyen una parte fundamental de la dieta de las lombrices, con una importancia de menor a mayor de bacterias, algas, hongos y protozoos; y por otra las lombrices modifican la estructura física de los residuos, fragmentando la materia orgánica y aumentando su superficie, lo cual incrementa la actividad de los microorganismos. Además, el aparato digestivo de la lombriz es un sistema complejo

en el cual existen, cohabitan e intervienen diferentes microorganismos y participan diferentes actividades enzimáticas, que modifican sustancialmente la composición química y microbiológica del material orgánico ingerido.

Sin embargo, el conocimiento sobre los grupos de microorganismos y su evolución durante los procesos de vermicompostaje todavía es muy escaso, y los resultados obtenidos en muchos casos son contradictorios. Las nuevas técnicas de análisis de microorganismos, basadas en el análisis de patrones de ADN, patrones de ácidos grasos y patrones de sustratos carbonados pueden ser de gran utilidad ya que proporcionarán información sobre la estructura y diversidad de las comunidades microbianas, pudiendo establecerse comparaciones entre residuos orgánicos iniciales y los vermicompostados y entre diferentes residuos orgánicos utilizados en procesos de vermicompostaje.

UTILIZACION DE LOS VERMICOMPOSTS EN AGRICULTURA Y RECUPERACION DE SUELOS

Además del desarrollo de los procesos de vermicompostaje utilizando residuos orgánicos de diferente naturaleza, se le ha dedicado una especial atención científica al uso posterior de los vermicomposts obtenidos como enmiendas orgánicas para mejorar la fertilidad de los suelos agrícolas y para biorecuperar suelos contaminados por xenobioticos orgánicos e inorgánicos. Específicamente, los estudios realizados se han dirigido a desarrollar los siguientes usos agroambientales:

- Utilización de vermicomposts de residuos oleícolas y de invernadero como enmiendas orgánicas de suelos en cultivos agrícolas convencionales y biológicos
- Utilización de los vermicomposts de residuos oleícolas como materiales de acolchados de cultivos
- Utilización de los vermicomposts de residuos oleícolas como enmiendas con capacidad para reducir hongos patógenos que ocasionan necrosis radicular de plantas.
- Utilización de los vermicomposts de residuos oleícolas y residuos de invernadero como enmiendas orgánicas para modificar la extractabilidad de metales pesados en suelos contaminados o residuos de la minería
- Utilización de los vermicomposts de residuos vitivinícolas y oleícolas para modificar el comportamiento (adsorción, degradación y transporte) de plaguicidas en suelos.
- Utilización de los vermicomposts de residuos oleícolas para fitorecuperar suelos contaminados por metales pesados e hidrocarburos alifáticos clorados.

Agradecimientos

Algunos de los estudios recogidos en esta revisión forman parte del proyecto P05-AGR-00408 financiado por la Junta de Andalucía. El autor agradece a los integrantes del grupo de investigación Relaciones Planta-Suelo su colaboración en los diferentes estudios recogidos en esta revisión.

BIBLIOGRAFIA

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta línea de investigación han dado lugar a un apreciable número de artículos recogidos en revistas científicas, libros, tesis doctorales, comunicaciones a congresos, etc. Las más representativas se exponen a continuación:

- Benitez, E., R. Nogales, C. Elvira, G. Masciandaro and B. Ceccanti. 1999. Enzymes activities as indicators of the stabilization of sewage sludges composting by *Eisenia andrei*. *Bioresource Technology* 67:297-303.
- Benitez, E., R. Nogales, C. Elvira, G. Masciandaro and B. Ceccanti. 1999. Enzyme and earthworms activities during vermicomposting of carbaryl treated sewage sludge. *Journal of Environmental Quality* 28:1099-1104
- Benitez, E., R. Nogales, G. Masciandaro, and B. Ceccanti. 2000. Isolation by IEF of humic – urease complexes from earthworms processed sewage sludges, *Biology & Fertility of Soils*, 31: 489-493
- Benítez, E., R. Melgar, H. Sainz, M. Gómez, and R. Nogales. 2000. Enzyme activities in the rhizosphere of pepper (*Capsicum annuum*, L.) grown with olive cake mulches. *Soil Biology & Biochemistry* 32:1829-1835.
- Benítez, E., H. Sainz, R. Melgar and R. Nogales. 2002. Vermicomposting of a lignocellulosic by-product from olive oil industry: a pilot scale study. *Waste Management & Research* 20:134-142
- Benitez, E., R. Melgar, and R. Nogales. 2004. Estimating soil resilience to toxic waste by measuring enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry* 36:1615-1623.
- Benítez, E. H. Sainz and R. Nogales 2005. Hydrolytic enzyme activities of extracted humic substances during the vermicomposting of a lignocellulosic olive waste. *Bioresource Technology* 96:785–790
- Elvira, C., M. Goicoechea, L. Sampedro, S. Mato and R. Nogales, R. 1996. Bioconversion of solid paper pulp mill sludge by earthworms *Bioresource Technoogy* 57:173-177.
- Elvira, C., L. Sampedro, E. Benítez, R. Nogales. 1998. Vermicomposting od sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: a pilot scale study. *Bioresource Technology* 6:205-211.
- Elvira, C., L. Sampedro, L. R. Nogales, R. 1999. Suitability of sludges from dairy and paper industries for growth and reproduction of *Eisenia andrei*. *Pedobiologie* 43:766-770 (1999)
- Fernandez-Bayo, J.D. 2008. Valoración de la efectividad de vermicomposts de residuos vitivinícolas y oleícolas en el control de plaguicidas en suelos. Tesis Doctoral de la Universidad de Granada, España: Directores: Dres. E. Romero y R. Nogales.
- Fernández-Bayo, J.D., R. Nogales, and E. Romero. 2006. Adsorción de Diuron en suelos enmendados con vermicompost de residuos agroindustriales. p. 155-163. En “Medioambiente en Iberoamerica. Visión desde la Física y la Química en los albores del siglo XXI”. Vol. III, Diputación de Badajoz.
- Fernández-Bayo, J.D., R. Nogales, and E. Romero. 2007. Improvement of Imidacloprid

- (Confidor®) soil-sorption capacity by the addition of vermicompost from spent grape marc. *The Science of Total Environment* 378:95-100.
- Fernández-Bayo, J.D., R. Nogales, and E. Romero. 2008. Evaluation of the sorption process for imidacloprid and diuron in eight agricultural soils from southern Europe using various kinetic models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56:5266-5272.
- Fernández-Bayo, J. D., E., Romero, F. Schnitzler, and P. Burauel. 2008. Assessment of pesticide availability in soil fractions after the incorporation of winery-distillery vermicomposts. *Environmental Pollution*, 154: 330-337.
- Fernández-Bayo, J.D., R. Nogales, and E. Romero. 2009. Assessment of three vermicomposts as organic amendments used to enhance diuron sorption in soils with low organic carbon content. *European Journal of Soil Science*, 60: 935-942.
- Fernández-Bayo, J.D., R. Nogales, and E. Romero. 2009. Effect of vermicomposts from wastes of wine and alcohol industries in the persistence and distribution of imidacloprid and diuron on agricultural soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57: 5435-5442.
- Fernández-Gómez, M.J., E. Romero, and R. Nogales. 2010. Feasibility of vermicomposting for vegetable greenhouse waste recycling. *Bioresource Technology* 101:9654-9660
- Fernández-Gómez, M.J., R. Nogales, H. Insam, H., E. Romero, and M. Goberna. 2010. Continuous-feeding vermicomposting as a recycling management method to revalue tomato-fruit wastes from greenhouse crops. *Waste Management*. doi:10.1016/j.wasman.2010.07.005
- Sainz, H. 2001. Desarrollo de procesos de vermicompostaje para el aprovechamiento agrícola de subproductos generados por la industria del olivar. Tesis doctoral de la Universidad de Almería. Directores: Dres R. Nogales y E. Benítez.
- Lazcano, C., L. Sampedro, R. Nogales, and J. Dominguez. 2008. Paper sludge vermicomposts as amendments into the potting media of peppers (*Capsicum annuum* L. var longum). p. 211-213 In: Fuchs Jacques G., T. Kupper, L. Tamm, K. Schenk (eds) . *Compost and digestate: sustainability, benefits, impacts for the environment and for plant production*. FIBL, Switzerland,
- Lorite, M.J., C. Cifuentes, E. Romero, E. Benitez, y R. Nogales. 2005. Efectividad de diferentes bioenmiendas oleícolas del suelo para reducir la patogenidad de *Rhizoctonia solani* en cultivos de veza. p. 413-417. En: Jiménez Ballesta R.; Alvarez, A.M. (eds), *Control de la Degradación de Suelos*. Universidad Autónoma de Madrid.
- Melgar, R. 2003. Propuestas de diversos usos agrícolas de subproductos derivados de la industria del olivar. Tesis doctoral de la Universidad de Granada. Directores: Dres R. Nogales y E. Benítez.
- Melgar, R., E. Benítez, and R. Nogales R. 2009. Bioconversion of wastes from olive oil industries using the epigeic earthworm *Eisenia andrei*. *Journal Environmental Science & Health, Part B*. 44: 488-495.

- Moreno, B. 2009. Estrategias de recuperación de suelos contaminados por tricloroetileno basadas en el uso de vermicompost de alperujo y especies vegetales con potencial fitorremediador. Tesis doctoral de la Universidad de Granada. Directores: Dres E. Benítez y R. Nogales.
- Moreno, B., A. Vivas, R. Nogales, and E. Benítez. 2009. Solvent tolerance acquired by *Brevibacillus brevis* during an olive-waste vermicomposting process. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72: 2109-2114.
- Moreno, B., A. Vivas, R. Nogales, C. Macci, G. Masciandaro, G. and E. Benítez. 2009. Restoring soil enzyme activities and bacterial diversity after a trichloroethylene contamination: The reclamation effect of vermicomposted olive wastes. *Environmental Science and Pollution Research*, 16: 253-264.
- Nogales, R., R. Thompson, A. Calmet, E. Benitez, M. Gómez, and C. Elvira. 1998. Feasibility of vermicomposting residues from oil production obtained using two stages centrifuge. *Journal of Environmental Science and Health A* 33: 1491–1506.
- Nogales, R., R. Melgar, A. Guerrero, G. Lozada, E. Benítez, E., R. Thompson, and M. Gómez. 1999. Growth and reproduction of *Eisenia andrei* in dry olive cake mixed with other organic wastes. *Pedobiologie* 43: 744-752.
- Nogales, R., C. Elvira, E. Benitez, R. Thompson, R. and Gómez, M. 1999. Feasibility of vermicomposting dairy biosolids using a modified system to avoid earthworm mortality. *Journal of Environmental Science and Health - Part B* 34:151-169.
- Nogales, R. 2003. Tecnologías de bajo coste para la obtención de bioenmiendas orgánicas: Compostaje y vermicompostaje. Ponencia. I Congreso Nacional sobre control de la erosión y degradación del suelo. Madrid.
- Nogales, R., C. Cifuentes, and E. Benitez 2005. Vermicomposting of winery wastes: A laboratory study. *Journal Environmental Science Health part B*, 49: 659-673
- Nogales, R., and E. Benitez. 2006. Absorption of zinc and lead to *Dittrichia viscosa* grown in a contaminated soil amended with olive-derived wastes. *Bulletin Environmental Contamination Toxicology* 76:538-544
- Nogales R. and Benitez E. 2007. Effect of olive-derived organic amendments on lead and zinc and biochemical parameters of an artificially contaminated soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38: 795-811.
- Nogales, R., J. Domínguez, y S. Mato, 2008. Vermicompostaje. p. 187-208. En: J. Moreno y R. Moral (eds) . *Compostaje. Mundi-Prensa*. Madrid, España
- Nogales, R., M. Saavedra, and E. Benítez. 2008. Recycling of wet olive cake “alperujo” through treatment with fungi and subsequent vermicomposting. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17: 1822-1827.

- Plaza, C., R. Nogales, R., N. Senesi, N., Benítez, E., and A. Polo. 2008. Organic matter humification by vermicomposting of cattle manure alone and mixed with two-phase olive pomace. *Bioresource Technology*, 99:5085-5089.
- Romero, E.; E. Benitez, and R. Nogales. 2005. Suitability of wastes from olive-oil industry for initial reclamation of a Pb/Zn mine tailing. *Water, Air Soil Pollution* 165: 153-165.
- Romero, E., A. Salido, C. Cifuentes, J.D. Fernandez-Bayo, and R. Nogales. 2006. Effect of vermicomposting process on pesticides sorption capability using agroindustrial-wastes. *International Journal Environmental Analytical Chemistry* 86:289-297
- Romero, E, C. Plaza, N. Senesi, and R. Nogales, R.,. 2007. Humic acid-like fractions in raw and vermicomposted winery and distillery wastes. *Geoderma*, 139: 397-406.
- Romero, E.; J.D. Fernandez-Bayo and R. Nogales. 2007. Enhanced Diuron soil sorption using mediterranean agroindustrial wastes. p. 366-366. En: J. Cornejo, D. Sarigiannis, W. Berheim (eds). *Book of Abstracts of the 14th International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region with focus of Environment and Health*. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa, Junta de Andalucía.
- Romero, E., J.D. Fernandez-Bayo, J.M. Castillo-Diaz, and R. Nogales. 2010. Enzyme activities and diuron persistence in soil amended with vermicompost derived from spent grape marc and treated with urea. *Applied Soil Ecology* 44:198-205
- Saavedra, M. 2007. Biodegradación de alperujo utilizando hongos del género *Pleurotus* y anélidos de la especie *Eisenia foetida*. Tesis doctoral de la Universidad de Granada. Directores: Dres R. Nogales y E. Benítez.
- Saavedra, M., E. Benítez, C. Cifuentes, and R. Nogales. 2006. Enzyme activities and chemical changes in wet olive cake after treatment with *Pleurotus ostreatus* or *Eisenia fetida*. *Biodegradation*, 17:93-102.
- Thompson, R. and R. Nogales. 1999. Nitrogen and carbon mineralization in soil of vermicomposted and unprocessed dry olive cake (“orujo seco”) produced from two stage centrifugation for olive oil extraction. *Journal of Environmental Science and Health, B* 34:917-928.