

## VALORIZACIÓN DE LODOS EDAR MEDIANTE VERMICOMPOSTAJE

Francisco J. Navarro, Responsable de depuración<sup>1</sup>, fnavarrosan@emuasa.es

Eva Mena, Responsable de I+D+i<sup>1</sup>, emena@emuasa.es

M Mar Castro, Técnico I+D+i depuración<sup>2</sup>, mcastrog@aquatec.es

Dr. Enrique Agullo, Responsable de compostaje Compostingreen<sup>3</sup>, enrique.agullo@umh.es

1 Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia S.A, Plaza Circular 9, 30008 Murcia

2 Aquatec Proyectos para el Sector del Agua S.A.U., Edificio INTI. Torre Z, planta 8 Avda. Teniente Montesinos, 8 30100 Murcia

3 Compostingreen, S.L. Avda. de la Universidad s/n Edificio Quorum III, Parque Científico y Empresarial de la Universidad Miguel Hernández 03202 Elche

Palabras clave: lodo, valorización residuos, vermicompostaje

Keywords: sludge, waste valorization, vermicomposting

## RESUMEN

La aplicación agrícola de los lodos es una alternativa que permite el cumplimiento de la jerarquía para la prevención y la gestión de residuos: (i) Prevenir, (ii) Reutilizar, (iii) Reciclar, (iv) Valorizar y (v) Eliminar (Directiva 2008/98/CE), con un reducido coste. Además, el lodo supone una importante fuente de materia orgánica para los suelos, permitiendo mejorar la estructura y la humedad de los terrenos, lo cual tiene una importancia significativa en regiones en riesgo de desertificación como el sureste español. Es también un fertilizante orgánico rico en nutrientes como fósforo, nitrógeno, micronutrientes y sulfuros, con lo que su uso controlado permite reemplazar parcialmente a otros fertilizantes químicos, reduciendo el impacto medioambiental (energía y recursos) asociados a la producción de fertilizantes.

Sin embargo, la aplicación directa debe hacer frente a ciertas desventajas como son la posibilidad de: (i) Incremento de la concentración de metales pesados o la salinidad de los suelos, (ii) Presencia de contaminantes emergentes, (iii) Desequilibrios microbiológicos, (iv) Presencia de patógenos, (v) Molestias en las zonas de aplicación por olores o presencia de insectos, y (vi) La desconfianza de agricultores y consumidores finales de los productos. La Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia S.A. (Emuasa) ha trabajado en los últimos años en identificar alternativas de valorización de los subproductos del proceso de depuración que permitan cumplir las exigencias normativas y que tengan un reducido impacto ambiental. Desde 2016, Emuasa colabora con la empresa Compost in Green en la valorización de lodos EDAR mediante vermicompostaje, proceso de estabilización por la acción combinada de las lombrices y microorganismos.

A lo largo de estos dos años se ha logrado obtener lombrices seleccionadas, adaptadas al lodo deshidratado generado en la EDAR Murcia Este y con una tasa de pervivencia adecuada, y se han realizado ensayos a escala en la instalación. Actualmente se continúa trabajando en optimizar la metodología para producir un material vermicompostado totalmente higienizado, que permita la aplicación agrícola con plenas garantías de calidad.

## ANTECEDENTES

El lodo es el sedimento acuoso en el que se concentran los sólidos sedimentados o decantados del agua bruta tras los tratamientos fisicoquímicos y/o biológicos realizados en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) urbanas o industriales.

De acuerdo con la información proporcionada por el Registro Nacional de Lodos, en 2012 se produjeron en España 1.082.669 toneladas de Materia Seca (tonMS), que son valores en línea con los registrados desde 2010 y que suponen una reducción del 6,36%, con respecto a los datos de 2008, del tal y como se puede observar en la Figura 1. Sin embargo,

en la Región de Murcia la producción de lodo se ha incrementado en los últimos años hasta en más de un 200% con respecto a 2008, debido al incremento en el número de EDAR y a un mayor rendimiento de las plantas existentes. De acuerdo con las estimaciones publicadas por el Instituto Nacional de la Energía (IDAE) en 2011, en 2020 la producción nacional alcanzará las 1.417.478 tonMS/año.

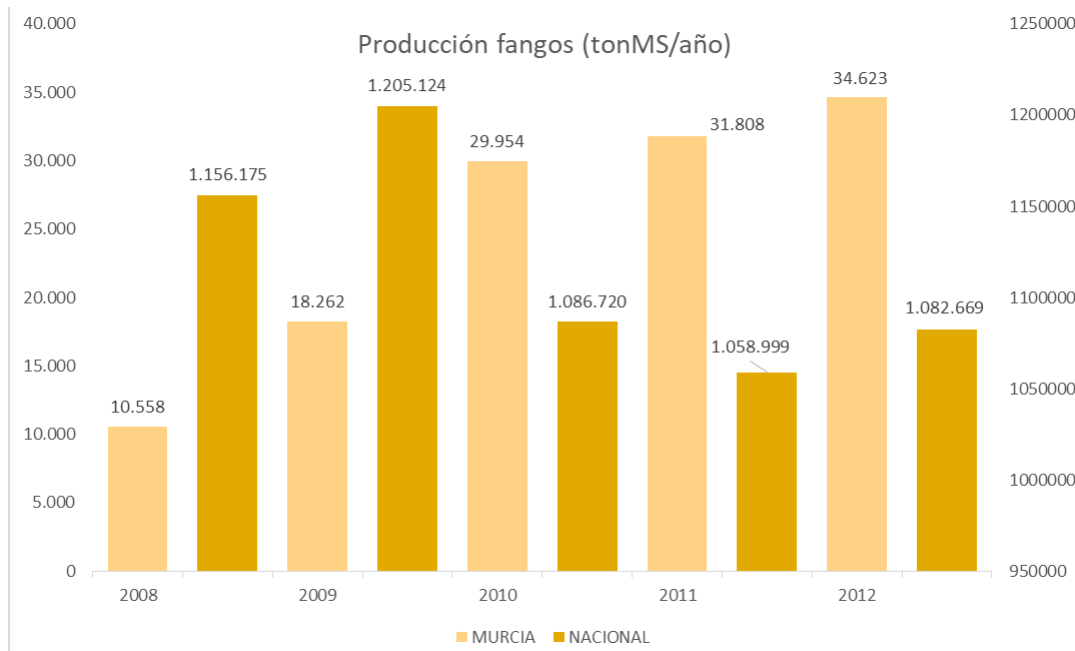


Figura 1. Producción anual de lodos en el periodo 2008-2012 (Fuente: Registro Nacional de Lodos).

En España en 2014 el destino final de estos lodos de EDAR ha sido el 80% a aplicación agrícola, el 9% a incineración o aprovechamiento energético, y un 11% a vertedero, alcanzándose por tanto los objetivos establecidos en el Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015 en cuanto a la aplicación en suelos agrícolas (67% como mínimo) y eliminación en vertedero (12% como máximo). No se han alcanzado los objetivos establecidos para la incineración (3% como máximo), ni el objetivo de valorización en otros suelos u otros tipos de valorización (18%, objetivo mínimo). En la Región de Murcia la distribución en 2013 y en 2014, ha sido un 88% a aplicación agrícola y un 12% a vertedero, superando incluso los objetivos propuestos en el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022, que establece de cara al año 2020 que la valorización en suelos suponga como mínimo el 85% del destino final de los lodos de depuración. Del lodo utilizado en agricultura en la Región de Murcia, aproximadamente un 65% es aplicado de forma directa en terreno, y el 35% restante se deriva a compostaje.

El PNIR, de acuerdo con la Directiva 2008/98/CE, establece que el orden de prioridades para la prevención y la gestión de residuos debe de pasar por: (1) Prevenir, (2) Reutilizar, (3) Reciclar, (4) Valorizar y (5) Eliminar. La aplicación agrícola de los lodos es una alternativa que permite el cumplimiento de esta jerarquía, con un reducido coste. Además, el lodo supone una importante fuente de materia orgánica para los suelos, permitiendo mejorar la estructura y la humedad de los terrenos, lo cual tiene una importancia significativa en regiones en riesgo de desertificación como el sureste español. Es también un fertilizante orgánico rico en nutrientes como fósforo, nitrógeno, micronutrientes y sulfuros, con lo que su uso controlado permite reemplazar parcialmente a otros fertilizantes

químicos, reduciendo el impacto medioambiental (energía y recursos) asociados a su producción.

Sin embargo, la aplicación directa debe hacer frente a ciertas desventajas como son la posibilidad de: (i) Incremento de la concentración de metales pesados o la salinidad de los suelos, (ii) Presencia de contaminantes emergentes, (iii) Desequilibrios microbiológicos, (iv) Presencia de patógenos, (v) Molestias en las zonas de aplicación por olores o presencia de insectos, y (vi) La desconfianza de agricultores y consumidores finales de los productos.

Desde el Parlamento y el Consejo Europeo, conscientes de la falta de aceptación y de los posibles riesgos derivados del uso incontrolado de los lodos, se ha desarrollado una Propuesta de Directiva (2003) encaminada a promover y regular la aplicación en suelos del lodo de EDAR. El documento introduce el concepto de estabilización de lodos que, aunque ya estaba recogido en la Directiva 86/278/CEE, traspuesta al derecho español mediante el Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, no concretaba parámetros de control y límites que garantizaran la estabilidad del lodo.

La propuesta de directiva desarrolla conceptos específicos en ese sentido, como: (i) Estabilización del lodo y definición de tratamiento de lodos avanzado y convencional, según la reducción de microorganismos patógenos que permitan alcanzar, (ii) Definición de la aplicación del lodo al suelo para uso agrícola y aplicación del lodo al suelo para uso no agrícola, (iii) Límites más exigentes para el contenido en metales pesados, (iv) Introducción de límites para el contenido en compuestos orgánicos persistentes y bioacumulativos (microcontaminantes orgánicos) y (v) Criterios de utilización del lodo en función del tratamiento al que haya sido sometido (convencional o avanzado).

El vermicompostaje, es un proceso biotecnológico de bajo coste que permite biodegradar y estabilizar residuos orgánicos bajo condiciones aerobias y mesófilas mediante la acción de ciertas especies de lombrices de tierra capaces de alimentarse del residuo a la vez que aceleran su degradación microbiana (Nogales et al, 2014), obteniendo un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina denominado vermicompost, lumbricompost o humus de lombriz.

La lombriz utilizada en este proyecto es la lombriz roja "californiana" (*Eisenia foetida*, Figura 2), porque fue en ese estado donde se desarrollaron, a partir de los años 50, los primeros criaderos intensivos de lombrices. La razón de usar este tipo de lombriz es su gran apetito, ya que tiene una ingesta diaria equivalente a su peso, expeliendo en forma de humus el 60% de la misma, mientras que el 40% restante es utilizado para su sustento. (Ferruzzi, 2007, Nogales et al, 2008), su gran adaptación a diversos climas y su rápida tasa de reproducción.



Figura 2. Lombriz roja “californiana” (*Eisenia foetida*) sobre lecho de lodo EDAR.

Mediante su actividad se consigue acelerar la descomposición y humificación de la materia orgánica, mejorando la estructura del producto final, al transformar la materia orgánica a su paso por el sistema digestivo, reduciendo el tamaño de las partículas y favoreciendo la formación de agregados estables. Por otra parte la actividad de las lombrices aumenta el contenido de nutrientes, especialmente para el fósforo, calcio, magnesio y micronutrientes, convirtiéndolos, a través de la actividad microbiana, en formas solubles y asimilables por los cultivos y se favorece la producción de sustancias que pueden actuar con acción fitohormonal sobre las plantas. (Nogales *et al*, 2008).

El vermicompost resultante puede ser utilizado como producto fertilizante del grupo de enmiendas orgánicas, o como componente de sustrato de cultivo, susceptible de aplicación al suelo con la finalidad de aportar materia orgánica para mejorar las propiedades físicas químicas y biológicas del mismo, y por supuesto, no existe ningún riesgo si se liberan las lombrices en el suelo, ya que se encuentran de manera natural en nuestros ecosistemas.

A escala experimental, el vermicompostaje se ha demostrado viable y potencialmente competitivo desde un punto de vista económico comparado con otras alternativas como la aplicación directa en terreno o el compostaje en pilas convencionales. El proceso ya ha sido validado en una amplia variedad de lodos concluyéndose que, si se tratan efluentes líquidos, deberán mezclarse con un agente estructurante para reducir el contenido en humedad y garantizar condiciones aeróbicas, y que los lodos procedentes de digestión anaerobia no permiten el desarrollo adecuado de poblaciones de lombrices (USEPA, 1981).

## OBJETIVOS

La Empresa Municipal de Agua y Saneamiento de Murcia S.A. (Emuasa) gestiona el Ciclo Urbano del Agua en el municipio de Murcia. El parque de instalaciones de depuración incluye 15 EDAR en las que anualmente se producen más de 6.000 tonMS de lodo, del cual aproximadamente la mitad se destina a aplicación agrícola directa y la otra mitad a compostaje. La empresa ha trabajado en los últimos años en identificar alternativas para su tratamiento, que permitan la aplicación agrícola de acuerdo con las exigencias normativas, que tengan un reducido impacto ambiental y que no supongan un incremento en los costes de explotación de las instalaciones.



Desde principios de 2016, Emuasa colabora con la empresa Compost in Green en el estudio de alternativas de valorización de lodos de EDAR mediante vermicompostaje. Uno de los principales retos asociados al proyecto radica en la producción de vermicompost a partir de lodo deshidratado procedente de digestión anaerobia.

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente estudio tiene una duración de dos años e incluye las siguientes tareas: (i) Análisis y caracterización de los lodos generados en la EDAR Murcia Este, (ii) Adaptación de las lombrices a dichos lodos, (iii) Selección y establecimiento de estrategias de vermicompostaje, (iv) Ensayo demostración de valorización de lodos mediante vermicompostaje a escala piloto en la EDAR Murcia Este, y (v) Evaluación de la calidad final del vermicompost generado (Propiedades fertilizantes, Propiedades biológicas, Calidad higiénico-sanitaria (patógenos), Evaluación a nivel normativo).

En la actualidad se está desarrollando la fase de pilotaje en la EDAR Murcia Este, en contenedores plásticos enrejados (Figura 3), que disponen de sistemas de riego por goteo independientes (Figura 4), con posibilidad de programación, para proporcionar la humedad necesaria. En cada uno de los contenedores se han ensayado estrategias distintas de inoculación de las lombrices y de alimentación del sustrato.



Figura 3. Vista de los contenedores instalados en la EDAR Murcia Este.



Figura 4. Vista de las parrillas de riego independientes.

El óptimo manejo de los lechos se basa en alimentar, proporcionar agua y proteger a las lombrices de forma adecuada. Por eso, durante el proceso de vermicompostaje es fundamental controlar: (i) Temperatura (T). Los sistemas de vermicompostaje requieren T entre 10 y 35°C, situándose la T óptima en 25°C, (ii) Humedad, no debe sobrepasar el 85%, (iii) Densidad de población, y (iv) Cantidad de alimento.

## RESULTADOS

A lo largo de las primeras tareas del proyecto se han obtenido poblaciones de lombrices adaptadas al lodo EDAR en cantidad suficiente para poder desarrollar los ensayos de campo. Para los ensayos de campo, actualmente en curso, han establecido dos estrategias de compostaje distintas: (i) La caja A se ha llenado de lodo hasta el 80%, se han introducido las lombrices, cubriéndolas con una capa de lodo, y se han realizado una réplica; (ii) La caja B se ha llenado de lodo hasta el 20%, se han introducido las lombrices, cubriéndolas con una capa de lodo y se ha añadido sustrato puntualmente (aporte dinámico). A continuación se recogen los resultados obtenidos a partir de las caracterizaciones realizadas al vermicompost generado:

### A. Parámetros biológicos:

#### Pervivencia de lombrices

En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la evolución del número de lombrices a lo largo del tiempo en los tres muestreos que se realizaron para este parámetro, realizándose el primer conteo a los 3 meses del ensayo (M3), el segundo a los 6 meses (M6) y el tercero a los 11 meses (M11). Si bien se observa que en ambos escenarios el número de lombrices adultas desciende respecto al valor inicial, el descenso es menos acusado en la caja B que en la caja A. Los sistemas más idóneos parecen ser contenedores más pequeños donde se dan mejores condiciones de aerobividad y aporte paulatino de alimento.

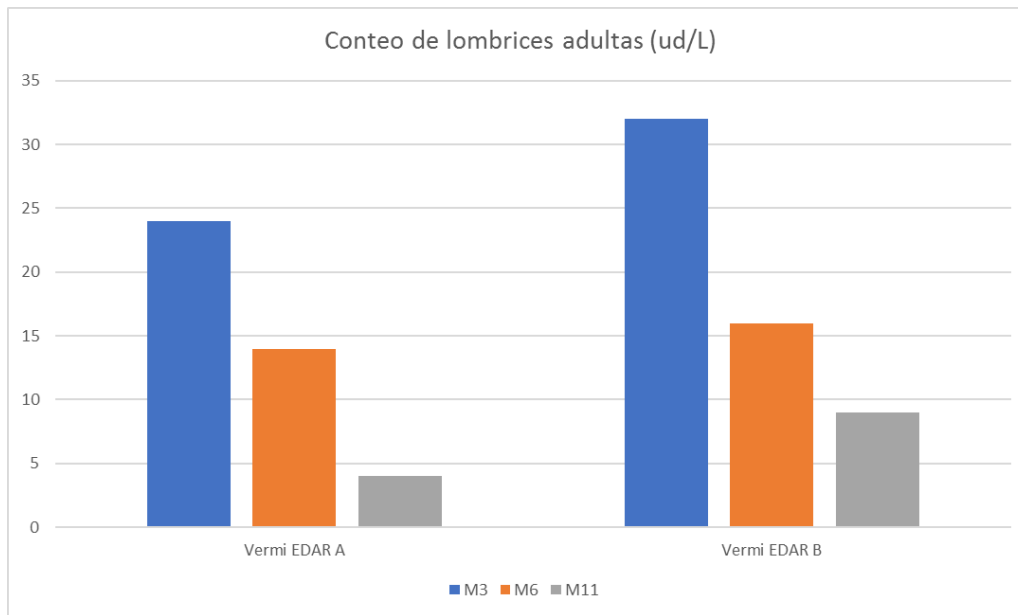


Figura 5. Número de lombrices a lo largo del tiempo.

### Presencia de microorganismos patógenos

Se analizó presencia de coliformes totales (CT), fecales (CF) y *Escherichia coli* (*E. coli*) para cada escenario. En alimentación discontinua (caja A) se muestreó a los 3 y 5 meses (3M, 5M) y en alimentación continua (caja B) antes del segundo aporte de alimento. El proceso de vermicompostaje induce toda una serie de cambios en la naturaleza del material vermicompostado, al atravesar el sistema digestivo de las lombrices que emiten toda una serie de enzimas endo y exomórficas que facilitan procesos de higienización.

Si bien no se observa reducción en CT (Figura 6), salvo en la caja A a tiempo 5M, sí que se observan descensos considerables en CF y *E. Coli* en ambos escenarios (Figura 7 y Figura 8), en consonancia con los resultados obtenidos en estudios previos que evidencian la capacidad de las lombrices para reducir este tipo de microorganismos (Contreras et al., 2005). Los escenarios estáticos o discontinuos de aporte de alimento parecen favorecer la reducción de CF y, por tanto de *E. Coli*. En el escenario A se observa un aumento de estas especies en el tiempo; recolonización microbiana posiblemente asociada al descenso del número de lombrices (Figura 5).

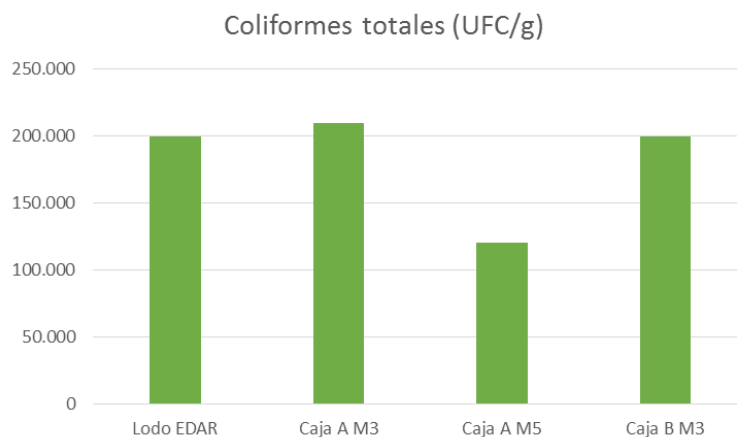


Figura 6. Evolución temporal de la concentración de CT para ambos escenarios.

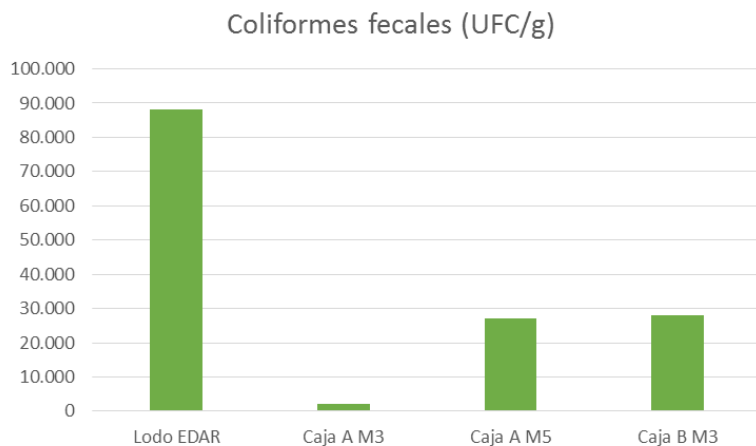


Figura 7. Evolución temporal de la concentración de CF para ambos escenarios.

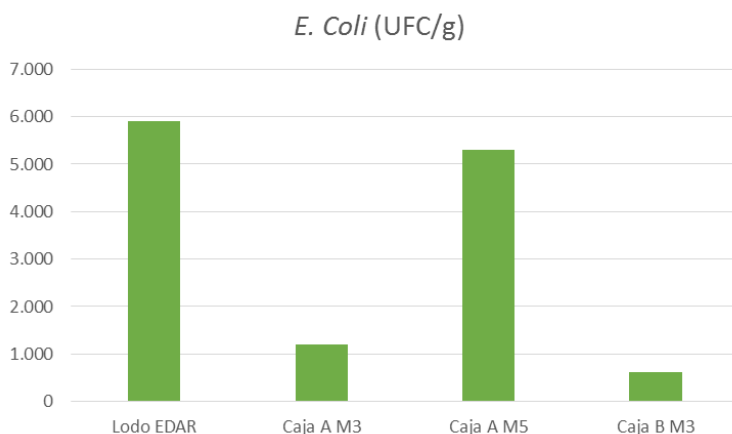


Figura 8. Evolución temporal de la concentración de E. coli para ambos escenarios.

## B. PARÁMETROS FÍSICOS, FÍSICO-QUÍMICOS Y QUÍMICOS:

### Humedad

En Figura 9 se muestran valores de humedad a lo largo del tiempo de estudio para ambos escenarios. Se observa una reducción muy leve del contenido de humedad con respecto al sustrato origen (lodo EDAR).



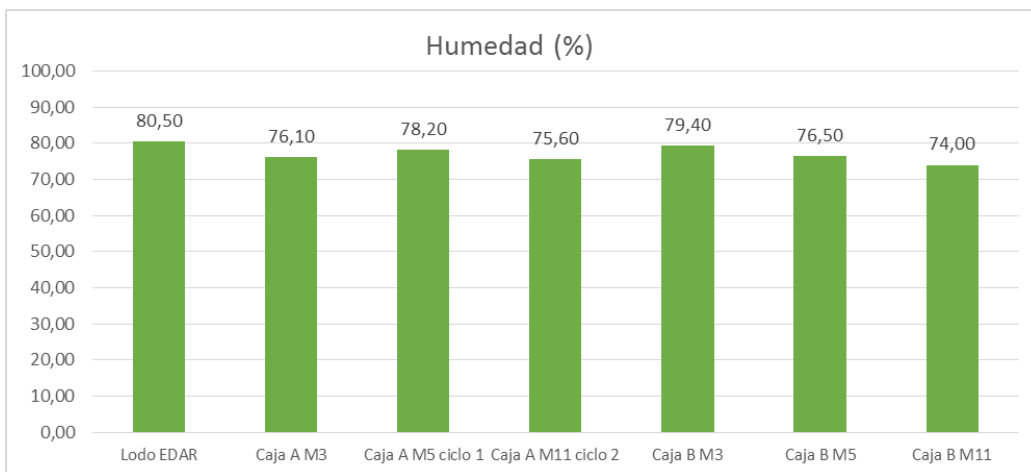


Figura 9. Evolución de la humedad para ambos escenarios.

Aunque se aconseja mayor contenido en agua en sistemas de vermicompostaje, en el caso de utilizar como sustrato lodo EDAR, el incremento de humedad puede originar problemas de anaerobiosis, ya que la cantidad de oxígeno necesaria puede verse reducida por un exceso de agua o por la compactación del material debido a una estructura demasiado densa o por un exceso de peso. (Nogales et al., 2014).

### pH

Los valores de pH se sitúan en todos los casos en un entorno ácido (Figura 10), similar al sustrato de origen, con leves variaciones asociadas a los entornos y escalas de trabajo, pero en general se aprecia una acidificación. Este descenso puede deberse a la producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y ácidos orgánicos por el metabolismo microbiano durante la descomposición de los sustratos de alimentación (Albanell et al., 1988, Chan y Griffiths, 1988, Haimi y Hutha, 1986, Elvira et al., 1998).

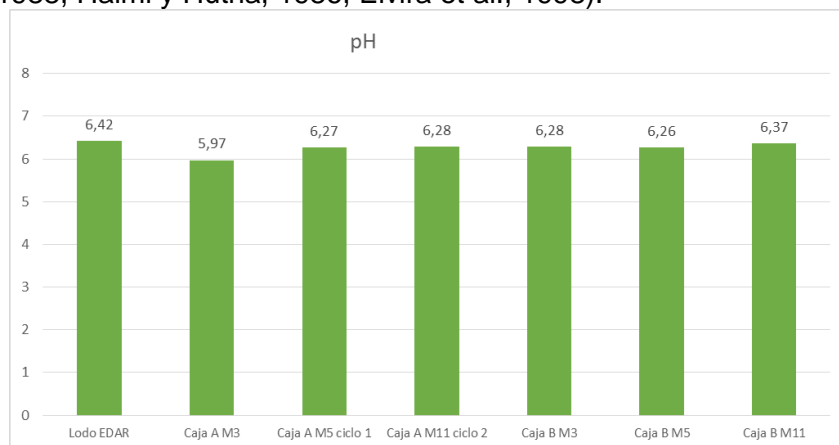


Figura 10. Evolución del pH para ambos escenarios.

### Conductividad eléctrica (CE)

La CE está ligada a la presencia de especies iónicas cargadas o sustancias móviles con densidades de carga, como podrían ser sustancias orgánicas de bajo peso molecular ionizadas. La CE se ve afectada por el proceso, pareciendo existir mayores valores de CE en los procesos de biotransformación más intensos. En la Figura 11 se observa un descenso de la CE a lo largo del tiempo en los dos escenarios ensayados, posiblemente debido al lavado de sales por los riegos, si bien a lo largo del estudio se ha regado de forma moderada, ya que el lodo EDAR tiene una gran capacidad de retención de agua. El

incremento de CE en Caja A M3 se debe a la pérdida de humedad inicial que produce un efecto de concentración respecto al lodo EDAR. De todos modos el contenido en sales es el adecuado, ya que un sustrato con valores de conductividad superiores a 8 dS/m sería letal para el desarrollo de las lombrices (Edwards, 1988).

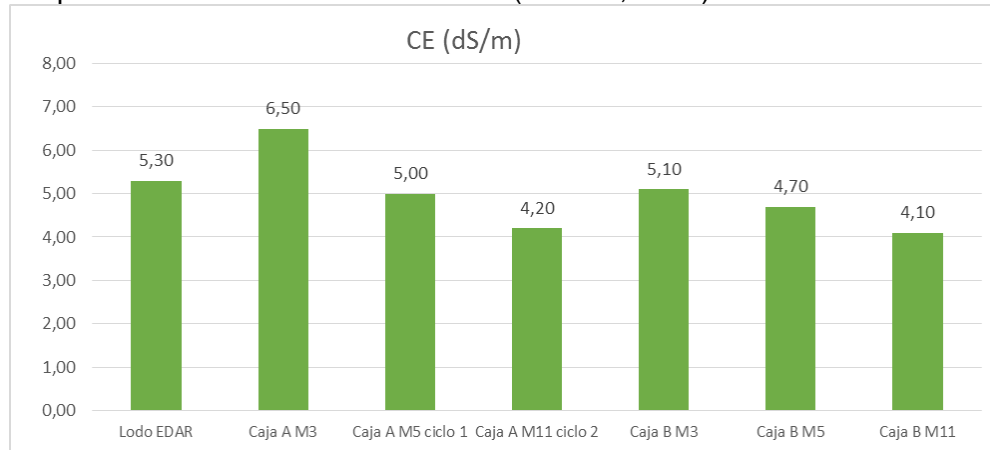


Figura 11. Evolución de la CE para ambos escenarios.

## Densidad

Los procesos de vermicompostaje suelen aumentar la densidad debido a que la acción de las lombrices rompe las partículas planas de los insumos y las convierte en partículas esféricas de menor volumen y más eficientes en ocupar una unidad de volumen, resultando en una mayor densidad que el de las partículas planas de los insumos (Elvira y col., 1998). Sin embargo, también se dan procesos de extracción por parte de las lombrices que reducen dicha densidad. En este caso, este parámetro se encuentra muy mediatizado y dependiente de la elevada humedad de todos los materiales (Figura 12).

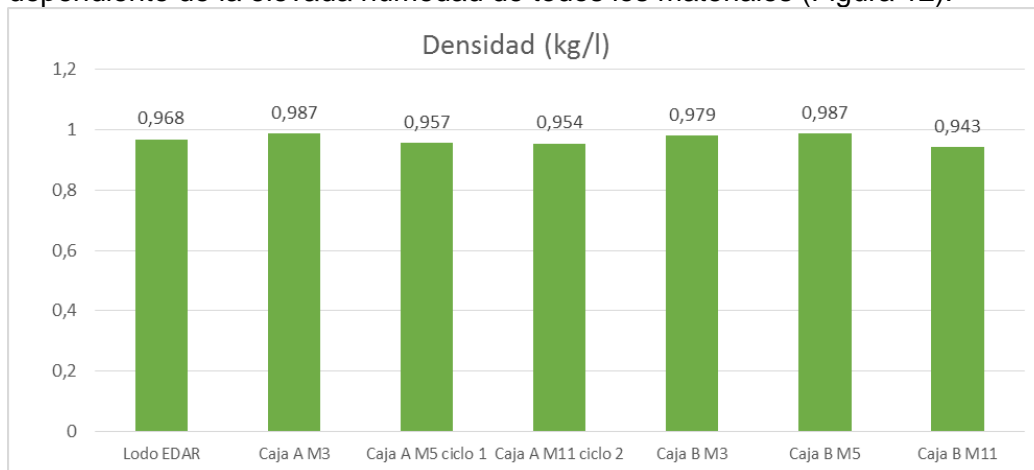


Figura 12. Evolución de la densidad para ambos escenarios.

## Materia orgánica total

El contenido en materia orgánica total se reduce respecto a los valores iniciales durante el proceso (Figura 13). Muchas de las fracciones orgánicas más lábiles pueden ser incorporadas al tejido de la lombriz y mineralizarse durante el proceso. Contreras-Ramos et al. (2005) observaron que la pérdida en sólidos volátiles significa una mejora en la degradación y mineralización de residuos orgánicos con la presencia de lombrices durante el vermicompostaje. Una vez que los insumos han sido transformados en vermicompost, la materia orgánica residual tiende a humificarse, polimerizarse y policondensarse, particularmente en las etapas finales del proceso (Nogales et al., 2008).

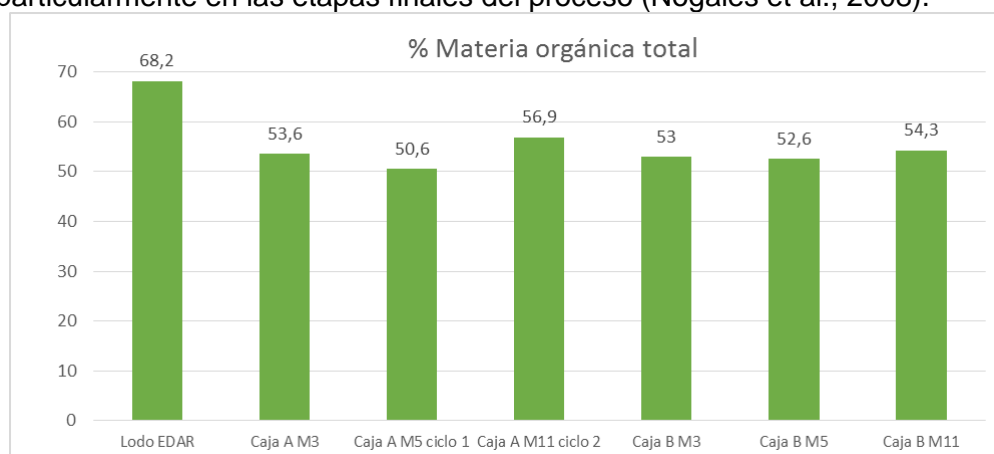


Figura 13. Evolución del % de materia orgánica para ambos escenarios.

## Materia mineral

La materia mineral aumenta durante el proceso (Figura 14), fruto de la biodegradación del propio material que evoluciona por la acción enzimática de las lombrices, pero también por la acción de la microbiota presente en el medio.

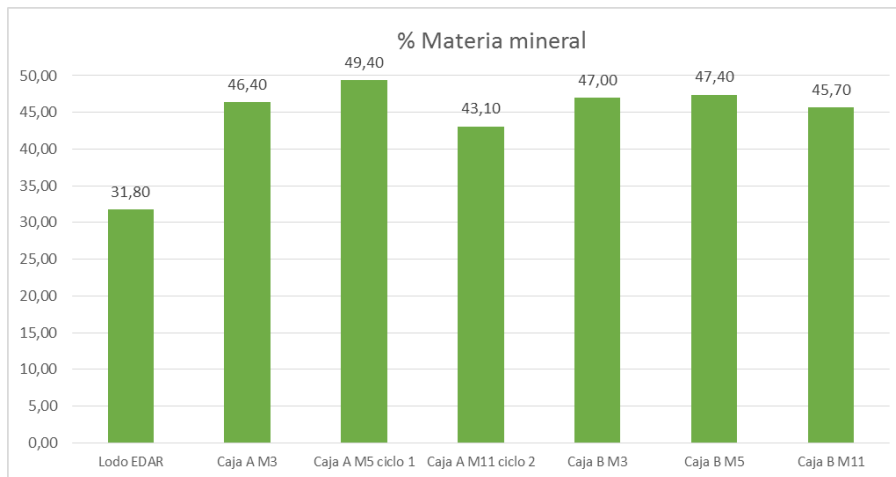


Figura 14. Evolución del % de materia mineral para ambos escenarios.

### Polifenoles hidrosolubles

Los polifenoles hidrosolubles pueden interferir en procesos bióticos, ya que inhiben a ciertas familias de microorganismos. Además estas sustancias pueden provocar alteraciones en el metabolismo de las lombrices, afectando al crecimiento, desarrollo sexual, producción de cápsulas e incluso a la supervivencia de éstas (Fernandez, 2011, Nogales et al., 2014). El vermicompostaje reduce la concentración de compuestos que reaccionan con el reactivo de Folin-Coteau y que son indicativos de compuestos aromáticos y policíclicos. De acuerdo con lo que se puede apreciar en la Figura 15, el escenario Caja A reduce en mucho menor grado estos compuestos en los primeros meses que el resto de sistemas, indicando una limitación del proceso/manejo respecto al resto.

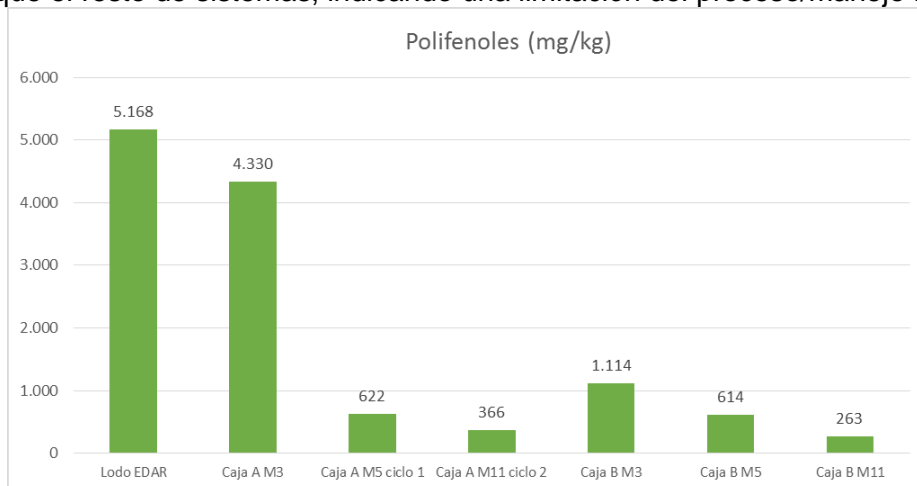


Figura 15. Evolución de la concentración de polifenoles hidrosolubles para ambos escenarios.

### Potasio total

El potasio total (K) se suele asociar a especies móviles, por lo que los lodos EDAR no suelen ser ricos en este elemento. Durante el proceso de vermicompostaje se produce un aumento del K asociado a la pérdida de materia orgánica (Figura 16), indicando además que los procesos de lavado no son muy intensos en los vermicompostadores. Las lombrices incorporan este elemento en su tejido con lo que pueden influir en su dinámica. Otros autores como Hait (2012) Delgado et al. (1995) observaron en sistemas cerrados de vermicompostaje simple, aumentos en macro y micronutrientes hidrosolubles.



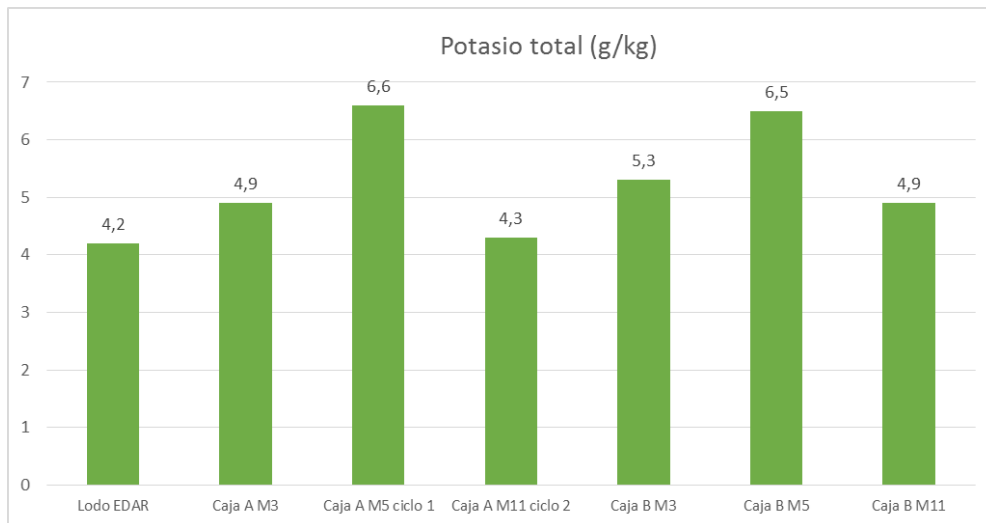


Figura 16. Evolución de la concentración de potasio total para ambos escenarios.

### Sodio total

La concentración de sodio total (Na) se reduce inicialmente en el escenario Caja A para posteriormente incrementarse (Figura 17), en especial durante el primer ciclo. En general este elemento no presenta demasiada variación con respecto al contenido inicial. Existen referencias que indican que las lombrices son bioacumuladores de este elemento, así como de algunos metales pesados como el plomo. (Nicola et al., 2003).

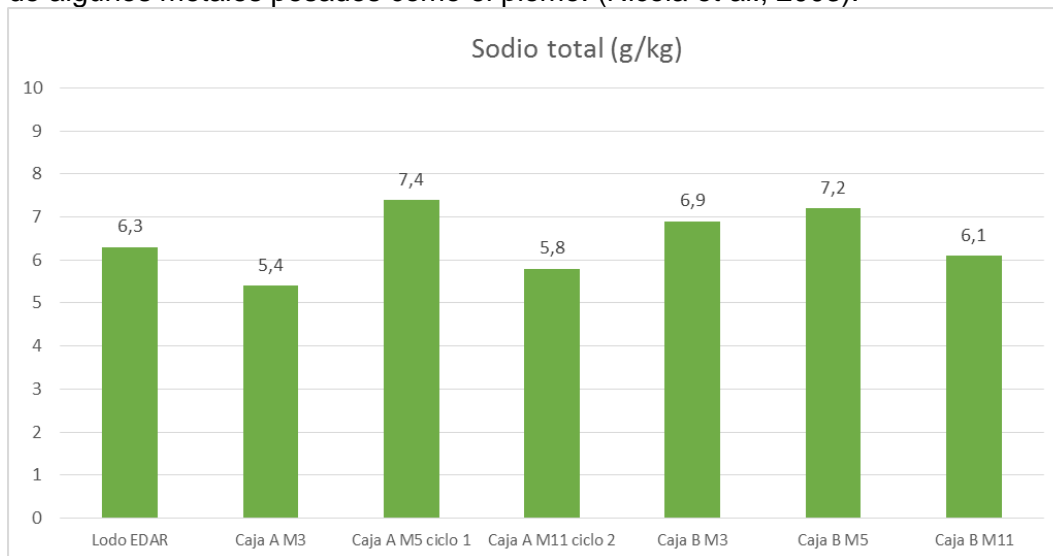


Figura 17. Evolución de la concentración de sodio total para ambos escenarios.

### CONCLUSIONES

Las exclusiones obtenidas hasta el momento son las siguientes:

- Las lombrices seleccionadas tienen una tasa de pervivencia adecuada, aunque disminuye su población con el tiempo.
- Las lombrices no son capaces de biotransformar todo el volumen del sistema con los espesores actuales y por tanto disminuye la capacidad de higienización.
- El escenario B favorece la habitabilidad de las lombrices al tener mayor actividad en la zona superficial
- La disminución de CF y *E. coli* con respecto al fango sin vermicompostar es elevada. A nivel de escalado, parece que la lombriz ha transformado el material,

pero el vermicompost excretado se recoloniza con coliformes del propio medio sin transformar.

- El contenido en polifenoles solubles disminuye en ambos escenarios estudiados.
- Respecto al resto de parámetros no se observan cambios destacables. Hay una leve pérdida de contenido de materia orgánica respecto al fango inicial y no hay excesivo lavado de sales, por tanto no hay pérdida de Na ni de K.

Se continúa trabajando en optimizar la altura de los sistemas, de forma que se consiga higienizar el compost resultante en términos adecuados para permitir un uso agrícola con garantías sanitarias, y que el régimen de operación sea implantable en EDAR de tamaño medio.

Las ventajas que se han identificado a este estudio son que permitirá obtener a escala local, a partir de un residuo generado de forma continua en las EDAR y que tiene unos costes de gestión y transporte asociados, dos productos de alto valor añadido: (i) Vermicompost, que se puede utilizar bien como enmienda o como abono orgánico, con unos precios de mercado, dependiendo del formato de venta, que van desde los 180 hasta los 600 €/ton, (ii) Biomasa de lombriz de alto contenido proteico y calidad para alimentación animal.

## REFERENCIAS

Albanell, E., Plaixats, J., Cabrero, T., 1988. Chemical change during vermicomposting (*Eisenia foetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial waste. *Biol. Fert. Soils* 6 (3), 266–269.

Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (2017). Libro de comunicaciones XXXIV Jornadas Técnicas. Tarragona, Mayo 2017.

Chan, P.L.S., Griffiths, D.A., 1988. Chemical composting of pretreated pig manure. *Biol. Waste* 24, 57–69.

Contreras-Ramos S.M., Escamilla-Silva EM, Dendooven L. 2005: Vermicomposting of biosolids with cow manure and oat straw. *Biology and Fertility of Soils* 41 (3: 190-198).

Ferruzzi, C. (2007) Manual de Lombricultura, Editorial Mundiprensa.

Delgado, M., Bigeriego, M., Walter, I., Calbo, R., 1995. Use of California red worm in sewage sludge transformation. *Turrialba* 45, 33–41.

Doctoral)

Edwards, C.A. y P.J. Bohlen, (1996). *Biology and Ecology of Earthworms*. London, Chapman & Hall

Elvira, C., Sampedro, L., Benitez, E., Nogales, R., 1998. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: A pilot scale study. *Bioresour. Technol.* 63, 205–211.

Fernández Gomez M. J. (2011). Aplicación de la tecnología del vermicompostaje para

Haimi, J., Hutha, V., 1986. Capacity of various organic residues to support adequate earthworm biomass in vermicomposting. *Biol. Fert. Soils* 2, 23–27.

Hait S., Tare V., 2012. Transformation and availability of nutrients and heavy metals during integrated composting-vermicomposting of sewage sludges. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 79 214-224.

Moreno Casco, J., Moral Herrero, R. (2008) *Compostaje*. Editorial Mundi Prensa Libros S.A., p. 187-208.

Nogales, R., Romero, E., Fernández-Gómez M. J. (2014) *De Residuo a Recurso. El camino hacia la sostenibilidad. III Recursos Orgánicos: Aspectos agronómicos y medioambientales. 5 Vermicompostaje: Procesos, productos y aplicaciones*. Editorial Mundi Prensa.

Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022 (2015). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible on line en:

[http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/pemaraprobado6noviembrecondae\\_tcm7-401704.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/pemaraprobado6noviembrecondae_tcm7-401704.pdf)

Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015 (2009). Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Disponible on line en: <https://www.boe.es/boe/dias/2009/02/26/pdfs/BOE-A-2009-3243.pdf>

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Washington, D.C. (1981) Engineering assessment of vermicomposting municipal wastewater sludges, EPA/600/2-81/075 (NTIS PB81196933).

Vermicompostaje. Publicaciones proyecto LIFE Agrowaste. Disponible on line en: <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/campus/doc/htmls/sostenibilidad/vermicomp-ostaje.pdf>