

# Control microbiológico del proceso de compostaje de la fracción orgánica de residuos: una experiencia piloto

Andrea López<sup>1</sup>, Natividad Miguel<sup>2</sup>, Jairo Gómez<sup>1</sup>, María P. Ormad<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Navarra de Infraestructuras Locales S.A. (NILSA) | [www.nilsa.com](http://www.nilsa.com) • <sup>2</sup>Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón. Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente, Universidad de Zaragoza | [www.unizar.es](http://www.unizar.es)



Los residuos municipales están constituidos por distintos componentes siendo la fracción orgánica la predominante. Esta fracción supone un porcentaje en peso del 44-49% del residuo (M.I.T.E.C.O., 2020) y es una parte importante en los objetivos establecidos en la Ley 22/2011, de residuos y suelos contami-

nados, que pretende impulsar su recogida separada, su tratamiento para la elaboración de compost y el uso posterior de éste en el sector agrícola (B.O.E., 2011). En España en 2018, se recogieron cerca de 18 millones de toneladas de residuos municipales de los cuales únicamente un 17% se destinó a compostaje.

El uso de compost en suelos agrícolas en España está regulado mediante el Real Decreto 506/2013, sobre productos fertilizantes (B.O.E., 2013) modificado por el Real Decreto 999/2017 (B.O.E., 2017). En él se establecen unas concentraciones máximas admisibles de microorganismos (*Salmonella* y *Escherichia coli*) y metales pesados.

EL PRESENTE ESTUDIO ANALIZA LA INFLUENCIA QUE TIENE EL TIPO DE INSTALACIÓN UTILIZADOS EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE, Y LAS CARACTERÍSTICAS Y PROPORCIÓN DE MEZCLA DE LOS RESIDUOS DE PARTIDA UTILIZADOS, EN LAS CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL COMPOST OBTENIDO ●

Sin embargo, la legislación actual no considera otros contaminantes orgánicos, inorgánicos y microbiológicos que se pueden encontrar en los residuos de partida y que podrían provocar distintas afecciones en el medio ambiente y en la salud humana (Oleszczuk, 2007; Hargreaves et al., 2008).

En el ámbito de la Comunidad Foral de Navarra, donde se ubica el presente estudio, conforme a lo establecido en la legislación vigente en materia de residuos, se elaboró el Plan de Residuos de Navarra 2017-2027, entre cuyos objetivos se encuentra “Avanzar hacia una recogida selectiva de alta calidad, que maximice la recuperación y el reciclado de los residuos y que garantice la corresponsabilidad del generador de los mismos (ciudadanía, empresa, etc.) y tenga en cuenta el principio de igualdad de género, por las vías habituales de gestión y por las vías emergentes de

*procesado, especialmente para los biorresiduos domésticos y para los residuos industriales”.*

Conscientes de esta necesidad, Navarra de Infraestructuras Locales S.A. (NILSA), quienes gestionan el saneamiento y depuración de las aguas y gerencian el Consorcio de Residuos de la Comunidad Foral de Navarra, en colaboración con el grupo de investigación Agua y Salud Ambiental, grupo de investigación de referencia reconocido por el Gobierno de Aragón y perteneciente al Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón, desarrollan un proyecto (al que pertenece el presente estudio), con el propósito de impulsar la correcta gestión de biorresiduos de la Comunidad Foral de Navarra, fomentando su reciclaje a través de procesos de compostaje, desde un punto de vista ambiental y sanitario seguro. Su objeti-

vo es la aplicación de procesos de compostaje, en el tratamiento y valorización de residuos orgánicos, con el fin de fomentar su uso como fertilizante agrícola, minimizando el riesgo ambiental y sanitario asociado, todo ello encaminado a establecer unas pautas de actuación que faciliten la adopción de unas buenas prácticas agrarias, de aplicación de los distintos fertilizantes obtenidos y que favorezcan la coordinación de la estrategia de gestión de residuos de materia orgánica procedente del sector público con las necesidades del sector agrario.

En concreto, el objetivo del presente trabajo es el estudio de la influencia que, sobre las características microbiológicas del compost obtenido, tiene el tipo de instalación utilizados en el proceso de compostaje a escala piloto (reactor automático, pila aireada y pila volteada) y las características y pro-



Figura 1. Instalaciones de compostaje utilizadas. De izquierda a derecha: reactor automático; sistema de aireación para pila estática aireada; pila volteada

porción de mezcla de los residuos de partida utilizados (fracción orgánica de residuos sólidos urbanos y material de poda como material estructurante).

Este estudio se enmarca en el proyecto Life-NADAPTA (LIFE16 IPC/ES/000001), estrategia integrada para la adaptación al Cambio Climático en Navarra, donde NILSA participa en acción de Agua y colabora en la acción de Agricultura, que incluye entre sus objetivos la elaboración de nuevas enmiendas a partir de diferentes residuos orgánicos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los residuos utilizados en este estudio provinieron de una planta de tratamiento de residuos de la Comunidad Foral de Navarra, que procesa la fracción orgánica (FORSU) mediante com-

postaje, transformándola en un material utilizable como enmienda agrícola (compost). Como material estructurante (ME) para la elaboración del compost se utilizaron restos de poda y el agua usada se tomó del nivel freático.

El compostaje de FORSU se llevó a cabo en tres tipos de instalaciones piloto: reactor automático ( $0.25 \text{ m}^3$ ), pilas estáticas aireadas ( $6.80 \text{ m}^3$ ) y pilas volteadas ( $6.80 \text{ m}^3$ ), que se muestran en la figura 1.

El compostaje de FORSU se llevó a cabo con distintas proporciones iniciales entre la FORSU y el ME (relación de 1:2 y 1:1 v/v). La aireación y adición de agua se realizó según las necesidades a lo largo del proceso.

La toma de muestras de compost, FORSU y ME se realizó según el Test Methods for the Examination of Composting and Compost (US Department

of Agriculture and US Composting Council, 2001) y la toma de muestras de agua se realizó según el método estándar ISO 5667-3:2018 (ISO, 2018). Se realizó un pretratamiento de las muestras sólidas para analizar los parámetros microbiológicos basado en lo descrito por Carter (1993) y las muestras líquidas resultantes de este pretratamiento y las muestras de agua utilizada fueron analizadas según metodología estándar.

En concreto, se analizaron parámetros microbiológicos en la FORSU inicial, el ME inicial, las mezclas de FORSU y ME iniciales en distintas proporciones (1:1 y 1:2 v/v) y las muestras de compost a lo largo de los 4 meses de compostaje, además del agua utilizada para aportar humedad al proceso.

La caracterización microbiológica inicial de FORSU y ME, se realizó a través del análisis de 6 bacterias según



metodología estándar: coliformes totales (ISO, 2017a; APHA, 2005), *Escherichia coli* (ISO, 2017a; APHA, 2005), *Enterococcus sp.* (ISO, 2000; APHA, 2005), *Clostridium perfringens* (ISO, 1986), mesófilas totales (APHA, 2005) y *Salmonella sp.* (ISO, 2017b). De entre éstas, las seleccionadas para realizar el seguimiento de parámetros microbiológicos a lo largo de proceso de elaboración del compost y en el agua de riego fueron *Salmonella sp.* y *Escherichia coli*, por ser los microorganismos para los que se establecen concentraciones máximas en el compost según la legislación vigente y coliformes totales y *Enterococcus sp.*, debido a que son parámetros comúnmente usados en el control microbiológico de matrices ambientales.

Todas las muestras fueron analizadas usando el método de recuento en placas. Tras la siembra en superficie o mediante el método de filtración por membrana, las muestras se sometieron al periodo de incubación adecuado para cada bacteria (tiempo y temperatura), dando lugar a placas con colonias coloreadas que pudieron contarse como unidades formadoras de colonias (UFC). La concentración microbiológica de las muestras sólidas se expresa como UFC por gramo de materia seca (medida como sólidos totales) y la concentración microbiológica de las muestras de agua se expresa como UFC por 100 mL.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Características iniciales de la FORSU, el ME y el agua de riego

Las concentraciones de las bacterias analizadas en la FORSU y el ME usados para la elaboración del compost, previamente a su mezcla, fueron las siguientes: en la FORSU,  $9.70 \pm 5.30 \times 10^7$  UFC coliformes totales  $g^{-1}$ ,

$7.75 \pm 5.25 \times 10^7$  UFC *Escherichia coli*  $g^{-1}$ ,  $3.70 \pm 2.60 \times 10^8$  UFC *Enterococcus sp.*  $g^{-1}$ ,  $3.25 \pm 1.75 \times 10^4$  UFC *Clostridium perfringens*  $g^{-1}$  y  $1.85 \pm 1.16 \times 10^9$  UFC mésofilas totales  $g^{-1}$ ; en el ME,  $1.24 \pm 1.23 \times 10^7$  UFC coliformes totales  $g^{-1}$ ,  $2.04 \pm 1.10 \times 10^4$  UFC *Escherichia coli*  $g^{-1}$ ,  $3.20 \pm 0.70 \times 10^3$  UFC *Enterococcus sp.*  $g^{-1}$ ,  $1.45 \pm 0.25 \times 10^2$  UFC *Clostridium perfringens*  $g^{-1}$  y  $4.50 \pm 0.70 \times 10^7$  UFC mésofilas totales  $g^{-1}$  en el ME. *Salmonella sp.* no fue detectada en ningún material.

En general la FORSU presenta concentraciones bacterianas más elevadas para todas las bacterias analizadas que el ME, siendo especialmente notable para *Escherichia coli* y *Enterococcus sp.*, y a excepción de coliformes totales cuya concentración es similar en ambos componentes. Además, no se detectó *Salmonella sp.* en ninguno de ellos.

Con respecto a los análisis microbiológicos del agua de riego, utilizada para aportar humedad durante el proceso de elaboración del compost, se encontraron concentraciones de  $6.2 \times 10^2$  a  $3.1 \times 10^5$  UFC 100 mL<sup>-1</sup> de coliformes totales, de  $5.0 \times 10^1$  a  $1.4 \times 10^5$  UFC 100 mL<sup>-1</sup> de *Escherichia coli* y de  $5.0 \times 10^1$  a  $1.1 \times 10^4$  UFC 100 mL<sup>-1</sup> de *Enterococcus sp.*, concentraciones bastante variables en función del momento en el que se realizó el análisis a lo largo del proceso.

### 3.2. Evolución de las características del compost durante el proceso de compostaje

En la figura 2 se muestra la evolución de la concentración bacteriana (coliformes totales, *Escherichia coli* y *Enterococcus sp.*) en el compost durante el proceso de elaboración del mismo utilizando los tres tipos de instalaciones. *Salmonella sp.* no fue detectada en ningún momento y en ninguna de las instalaciones utilizadas.

Como se puede observar, partiendo de las mismas concentraciones bacterianas iniciales (aproximadamente  $10^8$  UFC  $g^{-1}$ ) con los tres tipos de instalaciones piloto de elaboración del compost, las concentraciones bacterianas al final del proceso son menores que inicialmente, cumpliendo con los requisitos establecidos en el RD 506/2013 sobre productos fertilizantes (modificado por el RD 999/2017), si bien las reducciones bacterianas globales son distintas en función de la instalación empleada: en el caso del reactor automático dichas concentraciones se reducen hasta  $10^2$ - $10^3$  UFC  $g^{-1}$  para todas las bacterias; mediante la pila estática aireada las concentraciones finales varían entre  $10^3$  UFC  $g^{-1}$  para *Escherichia coli* y  $10^6$  UFC  $g^{-1}$  para coliformes totales; y utilizando la pila volteada, las concentraciones finales se encuentran entre  $10^1$  UFC  $g^{-1}$  para *Escherichia coli* y  $10^5$  UFC  $g^{-1}$  para coliformes totales, siendo la concentración de *Enterococcus sp.* en torno a  $10^3$ - $10^4$  UFC  $g^{-1}$  en ambas pilas.

Si se comparan los tres tipos de instalaciones utilizadas para la elaboración del compost se observa que el reactor automático es el que produce una mayor eliminación de coliformes totales mientras que la mayor reducción de *Escherichia coli* se produce en la pila volteada. Esto último puede ser debido a que *Escherichia coli* es una bacteria termotolerante y es en la pila volteada donde se alcanzan mayores valores de temperatura a lo largo del proceso de compostaje (70 °C), aunque si superar la temperatura en la que se produciría una inhibición del tratamiento biológico. En el caso de *Enterococcus sp.* las reducciones obtenidas son similares en las tres instalaciones. Por todo ello, no se puede afirmar que haya un tipo de instalación entre las utilizadas que produzca una mayor inactivación bacteriana en general, aunque es importante tener un buen control de

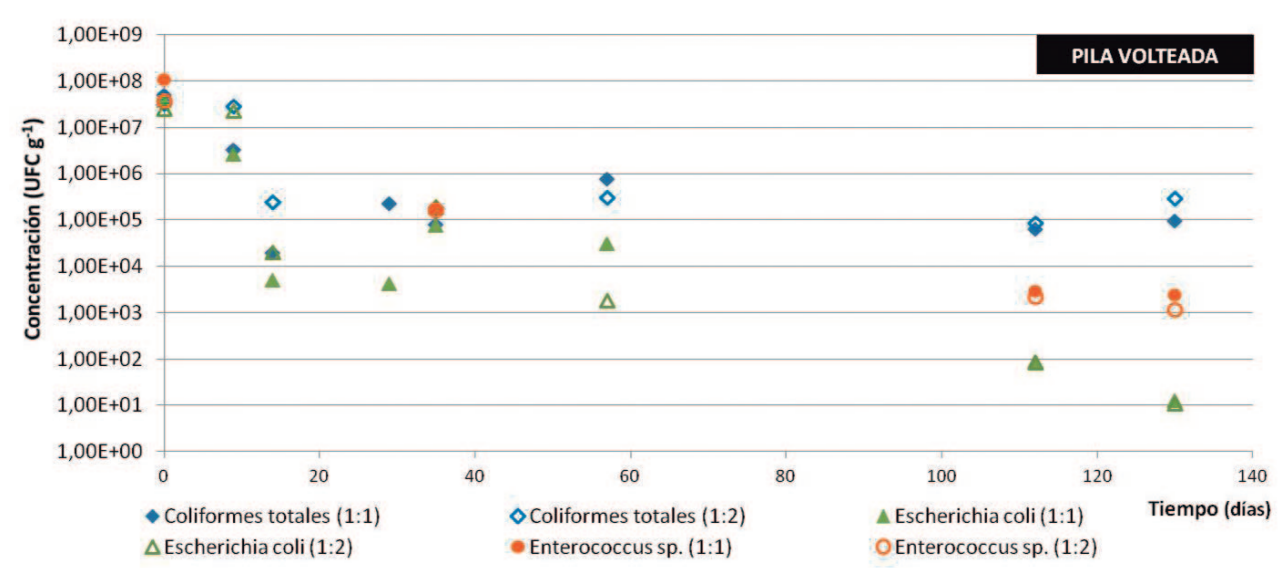
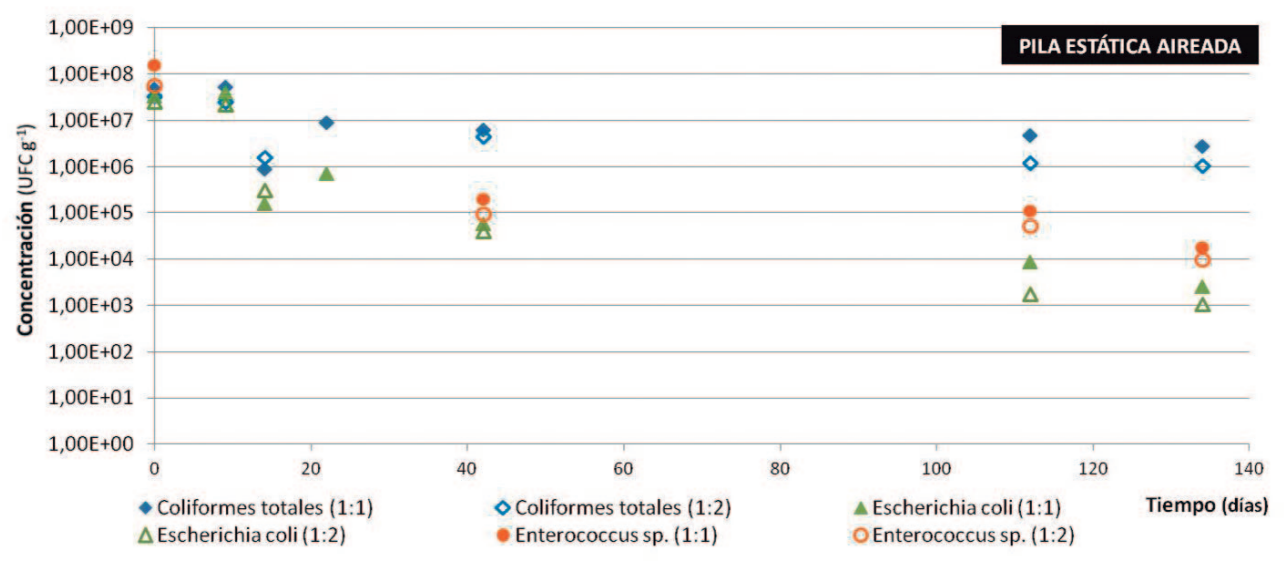
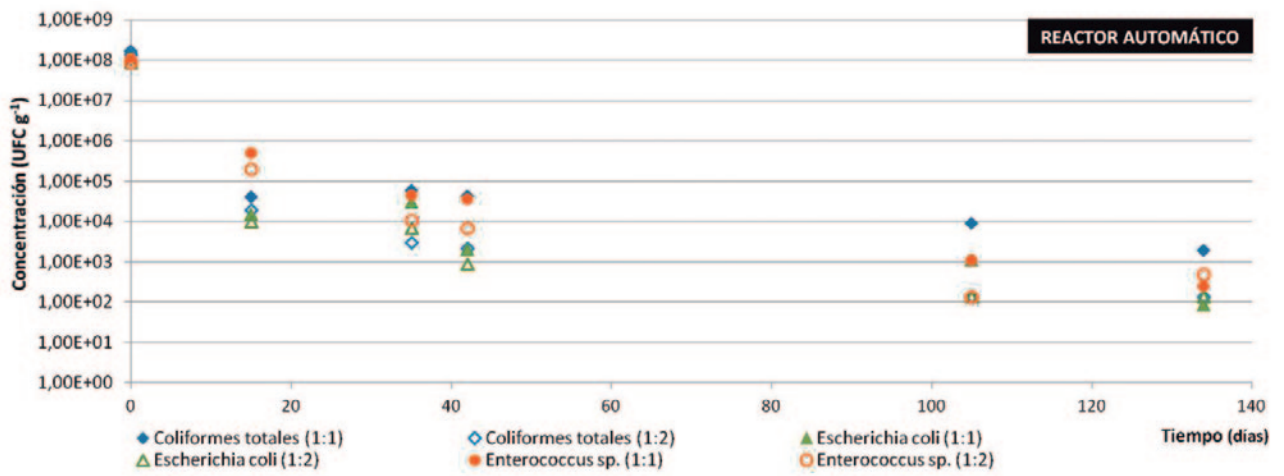


Figura 2. Evolución de las concentraciones bacterianas durante la elaboración del compost mediante las tres instalaciones utilizadas: reactor automático, pila estática aireada, pila volteada

A la hora de elaborar compost con distintos tipos de instalaciones resulta de interés optimizar el sistema de riego y aireación para tener un mejor control del proceso y asegurar una buena higienización sin el riesgo de producirse una proliferación bacteriana a posteriori

la temperatura y detectar puntos desfavorables que pudieran provocar una proliferación bacteriana.

## CONCLUSIONES

En cuanto al proceso de elaboración del compost a partir de FORSU a escala piloto de este estudio, se puede afirmar que los tres tipos de instalaciones utilizadas, reactor automático, pila estática aireada y pila volteada, dieron lugar a un compost de suficiente estabilidad y madurez para ser aplicado en terreno agrícola. En cuanto a la evolución de las concentraciones bacterianas a lo largo del proceso de compostaje, en todos los casos las concentraciones en el compost final fueron menores que las detectadas en la mezcla de componentes iniciales para su elaboración, cumpliendo con los requisitos establecidos en la legislación vigente, pero no se puede afirmar que haya un tipo de instalación entre las utilizadas que produzca una mayor inactivación bacteriana de forma general. A la hora de elaborar compost con distintos tipos de instalaciones resulta de interés optimizar el sistema de riego y aireación para tener un mejor control del proceso y estudiar los posibles gradientes de temperatura en las pilas para asegurar una buena higienización sin el riesgo de producirse una proliferación bacteriana a posteriori. Por último, las distintas mezclas iniciales entre la FORSU y el ME utilizadas en este estudio no influyeron notablemente ni en el funcionamiento

del proceso de elaboración de compost ni en la calidad microbiológica a lo largo del mismo y el agua de riego pudo suponer un aporte bacteriano.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer la financiación para su realización al Gobierno de Aragón (Grupo de Investigación de Referencia Agua y Salud Ambiental B43\_20R) cofinanciado con Feder 2014-2020 "Construyendo Europa desde Aragón", y al proyecto "Estudio de investigación sobre la aplicación de tecnologías de compostaje en el tratamiento de residuos orgánicos para su valorización agronómica", financiado por NILSA y en el marco de la Acción C4.1 del Proyecto LIFE-IP NAdapta-CC (LIFE 16 IPC001) "Hacia una implementación completa, coherente e integrada de la política de adaptación al cambio climático en la región de Navarra".

## BIBLIOGRAFÍA

A.P.H.A. (2005). Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 21st edition. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC. ISBN 9780875530475.  
B.O.E. (2011). Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Boletín Oficial del Estado nº 181, 29.07.2011.  
B.O.E. (2013). Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. Boletín Oficial del Estado nº 164, 10.07.2013.  
B.O.E. (2017). Real Decreto 999/2017, de 24 de

noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. Boletín Oficial del Estado nº 296, 06.12.2017.

Carter M.R. (1993). Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publishers. Ed. Taylor&Francis Group. ISBN 978-0-8493-3586-0.

Hargreaves J.C., Adl M.S., Warman P.R. (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. Agriculture, Ecosystems & Environment 123 (1-3), 1-14.

I.S.O. (1986). Water quality -- Detection and enumeration of the spores of sulfite-reducing anaerobes (clostridia) -- Part 2: Method by membrane filtration (ISO 6461-2:1986).

I.S.O. (2017a). Water quality - Enumeration of Escherichia coli and coliform bacteria - Part 1: Membrane filtration method for waters with low bacterial background flora (ISO 9308-1:2014/Amd 1:2016).

I.S.O. (2017b). Microbiology of the food chain - Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella - Part 1: Detection of Salmonella spp. (ISO 6579-1:2017).

I.S.O. (2018). Water quality - Sampling - Part 3: Preservation and handling of water samples (ISO 5667-3:2018).

I.S.O. (2000). Water quality - Detection and enumeration of intestinal enterococci - Part 2: Membrane filtration method (ISO 7899-2:2000).

M.I.T.E.C.O. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico) (2020). Página web Gobierno de España.

- Oleszczuk P. (2007). Changes of polycyclic aromatic hydrocarbons during composting of sewage sludges with chosen physico-chemical properties and PAHs content. Chemosphere 67 (3), 582-591.

U.S. Department of Agriculture and US Composting Council (2001). Test Methods for the Examination of Composting and Compost, TMECC. <http://tmecc.org> Edapho International. ●