

04-005

STUDY OF THE COMPOSTING PROCESS OF THE SLUDGE PRODUCED IN A CO-DIGESTION PLANT OF PRIMARY SLUDGE AND MICROALGAE

Ruiz Barriga, Patricia; Bouzas Blanco, Alberto; Pachés Giner, María

Universitat de València

In Waste Water Treatment Facilities (WWTF) waste is derived from the depuration. Instead of being managed as waste, they can be re-used to generate products of high agronomic and commercial interest. With the concept of reuse, WWTF are turning into Water Resource Recovery Facilities (WRRF), based on the circular economy principle.

The present work aims to propose a laboratory scale study of the composting of sludge with a high content in nutrients, generated from the joint co-digestion of a primary sludge and microalgae, proceeding from the pilot plant belonging to the group of investigation CALAGUA placed at the WWTF of "Cuenca del Carraixet".

The novelty of the work lies in the higher nutrient content of the sludge, resulting from an elimination process with algae biomass, with regard to the nutrient content obtained in a conventional process. After being subjected to a composting process, the sludge presents higher interest as organic amendment for agricultural processes.

Keywords: *Recovery; Resource, Composting process; Circular Economy*

ESTUDIO DEL COMPOSTAJE DEL FANGO PRODUCIDO EN UNA PLANTA DE CODIGESTIÓN DE FANGO PRIMARIO Y MICROALGAS

En las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) se generan residuos derivados de la depuración que, en lugar de ser gestionados como tales, pueden ser reutilizados para generar productos de elevado interés agronómico y comercial. Con el concepto de reutilización, las instalaciones de saneamiento de aguas residuales se están convirtiendo en instalaciones de recuperación de recursos, asentadas sobre el principio de economía circular.

En la presente tesina se propone el estudio a escala laboratorio del compostaje de un fango con elevado contenido en nutrientes, generado en la codigestión conjunta de fango primario y microalgas, procedentes de la planta piloto perteneciente al grupo de investigación CALAGUA, situada en la EDAR de la Cuenca del Carraixet, Valencia.

La novedad del proyecto radica en el mayor contenido en nutrientes que presenta el fango resultante de un proceso de eliminación de los mismos a partir de biomasa algal con respecto al que presentan los fangos generados en procesos convencionales. Esto hace que se obtenga un fango que, tras someterse a un proceso de compostaje, presente mayor interés para ser utilizado como enmienda orgánica en los procesos agrícolas.

Palabras clave: *Recuperación; Recursos; Compostaje; Economía Circular*

Correspondencia: Patricia Ruiz Barriga Patricia.Ruiz-Barriga@uv.es



©2019 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

En las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) se generan residuos derivados de la depuración que, en lugar de ser gestionados como tales, pueden ser reutilizados para generar productos de elevado interés agronómico y comercial.

Con el concepto de reutilización, las instalaciones de saneamiento de aguas residuales se están convirtiendo en instalaciones de recuperación de recursos, asentadas sobre el principio de economía circular. Se trata de la futura filosofía de trabajo de las estaciones depuradoras del siglo XXI.

Para ello, el grupo de investigación CALAGUA se centra en el estudio de los procesos anaerobios, en los que la extracción de recursos del agua residual se incrementa considerablemente, además de suponer menores costes energéticos en comparación con los sistemas biológicos aerobios convencionales (Ribes et al., 2013). Del mismo modo, para la eliminación de nutrientes del agua residual el grupo apuesta por los cultivos de microalgas, capaces de retener mayor cantidad de nutrientes que los microorganismos presentes en los procesos convencionales, generando así, efluentes más clarificados y fangos con mayor concentración de estos (González-Camejo, 2018).

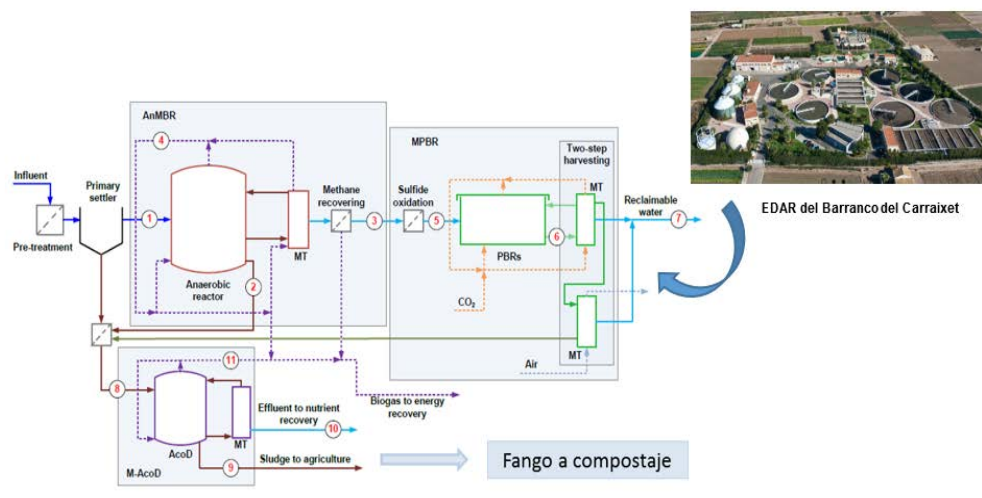
Por otro lado, los procesos de compostaje se vienen concibiendo desde el siglo I como métodos de estabilización de la materia orgánica, fecha desde la cual el producto obtenido ha sido usado por los agricultores como abono orgánico para sus cultivos. Es por esto que, dada la actual generación de fangos resultantes del proceso de depuración, el proceso de compostaje puede ser una opción adecuada para la reutilización de los mismos.

El compostaje se define como aquel proceso biológico que tiene lugar bajo condiciones aerobias en el que, mediante la acción de los microorganismos mesófilos y termófilos, un residuo orgánico es transformado en un material estabilizado e higienizado, apto para su uso con fines agrícolas.

Durante el proceso de compostaje se pueden observar dos fases diferenciadas; una fase de descomposición, compuesta a su vez de una fase mesófila y una fase termófila, donde tiene lugar la mayor degradación de materia orgánica del material y, por lo tanto, donde se observa la mayor actividad biológica del proceso y en consecuencia, una mayor necesidad de oxígeno; y una fase de maduración, donde se terminan de degradar los compuestos más difícilmente biodegradables y se llega a la estabilización del material, obteniendo el producto final deseado. (Barrena, 2006).

Para finalizar, destacar que el valor agronómico de los fangos se ve incrementado cuando su contenido en nutrientes es mayor. Es por esto, que en el presente trabajo se propone el estudio a escala laboratorio del compostaje de un fango con elevado contenido en nutrientes, generado en la codigestión conjunta de fango primario y microalgas, procedentes de la planta piloto perteneciente al grupo de investigación CALAGUA situada en la EDAR de la Cuenca del Carraixet. En la Figura 1, se muestra un diagrama de flujo de la planta piloto utilizada para la obtención del fango que se desea compostar.

Figura 1: Diagrama de flujo de la planta piloto de la EDAR del Barranco del Carraixet. (CALAGUA – Unidad Mixta UV-UPV) (Robles Martínez et al., 2017)



2. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo fue llevar a cabo el estudio del proceso de compostaje a escala laboratorio de un fango resultante de la digestión anaerobia conjunta de biomasa algal y de fango primario, determinando las condiciones óptimas de operación del proceso.

A modo de comparación, se llevó a cabo paralelamente, el estudio del compostaje de un fango digerido anaerobio convencional de depuradora, con la finalidad de encontrar las diferencias en la evolución de los parámetros característicos del proceso entre ambos fangos.

3. Metodología

Para estudiar la viabilidad del proceso de compostaje de un fango conteniendo biomasa algal, se pusieron en marcha doce reactores de compostaje a escala laboratorio. En cada reactor se introdujeron diferentes mezclas de agente estructurante (en este caso poda recogida de los jardines de la universidad) y fango, con distintas características iniciales cada una de ellas, con el objeto de determinar las condiciones de operación óptimas (aireación, adición de inóculo, material aislante, mezcla por volúmenes o por peso, entre otras) para la obtención de un producto final de calidad.

Se utilizaron dos tipos de fango, un fango convencional proveniente de la depuradora del Carraixet, Valencia, y un fango conteniendo biomasa algal proveniente de la planta piloto del grupo CALAGUA, situado en la misma planta depuradora del Carraixet (Figura 1). El fango convencional presentaba tiempos de retención celular (TRC) de 40 días y el fango conteniendo biomasa algal presentaba un TRC de 70 días.

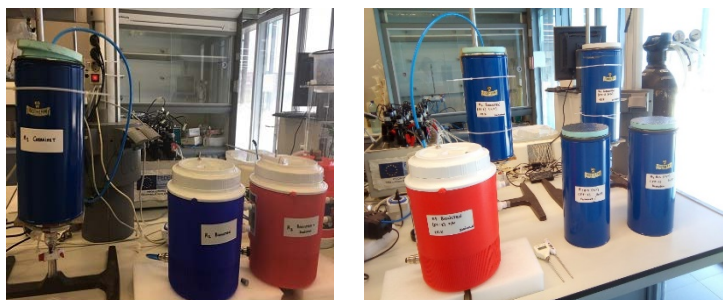
Se distinguieron dos fases; una primera fase de prueba entendida como una fase de toma de contacto con el proceso y los parámetros principales del mismo, en la que se pusieron en marcha tres reactores iniciales, llamados reactores de prueba (PR1, PR2 y PR3); y una segunda fase, la fase experimental propiamente dicha, donde se pusieron en marcha los nueve reactores de compostaje restantes, con características diferentes en función de los resultados obtenidos en la primera fase (R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8 y R9).

Los reactores estuvieron en funcionamiento un tiempo máximo de 50 días. Estos no fueron puestos en marcha a la vez, si no que se fueron iniciando nuevos reactores a medida que se fueron modificando las condiciones de operación de los anteriores.

Previamente, se realizaron pruebas de acondicionamiento del fango a tratar y del agente estructurante a utilizar, para que las condiciones iniciales fuesen favorables al desarrollo de los microorganismos implicados en el proceso.

Los parámetros controlados fueron: la ratio C/N, temperatura, el contenido en humedad y materia seca, el contenido en materia orgánica, pH y conductividad eléctrica, el contenido en nitrógeno total, la porosidad de la mezcla inicial y los microorganismos patógenos presentes en el fango inicial y en el producto final. Se realizaron también respirometrías periódicas para el control de la actividad biológica.

Figura 2: Reactores de compostaje en funcionamiento (Laboratorio de montajes. Dpto. Ingeniería Química. Universidad de Valencia)



En las tablas 1 y 2 se muestran en detalle los reactores puestos en marcha para su estudio y las características de las mezclas introducidas en ellos.

Tabla 1: Identificación de los reactores en fase de prueba

	Fango	Mezcla	Tipo Reactor	Aireación	Inóculo
PR1	Bionuten	C/N teórica	Termo	Forzada	No
PR2	Carraixet	C/N teórica	Termo	Forzada	No
PR3	Bionuten	C/N teórica	Termo	Forzada	Sí

Tabla 2: Identificación de los reactores en fase experimental

	Fango	Mezcla	Tipo Reactor	Aireación	Inóculo
R1	Bionuten	C/N teórica	Termo	Forzada	Sí
R2	Carraixet	C/N teórica	Termo	Forzada	Sí
R3	Carraixet	Volumen	Dewar	Volteos	Sí
R4	Bionuten	Volumen	Dewar	Volteos	Sí
R5	Carraixet	C/N teórica	Dewar	Volteos	Sí
R6	Bionuten	C/N teórica	Dewar	Volteos	Sí
R7	Bionuten	Volumen	Dewar	Forzada	No
R8	Bionuten	Volumen	Dewar	Volteos	No
R9	Bionuten	Volumen	Termo	Volteos	Sí

4. Resultados

4.1. Fase de prueba

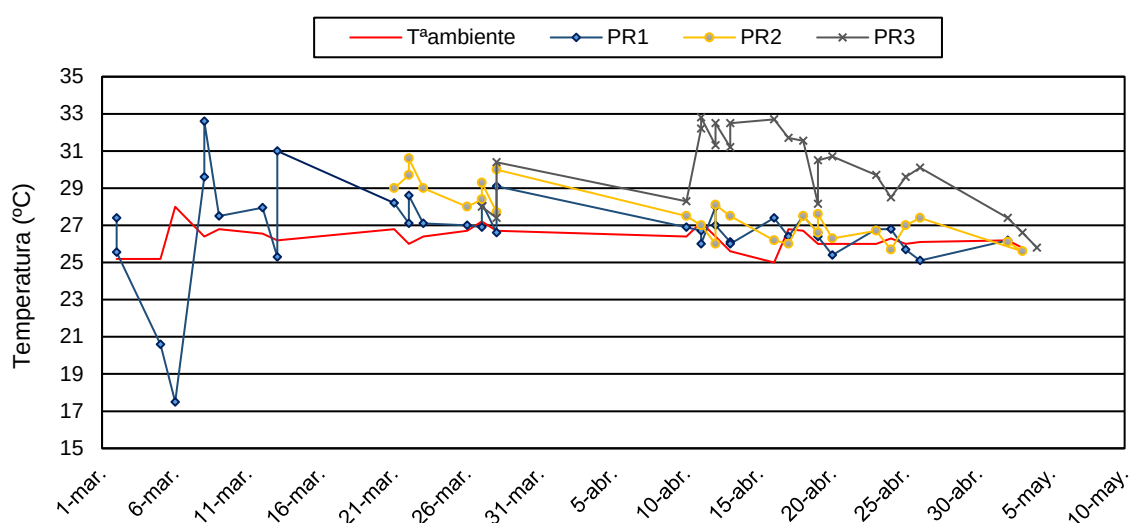
Se presentan, a continuación, los valores obtenidos en la caracterización inicial de cada una de las mezclas introducidas en los reactores de prueba. Se ha de tener en cuenta que la biomasa algal presenta ratios C/N significativamente bajos (en torno a 6), lo cual explica que el reactor que mayor ratio C/N presentó fuese el PR2, teniendo en cuenta que la mezcla introducida en este contenía fango de una EDAR convencional, sin contenido en biomasa algal.

Tabla 3. Caracterización inicial de las mezclas de la fase de prueba

	PR1	PR2	PR3
Caracterización Inicial			
Humedad (%)	61,68	67,81	63,53
Materia Seca (%)	38,32	33,51	36,47
Materia Orgánica (%)	86,30	84,63	82,62
pH	8,4	7,52	6,58
Conductividad (μS/cm)	980	1248	1530
Nitrógeno total (gN/kg m.s.)	15,66	26,86	23,86
Ratio C/N	22,25	30,04	20,85

Por otro lado, se presenta la evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje que tuvo lugar en los reactores de la fase de prueba, observando que ninguno de los reactores llegó a alcanzar la fase termófila, imprescindible para la eliminación de patógenos del material a compostar.

Figura 3. Evolución de la temperatura de los reactores de compostaje en fase de prueba



A raíz de los resultados obtenidos se plantearon diferentes hipótesis para justificar el hecho de que ninguno de los reactores alcanzase la fase termófila. Estas hipótesis serían después corregidas y aplicadas en la fase experimental. Estas son:

- Exceso de caudal de aireación a los reactores con el consecuente enfriamiento de la masa de material y falta de volteos manuales para la homogeneización de la misma. Se decidió comparar dos tipos de aireación; la aireación mediante volteo manual y la aireación forzada, esta última temporizada, para reducir los ciclos de aireación automáticamente. Los ciclos de trabajo serían de 3 horas de paro y 15 minutos de marcha, manteniendo un caudal de 2L/min.
- Pérdidas de calor por las paredes del reactor. Se adquirieron cuatro nuevos reactores tipo Dewar con un mejor aislamiento térmico.
- Déficit de materia orgánica fácilmente biodegradable en las mezclas debido a los bajos volúmenes de fango. Se calculó que en proporciones volumétricas las mezclas generadas en la fase de prueba tenían 8 volúmenes de poda por cada volumen de fango. Se planteó la puesta en marcha de reactores con relaciones volumétricas de 2,5 a 1, donde el contenido en sustrato sería mayor.

4.2. Fase experimental

Se presenta, a continuación, la caracterización inicial de los reactores de la fase experimental.

Tabla 4. Caracterización inicial de las mezclas de la fase experimental

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Caracterización Inicial									
Volumen de mezcla (L)	4,00	3,90	3,80	3,80	3,70	3,70	4,00	4,00	4,00
Humedad (%)	68,05	58,56	64,26	68,66	50,37	59,49	62,90	62,90	65,04
Materia Seca (%)	31,95	41,44	35,74	31,34	49,63	40,51	37,10	37,10	34,96
Materia Orgánica (%)	87,18	80,08	86,88	84,05	75,96	75,78	87,01	87,01	82,80
pH	7,84	8,45	8,45	7,44	8,47	8,05	6,30	6,30	8,01
Conductividad (μS/cm)	1104	1905	1490	1418	1992	1785	2620	2620	2160
Porosidad (%)	7,60	33,40	24,00	13,40	40,00	38,40	21,6	21,6	32,80
Nitrógeno total (gN/kg m.s.)	2,50	11,58	11,47	24,57	9,07	15,06	8,63	8,63	16,02
Ratio C/N	23,99	24,56	12,54	14,47	19,13	15,76	14,45	16,41	13,98
<i>Escherichia coli</i>	A	P	P	A	P	A	A	A	A
<i>Salmonella spp</i>	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Inóculo	Presencia de <i>Escherichia coli</i> / Ausencia de <i>Salmonella spp</i>								

Nota: A (ausencia del microorganismo); B (presencia del microorganismo)

Por otro lado, se presenta la evolución de los distintos parámetros controlados durante esta fase para cada uno de los reactores de compostaje.

Figura 4. Evolución de la temperatura de los reactores de compostaje

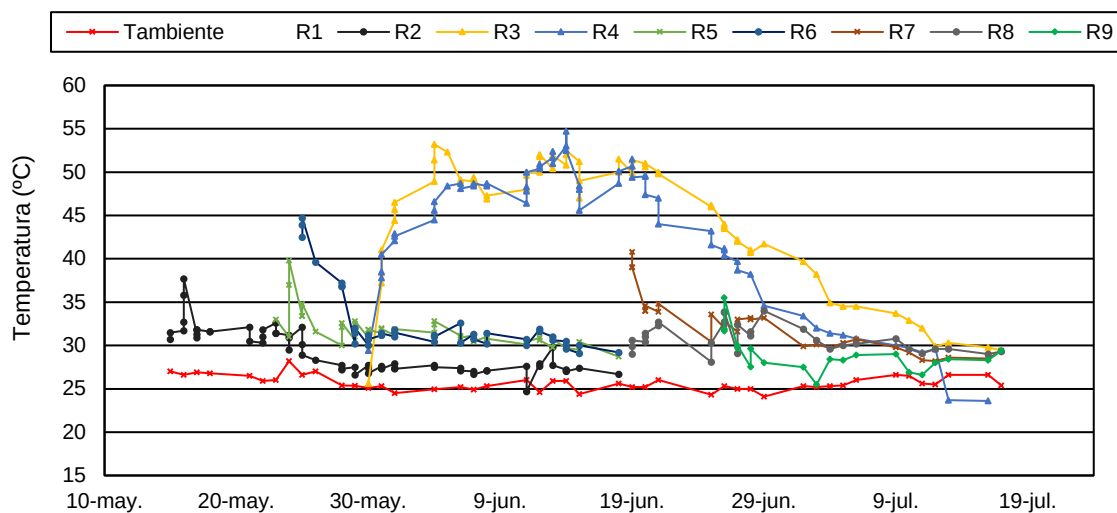


Figura 5. Evolución de la humedad de los reactores de compostaje

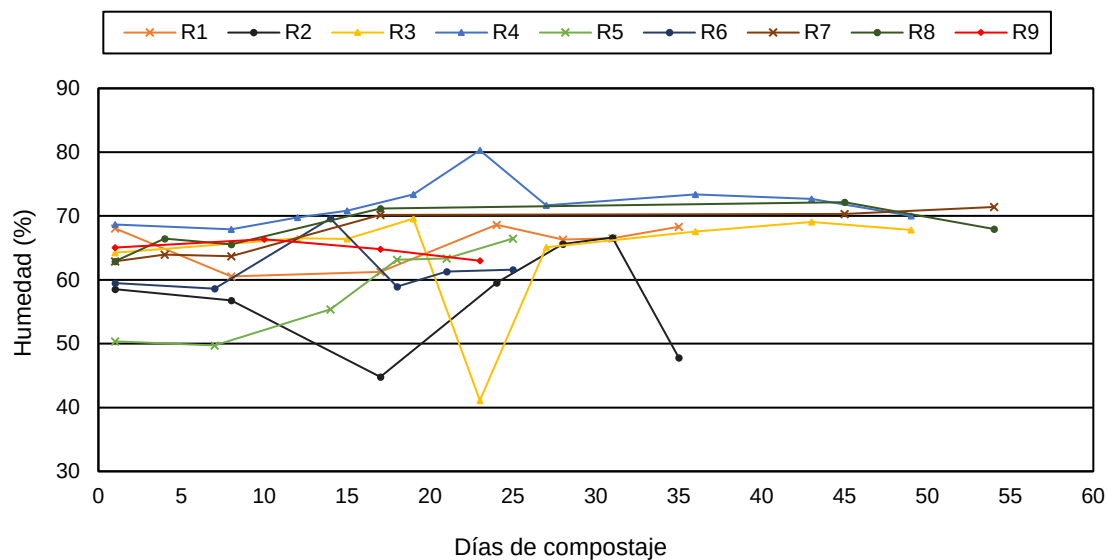


Figura 6. Evolución de la materia orgánica de los reactores de compostaje

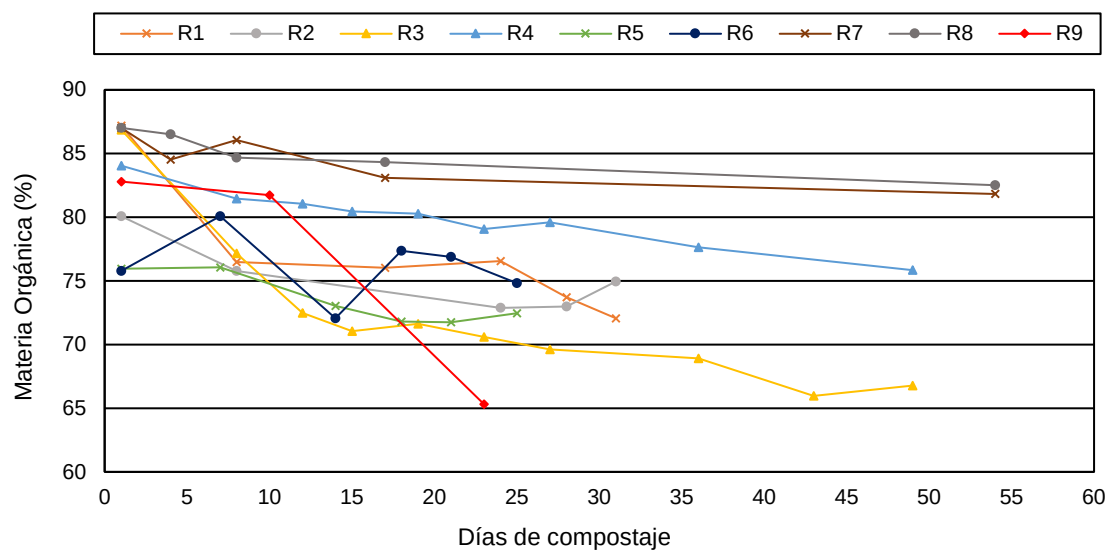


Figura 7. Evolución del pH de los reactores de compostaje

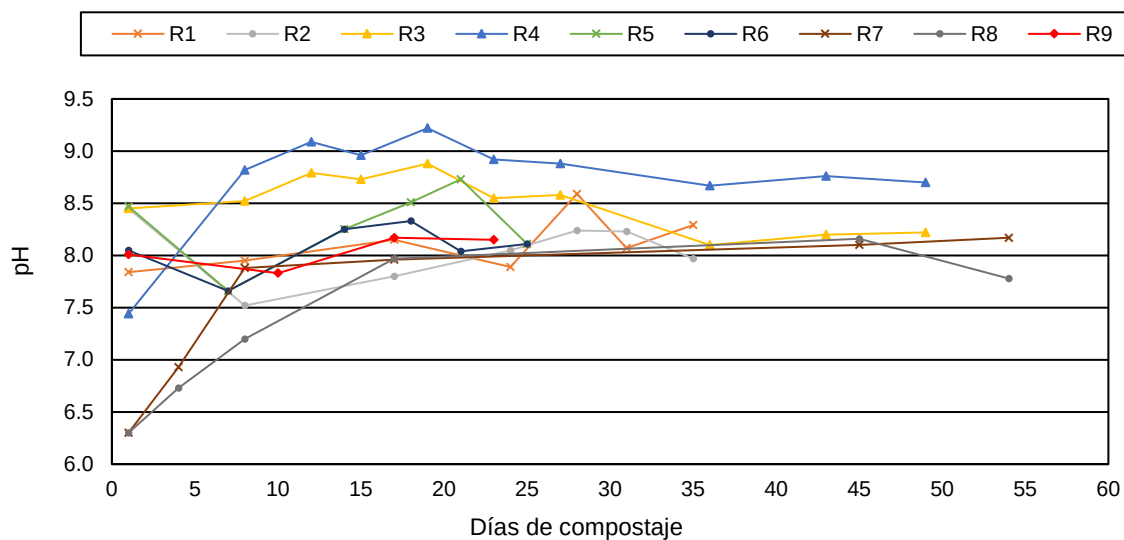


Figura 8. Evolución de la conductividad de los reactores de compostaje

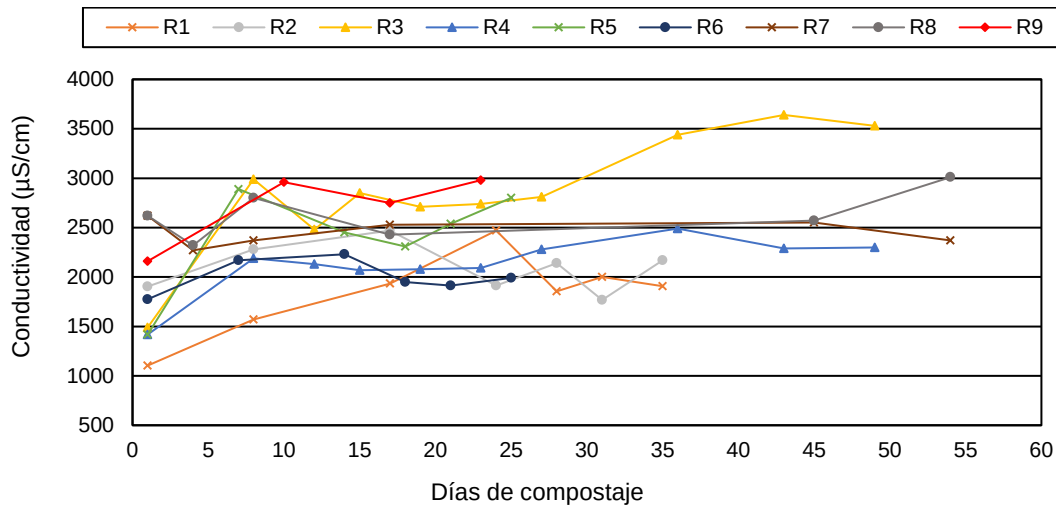


Tabla 5. Presencia de microorganismos patógenos en el producto final de los reactores

	<i>E.coli</i>	<i>Salmonella spp.</i>
R1	> 1000 NMP	Ausencia
R2	> 1000 NMP	Ausencia
R3	<1000 NMP	Ausencia
R4	> 1000 NMP	Ausencia
R5	<1000 NMP	Ausencia
R6	> 1000 NMP	Ausencia
R7	> 1000 NMP	Ausencia
R8	> 1000 NMP	Ausencia
R9	> 1000 NMP	Ausencia

En la fase experimental se comprobó que en los reactores con mezclas volumétricas inoculadas y en reactores tipo Dewar, se alcanzó la fase termófila. Sin embargo, solo en el reactor incluyendo la mezcla del fango de la EDAR del Carraixet (R3) se obtuvo una higienización completa del material, con ausencia de *Escherichia coli* y *Salmonella spp.*

En el reactor R5, fango de la EDAR del Carraixet inoculado, en reactor tipo Dewar, sin aireación forzada y con mezcla preparada por pesos, parece que también se alcanzó la fase termófila el tiempo necesario para la eliminación de patógenos, aunque no se detectó el aumento de temperatura. No obstante, la reducción de materia orgánica en este reactor fue baja.

En cualquier caso, las muestras generadas por volúmenes e inoculadas alcanzaron rápidamente la fase termófila asociando este hecho a una mayor presencia de fango en el material, es decir, un mayor contenido en sustrato fácilmente biodegradable.

El reactor R1, fango de la planta Bionuten, inoculado, aireado y en reactores tipo termo, presentó reducciones significativas de la ratio C/N, así como del contenido en materia orgánica. Sin embargo, no alcanzó la fase termófila, asociándose esto último a dos hechos: por una parte, la aireación que, aunque en la fase experimental estuviese controlada podría haber sido excesiva, enfriando la masa de material e impidiendo el aumento de la temperatura

y, por otra parte, la falta de sustrato en el fango debido a las altas proporciones de poda que presenta la mezcla.

Por otro lado, en los reactores conteniendo biomasa algal se observó un mayor tiempo de aclimatación de la biomasa, es decir, estos seguían la misma evolución que los reactores conteniendo el fango digerido convencional, aunque siempre con días de retraso con respecto a este. Se puede relacionar el mayor tiempo de aclimatación con un menor contenido en sustrato fácilmente biodegradable dado el mayor tiempo de estabilización al que fue sometido este fango en el digestor.

Los reactores con fango convencional alcanzaron una mayor eliminación de materia orgánica en las mezclas generadas con proporciones volumétricas, sin embargo, en los reactores con biomasa algal, se experimentó una mayor reducción de este parámetro en las mezclas generadas a partir de proporciones en peso y aireadas. Esto último sugiere que las mezclas conteniendo biomasa algal necesitan mayores proporciones de poda dada la baja ratio C/N que presentan. No obstante, se piensa que la poda introducida en este caso fue excesiva, generando un déficit de sustrato en el fango que impidió el desarrollo de la actividad biológica de la mezcla, razón por la cual no se alcanzaron las temperaturas termófilas.

4.3. Respirometrías

Las respirometrías tienen dos funciones en este estudio. Por una parte, realizar un seguimiento de la actividad biológica durante todo el proceso de compostaje y, por otra, determinar si el material compostado ha sido estabilizado en las etapas finales del proceso.

Se determina el Índice Respirométrico Estático (Barrena et al., 2005), a partir de la siguiente fórmula:

$$IR = \frac{V_{aire} \cdot P \cdot 32 \cdot m \cdot 60 \cdot 0,21}{R \cdot T \cdot X \cdot MS \cdot MO} \quad (1)$$

Dónde:

- IR es el índice respirométrico estático a la temperatura de incubación.
- V_{aire} es el volumen de aire contenido en el matraz en ml. Se determina de la siguiente manera.

$$V_{aire}(ml) = (P_{T_{ween}} - P_f) \cdot \frac{1 \text{ ml}}{1 \text{ gramo}} \quad (2)$$

- P es la presión atmosférica en atm.
- 32 es el peso molecular del oxígeno diatómico en g/mol.
- m es la pendiente máxima de la recta de tendencia trazada sobre la curva de consumo de oxígeno, dividida entre 100.
- R es la constante de los gases ideales en atm·l /mol/K.
- T es la temperatura de incubación en Kelvin.
- X son los gramos de materia húmeda contenidos en la muestra, calculados como:
 $X = P_i - T$
- MS son los gramos de materia seca por gramos de materia húmeda contenidos en la muestra.
- MO son los gramos de materia orgánica por gramos de materia seca contenidos en la muestra.

Para la determinación de la actividad biológica se realizaron ensayos a la temperatura a la que se encontrase el material en el momento de los mismos y con tiempos de incubación de 4 horas. Para la determinación de la estabilidad del proceso se realizaron ensayos a 37 °C de temperatura durante 18 horas (tiempo de incubación)

Figura 9. Ensayos para la determinación de los índices respirométricos



Se muestran los índices respirométricos de los ensayos realizados para cada uno de los reactores de compostaje.

Tabla 6. Índices respirométricos a la temperatura del proceso obtenidos en los ensayos de la determinación de la actividad biológica de los reactores de compostaje.

Identificación Ensayo	Día de compostaje	IR (mgO ₂ /g.MO/h)
IR3 (50°C)	5	15,56
IR3 (50°C)	16	14,43
IR3 (44°C)	27	10,40
IR4 (51°C)	8	13,50
IR4 (50°C)	15	11,41
IR4 (32°C)	35	4,08
IR5 (30°C)	21	1,54
IR6 (31°C)	19	1,88
IR8 (30°C)	9	0,28
°IR9 (29°C)	11	1,77

Tabla 7. Índices respirométricos a 37 °C obtenidos en los ensayos de la determinación de la estabilidad de los reactores de compostaje.

Identificación Ensayo	Día de compostaje	IR (mgO ₂ /g.MO/h)
IR3 (37°C)	49	0,242
IR4 (37°C)	49	0,265

Se observó que la mayor actividad biológica tuvo lugar en los reactores R3 y R4, esto es, en los reactores conteniendo mezclas generadas por volúmenes y con adición de inóculo. A pesar de ello, R4 presentó una baja eliminación de materia orgánica en los resultados obtenidos.

Por otro lado, los reactores con mezclas en proporciones másicas, todas ellas con adición de inóculo, presentaron una menor actividad biológica que los anteriores, teniendo en cuenta que en estos no se alcanzó la fase termófila.

5. Conclusiones

Con los resultados obtenidos a lo largo de la experimentación, se extrajeron las conclusiones que a continuación se exponen:

- En reactores a escala laboratorio es necesaria la adición de un inóculo, así como trabajar con materiales con un aislamiento térmico adecuado, dado que las pérdidas de calor son mayores a menores volúmenes de mezcla.
- Las mayores temperaturas alcanzadas en el reactor tuvieron lugar en los reactores con mayor proporción de fango, sin embargo, la degradación de la biomasa algal se vio favorecida en los reactores con mayor proporción de agente estructurante.
- Las mezclas generadas fueron muy heterogéneas, lo que pudo dar lugar a variaciones significativas de los parámetros analíticos de las muestras extraídas de los reactores.
- La aireación forzada benefició la degradación de la biomasa algal, sin embargo, se dedujo que ésta era una de las causas de enfriamiento del material, en consecuencia, no se alcanzaron las temperaturas termófilas típicas del proceso en los reactores con este tipo de aireación.
- Los reactores que alcanzaron la fase termófila presentaron índices respirométricos de estabilidad bajos, lo que es indicativo de un material final bioestabilizado, aunque esto no es determinante de que el material pueda ser usado como enmienda orgánica.
- En ninguno de los reactores se alcanzaron la totalidad de requisitos para poder clasificar los productos obtenidos como enmienda orgánica según establece el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. Este hecho se asoció a que los reactores no se sometieron al proceso de maduración debido al largo periodo experimental que esto supondría.

Por último, destacar que la novedad del presente proyecto radica en el elevado contenido en nutrientes que presenta la biomasa algal, lo que la hace de gran interés para ser utilizada como enmienda orgánica para su posterior uso en agricultura. Sin embargo, presenta un contenido en carbono significativamente bajo, lo que hace necesario profundizar en investigaciones futuras de modo que se encuentren las condiciones óptimas de operación del proceso a escala industrial.

6. Bibliografía

Barrena, R., Vázquez, F., Sánchez, A. (2005). The use of respiration indices in the composting process: a review. In *Waste Management & Research* (pp. 37–47). Barcelona.

Barrena, R. (2006). Compostaje de residuos sólidos orgánicos aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso. Universitat Autònoma de Barcelona.

González-Camejo, J. (2018). Outdoor flat-panel membrane photobioreactor to treat the effluent of an anaerobic membrane bioreactor. Influence of operating, design, and environmental conditions. *Water Science and Technology*, wst2018259. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.259>

Ribes, J., Robles, A., Gimenez, J. B., Durán, F., Carretero, L., Ruano, M. V.,... Seco, A. (2013). El reactor anaerobio de membranas sumergidas: una nueva tecnología para el tratamiento del agua residual urbana y el aprovechamiento de sus recursos. In U. de V. Dpto Ingeniería Química & U. P. de V. Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (Eds.), *Tratamiento de aguas residuales* (pp. 53–55). Valencia: InfoEnviro.

Robles Martínez, Á., Ruiz Martínez, A., Giménez García, J. B., Aparicio Anton, S. E., González Camejo, Josué Jiménez Benítez, Antonio Mateo Llosá, Ó., Mora Sánchez, J. F., ... Seco Torrecillas, A. (2017). Maximizing resource recovery from urban wastewater through an innovative facility layout. In U. de V. Departament d'Enginyeria Química & U. P. de V. Institut Universitari d'Investigació d'Enginyeria de l'Aigua i Medi Ambient – IIAMA (Eds.), 15th IWA World Congress on Anaerobic Digestion (AD15). Universitat Politècnica de València.

Ruiz Martinez, A. (2011). Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente. Universidad Politécnica de Valencia. Universidad Politécnica de Valencia.