

# MEJORA DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LODO DE DEPURADORA MEDIANTE PRE-TRATAMIENTO CON MICROONDAS

**A. Serrano, A. Gil, J.A. Siles, M.A. Martín\*, A.F. Chica.**

<sup>1</sup> Dpto. Química Inorgánica e Ingeniería Química. Universidad de Córdoba. Ctra. N IV, km 396.C.P. 14071 – Córdoba. Córdoba.

\*iq2masam@uco.es

## Resumen

El lodo aerobio de depuradora es un residuo contaminante que debe gestionarse de manera adecuada a fin de evitar graves impactos ambientales. De entre los métodos de gestión tradicionales, la deposición en vertedero se está descartando debido al alto contenido en metales pesados, patógenos y contaminantes emergentes presentes en el lodo y la incineración por la elevada humedad que poseen. La digestión anaerobia puede considerarse una opción interesante, si bien es necesario optimizarla ya que la biometanización del lodo suele caracterizarse por una baja biodegradabilidad y una pobre producción de metano.

Se ha estudiado la aplicación de un pre-tratamiento con microondas a escala piloto con el fin de aumentar la solubilización de materia orgánica y mejorar el rendimiento del proceso de biometanización. Se han optimizado las variables operacionales del pre-tratamiento con microondas en los rangos 400-700 W y 5.000-30.000 J/g sólido total (ST) para la potencia y energía específica aplicada, respectivamente. De acuerdo a la variación observada en la materia orgánica soluble (DQOsoluble) y el nitrógeno total soluble (NTsoluble), las variables de operación óptimas se han fijado en 20.000 J/g ST (sólidos totales) y 700 W.

Posteriormente, se han realizado ensayos de digestión anaerobia mesófila con el lodo sin pre-tratar y pre-tratado, bajo diferentes condiciones experimentales (20.000 J/g ST y 700 W; 20.000 J/g ST y 400 W; así como 30.000 J/g ST y 400 W). Aunque los distintos ensayos han mostrado condiciones estables, la mejora del rendimiento en metano no ha sido muy elevada (17 %). Sin embargo, el pre-tratamiento con microondas ha permitido una mejora muy significativa en la cinética del proceso, alcanzando incrementos de 43 y 39 % en la velocidad de producción de metano y la velocidad de carga orgánica, respectivamente, tras un pre-tratamiento a 700 W y 20.000 J/g TS.

**Palabras Clave** Cinética; Digestión anaerobia mesófila; Energía específica aplicada; Lodo de depuradora; Pre-tratamiento con microondas.

## Introducción

El lodo de depuradora, que se genera durante el tratamiento del agua residual, es un residuo cuyo tratamiento es un problema creciente en todo el mundo. La gestión del lodo es un proceso complejo debido a su contenido en metales pesados, contaminantes emergentes y patógenos, lo que ha provocado la aprobación de legislaciones más restrictivas en cuanto a las posibles aplicaciones de dicho lodo (Hendrickx, 2009).

La digestión anaerobia es una de las tecnologías viables para el tratamiento del lodo de depuradora puesto que permite tanto la recuperación de energía en forma de metano, como la reducción del volumen de lodo, patógenos y la eliminación de olores (Pilli et al., 2011), aunque, es necesario optimizarla ya que la biometanización del lodo conlleva una baja biodegradabilidad y una pobre producción de metano. Además, las modificaciones en las variables operacionales, como la velocidad de carga orgánica, pueden provocar perturbaciones en la estabilidad del proceso e incluso un fallo total del sistema (Labatut and Gooch, 2012).

Este problema puede asociarse particularmente a zonas turísticas o plantas que deben de gestionar sobrecargas orgánicas puntuales y donde las variaciones estacionales pueden provocar incrementos importantes en el volumen de lodo generado en una EDAR. Tradicionalmente, se ha llevado a cabo el sobredimensionamiento de las plantas para evitar que dichas variaciones provocasen efectos adversos en el proceso, con el consecuente incremento en los gastos de inversión y mantenimiento (Germaey et al., 1998).

Una alternativa viable sería la aplicación de un pre-tratamiento previo a la digestión anaerobia para facilitar la hidrólisis del residuo y reducir el tiempo de retención cuando sea necesario y así aumentar la capacidad de tratamiento debido a incrementos en la producción de lodo estacionales o continuos. El pre-tratamiento con microondas es uno de los métodos propuestos para la solubilización previa del lodo, ya que combina el efecto de un incremento en la temperatura con la desintegración asociada a los rápidos cambios en la orientación de los dipolos que permiten romper la pared celular de las bacterias (Appels et al., 2013).

El objetivo de este estudio es doble: (1) la optimización del pre-tratamiento con microondas de lodo de depuradora a escala de laboratorio y (2) evaluar su efecto sobre un proceso de biometanización, prestando especial interés a la estabilidad, la producción de metano y la cinética del proceso.

## Materiales y Métodos

El lodo de depuradora y el inóculo anaerobio empleado en este estudio se han obtenido de la planta depuradora “COPERO” (Sevilla). Dicha planta trata principalmente aguas residuales urbanas (85-90%) y presenta una producción anual de lodo aproximada de 500 toneladas, en base seca. Las características analíticas del sustrato (el cual es variable en el tiempo) y el inóculo se muestran en la Tabla 1.

	Lodo de EDAR (marzo/2014)	Lodo de EDAR (junio/2014)	Inóculo
<b>pH</b>	6,45 ± 0,04	6,71 ± 0,05	7,48 ± 0,01
<b>Conductividad (mS/cm)</b>	7,08 ± 0,08	2,82 ± 0,09	7,32 ± 0,01
<b>Humedad (%)</b>	97,7 ± 0,1	97,1 ± 0,1	98,5 ± 0,1
<b>DQOs (g O<sub>2</sub>/kg)</b>	8625 ± 50	1835 ± 50	--
<b>ST (mg/kg)</b>	22.785 ± 370	29.000 ± 450	14.735 ± 85
<b>SV (mg/kg)</b>	17.145 ± 200	23.290 ± 760	9.795 ± 90
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/kg)</b>	1.070 ± 25	560 ± 25	1.065 ± 10
<b>NT (mg/kg)</b>	1.345 ± 15	305 ± 13	894 ± 5
<b>COT (mg/kg)</b>	3.130 ± 140	595 ± 70	394 ± 1

**Tabla 1.** Caracterización analítica del sustrato y del lodo empleados

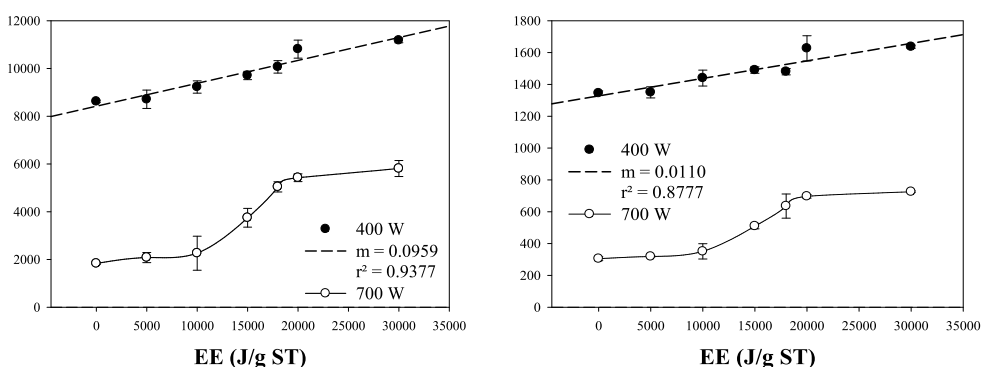
El pretratamiento se realizó a alícuotas de 100 g de lodo de depuradora en recipientes abiertos en un sistema de microondas discontinuo a escala piloto. Los ensayos de pre-tratamiento se realizaron a potencias de 400 y 700 W variando la energía específica aplicada desde 0 a 30.000 J/g ST. Todos los ensayos de pre-tratamientos se realizaron por triplicado.

El equipo experimental empleado para el posterior estudio de biometanización estaba compuesto de ocho reactores Pyrex de mezcla completa de 1 litro de volumen útil, en condiciones mesófilas (35 °C) y operando en modo discontinuo. Los ensayos realizados con lodo sin tratar y pre-tratado se realizaron con cargas crecientes de 1,0 a 5,0 g SV/L, a intervalos de 0,5 g SV/L. Cada carga se ensayó al menos en triplicado (más detalles de M&M en: Serrano et al., 2016).

## Resultados y Discusión

El efecto del pre-tratamiento de microondas se ha llevado a cabo mediante la evaluación de la variación de la concentración de los compuestos solubles del lodo de depuradora. En la Figura 1 se muestra la concentración de DQOs y NTsoluble en el lodo tras ser sometido a los distintos pre-tratamientos. Como puede observarse, el incremento obtenido para una potencia de 700 W ha sido superior, con una variación del 215% frente al incremento del 25-30% obtenido para el pre-tratamiento a 400 W (Figura 1A). En valores absolutos, y teniendo en cuenta la variabilidad del lodo de partida, la solubilización ha sido de 0,113 y 0,137 mg DQOsoluble/g ST a 400 y 700 W, respectivamente. La variación de NTsoluble se muestra en la Figura 1B.

La solubilización de NTsoluble fue de 0,0127 y 0,0145 mg NTsoluble/g ST a 400 y 700 W, respectivamente. La solubilización de la materia carbonosa y del nitrógeno indica que el pre-tratamiento de microondas ha afectado al conjunto del sustrato. Dicho efecto también se corrobora por las relaciones DQOs/COT (carbono orgánico total) y TNsoluble/DQOs, que se mantuvieron constantes en el lodo de depuradora tras los distintos pre-tratamientos con unos valores de 2,64 mg DQOs/mg COT y 0,15 mg NTsoluble/mg DQOs, independientemente de la potencia y energía específica aplicada. Estas relaciones son muy importantes por la biodisponibilidad de nutrientes en el posterior tratamiento anaerobio.



**Figura 1.** Variación de la DQOs (A) y el NTsoluble (B) frente a la energía específica aplicada

De forma complementaria, se ha evaluado la concentración de ácidos orgánicos de cadena corta ( $C_2$ - $C_6$ ) (AV). Los pre-tratamientos con una potencia de 400 W permitieron un aumento de AV superior en el tratamiento a mayor potencia, arrojando incrementos de 0,3558 y 0,2105 mg  $C_2$ /mg COT solubilizado a potencias de 400 y 700 W, respectivamente. Este número parecería contradictorio si no se tiene en cuenta que es mayor la solubilización de COT a 700 W. Finalmente conducen a aumentos de acidez que elevan la concentración de los mismos a 3890 y 4740 mg  $C_2$ /kg. El incremento de la energía específica aplicada por encima de 20.000 J/g ST, no fue efectivo en la generación de AV a ninguna de las potencias ensayadas.

A continuación, se realizó un ensayo de digestión anaerobia para evaluar si la solubilización del lodo de depuradora conlleva una mejora en la biometanización de dicho residuo. Las variables operacionales empleadas en el pre-tratamiento del lodo alimentado a los digestores en los distintos ensayos fueron 20,000 J/g ST a 700 W, 20,000 y 30,000 J/g ST a 400 W y el lodo sin pre-tratar.

Durante los ensayos de digestión anaerobia, los digestores operaron de forma estable, presentando unos valores de pH y del ratio AV/Alcalinidad dentro de los márgenes recomendables para el correcto funcionamiento del proceso (Figura 2). Por tanto, la solubilización del lodo no ha conllevado una acidificación de los reactores al incrementar la concentración de AV en el sustrato.

La Tabla 2 resume los valores obtenidos de coeficiente de producción de metano, velocidad de carga orgánica y velocidad de producción de metano para los distintos lodos pre-tratados añadidos a los digestores. Como puede observarse, la mejora en el coeficiente de producción de metano ha sido limitada (menos del 20%), si bien la velocidad de producción de metano ( $r_G$ ) y la velocidad de carga orgánica (VCO) han aumentado 43 y 39%, respectivamente.

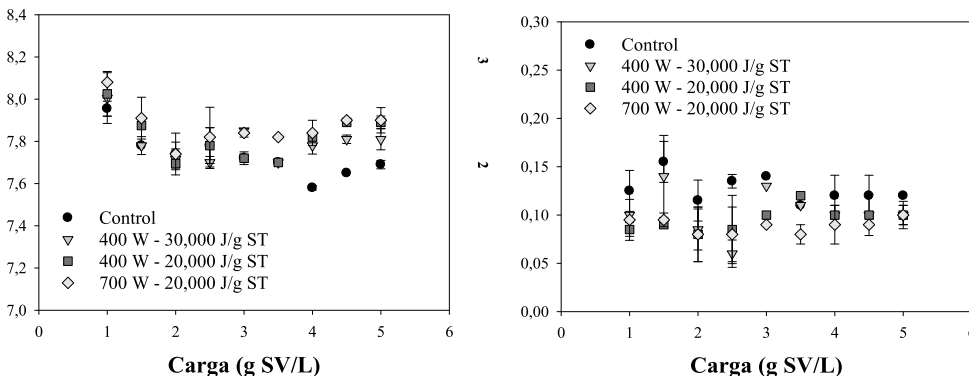


Figura 2. Variación del pH (A) y relación acidez volátil/alcalinidad (B) frente a la carga añadida

Potencia (W)	Energía aplicada (J/g ST)	Rendimiento en metano (mL CH <sub>4</sub> /g SV)	VCO (g SV/L·d)	r <sub>G</sub> (mL CH <sub>4</sub> /L·d)
0	0	111 ± 4	1,49 ± 0,31	145 ± 22
400	20.000	118 ± 5	1,68 ± 0,36	169 ± 44
400	30.000	130 ± 6	1,76 ± 0,33	201 ± 48
700	20.000	118 ± 5	2,06 ± 0,20	206 ± 25

Tabla 2. Coeficiente de producción de metano, velocidad de carga orgánica y velocidad de producción de metano para los distintos lodos pre-tratados añadidos a los digestores

## Conclusiones

- A las distintas energías específicas aplicadas, la solubilización fue más eficiente con una potencia de 700 W que de 400 W. Concretamente, el incremento en DQOs a 20.000 J/g ST fue de 0,137 y 0,113 mg O<sub>2</sub>/g ST a 700 y 400 W, respectivamente.
- El pre-tratamiento de microondas afecta al conjunto de la materia orgánica, resultando en un incremento en el NTsoluble de 0,0127 y 0,0145 mg NTsoluble/g ST a 400 y 700 W, respectivamente. Además, los incrementos de COT, DQOs y NTsoluble son proporcionales, lo que implica solubilización uniforme de la fracción sólida.
- El incremento en la concentración de compuestos solubles no ha comprometido la estabilidad del proceso de biometanización, que se mantuvo dentro de los límites recomendados a las distintas concentraciones de cargas ensayadas.
- Aunque la mejora en la producción total de metano no compensa los requisitos energéticos de la etapa de pre-tratamiento, la r<sub>G</sub> y la VCO aumentaron un 43 y un 39%, respectivamente.

Por tanto, esta tecnología puede ser una opción muy interesante para plantas depuradoras de agua residual con flujos de generación de lodo variables, permitiendo evitar el sobredimensionamiento de dichas plantas, o adaptar plantas ya existentes a mayores generaciones de lodo, con el consecuente beneficio económico y ambiental.

## Referencias

1. Appels L., Houtmeyers S., Degève J., Van Impe J., Dewil R. (2013). Influence of microwave pre-treatment on sludge solubilization and pilot scale semi-continuous anaerobic digestion. *Bioresour. Technol.* 128, 598–603.
2. Gernaey K., Bogaert H., Vanrolleghem P., Van Vooren L. and Verstraete W. (1998). Sensors for nitrogen removal monitoring in wastewater treatment. Lecture held at the Seminar on Application of Biotechnology in Environmental Sciences. Convention on Life Science Applications '98. Gent, Belgium, April 26–29.
3. Hendrickx T.L.G. (2009). Aquatic worm reactor for improved sludge processing and resource recovery. Ph.D. diss., Wageningen University, the Netherlands.
4. Labatut R.A., Gooch C.A. (2012). Monitoring of anaerobic digestion process to optimize performance and prevent system failure. *Proceedings of got manure. Enhancing Environmental and Economic Sustainability*, 209–225.
5. Pilli S., Bhunia P., Yan S., LeBlanc R.J., Tyagi R.D., Surampalli R.Y. (2011). Ultrasonic pretreatment of sludge: A review. *Ultrason. Sonochem.* 18 (1), 1-18.
6. Serrano A., Siles J.A., Martín M.A., Chica A.F., Estévez-Pastor F.S., Toro-Baptista E. (2016). Improvement of anaerobic digestion of sewage sludge through microwave pre-treatment. *J. Environm. Manage.* 15, 177-231.