

Incrementar la eficiencia energética de la digestión anaerobia de lodos EDAR y el uso de pre-tratamiento térmico mediante microondas

E.J. Martínez¹, J.G. Rosas¹, R. Mateos¹, X. Gómez^{1*}

¹ Ingeniería Química, Ambiental y Bioprocesos, Instituto de Recursos Naturales, Universidad de León, Avda. Portugal, 41, 24009, León

xagomb@unileon.es

Resumen

Los altos costes de la energía obligan al incremento de la eficiencia de los procesos destinados a la estabilización de lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR). Los sistemas convencionales para el tratamiento de aguas residuales, si bien cumplen una labor social imprescindible, enfrentan numerosos retos asociados al aumento en el consumo de energía y a los niveles de depuración del agua y estabilización del fango. El alto consumo energético y la inevitable generación de lodos son dos puntos críticos sobre los cuales cualquier tipo de mejora consigue impactar de forma significativa en la gestión sostenible de este tipo de tratamientos.

Los sistemas destinados al pre-tratamiento del fango como el tratamiento con microondas, si bien genera una mejora substancial en el proceso de digestión también presentan un alto impacto en la energía consumida por el proceso.

Palabras Clave: Digestión anaerobia, lodos EDAR, microondas, pre-tratamientos térmicos

Introducción

El tratamiento de lodos por digestión anaerobia (DA) ha sido ampliamente utilizado en las depuradoras de gran tamaño, puesto que permite una importante reducción del volumen de sólidos y un ahorro energético considerable, comparado con el tratamiento aerobio. Además de obtenerse como beneficio adicional energía en forma de calor y electricidad a través del biogás y una mejor estabilización de los lodos. A pesar de que los lodos primarios tradicionalmente han sido tratados por esta vía, cuando se trata de lodos secundarios o también llamados **lodos activados**, el tratamiento depende de muchos factores debido a la fracción recalcitrante de los mismos, la cual se debe principalmente a los exopolímeros que forma parte del flóculo y a las paredes celulares de los microorganismos presentes. Para aumentar la eficiencia del proceso es necesario propiciar ambientes que promuevan tanto la ruptura de la célula como la hidrólisis de las macromoléculas y otros compuestos celulares mediante la aplicación de diferentes pre-tratamientos. Los pre-tratamientos del lodo ayudan a la disminución del tamaño de partícula y la solubilización del material orgánico generando una mejora substancial en el proceso de digestión [1–3], pero también, presentan un alto impacto en la energía consumida en el proceso por lo que es fundamental evaluar de forma adecuada las mejoras significativas que pueden conseguirse con la aplicación de los mismos.

En el presente trabajo se estudian las mejoras conseguidas con la aplicación del pre-tratamiento térmico con microondas en lo que respecta al incremento en la productividad de biogás, en la reducción del tiempo de digestión y por tanto en el aumento de la capacidad de tratamiento del reactor. También se asocian estos parámetros a la eficiencia energética del proceso en términos de la calidad del fango obtenido en función de los requerimientos energéticos necesarios.

Materiales y Métodos

Para la realización de los experimentos se emplearon Lodos primarios, secundarios y como inóculo, lodo digerido obtenido de la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de la ciudad de León, con un contenido en sólidos totales de 37.6 y 29.1 g L⁻¹ respectivamente.

El pre-tratamiento con microondas fue realizado en un horno doméstico, dicho pre-tratamiento se aplicó a 200 mL de lodo activado dispuesto en matraces Erlenmeyer de 500 mL de volumen, tapados para evitar la evaporación. El tiempo de irradiación y la potencia se fijaron para obtener energías de irradiación de 488, 675, 975, 2025, 2700 kJ L⁻¹.

La digestión anaerobia de los lodos se realizó en discontinuo y semicontinuo entre (35-37 °C). Los experimentos en discontinuo se realizaron en matraces Erlenmeyer de 250 mL de volumen dispuestos en baños termostatzados y con agitación magnética. El proceso de digestión en semicontinuo se llevó a cabo en reactores de mezcla completa provistos de agitadores mecánicos.

Resultados y Discusión

La Figura 1a representa la evolución en la solubilización de materia orgánica (MO) en términos de carbono orgánico total (COT) después de la aplicación del pre-tratamiento (antes y después de la digestión). El valor de COT disminuye de un 13 a un 70% con excepción de la muestra sin pre-tratamiento la cual incrementa su valor. Estos valores de COT se situaron entre 1000 y 1500 mg L⁻¹ indicando la liberación de los metabolitos secundarios excretados por los consorcios anaerobios y/o las sustancias sin degradar.

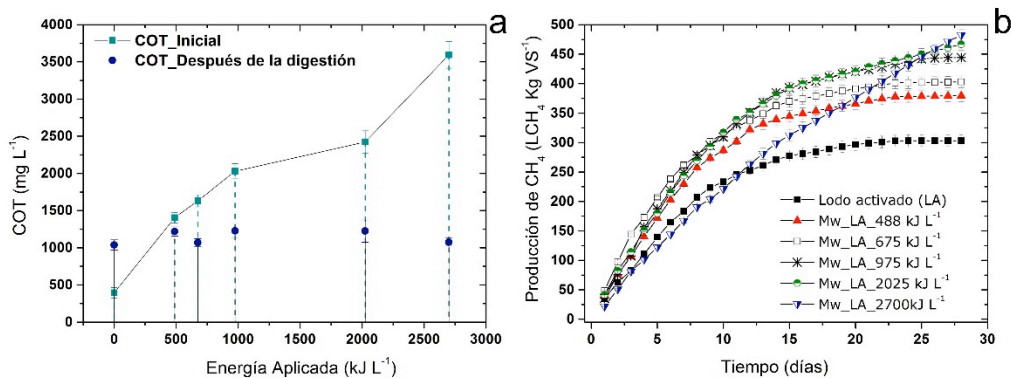


Figura 1. a) Evolución en la solubilización de materia orgánica (MO) en términos de carbono orgánico total (COT); b) Producción específica de metano del lodo y el lodo pretratado con microondas a diferentes energías de irradiación

El incremento en el COT se vio traducido en una mayor producción específica de metano (Figura 1b). A la menor energía aplicada de 488 kJ L⁻¹ se obtuvo un 25% de incremento en la producción específica de metano (PEG) con respecto al sistema sin pre-tratamiento, dicho porcentaje aumentó con el incremento de la energía aplicada. Si bien es cierto que el aumento en la energía se tradujo en una mayor producción de metano, mas allá de 975 kJ L⁻¹ (con un 46% de mejora en la PEG) no se observaron diferencias significativas al incrementar la energía aplicada.

El sistema en semicontinuo fue evaluado con una mezcla de lodo primario y lodo activado de acuerdo a la proporción volumétrica de la EDAR de León (30.4% de Lodo primario, 69.4% de lodo activado). En este caso en uno de los reactores se aplicó el pre-tratamiento con microondas a 975 kJ L⁻¹ a la proporción correspondiente de lodo activado (Figura 2).

Para ambos sistemas se observó una disminución en la producción específica de gas con la disminución del TRH. Sin embargo, los beneficios del pre-tratamiento con microondas son claramente notables obteniéndose entre 40-45% más de metano para los TRH de 25-10 d sobre el sistema sin pre-tratamiento. Diversos autores han demostrado que el pre-tratamiento con microondas presenta una alta eficiencia y beneficio en la PEG en comparación con los procesos convencionales [4-7].

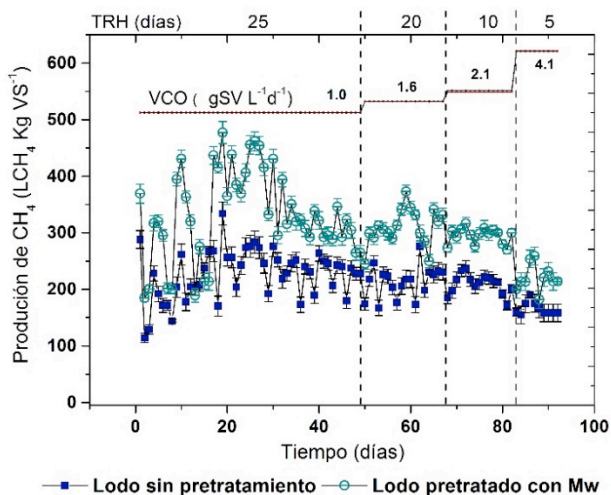


Figura 2. Producción de metano en semicontinuo del lodo y el lodo pretratado con microondas

Adicionalmente se realizó un balance energético para el sistema con lodo pretratado estimando el aprovechamiento de calor del proceso de acuerdo a la ecuación: **EQ total = EQ generada - EQ necesaria en proceso** (Tabla 1). La Figura 3 representa un esquema de las demandas y aportes de energía en forma de calor que ofrece el proceso global. Para este caso de estudio, se estimó un volumen de reactor de 2600 m³, TRH 25 d, carga orgánica de 4071 kg SV d⁻¹ y una PEG de metano de 0.324 m³ de CH₄ kg SV⁻¹.

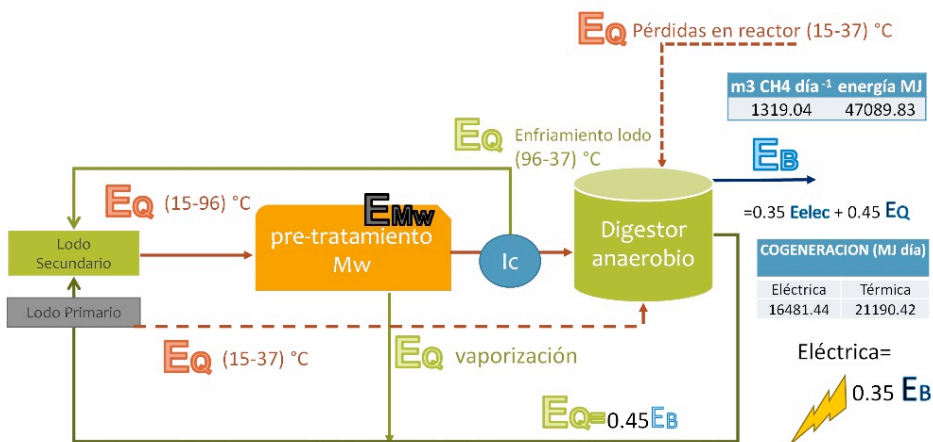


Figura 3. Esquema de balance energético del proceso de digestión anaerobia de lodo pretratado con microondas

De acuerdo al esquema (Figura 3) las principales Demandas son:

- Mantener la temperatura del digester anaerobio (37 °C)
- Energía necesaria para calentar el lodo primario desde la temperatura ambiente hasta la entrada al digester 37°C.
- Energía necesaria por el pre-tratamiento para llevar al lodo activado de temperatura ambiente a temperatura de ebullición alrededor de 96°C .

Y los principales aportes energéticos :

- Calor recuperado por el enfriamiento del lodo secundario de 96° hasta 37°C para la entrada al digester anaerobio.
- Calor de vaporización obtenido por el pre-tratamiento del lodo con microondas
- Energía recuperada por cogeneración es decir 0.45 de la energía en forma de biogás.

Tabla 1. Balance energético estimando para el aprovechamiento de calor de la digestión anaerobia del sistema pretratado con microondas

	MJ día⁻¹
Perdidas en digester (15-37) °C	-10644.48
Calentamiento lodo primario (15-37) °C	-3548.16
Incremento de temperatura de (15-96) °C	-3810.24
Energía térmica del proceso a cubrir	-18002.88
Energía necesaria para el pre-tratamiento (vaporización)	-56878.02
Demandas de energía	-74880.90
Recuperación de calor de Vaporización	40288.64
Enfriamiento lodo secundario (96-37) °C	15727.04
Energía térmica producida en CHP a partir de biogás	21190.42
Aportes de energía	77206.1
EQ total	2325.14

De acuerdo a los resultados reflejados en la Tabla 1, para este particular caso de estudio las demandas de energía en forma de calor del proceso están cubiertas.

Conclusiones

El pre-tratamiento afectó a la solubilización de las partículas orgánicas, observándose un incremento en el material orgánico disponible en la digestión. Se obtuvo una mejora en el rendimiento de metano, gracias al pre-tratamiento, de 24% con la menor energía de pre-tratamiento aplicada. Con la mayor energía aplicada, hasta un 69% en régimen discontinuo en ambos casos. Para el sistema semicontinuo, la mejora fue del 43% aproximadamente respecto al sistema sin pre-tratamiento. Adicionalmente, este reactor presentó una mayor mineralización de la materia orgánica al ser alimentado con lodo pre-tratado. La tecnología de microondas ha demostrado presentar una alta eficiencia y en comparación con los procesos convencionales consigue menores consumos energéticos por unidad de incremento de temperatura logrando de este modo otros beneficios asociados.

Referencias

- [1] E. Ara, M. Sartaj, K. Kennedy, Effect of microwave pre-treatment of thickened waste activated sludge on biogas production from co-digestion of organic fraction of municipal solid waste, thickened waste activated sludge and municipal sludge, *Waste Manag. Res.* 32 (2014) 1200–1209.
- [2] C.M. Braguglia, G. Mininni, A. Gianico, Is sonication effective to improve biogas production and solids reduction in excess sludge digestion?, *Water Sci. Technol.* 57 (2008) 479–484.
- [3] C. Bougrier, A. Battimelli, J.-P. Delgenes, H. Carrere, Combined ozone pretreatment and anaerobic digestion for the reduction of biological sludge production in wastewater treatment, *Ozone Sci. Eng.* 29 (2007) 201–206.
- [4] B. Park, J.H. Ahn, J. Kim, S. Hwang, Use of microwave pretreatment for enhanced anaerobiosis of secondary sludge., *Water Sci. Technol.* 50 (2004) 17–23.
- [5] C. Eskicioglu, K.J. Kennedy, R.L. Droste, Enhanced disinfection and methane production from sewage sludge by microwave irradiation, *Desalination.* 248 (2009) 279–285.
- [6] S.M. Hong, J.K. Park, Y.O. Lee, Mechanisms of microwave irradiation involved in the destruction of fecal coliforms from biosolids, *Water Res.* 38 (2004) 1615–1625.
- [7] S. Beszédes, Z. László, Z.H. Horváth, G. Szabó, C. Hodúr, Comparison of the effects of microwave irradiation with different intensities on the biodegradability of sludge from the dairy- and meat-industry., *Bioresour. Technol.* 102 (2011) 814–21. doi:10.1016/j.biortech.2010.08.121.