

Pretratamiento con ozono de fangos en exceso a digestión anaerobia

Carlos Ferrer¹, J. Guillermo Berlanga¹, David Castell¹, Mairena García¹, Mireia Fiter², Albert Canut², Begoña Ruiz², Jose A. Basiero³, Ignacio Barnácer³, Juan Luis Martínez³
¹FACSA. ²AINIA ³EPSAR



RESUMEN

La cantidad generada de lodos de depuración ha sufrido un elevado crecimiento en los últimos años en la medida que la administración avanza con el cumplimiento de los planes de saneamiento de aguas residuales urbanas y crece el número de industrias que adoptan medidas correctoras para adecuar la calidad de sus vertidos a los límites de vertidos de aplicación. La tendencia es a seguir incrementando la generación de lodos de depuración en los próximos años.

Un adecuado tratamiento y gestión de los lodos de depuración su-

pone en torno al 50% de los costes de explotación de una instalación de tratamiento de aguas residuales.

Resulta pues de interés, el desarrollo de procesos que permitan reducir la cantidad de lodos de depuración a costes razonables. En esta línea existen diversos estudios recientes sobre el uso del ozono sobre los fangos en exceso con objeto de provocar la lisis celular, liberando los componentes internos celulares de forma que en la biomasa ozonizada se incrementa la materia orgánica disuelta disponible como sustrato para los procesos de digestión anaerobia de fangos de forma que finalmente se

genera menor cantidad de lodos y se incrementa la producción de biogás, respecto a la digestión de fango sin ozonizar.

INTRODUCCIÓN

El sistema más extendido, en la actualidad, para tratar los fangos en EDAR a partir de un cierto tamaño, consiste en la digestión anaerobia de los lodos. La digestión suele efectuarse sobre la mezcla de los fangos primarios tras su espesado y los fangos biológicos en exceso tras su espesado por flotación. La digestión anaerobia produce un biogás con un contenido en



metano entre 60-70% frente al gas natural que posee un contenido en metano en torno al 97%. El metano puede ser aprovechado para generar energía eléctrica que es inyectada a la red.

La digestión anaerobia (DA) es un tratamiento de lodos de una EDAR que persigue la reducción del volumen del lodo a gestionar, la destrucción de organismos patógenos, así como también su estabilización junto con la producción de biogás. No obstante, la aplicación de la DA normalmente se encuentra limitada por tiempos de retención muy largos (20-30 días) y una baja eficiencia de degradación de la materia seca de la fracción orgánica (30-50%). Estos factores limitantes están generalmente asociados a la etapa de hidrólisis: durante dicha etapa, las paredes celulares de las bacterias que componen los lodos biológicos, se rompen dando lugar a la liberación de material orgánico rápidamente asimilable para los microorganismos acidogénicos del proceso de DA. Este mecanismo es particularmente importante en la digestión del lodo, ya que el principal componente de su fracción orgánica son las células, que son materia orgánica lentamente biodegradable. Al ser la hidrólisis un paso limitante en la DA del lodo de depuradora, en los últimos años se están investigando como pretratamientos varios métodos de solubilización del lodo. Tales métodos tienen como objetivo romper las paredes celulares de modo que se produce una lisis o degradación de las células del lodo produciendo que la materia orgánica particulada, lentamente biodegradable, se convierta en pesos moleculares bajos y sea rápidamente asimilable.

El desarrollo de procesos que incrementen la eficiencia de la digestión anaerobia da lugar a dos resultados de máximo interés: reducción de la producción de lodos e incremento de la cantidad de metano producida.

Desde finales de los 90, se han investigado varios métodos para desintegrar el lodo: procesos biológicos (e.g. lisis enzimática y autólisis), mecánicos (e.g. molino de bolas, cavitación hidrodinámica, ultrasonidos...), físicos (e.g. congelación, choque osmótico, tratamiento térmico...) y químicos (e.g. hidrólisis ácidas o básicas, oxidación con H_2O_2 / O_2 / Fenton, oxidación con O_3 ...). Las técnicas más investigadas son: degradación mediante oxidación química con ozono, degradación mecánica mediante varios métodos y degradación química o térmica/química.

Destaca en este sentido, la información sobre la problemática social, ambiental y tecnológica derivado de los lodos de depuración, publicada por la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea (<http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/index.htm>).

Esta documentación deriva del proceso actual de revisión que está efectuado la CE de la Directiva 86/278/EC, que regula el uso de lodos de depuración para su aprovechamiento con fines agrícolas, destino al que se prevé la implantación de mayores restricciones legales.

El informe editado por la Comisión Europea "Disposal and recycling routes for sewage sludge" (2002) describe los tratamientos típicos aplicados sobre los lodos en la propia EDAR (espesado, estabilización, acondicionamiento químico, deshidratación y ocasional-





mente secado térmico) así como las diversas vías consolidadas de gestión final del lodo (aplicación agrícola, incineración y vertedero) así como otras vías menos desarrolladas y vías emergentes (silvicultura, oxidación húmeda, pirólisis y gasificación).

H. Odegaard (Sludge minimization technologies – an overview. Water Science and Technology Vol 10 p 31-40, 2004) realiza una revisión del estado del arte y de tecnologías emergentes para el tratamiento de lodos de depuración. En su “review” divide los posibles enfoques existentes entre:

- Reducción de la producción de lodos actuando sobre los procesos generadores.
- Reducción del exceso de lodo biológico por desintegración: mecánica, física, química y térmica. En este último grupo identifica la oxidación de lodos mediante agua supercrítica.

OBJETIVO

El presente proyecto pretende estudiar el proceso de disgregación del fango activado de depuradoras urbanas mediante ozonización y obtener los parámetros de operación que optimizan la producción de biogás en un proceso de digestión anaerobia del fango ozonizado.

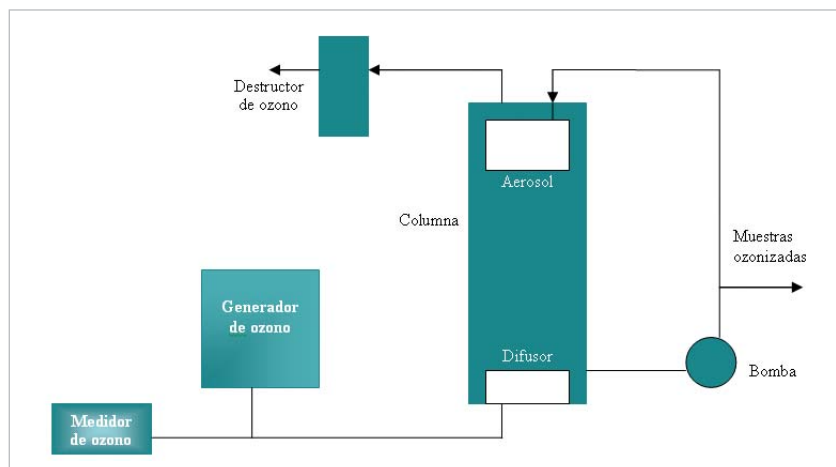


Figura 2. Planta piloto de ozonización



Figura 3. Planta piloto de digestión anaerobia

Asimismo, se pretende determinar la producción energética bajo estas condiciones. Se prevé como efecto de la aplicación del ozono una reducción de la producción de fangos como efecto de la mejora del proceso de digestión.

METODOLOGÍA

En la figura 1, se muestra el método experimental que se ha utilizado en el estudio.

Los diferentes ensayos se llevaron a cabo en una planta piloto de ozonización (figura 2), ubicada en las instalaciones de ainia. Para llevar a cabo el estudio se emplearon lodos biológicos espesados procedentes del flotador de la EDAR de Castellón de la Plana. Para los ensayos de digestión anaerobia, se usó inóculo procedente del digester anaerobio de esta misma EDAR.

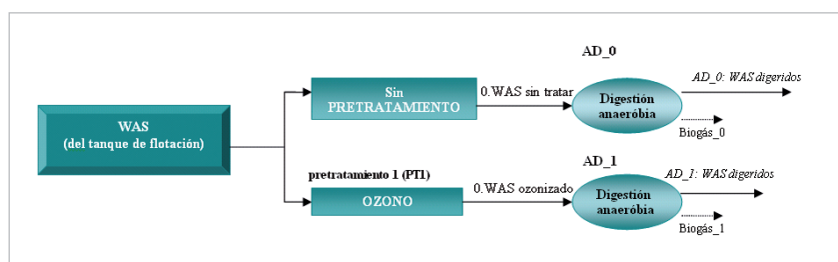


Figura 1. Resumen de condiciones de operación de los ensayos de ozonización de lodos biológicos de la EDAR de Castellón



Tras ozonizar el fango en la planta piloto, se llevaron a cabo ensayos en planta piloto de digestión anaerobia, también en las instalaciones de ainia. Dicha planta se muestra en la figura 3.

Ensayos de ozonización del fango biológico

Se realizaron varios ensayos de pretratamiento mediante ozono de lodos biológicos flotados de la EDAR de Castellón. Cada ensayo se ha realizado con muestra distinta de lodo y se ha dividido, como mínimo, en cinco alícuotas tratadas con dosis diferentes de ozono.

En los montajes experimentales se ha utilizado el mismo concentrador de oxígeno, generador de ozono y analizador de ozono en gas en línea.

Ensayos de producción de biogás

Las muestras de lodos tratados y sin tratar procedentes de los ensayos de ozonización han sido sometidas a un ensayo batch de biodegradación para evaluar su potencial de biometanización. Estos ensayos han sido realizados en las plantas piloto disponibles en ainia, y se han desarrollado según el procedimiento marcado por la norma VDI 4630 "Fermentación de materiales orgánicos".

La digestión anaerobia se llevó a cabo en fermentadores de vidrio. Los fermentadores se alojaron en cámaras a temperatura constante de 33°C (la temperatura de operación de la digestión anaerobia en la EDAR de Castellón).

El volumen de biogás producido se midió de forma constante

mediante contadores Ritter Milligascounter MGC-1, y el análisis de la composición del biogás (CH₄, CO₂, O₂, H₂, H₂S, etc) se realizó utilizando un analizador Awite Serie 4. Dicho analizador está provisto de sensores infrarrojos para el metano, dióxido de carbono y el oxígeno, y sensores electroquímicos para la determinación de hidrógeno y sulfuro de hidrógeno.

Se determinaron los sólidos totales y volátiles de las muestras recibidas, del inóculo (lodo digerido de la EDAR de Castellón) y de los digeridos resultantes del ensayo. Los sólidos totales se determinaron por desecación a 105°C hasta peso constante, y los sólidos volátiles por calcinación a 550°C.



La nueva generación de tubería de PVC Orientado

- La solución más eficiente para conducción de agua a presión
- Producto certificado para conducción de agua potable
- Elevados rendimientos de instalación
- Presiones nominales de 12.5, 16, 20 y 25 atm
- Diámetros nominales de 90 a 630 mm



C/ Duero, 34 28840
Mejorada del Campo MADRID - SPAIN
tel.: +34 902 106 174
fax: +34 902 106 273
www.molecor.com
canalizaciones@molecor.com





RESULTADOS

Ensayos de ozonización del fango biológico

Se realizaron varios ensayos de ozonización de lodos procedentes de la EDAR de Castellón bajo condiciones de operación distintas. Tales condiciones fueron variando en función de los resultados que se fueron obteniendo así como de las dificultades de ejecución.

Se efectuaron 9 ensayos a distintas dosis de ozono (0,75-1,02 g O₃/h). De los 9 ensayos de ozonización realizados, se estudió el efecto del pretratamiento sobre el proceso de digestión anaerobia en tres de ellos.

Como consecuencia del tratamiento oxidativo en todos los ensayos se observa una progresiva decoloración y aumento de la fluidez de la muestra de lodo, así como un aumento de la coloración del agua recogida tras filtrar el lodo según progresa el tratamiento. A continuación se muestra diversas imágenes de lodos flotados y las alícuotas ozonizadas tomadas a diversos tiempos de contacto:



Figura 4. Muestras de lodo flotado y ozonizado (de 0 a 5- dosis crecientes de ozono)



Ensayos de producción de biogás

En la tabla 1 se muestran los resultados de la determinación de sólidos totales y volátiles de las muestras ensayadas.

En la figura 5 se muestran las curvas de producción de biogás acumulada para los sustratos analizados. Se ha normalizado la producción por kg de sólido volátil introducido en el digester. Debe tenerse en cuenta que los resultados se refieren al potencial máximo de producción de biogás, y que en una planta a escala real este valor puede verse reducido en un 20-

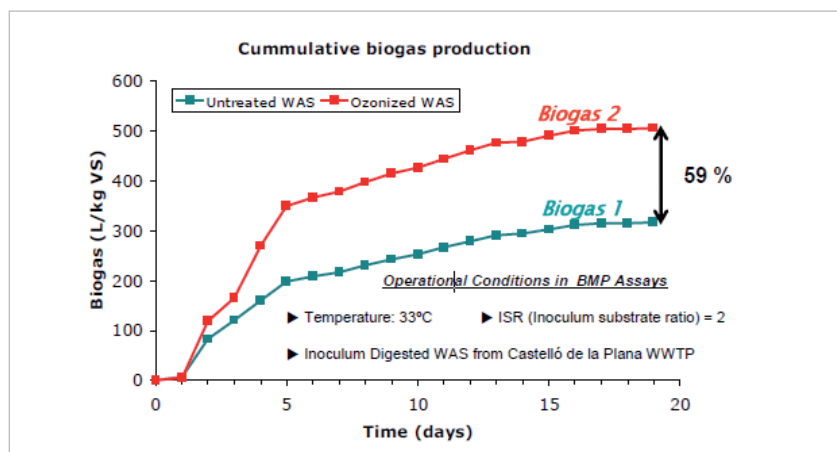


Figura 5. Producción de biogás acumulada, por kg de sólido volátil de sustrato

Tabla 1. Sólidos totales y volátiles de las muestras de lodo utilizadas como sustrato de los ensayos de biometanización

Material	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
	ST (%)	SV (%ST)	ST (%)	SV (%ST)	ST (%)	SV (%ST)
L. digerido	2,09	69	2,58	68	1,55	64,4
L. flotado	3,55	76	2,02	67	2,74	74
L. ozonizado	1,97	73	2	72	2,37	74,3
Índice A (Solubilización DQOd_final/DQOd_inicial)	11,25		6,31		4,62	



40% en función de los parámetros de operación del proceso.

En la figura 6 se representan gráficamente los resultados de producción de biogás y pendiente máxima para una mejor visualización de los mismos. Se ha representado la producción de biogás y de metano (barras sólidas y barras rayadas, respectivamente) y las pendientes máximas (triángulos y círculos). Las pendientes máximas representan la pendiente de la curva de producción de biogás, cuanto mayor es, mayor es la velocidad del proceso de digestión anaerobia de la muestra.

CONCLUSIONES

Todos los ensayos realizados muestran un alto grado de solubilización expresado como un incremento de la DQO soluble. En ge-

neral, como cabría esperar, a mayor dosis mayor grado de solubilización absoluta.

En cuanto a la producción de metano por kg de sólido volátil del lodo ozonizado, el resultado es mejor cuanto mayor es la productividad de biogás. Una mayor producción de biogás da lugar a un balance energético del proceso global más positivo.

Se ha observado un incremento de hasta un 59% en la producción de biogás entre muestras pretratadas y no pretratadas. Este incremento no está relacionado de forma directamente proporcional con la dosis de ozono aplicada.

Se concluye que dosis bajas de ozono (menores

de 0.124 gO₃/gSST) permiten conseguir buena solubilización de las muestras e incrementos de la producción de biogás elevados.

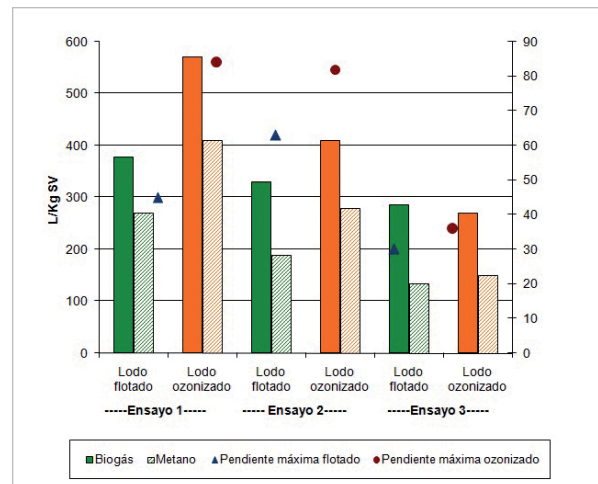


Figura 6. Comparativa de resultados de los ensayos de biometanización. Se ha utilizado el color verde para el lodo flotado y el naranja para el ozonizado. Barras sólidas: producción de biogás. Barras con líneas diagonales: producción de metano. Triángulos: pendiente máxima lodo flotado. Círculos: pendiente máxima lodo ozonizado

REFERENCIAS

2001. J.A. Müller. Prospects and problems of sludge pre-treatment processes. *Water Science and Technology* Vol 44 No 10 pp 121–128.

2002. K.-H. Ahn, I.-T. Yeom, K.-Y. Park, S.-K. Maeng, Y. Lee, K.-G. Song and J.-H. Hwang. Reduction of sludge by ozone treatment and production of carbon source for denitrification. *Water Science and Technology* Vol 46 No 11–12 pp 121–125.

2002. I.T. Yeom, K.R. Lee, Y.H. Lee, K.H. Ahn, and S.H. Lee. Effects of ozone treatment on the biodegradability of sludge from municipal wastewater treatment plants. *Water Science and Technology* Vol 46 No 4–5 pp 421–425.

2003. R. Goel, T. Tokutomi and H. Yasui. Anaerobic digestion of excess activated sludge with ozone pretreatment. *Water Science and Technology* Vol 47 No 12 pp 207–214.

2003. R. Goel, H. Yasui and C. Shibayama. High-performance closed loop anaerobic digestion using pre/post sludge ozonation. *Water Science and Technology* Vol 47 No 12 pp 261–267.

2003. R. Goel, T. Tokutomi, H. Yasui and T. Noike. Optimal process configuration for anaerobic digestion with ozonation. *Water Science and Technology* Vol 48 No 4 pp 85–96.

2004. R. Goel, K. Komatsu, H. Yasui and H. Harada. Process performance and change in sludge characteristics during anaerobic digestion of sewage sludge with ozonation. *Water Science and Technology* Vol 49 No 10 pp 105–113.

2003. Ki Young Park, Kyu-Hong Ahn, Sung Kyu Maeng, Jong Hyuk Hwang. Feasibility of Sludge Ozonation for Stabilization and Conditioning. *Ozone: Science & Engineering*, 25:1,73 – 80.

2004. H. Ødegaard. Sludge minimization technologies – an overview. *Water Science and Technology* Vol 49 No 10 pp 31–40.

2004. M. Sievers, A. Ried and R. Koll. Sludge treatment by ozonation – evaluation of full-scale results. *Water Science and Technology* Vol 49 No 4 pp 247–253.

2007. Claire Bougnier, Audrey Battimelli, Jean-Philippe Delgenes, and Hélène Carrere. Combined Ozone Pretreatment and Anaerobic Digestion for the Reduction of Biological Sludge Production in Wastewater Treatment. *Ozone: Science and Engineering*, 29: 201–206.

2007. S. Dogruel; M. Sievers; F. Germirli-Babuna. Effect of Ozonation on Biodegradability Characteristics of Surplus Activated Sludge. *Ozone: Science and Engineering*, 29: 191–199.

2008. G. Manterola, I. Uriarte, L. Sancho. The effect of operational parameters of the process of sludge ozonation on the solubilisation of organic and nitrogenous compounds. *WATER RESEARCH* 42 (2008) 3191 – 3197.

2008. Gholamreza Moussavi, Hassan Asilian and Akram Jamal. Effect of Ozonation on Reduction of Volume and Mass of Waste Activated Sludge. *Journal of Applied Sciences Research*, 4(2): 122-127, 2008.

2008. Li-Bing Chu, Sang-Tian Yan, Xin-Hui Xing a, An-Feng Yu, Xu-Lin Sun. Enhanced sludge solubilization by microbubble ozonation. *Chemosphere* 72 (2008) 205–212.

2009. Guangming Zhang, Jing Yang, Huanzhi Liu, Jie Zhang. Sludge ozonation: Disintegration, supernatant changes and mechanisms. *Bioresource Technology* 100 (2009) 1505–1509.

2009. Sang-Tian Yan, Li-Bing Chu, Xin-Hui Xing, An-Feng Yu, Xu-Lin Sun, Benjamin Jurcik. Analysis of the mechanism of sludge ozonation by a combination of biological and chemical approaches. *Water research* 43 (2009) 195–203.