

Biometanización a partir de lodos de EDAR y rechazos de planta de compostaje

F.J. Colomer¹, M. Carlos, A. Gallardo, M.D. Bovea, L. Herrera.

INGRES, Ingeniería de Residuos
Depto. Ingeniería Mecánica y Construcción
Universitat Jaume I
Avda. Vicente Sos Baynat, S/N
12071 Castellón
¹tel.: 964728111
e-mail: fcolomer@emc.uji.es

1.- Introducción

La gestión de lodos de las depuradoras de aguas residuales, código CER 190805, tiene la peculiaridad de que ciertos usos y posibilidades de reciclaje están regulados por normas específicas con el objeto de regular el posible efecto nocivo sobre los factores ambientales agua, suelo, vegetación, animales y ser humano. Algunas de estas normas son de carácter agronómico como los lodos utilizados como enmienda orgánica en suelos (Directiva 86/278/CEE; Directiva 91/692/CEE).

Por otra parte, se ha observado un incremento continuado en la generación de lodos de depuradora debido al importante aumento en la depuración de aguas residuales, de forma que mientras que en el año 1998 se generaban en España alrededor de 800.000 toneladas de lodos (PNLD 2001-2006) en el año 2005 esta cantidad se había incrementado en un 39% (PNIR 2008-2015).

Sin embargo, aunque la opción favorable desde el punto de vista económico y ambiental de los lodos es la utilización como enmienda agrícola (preferiblemente compostado y estabilizado), es necesario considerar que estos materiales tienen riesgos de contaminación del medio ambiente, especialmente suelos, por lo que las dosis de aplicación deben fijarse en función de las características agronómicas y edafológicas del suelo, de la presencia de patógenos, de las semillas que contienen y de las exigencias nutricionales de los cultivos (PNIR 2008-2015; Ingelmo et al., 2008). Pero además de estabilizar el producto, es necesario conocer previamente el contenido y las formas químicas de los metales pesados que contiene, es decir, su biodisponibilidad, ya que estos elementos además de no ser biodegradables pueden ser tóxicos a muy bajas concentraciones (MAPA 1990; RD 1310/1990) y tienden a acumularse a lo largo de la cadena alimentaria humana (Dudka y Miller 1999; Amir et al. 2005) lo que hace que lodos con estas características deban ser gestionados como residuos peligrosos.

Por ello, hay ocasiones en que, por no cumplir con los requisitos que marca la ley para considerar el lodo como fertilizante estabilizado, es necesario utilizar otro método de eliminación, ya sea depósito en vertedero, biometanización o combustión controlada.

Por otra parte, en las plantas de compostaje el residuo que no es útil para compostar ni reciclar se le denomina rechazo. Este rechazo es una fracción que suele depositarse en vertedero aunque últimamente se están realizando experiencias para su valorización energética mediante su incineración, su utilización como combustible alternativo en fábricas cementeras (Gallardo et al. 2006; Bovea et al. 2006, Weber et al. 2009) o por medio de gasificación (Galvagno et al. 2009).

Sin embargo en este trabajo se pretende obtener un beneficio adicional de estos residuos de manera que mezclándolos pueda obtenerse, mediante su digestión anaerobia, un biogás con un contenido aceptable de metano.

El biogás, en sentido general, consiste principalmente en metano y dióxido de carbono y es el producto de la digestión anaerobia de un amplio abanico de recursos como la fracción orgánica de los residuos sólidos, lodos de depuradora, efluentes industriales, residuos vegetales, etc. Para aumentar la producción de biogás se han realizado multitud de experiencias, pero no todas han resultado satisfactorias (Pettersson et al. 2007)

La metanización o digestión anaerobia es uno de los procesos más antiguos empleados en la estabilización de lodos concentrados generados en la depuración de aguas residuales. Consiste en la descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular. Posteriormente, se ha demostrado que los residuos orgánicos diluidos también pueden ser tratados anaeróbicamente (Rodríguez 2000; Mitsuharu 2009).

Esta metanización y la de otros residuos orgánicos tiene un interés creciente en la medida en que las reservas naturales de otros combustibles está disminuyendo (Hilkiä 2008).

El biogás con una proporción aceptable de metano (poder calorífico entre 4500–6200 kcal/m³) producido por fermentación anaeróbica de un material orgánico es diferente de otras fuentes de energía renovables como solar, eólica, térmica o hídrica porque además de la energía producida evita los impactos ambientales y sanitarios ocasionados por los residuos mal gestionados (Amigun y Blotnitz 2007).

Así pues y en vista de lo anterior, el grupo de investigación INGRES, Ingeniería de Residuos de la Universitat Jaume I de Castellón se ha planteado la posible obtención de un último beneficio de ese tipo de residuos que, de otra forma, irían a parar a vertedero.

2.- Justificación

Los rechazos son los residuos que, después de ser pasados por una línea de separación y clasificación, no son aprovechables ni para su compostaje, ni para su reciclaje. Es destacable que sólo la provincia de Castellón genera anualmente alrededor de 100.000 toneladas de rechazos.

Así pues el destino final de estos rechazos suele ser el vertedero, aunque últimamente se está intentando que sirvan como material combustible para los hornos de la industria cementera, no obstante esta modalidad de valorización se encuentra en un estado incipiente de explotación.

Por otra parte, los lodos procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas son, en una proporción del 16,1% en España y del 10% en la Comunidad Valenciana, depositados en vertedero (Fuente: Registro Nacional de Lodos, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2003) y, al igual que los rechazos, no tienen ningún tipo de aprovechamiento o valorización posterior y, además provocan una serie de impactos ambientales ya que, entre otros, ocupan espacio, generan lixiviados y producen gases de efecto invernadero.

De este modo, considerando los importantes impactos ambientales ocasionados por el vertido de estos residuos y teniendo en cuenta que pueden ser todavía de alguna utilidad se ha planteado su biometanización, es decir su fermentación anaerobia para generar biogás el cual, por su contenido de metano, es considerado como un gas combustible que puede ser gestionado y aprovechado para obtener energía y para evitar que sea liberado a la atmósfera.

Para desarrollar este trabajo se ha contado con la financiación concedida por la Conselleria d'Educació de la Generalitat Valenciana, proyecto GVPRE/2008/090 en el marco de las ayudas para el fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico en la Comunidad Valenciana para la realización de proyectos precompetitivos de I+D para equipos de investigación.

3.- Metodología de trabajo y resultados obtenidos

El trabajo realizado se ha dividido en dos partes. La primera consiste en la digestión anaerobia de los residuos y la segunda en determinar propiedades físico-químicas del fango resultante y determinar su posible valorización.

1ª Parte:

En primer lugar, personal técnico de una estación depuradora de aguas residuales urbanas envió al laboratorio de INGRES, Ingeniería de Residuos unos 15 kg de lodos digeridos (Figura 1). Mediante el secado de los lodos en estufa se determina su humedad. Para ello se sigue el procedimiento descrito en la norma UNE 32-002 [19]. La humedad media obtenida se representa en la Tabla 1.

En segundo lugar se recogen rechazos triturados con una granulometría en la que el 98,75% pasan por un tamiz de 20 mm (Figura 1). Se secan en estufa a 105°C (Norma UNE 32-002) y se determina su humedad (Tabla 1).



Figura 1: aspecto rechazos y residuos tal y como son recibidos en el laboratorio de INGRES

Una vez se tiene el residuo seco se determina su porcentaje en sólidos volátiles, carbono fijo, cenizas, carbono, nitrógeno y C/N. Así mismo, mediante calorímetro isoperibólico se obtiene su PCI (poder calorífico inferior) (Tabla 1) UNE 32 006:1995 [20].

residuo	Humedad (%)	Sólidos volátiles* (%)	Carbono Fijo* (%)	Cenizas* (%)	C* (%)	N* (%)	C/N	Poder Calorífico Inferior PCI* (cal/kg)
Lodos	67,10	59,03	2,52	38,45	26,62	4,04	6,59	2907,34
Rechazos	17,68	78,70	11,04	10,26	61,49	1,47	41,83	5098,53
MEZCLA	85,00	68,87	6,78	24,36	44,06	2,76	15,96	4002,94

*Sobre materia seca

Tabla 1: propiedades físico-químicas de los lodos y de los rechazos, así como de la mezcla resultante

Conociendo la humedad de ambos residuos, se introducen en un bidón de 50 litros 3,040 kg de lodos digeridos de EDAR urbanas (humedad 67,10%) y 1,215 kg de rechazos de planta de compostaje (humedad 17,68%), lo que representa 1,0 kg de materia seca de cada fracción.

Las condiciones ideales para favorecer la fermentación anaerobia son una temperatura de 35-40°C, un pH neutro y una humedad en torno al 85%. La temperatura controlada se consigue mediante una camisa calefactora y para obtener el 85% de humedad se añade a la mezcla 9,076 litros de agua. El pH de la mezcla es neutro. Para mantener estas condiciones homogéneas en toda la masa se agita el reactor dos veces al día durante 5 minutos.

Se cierra y sella el bidón dejando una válvula por donde sale el gas que se va generando. Este gas se recoge en unas bolsas para recogida de gases y diariamente se mide el volumen mediante dos probetas invertidas (Figura 2) y se analiza su composición por medio de un analizador de gases Dräger MSI Euro.

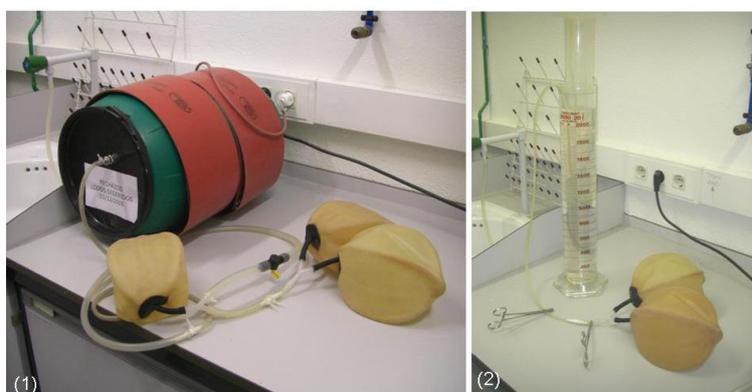


Figura 2: reactor conectado con las bolsas de recogida de gases (1) y medición diaria del volumen de gases generado (2)

Después de 48 días de funcionamiento del reactor se han recogido 155 litros de biogás (Figura 3) con una concentración de metano promedio de 70% llegando a superar entre el día 27 y el 34 el 85% (Figura 4). La humedad se ha incrementado hasta el 88,5% lo cual era previsible ya que una parte de la materia volátil del residuo seco (41,5%) se ha transformado en biogás.

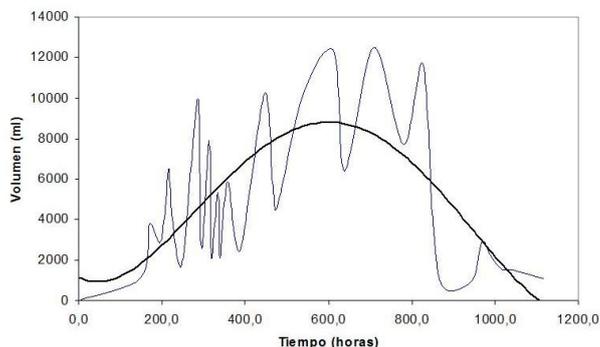


Figura 3: evolución de la generación de biogás durante 48 días.

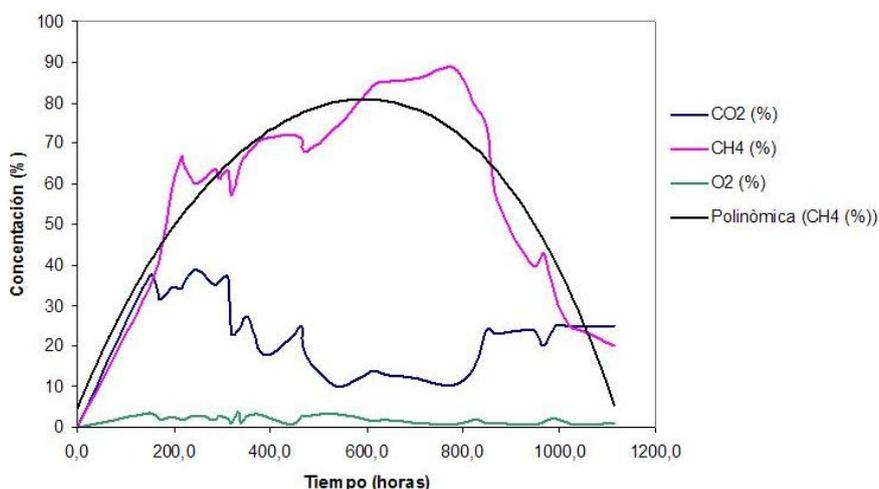


Figura 4: evolución de la composición del biogás generado durante 48 días

Así pues, se ha conseguido extraer un volumen de biogás de 155 litros con un volumen total acumulado de metano de 108,5 litros. Puesto que el poder calorífico del metano es de 8.900 kcal/m^3 se obtiene un poder calorífico total de 965,65 kcal, que es lo mismo que 1,12 kWh.

Si esto se hiciera a gran escala, sabemos que en la Comunidad Valenciana en el año 2003 se generaron 249.259 t de lodo seco de los cuales un 10% va a vertedero (24.926 t). Sabiendo que la población en el año 2003 era de 4.543.304 habitantes sale una generación per capita de 54,86 kg de lodos secos/hab-año. En la provincia de Castellón de 527.345 habitantes se generarían 28.931,70 t. de esas aproximadamente un 10% iría a vertedero. De lo que se trata es de aprovechar ese 10% para valorizarlo mediante su biometanización lo que supondría un total de 2.893,17 t de lodo seco

Por otra parte en la provincia se generan unas 100.000 t de rechazos que van a vertedero con una humedad media del 18%. En base seca sería un peso de 82.000 t. Suponiendo que se pone lodo+rechazo al 50% se utilizarían: 2.893,17 t de lodo seco + 2.893,17 t de rechazo seco. Puesto que en el reactor de biometanización que hemos estado experimentando se ha introducido de lodo seco + rechazo seco en una proporción del 50%.

Así pues si el dato energético obtenido del reactor piloto (1,12 kWh) lo multiplicamos por las toneladas de mezcla nos daría la energía generada total:

$$1,12 \text{ kWh/kg} * 2.893.170 \text{ kg} = 3.240.350,4 \text{ kWh.}$$

Un hogar de familia media puede consumir al año unos 7.500 kWh, luego entonces con la cantidad generada de biogás se podría abastecer a unas 430 familias, es decir a unas 1500 personas.

2ª Parte:

Una vez que la mezcla ha dejado de generar biogás queda en el bidón un residuo pastoso con un 88,5% de humedad que supone un residuo. Si este fango se analiza se pueden determinar sus propiedades físicas y químicas (Tabla 2).

residuo	Humedad (%)	Sólidos volátiles*	Carbono Fijo*	Cenizas*	C* (%)	N* (%)	C/N	Poder Calorífico Inferior PCI* (cal/kg)
Rechazos + lodos después de la digestión	88,5	55,45	6,28	38,27	36,15	1,53	23,63	3593,52

*Sobre materia seca

Tabla 2: propiedades físico-químicas del fango resultante después de 48 días

De esta forma, el residuo resultante seco podría ser valorizado energéticamente o bien aprovechado como fertilizante ya que la relación C/N es aceptable. No obstante, en cualquier caso el fango debería ser secado previamente. Si se quiere utilizar como fertilizante sería suficiente con un secado mecánico por prensado o simplemente por gravedad y si se quiere su valorización energética además habría que someterlo a un secado térmico para que su humedad final se situase por debajo del 15%.

4.- Conclusiones

La mezcla de rechazos procedentes de plantas de compostaje y de lodos de EDAR urbanas se plantea como una alternativa para la valorización de estos residuos mediante su biometanización. Con ello se puede obtener un último beneficio de unos residuos que, de otra forma, irían a parar a vertedero.

El rendimiento energético de esta valorización es aceptable y el residuo resultante de la digestión anaerobia podría, después de secarse, ser empleado como fertilizante o incinerado.

En cualquier caso, la aplicación de este proceso a plantas de compostaje y a estaciones depuradoras de aguas residuales sólo sería rentable si se disminuyen y optimizan las distancias entre los lugares de generación y las instalaciones de biometanización.

5.- Agradecimientos

Agradecemos a la Conselleria d'Educació de la Generalitat Valenciana la financiación de este trabajo de investigación mediante el proyecto GVPRE/2008/090 en el marco de las ayudas para el fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico en la Comunidad Valenciana para la realización de proyectos precompetitivos de I+D para equipos de investigación.

6.- Referencias

Amigun B., von Blottnitz H. (2007) Investigation of scale economies for African biogas installations, *Energy Conversion and Management* 48, pp. 3090–3094.

Amir S, Hafidi M, Merlina G, Revel JC. (2005) Sequential extraction of heavy metals during composting of sewage sludge. *Chemosphere* 59: 801–810.

Bovea, M.D., Gallardo, A., Beltrán, M., Ochera, L., (2006) Aprovechamiento de la fracción mezcla de la planta de reciclaje y compostaje de residuos sólidos urbanos de Onda (Castellón) (II), *Residuos: revista técnica* 92, pp. 38-44.

Directiva 86/278/CEE del Consejo, de 12 de junio de 1986, relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura. *Diario Oficial de la Unión Europea*.

Directiva 91/692/CEE del Consejo, de 23 de diciembre de 1991, sobre la normalización y la racionalización de los informes relativos a la aplicación de determinadas directivas referentes al medio ambiente. *Diario Oficial de la Unión Europea*.

- Dudka S, Miller WP. (1999). Accumulation of potentially toxic elements in plants and their transfer to human food chain. *J. Environ. Sci. Health B*,; 34: 681–708.
- Gallardo, A., Bovea, M.D., Ochera, L., Beltrán, M. (2006). Aprovechamiento de la fracción mezcla de la planta de reciclaje y compostaje de residuos sólidos urbanos de Onda (Castellón) (I), *Residuos: revista técnica* 90, pp. 52-60.
- Galvagno S., Casciaro G., Casu S., Martino M., Mingazzini C., Russo A., Portofino S. (2009) Steam gasification of tyre waste, poplar, and refuse-derived fuel: A comparative análisis, *Waste Management* 29, pp. 678–689.
- Hilkiah Igoni A., Ayotamuno M.J., Eze C.L., Ogaji S.O.T., Probert S.D, (2008) Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. Elsevier. *Applied Energy* 85, pp. 430–438.
- Ingelmo, F., Molina, M^a. J., Soriano, M^a. D., Gallardo, A., Lapeña, L., (2008). Efecto del tiempo de compostaje en la biodisponibilidad de metales pesados en un compost elaborado con lodos de depuradora y virutas de madera. *I Simposio Iberoamericano sobre Ingeniería de Residuos*, isbn: 9788480216654. Ed. Universitat Jaume I, Castellón
- Mitsuharu Terashima, Rajeev Goel, Kazuya Komatsu, Hidenari Yasui, Hiroshi Takahashi, Y.Y. Li, Tatsuya Noike (2009) CFD simulation of mixing in anaerobic digesters. *Bioresource Technology* 100, pp. 2228–2233
- Norma UNE 32-002 Combustibles minerales sólidos. Determinación de la humedad de la muestra para análisis.
- Norma UNE 32-006. Combustibles minerales sólidos. Poder calorífico mediante determinación en calorímetro automático
- Petersson A., Thomsen, M.H., Hauggaard-Nielsen, H., Thomsen, A-B. (2007) Potential bioethanol and biogas production using lignocellulosic biomass from winter rye, oilseed rape and faba bean. *Biomass and Bioenergy* 31, pp. 812–819
- Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales-EDAR (PNLD)-(2001-2006) según RESOLUCIÓN de 14 de junio de 2001, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se dispone la publicación del Acuerdo de Consejo de Ministros, de 1 de junio de 2001, por el que se aprueba el Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales 2001-2006. *BOE 166: 25197-25304*
- Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015, Anexo 5 (II Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales EDAR 2008-2015)
- Real Decreto 1310/1990 de 29 de Octubre por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario. *BOE 262: 32339 – 32340*.
- Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. *BOE 171: 25592-25654*.
- Rodríguez, M.E., (2000) Perspectivas de la metanización en la gestión de residuos. *Residuos: revista técnica* 56, pp. 52-56.
- Weber et al., Jet flames of a refuse derived fuel (2009), *Combust Flame* doi:10.1016/j.combustflame.2008.12.011.