

CODIGESTIÓN DE BIORRESIDUOS PARA SU BIOMETANIZACIÓN

Álvaro Álvarez-Arregui

Lidón Herrera-Prats

Francisco J. Colomer¹

Antonio Gallardo

Mar Carlos-Alberola

Ana M^a Gomez-Parra

Universidad Jaume I

Abstract

The valuation of biowaste using biomethanation offers the chance of getting a fuel gas from waste such as biodegradable municipal waste, sewage sludge, agricultural waste, etc.. On the other hand, several studies are showing that the mixture of different bio-waste in a reactor to produce methane (co-digestion), generates the more volume of biogas and richer in methane than a waste alone.

In this work on co-digestion, the waste has been taken abundantly in the area of Castellon, such as fruit and vegetable waste (horticultural plants), meat waste (slaughterhouses and quartering plants), raw organic waste, gardening waste, rejects, compost (compost plants) and sewage sludge. Mixtures with known concentrations of these residues have been introduced in different controlled anaerobic reactors. The production of biogas and methane has been uneven. While the mixture of raw organic waste, compost and digested sludge has been an interesting volume of biogas with important methane content, in the reactor with orange waste and rejects the production has been really low. Finally, we analyzed the resulting sludge to study its possible exploitation as a fuel or fertilizer.

Keywords: *co-digestion; anaerobic fermentation; biogas; valorization*

Resumen

La valorización de biorresiduos mediante biometanización ofrece la posibilidad de conseguir un gas combustible a partir de residuos tales como desechos urbanos biodegradables, lodos de depuradoras, residuos agropecuarios, etc. Por otro lado, diversas investigaciones están demostrando que la mezcla de distintos biorresiduos en un reactor de biometanización (co-digestión), genera más volumen de biogás y con mayor riqueza en metano que un residuo en solitario.

En este trabajo sobre co-digestión se han tomado residuos abundantes en la zona de Castellón, tales como residuos de frutas y hortalizas (centrales hortofrutícolas), residuos cárnicos (mataderos y salas de despiece), residuo orgánico bruto, restos de jardinería, rechazos, compost (plantas de compostaje) y lodos de depuradora. Mezclas con concentraciones conocidas de estos residuos se han introducido en diferentes reactores en

¹ fcolomer@uji.es depto. Ingeniería Mecánica y Construcción. Universidad Jaume I, Avda. Vicent Sos Baynat s/n, 12071 Castellón.

condiciones anaerobias controladas. La producción de biogás y de metano ha sido desigual. Mientras que en la mezcla de residuo orgánico bruto, lodo digerido y compost se ha producido un volumen interesante de biogás con un importante contenido en metano, en el reactor con residuo de naranja y rechazo la producción ha sido realmente baja. Finalmente, se han analizado los fangos resultantes para estudiar su posible valorización como combustible o como fertilizante.

Palabras clave: *co-digestión; fermentación anaerobia; biogás; valorización*

1. Introducción

Para disminuir la cantidad de residuos que se incineran o se depositan en vertedero, los tratamientos de biometanización son una alternativa a ser considerada ya que, no sólo se reduce el volumen y se estabilizan los residuos, sino que además proporciona biogás, el cual puede ser utilizado como combustible y/o para producir energía. El residuo o digestato que permanece después de la digestión puede tener propiedades fertilizantes y utilizarse como enmienda orgánica (Directiva 2006/12/CE), o como combustible previo secado. El Plan de Biodigestión de Purines (Real Decreto 949/2009) indica la necesidad de que el beneficiario se comprometa a la gestión del digerido cumpliendo con los códigos de buenas prácticas agrícolas (Real Decreto 261/1996), así como la conveniencia de disponer en las plantas de sistemas de tratamiento del digerido que mejoren la gestión del nitrógeno.

Por lo tanto, la metanización o biometanización es un proceso de fermentación o digestión anaerobia de los componentes orgánicos de los residuos que tiene lugar en ausencia de oxígeno, en la cual, parte de la materia orgánica se transforma, por la acción de los microorganismos, en compuestos más sencillos. Estos compuestos son transformados a su vez en ácidos grasos volátiles (AGV), principales intermediarios y moduladores del proceso. Los AGV son consumidos por las arqueas metanogénicas que producen biogás (Stams, 1994), gas compuesto por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) principalmente, con cantidades menores de nitrógeno gas, amoníaco, hidrógeno gas, y sulfuro de hidrógeno (normalmente menos del 1% del volumen total de gas). El metano obtenido puede utilizarse como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles, a la vez que se obtiene una reducción del efecto invernadero. Esta reducción se debe a que en el proceso de combustión del metano se produce CO_2 , el cual tiene un potencial de calentamiento global 21-23 veces inferior al del metano. Aparte de esta ventaja, reduce olores y patógenos, requiere poco espacio para su tratamiento y pueden tratarse residuos líquidos y pastosos (Braber, 1995; Shih, 1987; Shih, 1993). Además, muchos de los nutrientes permanecen en el material tras su tratamiento, por lo que el residuo resultante o digestato puede recuperarse para el empleo como enmienda orgánica en la agricultura (Salminen, et al., 2001; Salminen & Einola, 2001; Shih, 1987; Shih, 1993; Sudradjat, 1990; Vermeulen, et al., 1992)

2. Material y métodos

Para desarrollar esta investigación se ha contado con 8 tipos diferentes de residuos, los cuales son fáciles y bastante abundantes en la provincia de Castellón. En la tabla 1 se representan las propiedades físicas y químicas de los siguientes residuos:

Tabla 1: características de los residuos

Residuo	Humedad (%)	C (%) sms ²	N (%) sms ²	C/N sms ²	SV ¹ (%) sms ²	
Lodo EDAR	No digerido	94,20	32,69	3,91	8,36	68,21
	Digerido	70,88	26,62	4,04	6,59	59,03
Naranja triturada		92,01	40,58	2,95	17,76	81,33
ROB		52,83	36,90	1,82	20,27	64,35
Compost		40,89	36,37	1,63	22,31	60,64
Rechazos		17,68	39,59	0,99	41,83	72,63
Residuos cárnicos	Carne porcina	74,12	43,02	11,98	3,59	86,86
	Sangre	80,80	28,28	15,87	1,78	83,56
Residuos jardinería	Poda árboles	10,55	42,95	0,71	60,31	78,78
	Poda herbácea	47,74	41,33	1,086	38,05	75,45

¹SV: sólidos volátiles

²sms: sobre masa seca

- Lodo EDAR digerido (LD): lodo de una estación depuradora de aguas residuales urbana, espesado y digerido, procedente del digester anaerobio con un secado por centrifugación.
- Lodo EDAR no digerido (LND): lodo de una estación depuradora cercana de aguas residuales urbana, procedente del reactor biológico, previo a la entrada al digester anaerobio.
- Naranja triturada: es el residuo generado en las centrales citrícolas, muy abundantes en el levante español. Los frutos podridos, semipodridos o estropeados se trituran en la misma instalación, tomando el aspecto de una papilla.
- Residuo orgánico bruto (ROB): cuando los RSU llegan a la planta de compostaje pasan a través de un tromel donde la fracción orgánica es separada del resto de residuos. A esta fracción orgánica antes de su fermentación aerobia se le conoce como ROB.
- Compost: es un residuo ya fermentado y madurado, por tanto estabilizado. Sin embargo, debido a la considerable cantidad y calidad de los nutrientes que contiene, puede ser un sustrato adecuado para las bacterias anaerobias.
- Rechazos: a los residuos no compostables y no reciclables que se generan en una planta de compostaje se le denominan rechazos. Posteriormente se trituran hasta un tamaño de 25 mm. Pese a que la mayor parte de los rechazos la constituyen plástico tipo film y papel sucio, suelen tener adherida materia orgánica fermentable, por lo que puede tener posibilidades de contribuir a facilitar la fermentación anaerobia.
- Restos cárnicos (carne): la carne porcina es procedente de un matadero de la comarca, y se experimentó con ésta el mismo día en que el animal fue matado.
- Restos cárnicos (sangre): la sangre de cerdo fue suministrada por el mismo proveedor anterior y se comenzó la experimentación el mismo día de su extracción.
- Residuos de jardinería (poda de árboles): se compone de ramas trituradas, casi exentas de hojas, procedentes del área ajardinada de la Universidad Jaume I.
- Residuos de jardinería (herbáceos): integrado por la poda de matorral y arbusto, posteriormente triturados, de las zonas verdes de la Universidad Jaume I.

Para optimizar el proceso de fermentación anaerobia se deben controlar una serie de parámetros. Entre estos parámetros están:

- **Temperatura:** es uno de los parámetros con mayor influencia en la fermentación anaerobia (Guerrero, et al., 1999). Las investigaciones indican, en general, que la fermentación se favorece a temperaturas dentro del rango termofílico pues incrementan la solubilización de la materia orgánica en suspensión y la producción de ácidos grasos volátiles. Sin embargo, tiene ciertas desventajas (Guerrero, et al., 1999; Penaud, et al., 1997) como el alto requerimiento energético, el tiempo necesario para el establecimiento de la población bacteriana y la mayor sensibilidad a variaciones de temperatura. Así pues, en esta experiencia se ha optado por un rango mesofílico, en el cual la temperatura óptima de fermentación puede encontrarse entre 25°C y 35°C (Penaud, et al., 1997; Maharaj, et al., 2001). Esta temperatura se ha conseguido gracias a unas camisas calefactoras que rodean cada biorreactor. Movimientos periódicos aseguran la homogeneidad en los parámetros.
- **Oxígeno:** al tratarse de una fermentación anaerobia la presencia de oxígeno en la atmósfera interior del reactor debe ser nula (Buenrostro, et al., 2000). Una vez que el reactor se ha llenado con el sustrato correspondiente se extrae el aire con una bomba de vacío y se llena de nitrógeno gaseoso.
- **Humedad:** Se sugiere alrededor del 10 – 15% de materia seca, ya que una mayor concentración hace más difícil la homogeneización de los residuos dentro del digestor y disminuye la actividad microbiana (Buenrostro, et al., 2000; Young, 1986). En los reactores se ha experimentado un porcentaje de materia seca algo mayor para comprobar la influencia de la humedad en la digestión anaerobia.
- **Tiempo de residencia:** se ha establecido en 70 días.
- **pH:** aunque el pH en los procesos de digestión anaerobia ha sido poco estudiado, en esta investigación se ha mantenido el pH inicial que ha proporcionado la mezcla de residuos.

Con los datos de cada uno de los residuos se realizan distintas mezclas entre ellos, las cuales se introducen en 11 reactores anaerobios completamente estancos. El contenido y las características de cada reactor se resumen en la tabla 2.

Los reactores consisten en unos bidones de 10,4 L de capacidad con cierre hermético y una válvula de salida. En la válvula se conecta una tubería que conduce el biogás generado hasta unas bolsas hinchables de poliamida (Figura 1.a). Los reactores se colocan en una cámara Ensayos Climaticos Dycometal modelo cck-30/300 con regulación mediante microprocesador y software de programación y adquisición de datos, a una temperatura de 35°C. Diariamente se mide el volumen de biogás (Figura 1.b) y se analiza su composición mediante un analizador de gases Dräger MSI Euro® y por análisis cromatográfico con el equipo Perkin Elmer® modelo Autosystem XL.

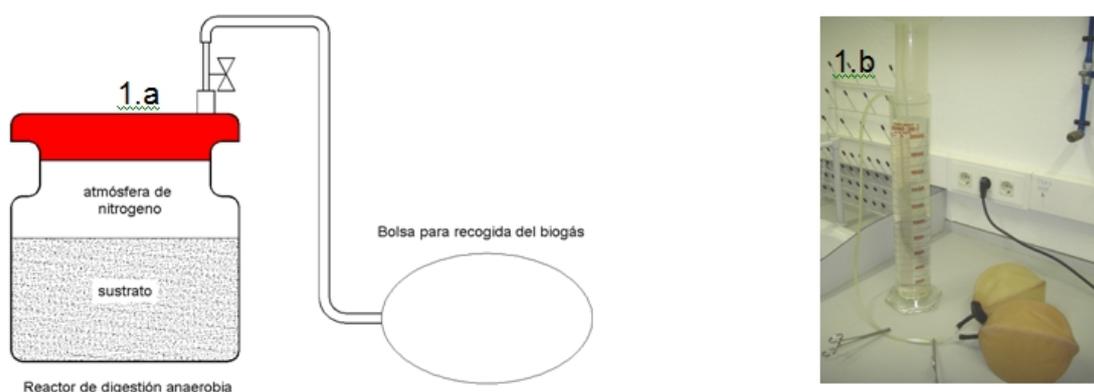
Tabla 2: composición del sustrato en cada reactor

REACTOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Humedad (%)	70,00	70,00	85,00	70,00	75,00	88,50	88,50	80,00	86,69	87,15	83,95
Lodo digerido (kg) sms	0,30	0,30	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Lodo no digerido (kg) sms	--	--	--	--	0,035	0,050	0,050	0,025	0,060	0,060	0,040
Naranja (kg) sms	0,3	--	0,5	0,3	--	--	--	--	--	--	--
ROB (kg) sms	--	0,30	--	--	0,25	--	--	--	--	--	--
Compost (kg) sms	--	0,30	--	1,23	--	--	--	--	--	--	--
Rechazos (kg) sms	0,362	--	0,535	--	--	0,025	0,050	0,050	--	--	--

Carne (kg) sms	--	--	--	--	--	--	--	--	0,24	0,24	0,24
Sangre (kg) sms	--	--	--	--	--	--	--	--	0,06	0,10	0,06
Restos de poda (kg) sms	--	--	--	--	--	--	--	--	0,24	0,20	--
Restos herbáceos (kg) sms	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0,26
pH de la mezcla	4,44	6,37	4,21	5,02	5,81	6,01	6,02	6,03	6,22	6,28	6,23

Una vez que se ha transcurrido el tiempo de residencia se analiza el fango resultante de la digestión. Éste puede ser utilizado como fertilizante orgánico o valorizarse energéticamente. Sin embargo, esta segunda opción presenta el inconveniente de la elevada humedad, por lo que debería secarse previamente a su transporte hasta la planta de incineradora.

Figura 1: (1.a) representación esquemática de los biorreactores, (1.b) medición del volumen de biogás acumulado en las bolsas de recogida.



4. Discusión de resultados

4.1. Digestión anaerobia

Los resultados del biogás generado en cada periodo de tiempo, el biogás generado acumulado en los 70 días y el porcentaje de metano en el biogás se muestran en las figuras siguientes. El dato que se representa es el de miligramos de biogás generado por cada kilogramo de materia seca (ml biogás/kg m.s.) y el porcentaje (%) de metano (CH_4). El resto de gases medidos que componen el biogás son CO_2 (hasta 63%), SO_2 (hasta 80 ppm) y NH_3 (hasta 245 ppm).

Figura 2: REACTOR 1 (2.a) representación gráfica del biogás generado, (2.b) evolución del porcentaje de metano en el biogás generado.

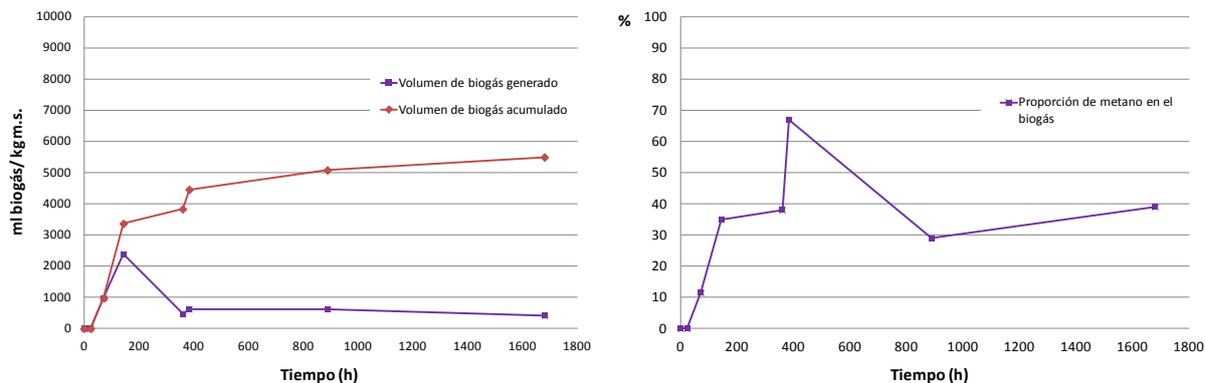


Figura 3: REACTOR 2 (3.a) representación gráfica del biogás generado, (3.b) evolución del porcentaje de metano en el biogás generado.

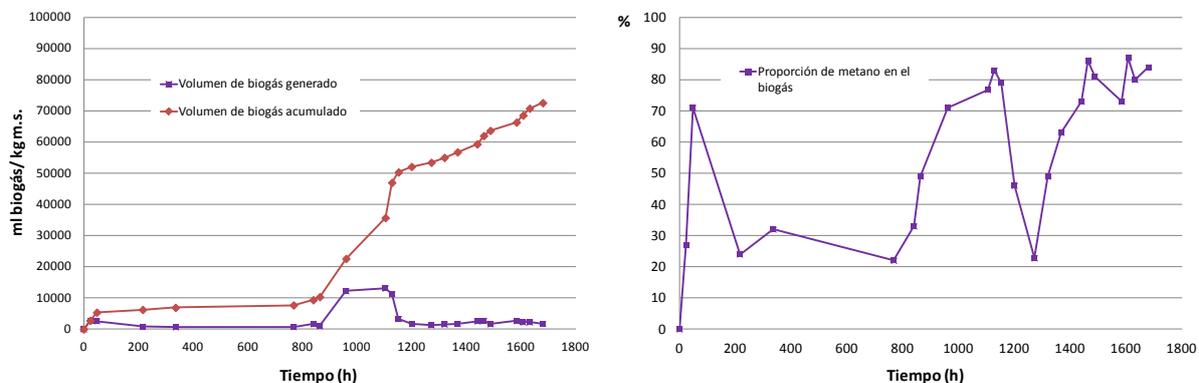


Figura 4: REACTOR 3 (4.a) representación gráfica del biogás generado, (4.b) evolución del porcentaje de metano en el biogás generado.

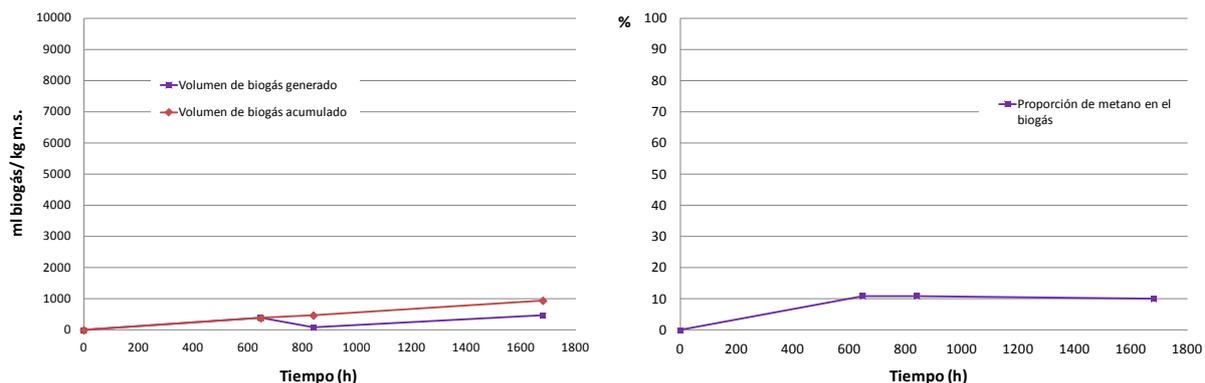


Figura 5: REACTOR 4 (5.a) representación gráfica del biogás generado, (5.b) evolución del porcentaje de metano en el biogás generado.

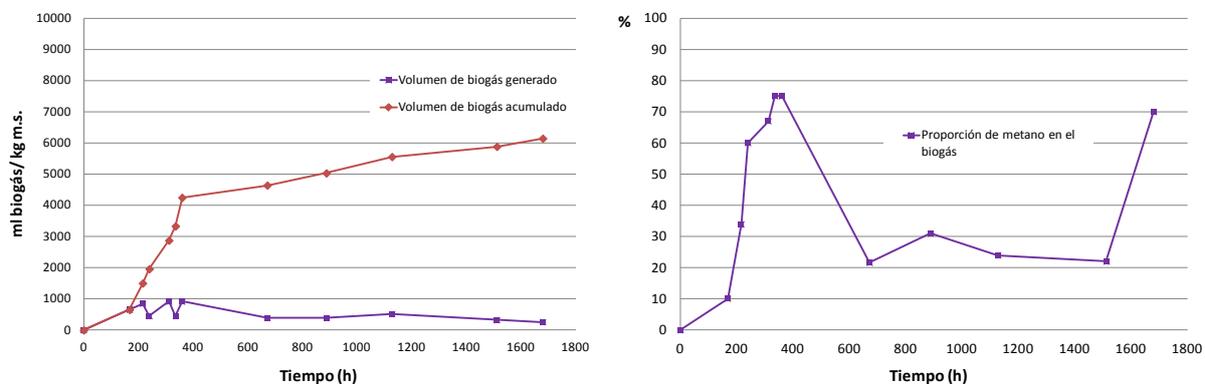


Figura 6: REACTOR 5 (6.a) representación gráfica del biogás generado, (6.b) evolución del porcentaje de metano en el biogás generado.

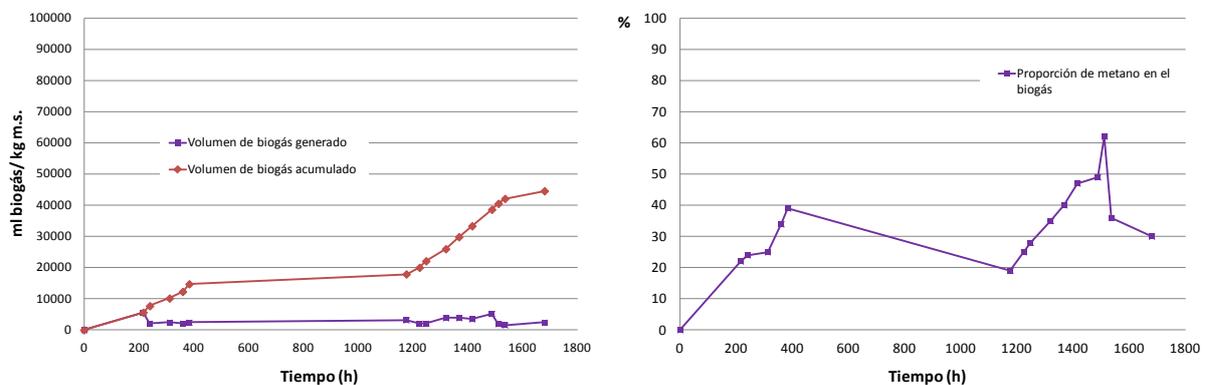


Figura 7: REACTOR 6 (7.a) representación gráfica del biogás generado, (7.b) evolución del porcentaje de metano en el biogás generado.

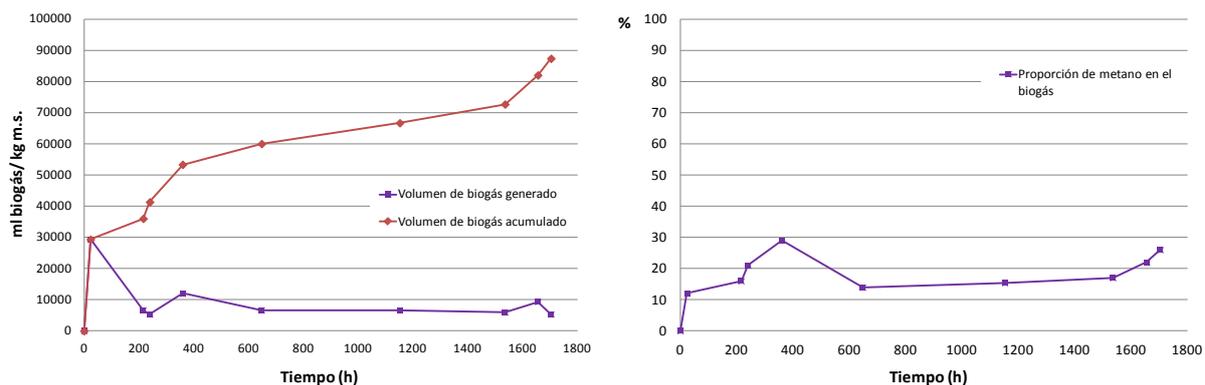


Figura 8: REACTOR 7 (8.a) representación gráfica del biogás generado, (8.b) evolución del porcentaje de metano en el biogás generado.

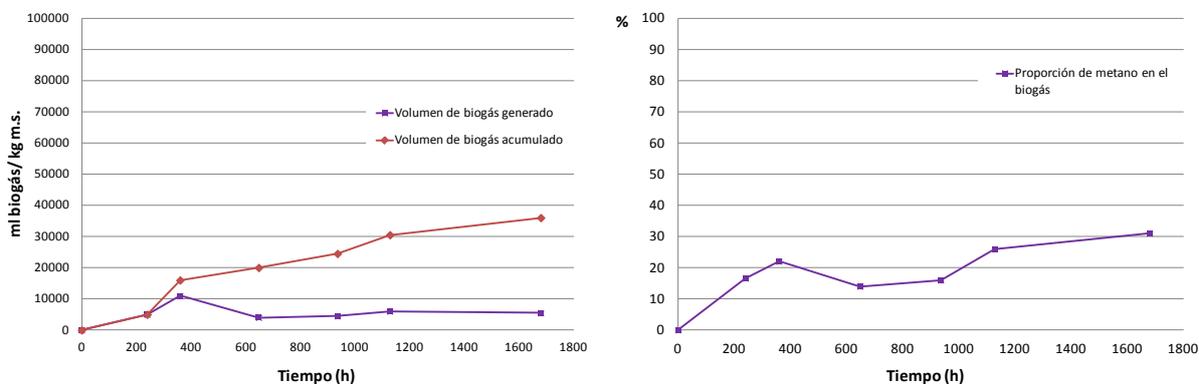


Figura 9: REACTOR 8 (9.a) representación gráfica del biogás generado, (9.b) evolución del porcentaje de metano en el biogás generado.

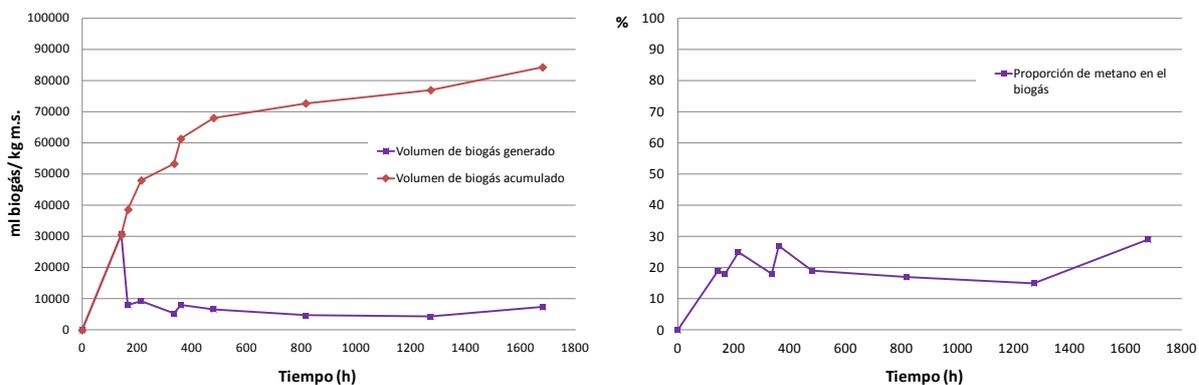


Figura 10: REACTOR 9 (10.a) representación gráfica del biogás generado, (10.b) evolución del porcentaje de metano en el biogás generado.

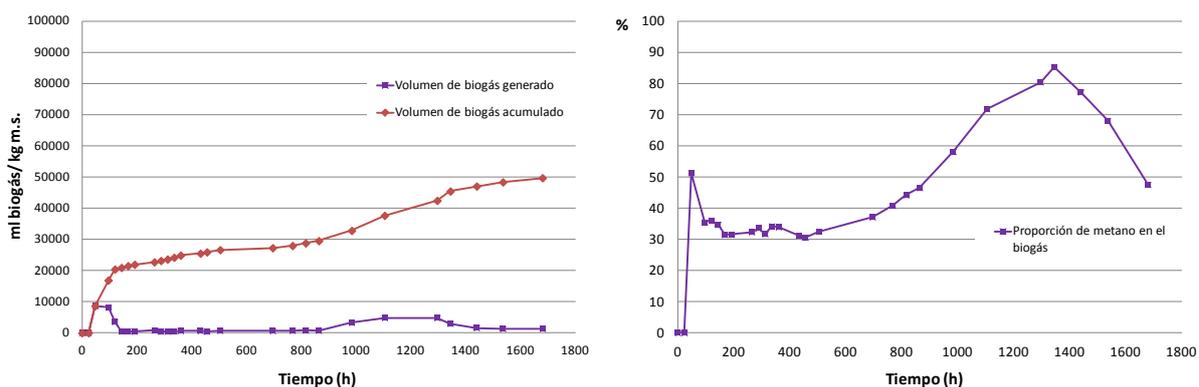


Figura 11: REACTOR 10 (11.a) representación gráfica del biogás generado, (11.b) evolución del porcentaje de metano en el biogás generado.

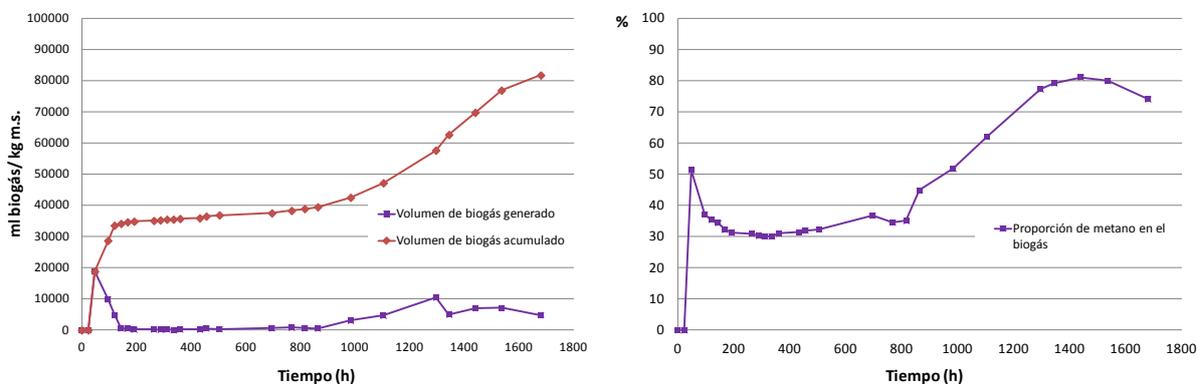
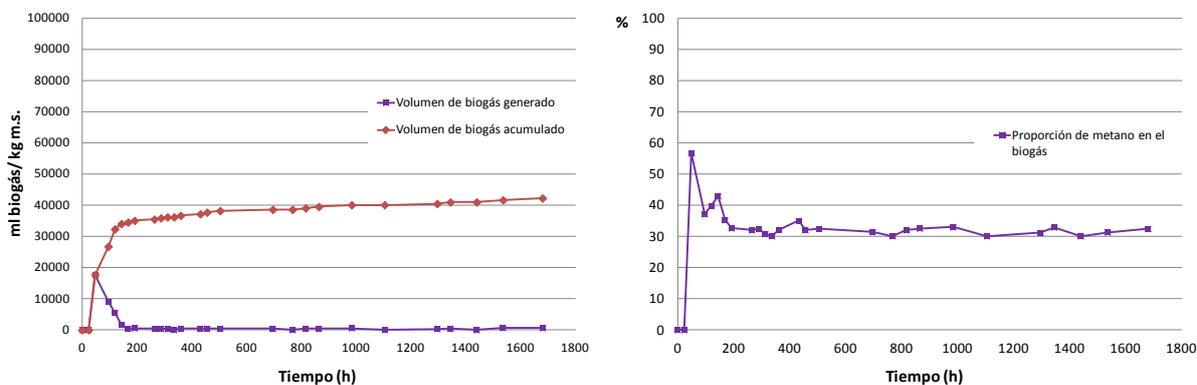


Figura 12: REACTOR 11 (12.a) representación gráfica del biogás generado, (12.b) evolución del porcentaje de metano en el biogás generado.



El porcentaje de metano que contiene el biogás es el que le proporciona valor como combustible ($PCI = 37,5 \text{ kJ/L}$). En la tabla 3 se resumen los datos obtenidos en la experiencia. En la figura 10 se presenta un diagrama en el que se compara el rendimiento energético (kJ) que se obtendría de cada reactor con el tiempo de residencia tomado.

Tabla 3: resumen de los datos obtenidos en los biorreactores por kg de sustrato (m.s.)

Reactor	Vol. biogás acumulado (L)	% Metano	Vol. metano (L)	Energía metano (kJ)
1	5,49	34,33	1,89	70,88
2	72,53	69,79	50,62	1898,25
3	0,95	9,40	0,09	3,47
4	6,14	46,53	2,86	107,25
5	44,56	34,49	15,37	576,38
6	87,33	17,87	15,61	585,38
7	36,00	21,65	7,80	292,50
8	84,26	20,82	17,55	658,13
9	49,68	53,94	26,45	991,88
10	81,68	59,50	48,61	1822,88
11	42,23	44,95	18,99	712,13

La mezcla que más biogás ha generado por kg de materia seca ha sido la del biorreactor 2, además de generar una concentración más elevada que el resto (69,79%). Por otro lado, es destacable la energía producida por el biorreactor 10 que llegó a los 1822,88 kJ, ya que el mayor porcentaje de sangre aumenta la riqueza de metano en el biogás.

Por otro lado, la presencia de rechazos ha demostrado influir negativamente en la producción de biogás y de metano, ya que los reactores 6, 7 y 8 con los mismos componentes (lodos EDAR no digeridos + rechazos) pero en distintas proporciones (2:1 – 1:1 – 1:2 respectivamente) han tenido producciones de biogás y riquezas de metano decrecientes en función del incremento de rechazos. Esto, sin embargo, es lógico, ya que los rechazos están compuestos en su mayor parte por residuos no biodegradables (fundamentalmente plástico film) y una mínima parte de materia putrescible residual. Por ello, la fermentación se complica y ralentiza. Por otra parte, los biorreactores compuestos con restos cárnicos han demostrado unos niveles más altos de concentración de metano, especialmente en el biorreactor 10.

4.2. Fangos resultantes

Después de finalizado el tiempo de residencia de la digestión anaerobia queda un fango resultante que contiene el residuo de la mezcla. Es un residuo con humedades similares a las iniciales, de un persistente e intenso mal olor y con unos contenidos en carbono y nitrógeno inferiores al inicial (Tabla 4). El fango resultante puede ser utilizado como fertilizante en la mayor parte de los casos ya que están compuestos por residuos asimilables fácilmente por las plantas. En principio, el contenido en metales pesados o productos químicos debería ser mínimo y cumplir la normativa vigente en cuanto a su uso como fertilizante.

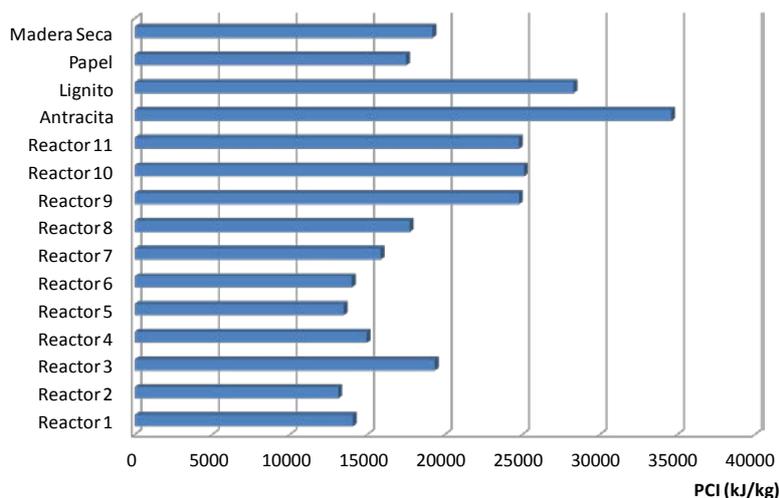
Otra forma de eliminación sería el vertedero, aunque su elevado contenido en agua aconsejaría un secado mecánico previo al transporte hasta vertedero. La tercera opción sería la incineración con recuperación de energía. Esta opción es bastante desfavorable desde el punto de vista energético, ya que para que el fango fuera aceptado como combustible, debería eliminarse la mayor parte del agua hasta alcanzar un contenido en humedad del 10 – 15% como máximo (Ochera, et al., 2003; Colomer, et al., 2009). En la tabla 4 se presenta el poder calorífico inferior (PCI) de los fangos resultantes en base seca y con un contenido en humedad en torno al 15%. Se muestra también el contenido en cenizas, la concentración de Carbono y Nitrógeno, así como la relación C/N, en base seca.

Tabla 4: propiedades físico-químicas de los fangos resultantes en los reactores

Reactor	C (%) sms	N (%) sms	C/N sms	Cenizas (%) sms	PCI (kJ/kg) sms	PCI (kJ/kg) 15%
1	29,28	3,13	9,67	19,97	14064,49	11954,82
2	26,29	2,25	13,02	26,53	13126,21	11157,28
3	37,56	1,79	20,42	8,15	19359,28	16455,39
4	29,20	1,81	17,70	23,15	14960,32	12716,27
5	31,38	1,98	17,36	26,93	13478,34	11456,59
6	28,67	2,81	11,27	36,13	13998,57	11898,78
7	29,14	2,25	12,95	30,23	15863,52	13483,99
8	30,29	1,71	17,71	24,33	17728,47	15069,20
9	52,14	3,09	16,86	16,85	24782,10	21064,79
10	54,64	3,47	15,75	16,44	25110,63	21344,04
11	54,10	4,06	13,34	15,99	24773,60	21057,56

Según los datos de la tabla 4 el PCI de los fangos resultantes tiene un valor aceptable para ser empleado como combustible. Los biorreactores 9, 10 y 11, compuestos por restos cárnicos, superan los 2400 kJ/kg. Por otro lado, el reactor 3 destaca por su elevado contenido en plástico en la mezcla residuos orgánicos brutos. Sin embargo, estos valores están referidos al fango seco o con un 15% de humedad. En la figura 13 se compara el PCI de los fangos con otros combustibles comúnmente utilizados. Se puede comprobar que el poder calorífico de algunos de ellos es similar al del papel o la madera.

Figura 13: poder calorífico obtenido en la incineración de los fangos resultantes secos, comparados con otros combustibles.



5. Conclusiones

A la vista de la problemática de la gestión de residuos en las zonas densamente pobladas y más específicamente en el ámbito de la provincia de Castellón (España) se puede plantear una alternativa a la gestión tradicional que pasa por la biometanización de los residuos putrescibles. Esta alternativa contempla mezclas con distintas proporciones entre los residuos más abundantes en la zona objeto de estudio de forma que se busquen sinergias entre ellos a la hora de generar biogás como consecuencia de la fermentación anaerobia. Combinando los distintos residuos en distintas concentraciones, se encontró que la mezcla de lodo digerido, residuos orgánicos brutos y compost, perteneciente al reactor 2, generó la mayor cantidad de biogás, llegando a un 69,79% de metano (1708,57 kJ). Sin embargo, la mezcla del reactor 3 con naranja triturada y rechazos ha proporcionado una menor cantidad de biogás. Por otro lado, se comprobó que un aumento del contenido en volumen de sangre aumenta la riqueza de biogás.

El fango resultante de la biometanización tiene una elevada humedad por lo que se propone un secado mecánico hasta niveles de humedad del 10 – 15% para que se abarate su transporte hasta terreno agrícola para ser empleado como enmienda orgánica, o hasta una planta de incineración para ser valorizado energéticamente. En esta segunda opción, los fangos de los reactores con residuos cárnicos poseen un mayor poder calorífico, especialmente en el generado en el reactor 10 (lodo no digerido, carne, sangre y restos de poda).

6. Agradecimientos

Se agradece la financiación del proyecto P11B2011-34 dentro del marco de PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DE LA ACCIÓN 1.1. DE LA CONVOCATORIA DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL PLAN DE PROMOCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD JAUME I –BANCAIXA, con el título Posibilidades de biometanización a partir de distintos tipos de residuos biodegradables.

7. Referencias bibliográficas

- Braber, K. (1995). Anaerobic digestion of municipal solid waste: a modern disposal option on the verge of breakthrough. *Biomass Bioenergy*, 9, 365-376.
- Buenrostro, O., Cram, S., Bernache, G. & Bocco, G. (2000). La digestión anaerobia como alternativa de tratamiento a los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados municipales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 16, 19-26.
- Colomer, F.J., Carlos, M., Herrera, L., Gallardo, A. & Bovea, M.D. (2009). Viabilidad de la valorización energética de lodos procedentes de distintos tipos de depuradora. *Residuos*, 110, 32-37.
- Directiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de abril de 2006 relativa a los residuos.
- Guerrero L., Omil, F. & Lema, J.M. (1999). Anaerobic hidrolisis and acidogenesis of wastewaters from food industries with high content of organic solids and protein. *Water Resources*, 33 (15), 3281-3290.
- Maharaj, I. & Elefsiniotis, P. (2001). The role of HRT and low temperature on the acidphase anaerobic digestion of municipal and industrial wastewaters. *Bioresource Technology*, 76, 191-197.
- Ochera, L. & Permuy, D. (2003). Lodos industriales a pequeña escala: mejoras en su digestión haciendo uso de un proceso de secado térmico de los fangos. *Residuos*, 75, 36-41.
- Penaud, V., Delgenes, J.P., Torrijos, M., Moletta, R., Vanhoutte, B. & Cans, P. (1997) Definition of optimal conditions for the hydrolysis and acidogenesis of a pharmaceutical microbial biomass. *Process Biochemistry*, 32 (6), 515-521.
- Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero de 1996, sobreprotección de aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. BOE 61, 9734-9737.
- Real Decreto 949/2009, de 5 de junio de 2009, por el que se establecen las bases reguladoras de las subvenciones estatales para fomentar la aplicación de los procesos técnicos del Plan de biodigestión de purines. BOE 151, 52291-52301.
- Salminen, E., Rintala, J., Härkönen, J., Kuitunen, M., Högmänder, H. & Oikari, A. (2001) Anaerobically digested solid poultry slaughterhouse wastes to be used as fertiliser on agricultural soil. *Bioresour Technol.*, 78, 81-88.
- Salminen, E., & Einola, J. (2001). Characterisation and anaerobic batch degradation of materials accumulating in anaerobic digesters treating poultry slaughterhouse waste. *Environ. Technol.*, 22, 577-585.
- Shih, J.C.H. (1987). Ecological benefits of anaerobic digestion. *Poultry Sci.*, 66, 946-950.
- Shih, J.C.H. (1993). Recent development in poultry waste digestion and feather utilization. *Poultry Sci.*, 72, 1617-1620.

- Stams, A.J.M. (1994). Metabolic interactions between anaerobic bacteria in methanogenic environments. *Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology*, 66, 271-294.
- Sudradjat, R. (1990). *Transformations and uses of digested solid organic residues*. Tesis doctoral, Rijksuniversiteit Gent, Bélgica.
- Vermeulen, J., Huysmans, A., Crespo, M., Van Lierde, A., De Rycke, A. & Verstraete, W. (1992, April). Processing of biowaste by anaerobic composting to plant growth substrates. *Proceedings of the International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste*. Venecia, Italia.
- Young, M. (1984). Digestores anaerobios: criterios de selección, diseño y construcción. INIREB. Xalapa, Veracruz.