

RETEMA

Revista Técnica de Medio Ambiente

www.retema.es

NUEVA WEB

Nº 165 MARZO - ABRIL 2013

Planta de Recuperación y Compostaje
de Loma de Manzanares. Alhendín (Granada)

Página 47



TRATAMIENTO Y GESTIÓN DE RESIDUOS

Planta de TMB de Monte Arráiz, Bilbao
Planta de Recuperación y Compostaje de
Loma de Manzanares, Alhendín (Granada)
Biogás - Biometanización - Biocombustibles

Artículos / Proyectos / Directorio de Empresas
Actualidad / Novedades / Nuevas Tecnologías

STADLER®

STADLER® ha suministrado e integrado la
planta de tratamiento mecánico de clasificación
de RSU y la planta de afino de Compost de la
Planta de Recuperación y Compostaje de
Loma de Manzanares de Alhendín (Granada)

info@stadlerselecciona.com / Tel.: 926 58 89 77 / Fax: 926 58 86 26

WWW.STADLERSELECCIONA.COM



RETEMA

Revista Técnica de Medio Ambiente

EDITA

C & M PUBLICACIONES, S.L.

DIRECTOR

Agustín Casillas González
agustincasillas@retema.es

PUBLICIDAD

David Casillas Paz
davidcasillas@retema.es
Marlene Jaimes Gómez
marlenejaimes@msn.com

REDACCIÓN, ADMINISTRACIÓN, PUBLICIDAD Y SUSCRIPCIONES

C/ Jacinto Verdaguer, 25 - 2º B - Esc. A
28019 MADRID
Tels. 91 471 34 05
Fax 91 471 38 98
info@retema.es

REDACCIÓN

Luis Cordero
luiscordero@retema.es

ADMINISTRACION Y SUSCRIPCIONES

Silvia Lorenzo
suscripciones@retema.es

EDICIÓN Y MAQUETACIÓN

Dpto. Propio

IMPRIME GRÁFICAS LID

Suscripción 1 año (6 + 2 núm.): 90 €
Suscripción 1 año resto de europa: 160 €
Suscripción 1 año resto de países (Air mail): 180 €
Suscripción Digital 1 año: 55 €

Depósito Legal M.38.309-1987
ISSN 1130 - 9881

La dirección de RETEMA no se hace responsable de las opiniones contenidas en los artículos firmados que aparecen en la publicación.
La aparición de la revista RETEMA se realiza a meses vencidos.

© Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin autorización previa y escrita del autor.

SUMARIO MARZO - ABRIL 2013 AÑO XXVI - N° 165

REPORTAJE

PLANTA DE TRATAMIENTO MECÁNICO BIOLÓGICO (TMB) EN MONTE ARRÁIZ, BILBAO

Página 9

GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA CODIGESTIÓN DE BIORRESIDUOS

Página 24

BIOCOMBUSTIBLES COMO ALTERNATIVA AL PETRÓLEO: SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS

Página 36

REPORTAJE

PLANTA DE RECUPERACIÓN Y COMPOSTAJE DE RESIDUOS DE LOMA DE MANZANARES. ALHENDÍN (GRANADA)

Página 47

POSIBILIDADES DE TRATAMIENTO DE LA FRACCIÓN RESTO DE LOS RSU. PROYECTO URWASTECH

Página 62

LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS AGROALIMENTARIOS PARA LA PRODUCCIÓN Y USO DE BIOGÁS. SITUACIÓN ACTUAL Y TENDENCIAS EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

Página 68

VALORIZACIÓN ENERGÉTICA MEDIANTE MICROGENERACIÓN EN UNA MICRO-PLANTA DE BIOGÁS EN LALÍN (PONTEVEDRA)

Página 54

ELIMINACIÓN DE IMPROPIOS EN PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS. PRETRATAMIENTO DE SUSTRATO PARA PROCESOS DE BIOMETANIZACIÓN

Página 80

EL DIGESTOR ANAEROBIO PRODUCTOR DE BIOGÁS

Página 84

NOTICIAS DEL SECTOR RESIDUOS

Páginas 22 - 32 - 58 - 74

NOTICIAS GENERALES

Página 92



www.retema.es

Generación de biogás a partir de la codigestión de biorresiduos

Álvaro Álvarez-Arregui, Joan Esteban Altabella, Francisco J. Colomer Mendoza,
Mar Carlos Alberola, Antonio Gallardo Izquierdo
UNIVERSIDAD JAUME I



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), generará 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 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 produci-

do un volumen interesante de biogás con un importante contenido en metano, en el reactor con residuo de ranja 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.

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

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). Este biogás es un fluido gaseoso 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).

Para optimizar el proceso de fermentación anaerobia se deben con-

trolar 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 op-

tado 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 al introducir los reactores en estufa. Movimientos periódicos manuales 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

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 de 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



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.

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO Y MATERIAL UTILIZADO

Para desarrollar esta investigación se ha contado con 8 tipos diferentes de residuos, los cuales son bastante abundantes en el este de España. En la tabla 1 se representan las propiedades físico-químicas de los residuos utilizados en la experiencia:

- Lodo EDAR digerido (LD): lodo de una estación depuradora de aguas residuales urbana, espesado y digerido, procedente del digestor anaerobio con un secado por centrifugación.
- Lodo EDAR no digerido (LND): lodo de una estación depuradora cercana de aguas residuales urba-

na, procedente del reactor biológico, previo a la entrada al digestor anaerobio.

- Naranja triturada: residuo generado en las centrales citricolas, muy abundantes en el levante y sur español. Las frutas podridas, semipodridas o estropeadas se trituran en la misma instalación, tomando el aspecto de una papilla.
- Residuo orgánico bruto (ROB): cuando los residuos urbanos llegan a la planta de compostaje pasan a través de un tromel donde la mayor parte de residuos de alimentos es separada del resto de residuos. A esta fracción orgánica biodegradable (biore residuo) antes de su fermentación aerobia se le conoce como ROB.

- Compost: 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 cercano a la universidad.

- Restos cárnicos (sangre): la sangre de cerdo fue suministrada por el mismo proveedor anterior.

- Residuos de jardinería (poda de árboles): se compone de ramas trituradas, casi exentas de hojas, procedentes del área ajardinada de la Universidad Jaime I.

- Residuos de jardinería (herbáceos): integrado por la poda de arbusto y siega de césped, posteriormente

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	83,93
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



triturados, de las zonas verdes de la Universidad Jaime I.

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). 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 2) 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.

Una vez que se ha transcurrido el tiempo de residencia (70 días) se analiza el fango resultante de la digestión. Éste puede ser utilizado como fertilizante orgánico o valorizarse energéticamente por medio de su incineración. No obstante, los fangos tiene un elevado contenido en humedad, por lo que debería secarse previamente a su transporte hasta la planta de incineración y debería estudiarse la viabilidad mediante un balance energético, es decir, la energía consumida en el secado + transporte y la proporcionada en el proceso de incineración.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados del biogás generado en cada periodo de tiempo, el bio-

gás generado acumulado en los 70 días (1680 horas) y el porcentaje de metano en el biogás se muestran en la tabla 3. Además, en la figura 3 se representa el poder calorífico generado en cada reactor. 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 (CH₄). El resto de gases medidos que componen el biogás son CO₂ (hasta 63%), SO₂ (hasta 80 ppm) y NH₃ (hasta 245 ppm). El porcentaje de metano que contiene el biogás es el que le proporciona valor como combustible (PCI = 37,5 kJ/L).

La mezcla que más biogás ha generado por kg de materia seca ha sido la del biorreactor 2 (lodo digerido + ROB + compost), además de generar una concentración más elevada que el resto (69,79%). Por otro lado, es destacable la energía producida por el biorreactor 10 (lodo no digerido + carne + sangre + restos de poda) que llegó a los 1822,88 kJ, ya que el mayor porcentaje de sangre aumenta la riqueza de metano en el biogás. En las figuras 4 y 5 se representa la producción de biogás y la evolución en la concentración de metano de los reactores con la mezcla de residuos más



eficiente desde el punto de vista de la generación de energía (Reactor 2 y reactor 10 respectivamente). En ambos casos se obtiene un biogás con un porcentaje de metano suficiente como para poder quemarlo (Figura 6).

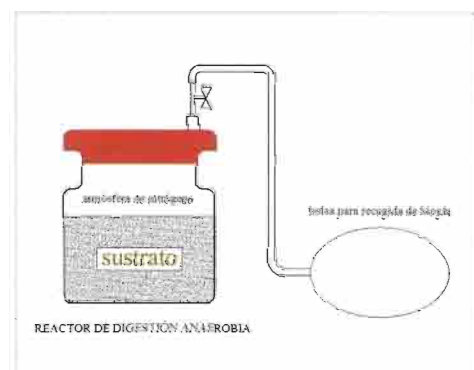


Figura 1. Representación esquemática de los biorreactores



Figura 2. Medición del volumen de biogás acumulado en las bolsas de recogida



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

Reactor	Vol. biogás acumulado (L)	% Metano	Vo. metano (L)	Energía proporcionada por el metano (kJ)
1	5,49	34,33	1,89	70,88
2	72,53	69,79	50,62	1.898,25
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	1.822,88
11	42,23	44,95	18,99	712,13

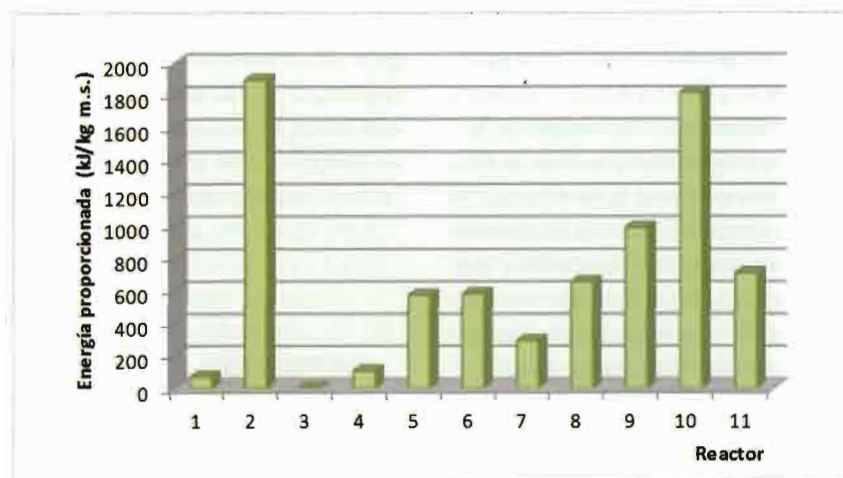


Figura 3. Representación del poder calorífico producido en cada reactor

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.

Al finalizar los 70 días queda un fango resultante con humedades si-



milares 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, según Real Decreto 1481/2001 de depósitos de residuos en 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% ya que este porcentaje es el máximo aconsejado por las plantas de incineración. Se muestra también el contenido en cenizas, la concentración de Carbono y Nitrógeno, así como la relación C/N, en base seca, por ser éstos indicadores del poder fertilizante.

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 24.000 kJ/kg. Por otro lado, el reactor 3 destaca por su elevado contenido en plástico en la mezcla residuos orgá-

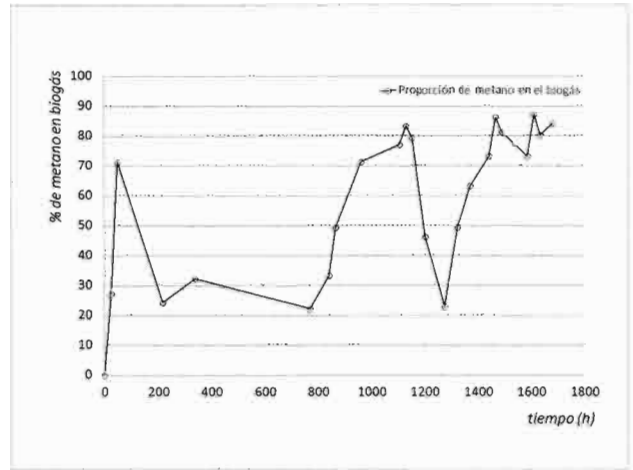
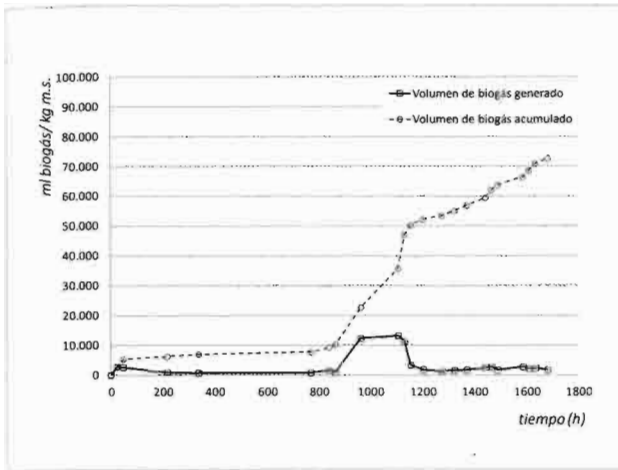


Figura 4. Datos obtenidos del biorreactor 2



Figura 6. Llama producida por el biogás generado en el reactor 2

sms con otros combustibles comúnmente utilizados. Se puede comprobar que el poder calorífico de algunos de ellos es similar al del papel o la madera.

4. 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.

nicos brutos. Sin embargo, estos valores están referidos al fango seco con un 15% de humedad. En la figura 7 se compara el PCI de los fangos

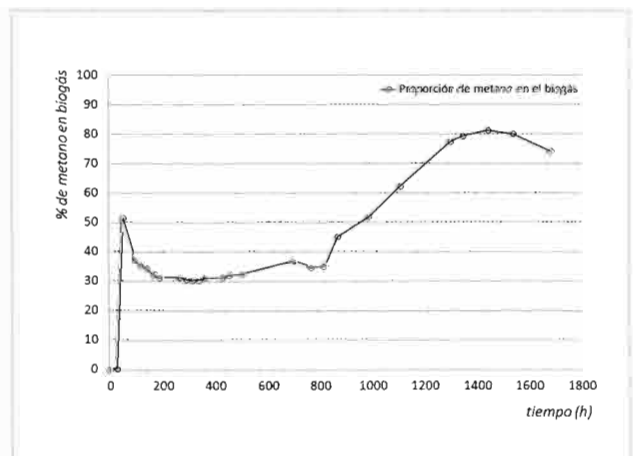
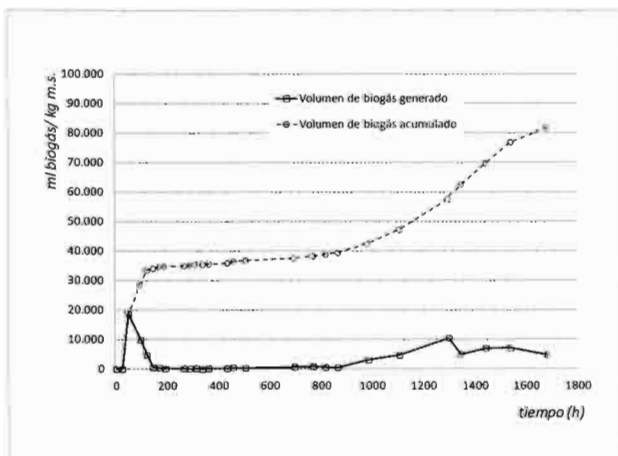


Figura 5. Datos obtenidos del biorreactor 10



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

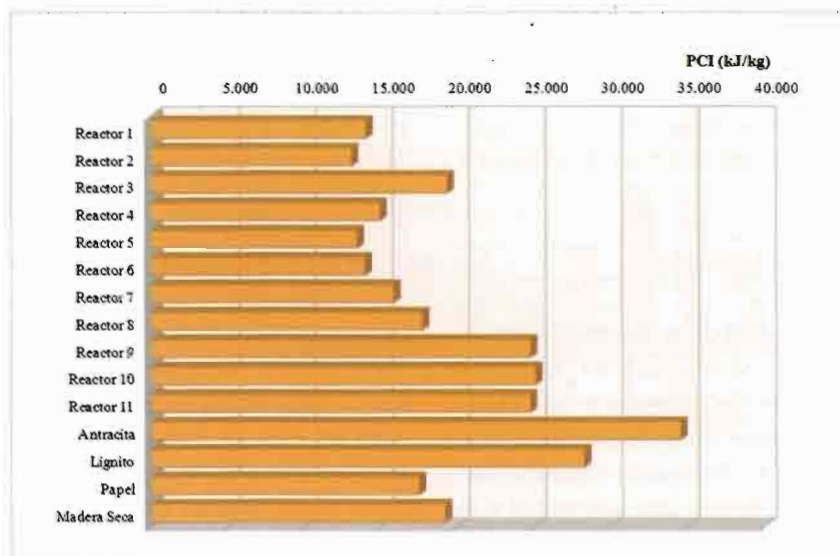


Figura 7. Poder calorífico obtenido en la incineración de los fangos resultantes secos, comparados con otros combustibles

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).

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación del proyecto con código 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".

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Braber, K. (1995). "Anaerobic digestion of municipal solid waste: a modern disposal option on the verge of breakthrough". *Biomass and Bioenergy*, vol. 9, pp. 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*, vol. 16, pp. 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*, vol. 110, pp. 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 hydrolysis and acidogenesis of wastewaters from food industries with high content of organic solids and protein". *Water Resources*, vol. 33 (15), pp. 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*, vol. 76, pp. 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*, vol. 75, pp. 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*, vol. 32 (6), pp. 515-521.

Salminen, E., Rintala, J., Härkönen, J., Kuitunen, M., Högmänder, H. & Oikari, A. (2001). "Anaerobically digested solid poultry slaughterhouse wastes to be used as fertilizer on agricultural soil". *Bioresource Technology*, vol. 78, pp. 81-88.

Salminen, E., & Einola, J. (2001). "Characterisation and anaerobic batch degradation of materials accumulating in anaerobic digesters treating poultry slaughterhouse waste". *Environmental Technology*, vol. 22, pp. 577-585.

Shih, J.C.H. (1987). "Ecological benefits of anaerobic digestion". *Poultry Science*, vol. 66, pp. 946-950.

Shih, J.C.H. (1993). "Recent development in poultry waste digestion and feather utilization". *Poultry Science*, vol. 72, pp. 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*, vol. 66, pp. 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 Ruyck, 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.