

Biometanización de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos: proceso Sebac

T. Forster-Carneiro, L.A. Fernández Guelfo, M. Pérez García, L.I. Romero García, D. Sales Márquez

Dept. de Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos, y Tecnologías del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Universidad de Cádiz

Summary

Biomethanisation provides a cheaper means of waste disposal and saving in finite landfill area and is an alternative source of energy. Furthermore, the end products from the process can be used to improve soil quality. This paper focuses on an innovative anaerobic digestion technique for the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW), the SEBAC Process. The single-phase of SEBAC process in dry (30% total solids content) and thermophilic (55° C) conditions was capable of producing an inert biosolid product. The protocol revealed a good performance for OFMSW treatment, with all analytical parameters within adequate levels for maintaining optimal biological activity in the start-up phase. The systems recorded a rapid start-up on the 2nd day, and initial stable phase on the 35th day.

Introducción

La generación de residuos sólidos urbanos (RSU) ha aumentado considerablemente en las últimas décadas y es previsible que continúe creciendo. Hoy en día, constituye un problema ambiental de tal magnitud que se sitúa entre las cuestiones prioritarias a resolver en el marco de la política autonómica y estatal de medio ambiente (Cayuela et al., 1987).

Los RSU son aquellos que se generan como resultado del consumo ordinario en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como los residuos que no tengan clasificación de peligrosos, producidos como consecuencia de actividades y situaciones y que, por su naturaleza o composición, pueden asimilarse a los anteriores.

Los RSU, de origen animal o vegetal, constituyen una fuente generadora de impactos ambientales, ya que la concentración en materia orgánica que poseen (expresada como demanda química de oxígeno) es, al menos, de 270.000 mg/L, no aptos para la disposición en vertederos incontrolados o suelos públicos. Su biodegradación se inicia inmediatamente después de su disposición en el ambiente, produciendo efectos tales como: generación de gases y malos olores y generación de lixiviados contaminantes. Así, el trata-

miento de RSU se torna bastante complejo, considerando que los mismos presentan grandes diferencias en su composición, dependiendo de las comunidades que los originan.

Actualmente, las Diputaciones Provinciales, Consorcios, Mancomunidades y grandes Ayuntamientos conducen la gestión ambiental de los residuos conforme al Plan Nacional de Residuos Urbanos (PNRU, 2004). En el ámbito de la Comunidad Autónoma de Andalucía, a través de la Secretaría de Estado para políticas del Agua y del Medio Ambiente (Subdirección General de Residuos), se analizan las principales características físico-químicas de los RSU generados para aplicación de la gestión ambiental (Andalucía Medio Ambiente, 1990) (figura 1). Así, se elaboran mapas con las principales instalaciones para el tratamiento de RSU en Andalucía (figura 1) (Consortio Bahía de Cádiz, 2004).

Los procesos biológicos son los más efectivos para la depuración de compuestos con alta carga orgánica como las aguas residuales, lodos de depuradora, y la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU). Estos se llevan a cabo en presencia de oxígeno (digestión aerobia) o en su ausencia (digestión anaerobia). Existen considerables diferencias entre ambos procesos. Básicamente, la digestión aerobia elimina el 80% de la materia orgánica en forma de biomasa micro-

Provincia de Cádiz	
Características	
Humedad	46,90
pH	6,49
M.O.t (%)	69,31
C/N	27,17
Densidad (kg/m ³)	131,69
Composición (%)	
Papel-cartón	20,68
Vidrio	7,67
Plástico	12,20
Materia orgánica	42,20
Otros	17,25

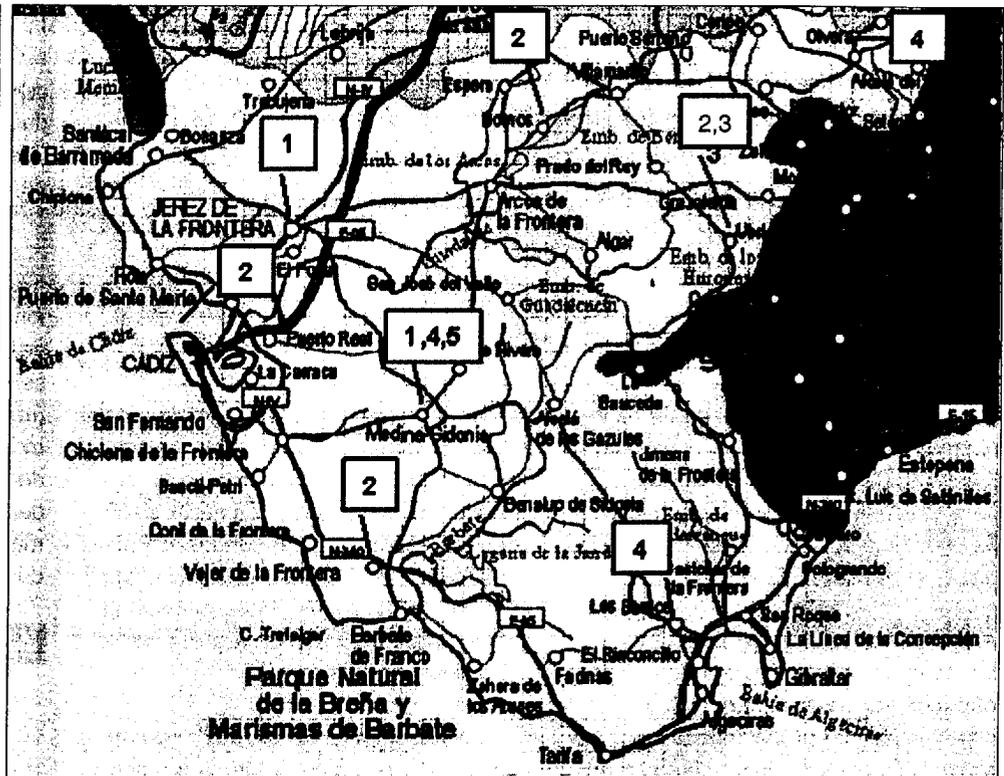


Figura 1. Principales propiedades físico-químicas de los residuos sólidos urbanos y las principales instalaciones de tratamiento en la provincia de Cádiz: (1) Planta de recuperación y compostaje; (2) Estación de transferencia; (3) Planta de incineración; (4) vertedero controlado; (5) Planta de Biometanización (en construcción)

biana (lodos) y el 20% restante, en forma de anhídrido carbónico y agua. En cambio, la digestión anaerobia transforma la materia orgánica en una mezcla del 5% de biomasa y el 95% de metano y anhídrido carbónico (llamado gas de digestión o biogás), susceptible de aprovechamiento y valorización económica (Rippon, 1982; Lissens et al., 2001) (figura 2).

La digestión anaerobia es también conocida como fermentación, gasificación o biometanización. La biometanización se fundamenta en la oxidación biológica de la materia orgánica contenida en un residuo, gracias a la actuación de microorganismos específicos en ausencia de oxígeno molecular (Archana et al., 1999). Como resultado de este proceso, la materia orgánica se transforma en productos finales estables e inertes, al mismo tiempo que se genera gran desprendimiento de biogás (dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄), fundamentalmente.

El proceso de biometanización o degradación de la materia orgánica hasta CO₂ y CH₄ requiere la actividad

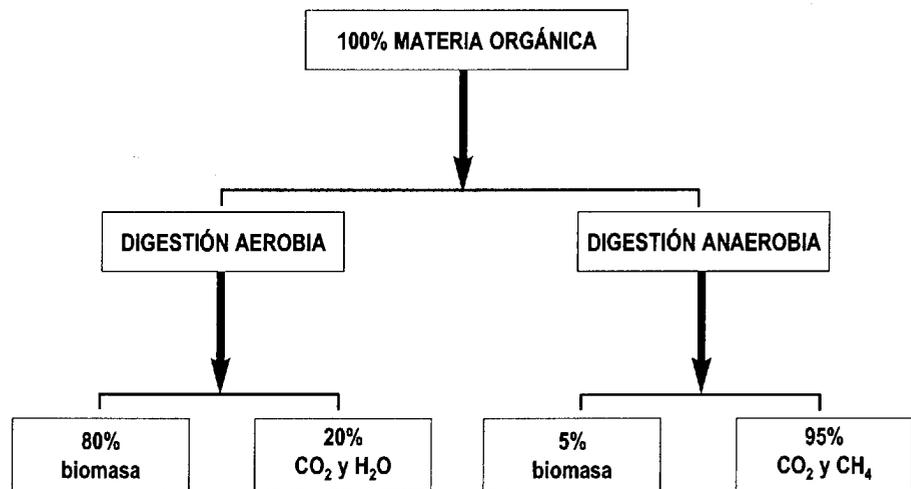


Figura 2. Procesos biológicos para la depuración de la materia orgánica: digestión aerobia y anaerobia

metabólica combinada y coordinada de un conjunto de poblaciones microbiológicas en el reactor y puede ser resumida en cuatro siguientes fases: hidrólisis, fermentación acidogénica o acidogénesis, fermentación acetogénica o acetogénesis y fermentación metanogénica (Polanco y Encina, 2000).

Las principales ventajas de la bio-

metanización se relacionan con (Kulik, 1997):

- elevados porcentajes de eliminación de la materia volátil (40 a 60%);
- baja cantidad de sólidos totales biológicos generados;
- considerable destrucción de organismos patógenos (especialmente en condiciones termofílicas de temperatura, 55° C);

La fracción orgánica del residuo sólido urbano seleccionada en origen (FORSU) procedía de la Planta de Tratamiento de RSU "Las Calandrias", ubicada en Jerez de la Frontera (Cádiz).

La FORSU homogeneizada poseía un porcentaje de materia orgánica próximo al 65,0% y 15% de papel cartón y 20% de otros residuos

- obtención de energía en forma de biogás.

La recuperación del biogás permite su uso como combustible o generación de electricidad, lo que garantiza los costes de operación del proceso (Mata-Álvarez et al., 2000; De Baere, 2000). La composición o riqueza del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. La composición media, en volumen, suele ser: 50-60% de CH₄, 30-40% de CO₂ y menos del 5% de H₂O, H₂, H₂S, N₂, hidrocarburos y otros en la fase de estabilización del proceso (Carreras y Dorronso-ro, 1999).

Clásicamente, los procesos de biometanización o digestión anaerobia de la FORSU se han desarrollado en el rango mesofílico de temperatura (35° C) debido, fundamentalmente, a las menores necesidades energéticas para el mantenimiento de la temperatura (Pérez et al., 2001). Sin embargo, en el rango termofílico de temperatura (55° C), la producción de energía del proceso (en forma de biogás) es excedente frente a las necesidades de calefacción, además de proporcionar una velocidad de degradación superior y mayor eficacia de destrucción de patógenos frente a su homóloga mesofílica (Schaffer et al., 2003).

Entre los principales procesos anaerobios, desarrollados para llevar a cabo la digestión seca (alto contenido en sólidos totales), y en el rango termofílico de temperatura (55° C), se encuentra el proceso SEBAC (Sequential Batch Anaerobic Composting). El proceso SEBAC se basa en la interconexión de dos reactores: el primer reactor contiene residuo fresco y el

segundo residuo parcial o totalmente digerido anaeróbicamente (Nopharata-na et al, 1998). La alimentación se incula mediante recirculación del lixiviado de un reactor a otro (Chugh et al., 1999), de modo que establece un flujo de microorganismos hacia el residuo sin digerir y de materia orgánica hacia el residuo digerido.

La experiencia del grupo de investigación "Tecnología del Medio Ambiente" (TEP 181) de la Universidad de Cádiz, en el marco de la degradación anaerobia termofílica de residuos orgánicos con alto contenido en sólidos, arranca de los estudios realizados con lodos de depuradora (De la Rubia, 2002), codigestión de RSU con lodos de depuradora y más recientemente con RSU tratados con la tecnología del proceso SEBAC (Forster-Carneiro et al., 2003). Estos estudios concluirán que los residuos sólidos urbanos constituidos básicamente de restos de comida (frutas, vegetales y carbohidratos) son biodegradados con éxito en reactores tipo SEBAC.

La posibilidad de aplicación del sistema SEBAC para la biodegradación de fracciones orgánicas de diferentes procedencias puede resultar bastante interesante. Sin embargo, la FORSU procedente de la Planta de Tratamiento de RSU "Las Calandrias", ubicada en Jerez de la Frontera (Cádiz), se caracteriza como un residuo bastante complejo. En estos casos, para el correcto funcionamiento del SEBAC, es necesario que las velocidades de transformación metabólica de los diferentes grupos bacterianos, presentes en la FORSU (residuo bastante complejo), estén equilibradas, dando lugar a una relación simbiótica que estabiliza el proceso.

Por todo ello, el objetivo general de este trabajo es estudiar la biodegradación de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos de la provincia de Cádiz, utilizando para ello un protocolo de arranque previamente desarrollado en trabajos anteriores (Forster-Carneiro et al., 2003). El estudio de biometanización se realizará en reactores de laboratorio tipo SEBAC, operando en condiciones termofílicas de temperatura. Se selecciona la digestión anaerobia seca (residuo con 30% sólidos totales) y régimen de operación discontinuo, en aras de alcanzar los máximos rendimientos depurativos, tanto en eliminación de materia orgánica como de producción de metano.

Material y métodos

Selección, caracterización de los residuos y pre-tratamientos

La fracción orgánica del residuo sólido urbano seleccionada en origen (FORSU) procedía de la Planta de Tratamiento de RSU "Las Calandrias", ubicada en Jerez de la Frontera (Cádiz).

El pretratamiento y acondicionamiento de la muestra de la FORSU consistió en una separación inicial de tipo manual de la fracción orgánica y fracción inorgánica. Posteriormente, se descartarán otros materiales orgánicos (principalmente, papel). La FORSU homogeneizada poseía un porcentaje de materia orgánica próximo al 60% y 20% de papel cartón y 20% de otros residuos.

El resultado final fue la obtención de una muestra representativa de la fracción orgánica del RSU seleccionado en origen, que se denota como "residuo orgánico fresco (FORSU)". A continuación, se procedió al secado de los mismos a 55° C de temperatura durante 24 horas, hasta obtener un grado de humedad de 10-15%, para facilitar la operación de reducción del tamaño de partícula y homogeneización del residuo. La reducción del tamaño de partícula se realizó, por medio de un triturador comercial, hasta obtener una mezcla homogénea de 1 cm. Finalmen-

te, previo al sellado del reactor, se añadió agua destilada en cantidad adecuada para alcanzar un porcentaje en sólidos totales en el reactor del 30%.

La fuente de inóculo seleccionada fue el residuo orgánico digerido de lodos (LODO). Estudios previos abordados por el grupo de investigación, sobre el desarrollo de un proceso anaerobio termofílico (55° C) para el reciclaje de la fracción orgánica de residuo sólido urbano, indican que el lodo es una buena fuente de nutrientes y elemento estabilizador de pH (dada su alta alcalinidad) (CITYC, 2002). El LODO procede de la EDAR "Guadalete" de Jerez de la Frontera (Cádiz), concretamente de la corriente de recirculación de los digestores anaerobios en los que se lleva a cabo la degradación anaerobia mesofílica de los lodos primarios y secundarios, generados en dicha instalación.

La **tabla 1** contiene la caracterización físico-química de los residuos orgánicos (FORSU y LODO) utilizados como materia prima en este trabajo.

Equipos utilizados para la biodegradación de los residuos sólidos urbanos

El plan experimental del trabajo se programó para acelerar la fase de arranque de un reactor SEBAC para tratar la FORSU. Para llevar a cabo las pruebas en el sistema SEBAC, se utilizaron reactores discontinuos de laboratorio con tiempos de retención equivalentes para sólidos y líquidos. Los reactores utilizados fueron diseñados por el grupo de investigación "Tecnología del Medio Ambiente" de la Universidad de Cádiz en experimentos anteriores y han mostrado ser idóneos para la adquisición de datos experimentales (Forster-Carneiro et al., 2003).

Cada reactor es un bidón de plástico con una capacidad total de 35 litros, compuesto por un cuerpo central de forma cilíndrica de 50 cm de longitud y 30 cm de diámetro interno y perfectamente aislado para mantener las condiciones anaerobias del medio. En la parte inferior existe una cámara de aire

Parámetros analíticos	Valores iniciales	
	FORSU	LODO
Densidad (kg/m ³)	295,0	1.000,0
Humedad (%)	17,20	96,47
Materia orgánica (%)	53,36	98,67
Sólidos (%)	82,80	3,53
ST (g/kg)	828,0	35,33
SV (g/kg)	441,0	13,27
SFT (g/kg)	387,0	22,06
STS (% peso seco)	17,5	19,60
SVS (% peso seco)	17,0	1,10
SFS (% peso seco)	0,5	18,50
STD (% peso seco)	810,5	15,73
SVD (% peso seco)	424,0	12,17
SFD (% peso seco)	386,5	3,56
pH	7,62	8,35
Alcalinidad (g CaCO ₃ /g)	0,14	1,01
Acidez total (mg AcH/L)	1.974,67	224,58
N-amon (mg NH ₃ -N/g)	0,01	0,05
N-total (mg NH ₃ -Nk/g)	11,20	7,60
N-total (%)	1,12	0,96
Carbono de la MO (%)	30,94	57,23
Carbono orgánico disuelto (%)	31,97	13,67
C:N (materia orgánica)	27,62	75,30
C:N (COD)	28,54	17,99
COD (mg/g)	31,97	13,67
DQO (mgO ₂ /g)	113,4	87,67

Tabla 1. Composición y caracterización físico-química iniciales del residuo sólido urbano y del lodo, utilizados como materia prima en los ensayos

rellena de bolas de vidrio, de 14 cm de longitud y un volumen útil de 1,5 litros, suficiente para almacenar el lixiviado generado en el reactor. La tapa del reactor contiene tres aberturas: una permite la salida del biogás, otra se utiliza para introducir la alimentación en el sistema y una tercera para la recogida de lixiviado a través de un conducto interno, que alcanza la base del reactor

y que está acoplado a una bomba. Estas dos últimas están dotadas de válvulas, que impiden la salida del biogás.

El proceso SEBAC consiste en dos reactores: un reactor A con el residuo fresco (FORSU) y un reactor B con residuo digerido y estable (LODO) como fuente de inóculo (**figura 3**). Diariamente, se procede a trasvasar un

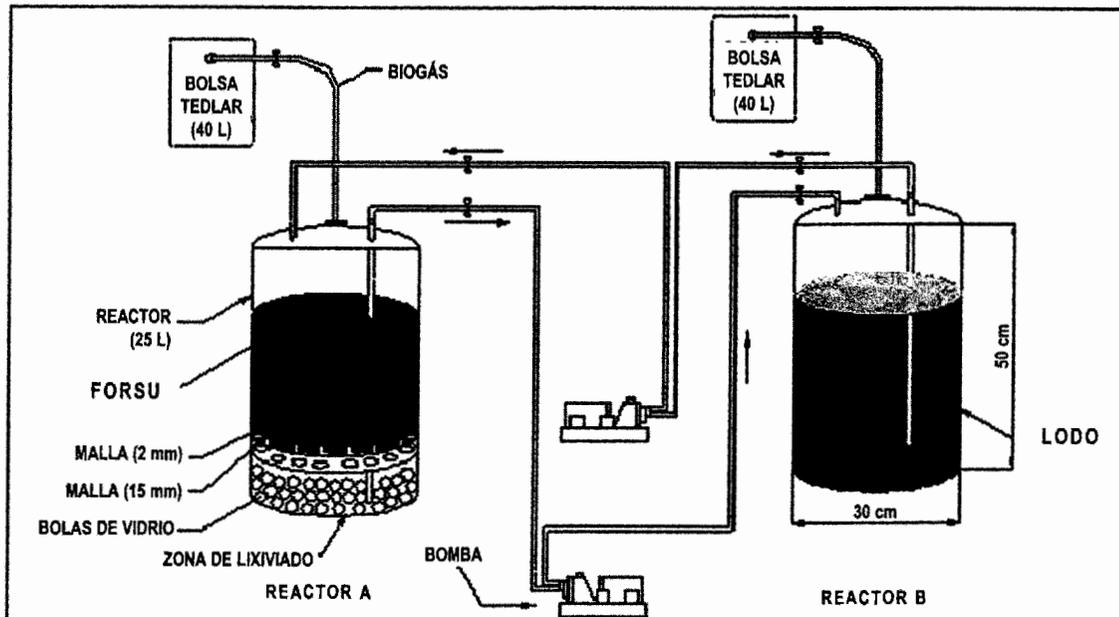


Figura 3. Reactores discontinuos tipo SEBAC a escala de laboratorio: reactor A (FORSU), y reactor B (LODO)

volumen conocido de efluente del reactor B (que actuará como inóculo) hasta el reactor A y, de forma análoga, el lixiviado generado en este reactor se recircula hasta el reactor B. Posteriormente, se analiza el biogás (composición y volumen) y se toman muestras del lixiviado de los dos reactores para realizar los correspondientes análisis físico-químicos más significativos del proceso.

El experimento fue llevado a cabo en una habitación especial construida en chapa de acero galvanizado (0,5 mm) y una parte intermediaria de espuma extingüible (densidad de 40 kg/m³) modelo FAYMO-M. La temperatura de operación seleccionada en todos los ensayos fue la óptima en el rango termofílico de operación, es decir, 55° C y se controló mediante 3 paneles de convección eléctricos S&P, modelo PC-2000N, con una potencia de 2.000 W cada uno, utilizando un termo-digital modelo TFFI.

Técnicas analíticas utilizadas

Para el seguimiento y control del proceso de biometanización de la FORSU, se analizaron diariamente los parámetros más significativos del residuo y del biogás. Todas las determinaciones analíticas se realizaron de

acuerdo con los métodos estandarizados (APHA, 1989). Las determinaciones analíticas para el seguimiento y control fueron: sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), sólidos fijos totales (SFT), pH, alcalinidad, nitrógeno amoniacal (N-amon), carbono orgánico disuelto (COD), demanda química de oxígeno (DQO), volumen y composición del biogás.

Para la determinación de la composición y caracterización físico-química de los residuos e inóculos, se analizarán los mismos parámetros mencionados anteriormente, y algunos parámetros adicionales: densidad, humedad, sólidos totales en suspensión (STS), sólidos volátiles en suspensión (SVS), sólidos fijos en suspensión (SFS), sólidos totales disueltos (STD), sólidos volátiles disueltos (SVD), sólidos fijos disueltos (SFD), porcentaje de sólidos y nitrógeno total (N-total).

Los análisis de los sólidos (ST, SV, SF, STS, SVS, SFS, STD, SVD, SFD) se realizaron mediante una técnica de gravimetría, de acuerdo con los métodos normalizados de la APHA-AWWA-WPFC -5310B; 2540C; 2540E (1989). Las determinaciones de alcalinidad y pH se realizaron en un equipo COMPACT TITRATOR S+, modelo Crison. La determinación del nitrógeno amo-

niacal se realizó a través de la técnica volumétrica (APHA-AWWA-WPFC - 4500-NorgB, 1989). Para ello, se utilizó un digestor BLOC-DIGEST 6P (4000629) - SELECTA, un aparato de destilación PRONITRO II (4000627) y una bureta. Finalmente, la estimación de la DQO se realizó por dicromatometría, empleando un método colorimétrico de acuerdo con el método normalizado de la APHA-AWWA-WPFC - 5220C (1989).

Para la determinación de la composición y producción del biogás, fue necesario recoger el mismo en bolsas TEDLAR de muestreo de gases modelo "CALI-5-BOND TM".

La composición del biogás generado durante los 10 primeros días fue determinada por lectura en un cromatógrafo de gases SHIMADZU GC-14 B, conectado a un PC para la recogida e integración de datos. Se utilizó una columna de acero inoxidable Carbo-sieve SII de 2 m de longitud y 1/8 de pulgada de diámetro. Los reactivos utilizados fueron el gas portador helio con un caudal de 30 ml/min y el gas de calibrado (gases de ensayo patrón de composición conocida de metano, dióxido de carbono, nitrógeno, oxígeno y nitrógeno suministrado por Carburos Metálicos S.A.). Posteriormente al día

10, las muestras de biogás presentaron un volumen suficiente como para que su determinación pudiese realizarse en un equipo analizador de gases. El analizador de modelo GAS ANALYSER 94 A (Geotechnical Instruments, UK) lleva a cabo la determinación mediante el método de detección por infrarrojo por medio de lectura directa y es de fácil manejo y alta fiabilidad.

La determinación del volumen de biogás se realizó por lectura directa sobre un medidor de flujo de gases por tambor húmedo modelo -RITTER TM Serie TG.

Resultados y discusión

Características físico-químicas de los residuos

La **tabla 1** recoge información sobre la composición y caracterización físico-química inicial de los residuos utilizados como materia prima en los ensayos: residuo sólido urbano y lodo.

La densidad del residuo se define como su masa por unidad de volumen, expresada en kg/m^3 . Es una característica física muy importante para el diseño de reactores (discontinuos) y para el tipo de proceso (seco/húmedo). Según se recoge en la **tabla 1**, de caracterización físico-química del residuo orgánico y de la fuente de inóculo utilizado, la FORSU presenta una densidad inicial del orden de 295 kg/m^3 , y el LODO una densidad de 1.000 kg/m^3 . La densidad, así como el peso específico, dependen de la temperatura y grado de humedad, y varían en función de la concentración total de sólidos en el residuo. Así, la FORSU se caracteriza por ser un residuo sólido con el 82,8% de ST y consecuente porcentaje de humedad del 17,2%; y el LODO por un residuo líquido con un alto porcentaje de humedad, 96,47%, y baja cantidad de ST (3,53%).

Los sólidos volátiles y los sólidos fijos hacen referencia a los componentes orgánicos e inorgánicos (o minerales), respectivamente, de los sólidos

El sistema SEBAC fue diseñado para realizar estudios de biometanización de la FORSU procedente de la Planta de Tratamiento de RSU de "Las Calandrias", ubicada en Jerez de la Frontera (Cádiz). El experimento se realizó a escala de laboratorio, en el rango termofílico de temperatura (55°C) y condiciones de digestión seca (30% de sólidos totales). El sistema SEBAC estaba conformado por un reactor A con FORSU y otro reactor B con LODO

(totales, en suspensión o disueltos). La FORSU inicial contiene $441,0 \text{ gSV/kg}$ y $387,0 \text{ gSF/kg}$, valores indicativos de que existe la misma cantidad de materia biodegradable y materia mineral. Esta misma relación se observa en el LODO, aunque los valores absolutos son inferiores al compararlos con la FORSU. Así, de los $35,33 \text{ gST/kg}$ existen $13,27 \text{ gSV/kg}$ y $22,06 \text{ gSF/kg}$.

Conforme se recoge en la **tabla 1**, la FORSU posee $31,97 \text{ mg COD/g}$ residuo, superiores al resultado obtenido para el LODO de $13,67 \text{ mg COD/g}$ residuo. El ensayo del COD puede realizarse en muy poco tiempo, por lo que su uso se está extendiendo muy rápidamente, pese a que algunos compuestos orgánicos pueden no llegar a oxidarse. Así, en los ensayos de la DQO, donde se emplea un agente químico fuertemente oxidante, el valor de la DQO suele ser mayor que el del COD, debido al mayor número de compuestos orgánicos que se oxidan por vía química, respecto a los oxidados por vía biológica. En este experimento se observa que la FORSU pre-

senta una DQO de $113,4 \text{ mg DQO/g}$ residuo, y el LODO de $87,67 \text{ mg DQO/g}$ residuo.

Los análisis de nitrógeno permiten estimar el contenido de proteínas en las muestras y los niveles de amonio. Las proteínas son los principales componentes del organismo animal, estando presentes en todos alimentos de origen animal y vegetal cuando estos están crudos. El contenido de proteínas varía mucho entre los pequeños porcentajes presentes en frutas con alto contenido en agua como los tomates, o en tejidos grasos de las carnes, y los porcentajes elevados que se dan en alubias o carnes magras. Los resultados encontrados en la determinación de nitrógeno total y de nitrógeno amoniacal analizado en la caracterización inicial del residuo de la FORSU y del LODO, indican un bajo porcentaje de nitrógeno en ambos residuos (**tabla 1**). Como consecuencia, la relación C/N calculada a partir del porcentaje de carbono y el porcentaje de nitrógeno total en las muestras arroja valores en el rango $35 - 20$, resultado concordante con los datos publicados por diversos autores en estudios de biometanización de RSU.

Pruebas de puesta en marcha y estabilización de los reactores modificados

El sistema SEBAC fue diseñado para realizar estudios de biometanización de la FORSU procedente de la Planta de Tratamiento de RSU de "Las Calandrias", ubicada en Jerez de la Frontera (Cádiz). El experimento se realizó a escala de laboratorio, en el rango termofílico de temperatura (55°C) y condiciones de digestión seca (30% de sólidos totales). El sistema SEBAC estaba conformado por un reactor A con FORSU y otro reactor B con LODO.

El reactor A estaba compuesto por 4 capas:

a) 2 capas de FORSU mezclado con cáscara de arroz (25%): cada capa contiene $1,0 \text{ kg}$ de FORSU y $0,333 \text{ kg}$ de cáscara de arroz;

b) 2 capas de residuo orgánico de

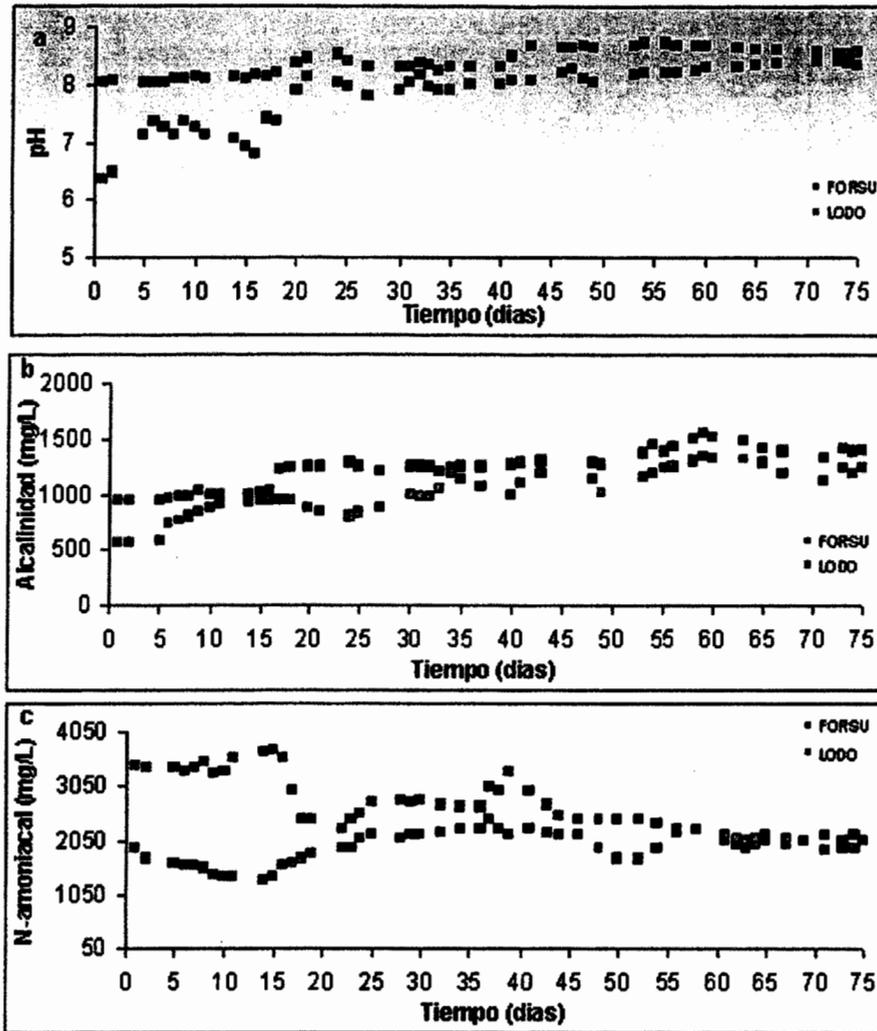


Figura 6. Evolución temporal de: a) pH, b) alcalinidad (mg CaCO₃/L), c) N-amon (mg/L), en los reactores de FORSU y LODO

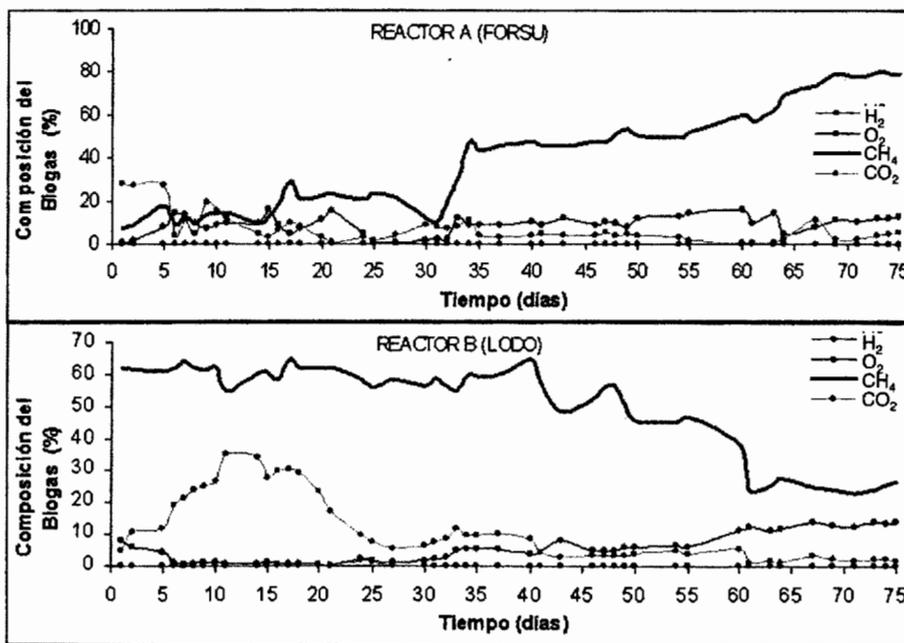


Figura 7. Evolución temporal de: a) Composición del biogás en el reactor A FORSU; y b) Composición del biogás del reactor B LODO

Agradecimientos

Los autores agradecen su colaboración a la Planta de Tratamiento de RSU "Las Calandrias" de Jerez de la Frontera (Cádiz). La investigación ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCyT) de España, bajo el proyecto PPQ2001-4032. La autora Tânia Forster Carneiro, agradece la beca de doctorado a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) de Brasil.

Bibliografía

1. Andalucía Medio Ambiente-AMA (1990). Informe 90. Edita: Junta de Andalucía. Consejería de Educación Ciencia.
2. APHA, AWWWA, WPCF. (1989) Standard methods for the examination of water and wastewater. America Public Health Association. Washington DC. 17th Ed.
3. Archana, S.; Unni, B.G.; Devdra, S.H.; (1999). A novel fed-batch digestion system for biomethanization of plant biomasses. *Journal of Biotechnology and Bioengineering*, 87:671-682.
4. Carreras, N.; Dorronsoro, J.I. (1999). Aprovechamiento energético del biogás generado a partir de residuos sólidos urbanos. *TecnoAmbiente* 71:121-123.
5. Cayuela, F.M.; Verdugo, J.A.; Hidalgo, D.B.; Cobos, A. (1987). Gestión de residuos sólidos urbanos. E. Agencia de Medio Ambiente de Junta de Andalucía. Fundación Esculpio. 467p.
6. CICYT (2002). "Desarrollo de un proceso para el reciclaje (digestión anaerobia y compostaje) de la fracción orgánica de residuo sólido urbano con Validación de los productos y aplicación a escala industrial". Informe final del proyecto CICYT. Grupo de Tecnologías del Medio Ambiente, Universidad de Cádiz.
7. Chugh, S.; Chynoweth, D.F.; Clarke, W.; Pullammanappallil, F.; Rudolph, V. (1999). Degradation of unsorted municipal solid waste by

leach-bed process. Bioresource Technology, 69:103-115.

8. Consorcio Bahía de Cádiz. (2003). Internet, página web: <http://www.biorreciclaje.com/cbc/>

9. De la Rubia, M.A.; Pérez, M.; Romero, L.I.; Sales, D. (2002) Anaerobic Mesophilic and Thermophilic Municipal Sludge Digestion. Chem. Biochem. Eng. Q., 16 (3): 119-124.

10. De Baere, L. (2000). Anaerobic digestion of solid waste: state of the art. Water Science Technology, 41(3):283-290.

11. Forster-Carneiro, T.; Fernández, L.A.; Pérez, M.; Romero L.I.; Alvarez, C.J. (2003). Diseño y optimización de la fase de arranque del proceso SEBAC en el tratamiento de la fracción orgánica de residuos. Revista Residuos, 74:54-62.

12. Kulik, A. (1997). Anaerobic digestion gains ground in Europe. HDR Inc. World Wastes Journal, 9-15.

13. Lissens, G.; Vandevivere, P.; De Baere, L.; Bley, E.M. and Verstraete, W. (2001). Solid waste digesters: process performance and practice for municipal solid waste digestion. Water Science Technology, 44(8):91-102.

14. Mata-Alvarez, J.; Macé, S.; Lladrés, P. (2000). Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. Bioresource Technology, 74:316.

15. Nopharatana, A.; Clarke, W.P.; Pullamannappallil, P.C., Silvey, P., Chynoweth, D.P. (1998). Evaluation of methanogenic activities during anaerobic digestion of municipal solid waste. Bioresource Technology, 64:169-174.

16. Obaja, D.; Macé, S.; Costa, J.; Sans, C.; Mata-Alvarez, J. (2003) Nitrification, denitrification and biological phosphorus removal in piggery waster using a sequencing batch reactor. Bioresource Technology, 87:103-111.

17. Pérez, M.; Romero, L.I.; Sales, D. (2001) Organic matter degradation kinetics in an anaerobic thermophilic fluidized bed reactor. Anaerobe, 7:25-35.

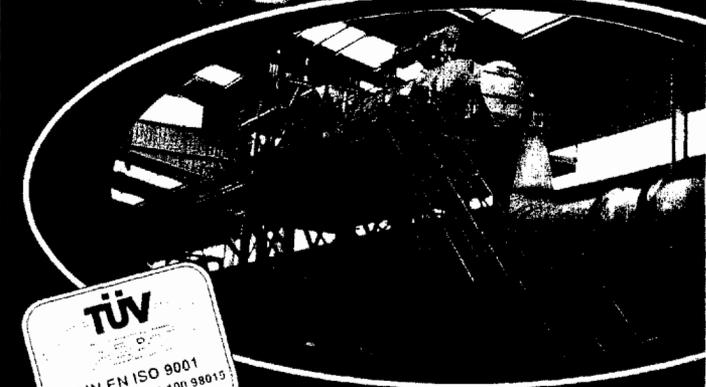
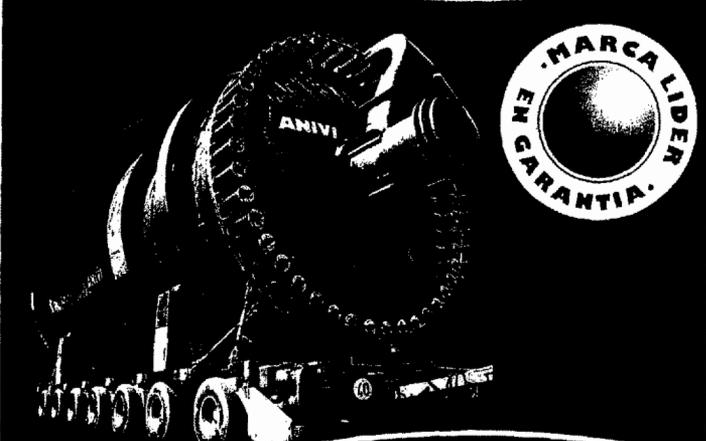
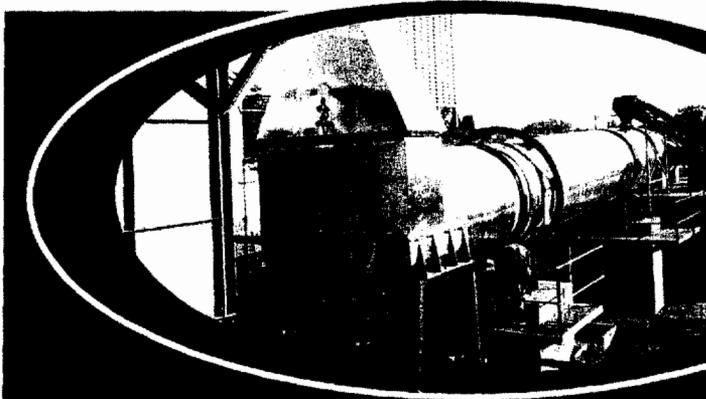
18. PNRU-Plan Nacional de Residuos Urbanos (2000-2006). Legislación comunitaria: Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. MMA, 5 de enero de 2000. Internet - web: http://www.caib.es/conselleries/mediaambient/residuos/plan_nac_rsu.pdf.

19. Polanco, F.F. y Encina, A.G. (2000). Procesos Biológicos Anaerobios. Jornadas sobre tratamientos biológicos de residuos orgánicos. Universidad de Valladolid. Acta,1-25.

20. Rippon, G.M. (1982). The Bioenergy Process. An overview. I.W.P.C. Symposium, February.

21. Schafer, P.L.; Farrell, J.B.; Newman, G.; Vandenberg, S. (2003). Advanced Anaerobic Digestion Processes. Waster Environment & Technology, 38-49.

ANIVI



SECADEROS, HORNOS & ENFRIADORES

ANIVI esta especializada, con más de 60 años de experiencia, en la instalación en todo el mundo de equipo para la preparación de materias primas y productos químicos.

Secado y Calcinación: Hornos, Secadores, Enfriadores y Precalentadores rotativos, de lecho fluido y flash.

Molienda y Clasificación: Una amplia gama de Molinos (pendulares, de bolas, silex, barras, martillos, impacto, cilindros, etc.) y Separadores Dinámicos.

Aire y Gases: Centrífugos, Filtros de Mangas, Ciclones, Lavadores en Seco, Semisecco, Húmedos y Electrofiltros.

ANIVI S.A. - INGENIERIA, S.A.

Carretera Guzmán, 8 - 48180 LUTIA (Vizcaya)
 Dirección Postal: Apartado 745 - 48080 BILBAO (España)
 Teléfono: 34 - 94 453 19 00 - Fax: 34 - 94 453 21 75

www.anivi.com
Info@anivi.com