VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO DE METANO Y REDISEÑO DE LA ALTERNATIVA MESOFÍLICA PARA LA DE BIOGÁS EN LA EPG "CAMILO CIENFUEGOS".

METHANE YIELD VARIATION AND REDESIGN ALTERNATIVE TO MESOPHILIC BIOGAS PLANT IN THE GCE "CAMILO CIENFUEGOS".

Ing. Oscar Daniel Valmaña García, MSc.
Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría",
La Habana, Cuba

Dra. Ileana Pereda Reyes, Ph.D.
Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría",
La Habana, Cuba.

RESUMEN

Los subproductos animales (SPA's) constituyen un riesgo biológico que hace que se les deba aplicar un tratamiento y seguimiento diferenciado en una planta de biogás. El efecto sobre el rendimiento de metano (Y) de una etapa de higienización en un proceso de digestión anaerobia, no fue estudiado para los residuales evaluados en la Empresa Pecuaria Genética Camilo Cienfuegos (EPG C.C.). Esta empresa se encuentra ubicada en el municipio Consolación de Sur, provincia Pinar del Río, Cuba. El objetivo principal de esta investigación consistió en estimar, desde una perspectiva no experimental, el efecto de la higienización de SPA's sobre el Y_{CH4} de la digestión anaerobia de los residuales evaluados en la empresa. Se consultó el marco regulatorio europeo para clasificar SPA's y para establecer los parámetros de la higienización. Se definió $Y_{CH4ponderado}$ para estimar el efecto de la higienización en el proceso de digestión, y se rediseñó la variante tecnológica mesofílica para la planta de biogás de la EPG C.C. El $Y_{CH4ponderado}$ se estimó en 0,307 Nm3 CH4 / kg SVo, lo que significó un incremento de 43,45% respecto al rendimiento base.

PALABRAS CLAVES: codigestión, residuos agroindustriales, biogás, rendimiento de metano, subproductos animales, efecto de la temperatura.

ABSTRACTS

Animal by-products (ABP) are a biohazard that makes them must apply a differentiated treatment and follow-up a biogas plant. The effect on the methane yield (Y) of a sanitizing stage in a process of anaerobic digestion, was not studied for residual evaluated in Genetic Cattle Enterprise Camilo Cienfuegos (GCE CC). This company is located in the Consolación del Sur District, Pinar del Rio, Cuba. The main objective of this research was to estimate, from a non-experimental perspective, the effect of sanitizing ABP on Y_{CH4} from the anaerobic digestion the residuals evaluated in the company. European regulatory framework was consulted to classify ABP and to set the parameters of sanitation. Weighted yield of methane $Y_{CH4weighted}$ was defined. This was used to estimate the effect of sanitation in the digestion process. Mesophilic technological variant was redesigned for the biogas plant EPG CC. The $Y_{CH4weighted}$ estimated at 0,307 Nm3 CH4 / kg SVo, which represented an increase of 43,45% over the base performance.

KEY WORDS: co-digestion, agro-industrial waste, biogas, methane yield, animal by-product, temperature effect.

Recibido 28 de septiembre/2015. - Aceptado 27 de noviembre/2015
Publicado como artículo científico. Revista Ingeniería Química y Desarrollo 2015 Vol. 1 N°2
Julio - Diciembre 2015 pp. 41 - 48
ISSN 1390 – 9428

INTRODUCCIÓN

La biomasa residual húmeda (BRH), consistente en residuales biodegradables, proviene principalmente de las actividades humanas. Las plantas de biogás centralizadas, de conjunto con los sistemas de cogeneración, son tecnologías capaces de transformar la BRH en recursos energéticos renovables. El concepto de planta de biogás centralizada está basado en una práctica desarrollada en Dinamarca de digerir el estiércol animal recogido en varias fincas junto con BRH en una planta de biogás situada en una zona intermedia (Angelidaki y Ellegaard 2003, 95-105).

En Cuba prevalece la dependencia a los combustibles fósiles. Según datos publicados en el año 2013 por la Oficina Nacional de Estadística e Información de la República de Cuba (ONEI), el aporte de las fuentes renovables de energía a la matriz energética representó el 22,4% del total de la producción de energía primaria del país (5 097 Mtep) (ONEI 2013a). De ese 22,4% solo el 0,09% (1,29 Mtep) provino de digestores anaerobios sencillos y el 0,21% (2,42 Mtep) de plantas de biogás. La ONEI también reportó 140 626 t DBO2 (ONEI 2013b) como carga contaminante liberada al medio consistente en aguas residuales domésticas e industriales.

Actualmente varios sectores de la nación cuentan con potencial para generar biogás a partir de los residuales biodegradables aún sin tratar adecuadamente. La Empresa Pecuaria Genética "Camilo Cienfuegos" (EPG C.C.) es un ejemplo de ello (Pagés et al. 2013, 989-995).

En el año 2010 la EPG C.C. fue propuesta por las autoridades cubanas como primer lugar de estudio para la transferencia tecnológica de una planta de biogás centralizada, ubicada en la capital cubana. Entre 2010 y 2011 se evaluó la BRH en las instalaciones de la empresa, se conoció la demanda energética, se determinó el potencial de producción de biogás de la biomasa, y se diseñaron alternativas tecnológicas para la planta de biogás (Valmaña et al. 2014).

Dentro de los residuales evaluados en la EPG C.C., los subproductos animales (SPA's), procedentes de un matadero y empacadora de carne, corresponden al 79% del total de residuales evaluados en la empresa (Pagés et al. 2013, 989-995). Estos efluentes constituyen un riesgo biológico que hace que se les deba aplicar un tratamiento y seguimiento diferenciado, respecto a otros residuos, dentro de una planta de biogás.

En Cuba no existen plantas de biogás que empleen residuos de mataderos y de la industria cárnica. Tampoco existen regulaciones o normativas que controlen y regulen la valoración de este tipo de residual mediante tecnología de biogás y/o compostaje.

La Unión Europea es pionera en el establecimiento del marco legislativo para el uso y valoración de SPA's en planta de biogás y/o compostaje. El Reglamento (CE) N° 1069/2009 clasificó los SPA's y dispuso los métodos de eliminación y uso de estos.

Europa es pionera también en investigación, desarrollo e innovación en cuanto a los efectos del uso de SPA's en procesos de digestión anaerobia, y en procesos que garanticen la higienización de los mismos.

En el trabajo de investigación realizado por Pagés et al. (2013, 989-995), se determinó el rendimiento de metano (Y_{CH4}) en condiciones mesofílicas (37°C) de la mezcla de residuales evaluados en la EPG C.C. Sin embargo, en el mismo no se estudió la higienización de los SPA's y su efecto sobre el propio Y_{CH4} de la mezcla.

El presente trabajo aborda esta problemática desde una perspectiva no experimental y se definió como:

> ¿Un proceso de higienización de los SPA's evaluados en la EPG C.C., incrementará el Y_{CH4} de los residuales tratados mediante digestión anaerobia mesofílica?

Esta investigación se propuso como objetivo principal estimar la variación del Y_{CH4} reportado por Pagés et al. (2013, 989-995), dada la incorporación de una etapa de higienización; así como el rediseño de la alternativa tecnológica mesofílica para la planta de biogás. Para ello se desarrollaron los siguientes objetivos:

1. Propoponer una variante de transformación de los SPA's evaluados en la EPG C.C., basado en reglamentos europeos.
2. Calcular el $Y_{CH4ponderado}$ al incorporar una etapa de higienización al diseño.
3. Rediseñar la variante tecnológica en condiciones mesofílicas contemplando la variante de transformación de SPA's propuesta.

[1]Mtep – miles de toneladas equivalentes de petróleo (1 Mtep = 41870 GJ)
[2]t DBO – toneladas de demanda bioquímica de oxígeno (1 t = 1000 kg)

Materiales y métodos

Empresa Pecuaria Genética "Camilo Cienfuegos"

La Empresa Pecuaria Genética "Camilo Cienfuegos" perteneciente al Ministerio de la Agricultura de Cuba (MINAG), se encuentra ubicada en el municipio Consolación de Sur, provincia Pinar del Río. La empresa está organizada en 5 grandes granjas. La Empacadora "El Canal" con su matadero y empacadora es la instalación donde se genera la mayor cantidad de residuales y que tienen un alto consumo energético, por ello fue propuesta para la ubicación de la planta de biogás.

Otras cuatro instalaciones, principalmente vaquerías, fueron analizadas por especialistas y autoridades cubanas en el 2010, buscando sustratos para la codigestión. Ello se basó en la cercanía a la empacadora y a la magnitud y tipo de residuales que generan estas instalaciones.

Normativas europeas y consideraciones para el diseño

Los reglamentos europeos vigentes para el uso y valoración de SPA's en plantas de biogás y/o compostaje son: Reglamento (CE) N° 1069 2009 y Reglamento (UE) N° 142 2011. El Reglamento (UE) NO 142/2011 establece las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) N° 1069/2009.

El Y_{CH4} reportado por Pagés et al. (2013, 989-995) fue de 0,214 Nm3 CH4/kg SVo, en condiciones mesofílicas, en reactor de mezcla completa (RMC), a régimen discontinuo y a escala de laboratorio. Este rendimiento se tomó como base para determinar el rendimiento ponderado de la presente investigación.

Se definió rendimiento ponderado ($Y_{CH4ponderado}$) como el Y_{CH4} base multiplicado por la media ponderada del incremento de los sólidos volátiles que aporta cada sustrato a la mezcla (SV_{oi}). El incremento de los SV_{oi} es debido al efecto de la temperatura sobre los distintos sustratos, y el mismo se consideró en el cálculo como un factor, denominado factor térmico (Ft_i). Este factor fue tomado de los resultados de Edström et al. (2003, 127-138) y Carlsson et al. (2012, 1634-1650) para sustratos similares. Se empleó la ecuación 1 para el cálculo del $Y_{CH4ponderado}$.

$$Y_{CH_4 ponderado} = Y_{CH_4} \cdot \frac{\sum_i^n SV_{o_i} \cdot Ft_i}{\sum_i^n SV_{o_i}} \quad \text{Ec. 1}$$

$Y_{CH_4 ponderado}$: rendimiento estimado (Nm³ CH_4 / kg SV_o)

Y_{CH_4} : rendimiento base, obtenido por Pagés et al. (2013, 989-995) (Nm³ CH_4 / kg SV_o)

SV_{o_i} : sólidos volátiles aportados a la digestión por cada sustrato (kg/d).

Ft_i : factor térmico (adimensional)

$\sum_i^n (SV_{o_i} \cdot F_{t_i})$: sólidos volátiles ponderados o sumatoria de los sólidos volátiles aportados por cada sustrato e incrementados por el efecto de la temperatura.

$\sum_i^n SV_{o_i}$: total de sólidos volátiles aportados por los sustratos o sumatoria de los sólidos volátiles aportados por cada sustrato.

$\frac{\sum_i^n (SV_{o_i} \cdot F_{t_i})}{\sum_i^n SV_{o_i}}$: media ponderada de los sólidos volátiles que se introducen con los sustratos.

Los balances de masa se realizaron de forma global y por componentes. Los elementos balanceados en los procesos fueron: ST, SV, SNV[3], FEL, FES[4], biogás, H_2O, CH_4, CO_2, H_2S, NH_3, y OG[5]. El balance de los componentes gaseosos se realizó en base húmeda, en base diaria y en porciento volumétrico. Los balances de componentes sólidos también en base húmeda y diaria, pero en porciento másico.

Las principales consideraciones que se emplearon para ello fueron:

- Para estimar la composición del biogás en cuanto a CO2 y NH3, se empleó el reporte de Al Seadi (2008, 96-102). Para el contenido de H2S se utilizó el trabajo de Peu et al. (2012, 419-424) y para la humedad el trabajo de Hillen et al. (2010b).
- El efecto de desulfuración y deshumificación del biogás mediante una torre de lavado biológica se basó en los trabajo de Hillen et al. (2010a) y Al Seadi (2008, 96-102). Además se consideró la solubilidad de los componentes del biogás en agua a 25°C y 101,325 kPa (Perry & Green 1999, 120-200).
- Para estimar la cantidad de efluente sólido y líquido obtenida mediante separación mecánica se empleó el trabajo de Al Seadi (2008, 96-102).

[3]ST - sólidos totales, SV - sólidos volátiles, SNV - sólidos no volátiles
[4]FEL - flujo de efluente líquido, FES - flujo de efluente sólido
[5]OG - otros gases

Para la estimación del contenido energético del biogás se utilizó la concentración de metano obtenida en el biogás y la entalpía de combustión del metano ($\Delta H^{O}{}_{C_{CH4}}$ =- 802.6 kJ/mol
(Perry & Green 1999, 120-200).

Resultados

Uso y valoración de SPA's

Los residuos de matadero están constituidos por un grupo heterogéneo de subproductos orgánicos proveniente de animales sacrificados. Estos son muy valorados como cosustratos en la codigestión anaerobia con residuos ganaderos por su alto contenido en grasas y proteínas. Sin embargo, su manejo y empleo debe ser estrictamente controlado por su contenido en microorganismos patógenos como bacterias de los géneros Clostritridium, Enterobacteriaceae, entre otros; y en el peor de los casos priones que producen encefalopatías espongiformes.

El marco regulatorio europeo consultado fue: Reglamento (CE) No 1069/2009 y Reglamento (UE) NO 142/2011. El primero define SPA's como cuerpos enteros o partes de animales o productos de origen animal no destinados al consumo humano (OJEU, 2009a). El mismo clasificó los SPA's en tres categorías, basándose principalmente en el nivel de riesgo biológico de los subproductos. A su vez dispuso los métodos de eliminación y uso de los SPA's y derivados. El Reglamento (UE) NO 142/2011 (OJEU, 2009b) establece las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) NO 1069/2009.

Teniendo en cuenta las regulaciones europeas consultadas, los SPA's evaluados en EPG C.C. fueron clasificados según el nivel de riesgo biológico establecido por el Reglamento (CE) N° 1069-2009. En base al Reglamento (UE) N° 142-2011 se analizaron los procedimientos de uso y/o eliminación más adecuados para los SPA's, y se propuso una variante de transformación para estos y para los sustratos en su conjunto. En la tabla 1 se presentan estos resultados.

Tabla 1: *Clasificación de los SPA's evaluados y procedimiento de uso y/o eliminación.*

Residual	Categorías según Reglamento (CE) N° 1069-2009	Procedimiento según Reglamento (UE) N° 142 2011	Variante de transformación
• RSM (rumen, estiércol vacuno, equino y caprino; tubo digestivo e intestinos con contenidos) • RSM (pedazos de cuero y grasa) • RLM (agua residual del matadero con sangre disuelta)	Categoría 2 Categoría 3	Se compostará y/o se transformará en biogás empleando una equipo de pasteurización/ higienización con los siguientes parámetros de transformación: a) dimensión granulométrica máxima antes de entrar en la unidad: 12 mm. b) temperatura mínima de todo el material en la unidad: 70 °C. c) permanencia mínima en la unidad sin interrupción: 60 min.	Reducir el tamaño del RSM a ≤ 12 mm, e higienizar la mezcla de RSM junto con RLM a 70°C por 60 min. en equipo adecuado. Finalmente someter la mezcla a codigestión anaerobia mesofílica (37°C) junto con el estiércol, la paja y el forraje.

Leyenda: RSM – residual sólido de matadero, RLM – residual líquido de matadero
Fuente: Elaboración propia

Efecto de la etapa de higienización sobre el rendimiento de metano

La tecnología propuesta por las autoridades cubanas para transferir a la EPG C.C., está basada en un RMC en dos etapas en condiciones mesofílicas (35 - 37°C). Basado en los resultados de Edström et al. (2003, 127-138), dadas las similitudes de los SPA's empleados por este autor con los del presente trabajo, se estimó el efecto que podría tener una etapa de higienización sobre el Y_{CH4} obtenido por Pagés et al. (2013, 989-995). En la tabla 2 se muestra la caracterización de la mezcla de residuales reportada por Pagés et al. (2013, 989-995) y el $Y_{CH4ponderado}$.

Tabla 2: *Caracterización de la mezcla de residuales y rendimientos de metano.*

Fuente	Flujo (kg / d)	%ST (bh)	%SV (bh)	%C (bh)	%N (bh)	Factor térmico (Ft)	Y_{CH4} (Nm3 CH4 / kg SVo)	$Y_{CH4ponderado}$ (Nm3 CH4 / kg SVo)
Paja y forraje	972	80.37	70.26	36.07	1.19	1	0.214	0.307
Estiércol	2 768	19.58	16.07	10.73	0.24	1		
RSM	220	38.51	37.38	32.93	1.02	4		
RLM	13 920	0.91	0.78	s/d	s/d	4		

Leyenda: ST – sólidos totales, SV – sólidos volátiles, bh – base húmeda, s/d – no reportado
Fuente: Elaboración propia

El Y_{CH4} estimado se incrementó en un 43,45%. El mismo se determinó de forma ponderada buscando resultados conservadores dado el carácter teórico de este estudio. El Ft, para el caso de la fracción de subproductos de animales, incluyendo la sangre, fue de cuatro unidades según Edström et al. (2003, 127-138). Para el resto de componentes fue de uno, ya que en la bibliografía consultada no se encontraron reportes de incremento de producción de metano por someterlos a un proceso de higienización (Carlsson et al. 2012, 1634-1650).

Rediseño de la alternativa tecnológica

La planta de biogás estará emplazada junto al matadero y empacadora en la granja "Corralito". En estas instalaciones se genera la mayor cantidad de residuos biodegradables evaluados (79%). En la tabla 3 se da una breve descripción de la alternativa rediseñada y de los principales parámetros de operación del proceso de higienización y de digestión anaerobia.

Tabla 3: *Principales parámetros de operación.*

Breve descripción	Parámetros higienizador	Parámetros digestor
Planta centraliza de biogás con una etapa de higienización y digestor anaerobio mesofílico de una etapa.	**T** - 70°C **t** - 60 min. **TP** - <12 mm	TRH - 25 d VCO - 2.56 kg SV/m^3•d ST_0 - 8,6% Y_{CH4} - 0.307 Nm^3 CH_4/kg SV_0 Y_{SV} - 53%-

Leyenda: % en base húmeda, T – temperatura, t – tiempo, TP – tamaño partícula, TRH – tiempo retención hidráulico, VCO – velocidad carga orgánica, ST_0 – sólidos totales alimentados, Y_{CH4} – rendimiento metano, Y_{SV} – eficiencia transformación sólidos volátiles, d – días
Fuente: Elaboración propia

Un breve diagrama de flujo de rediseño de la alternativa tecnológica se muestra en la siguiente figura:

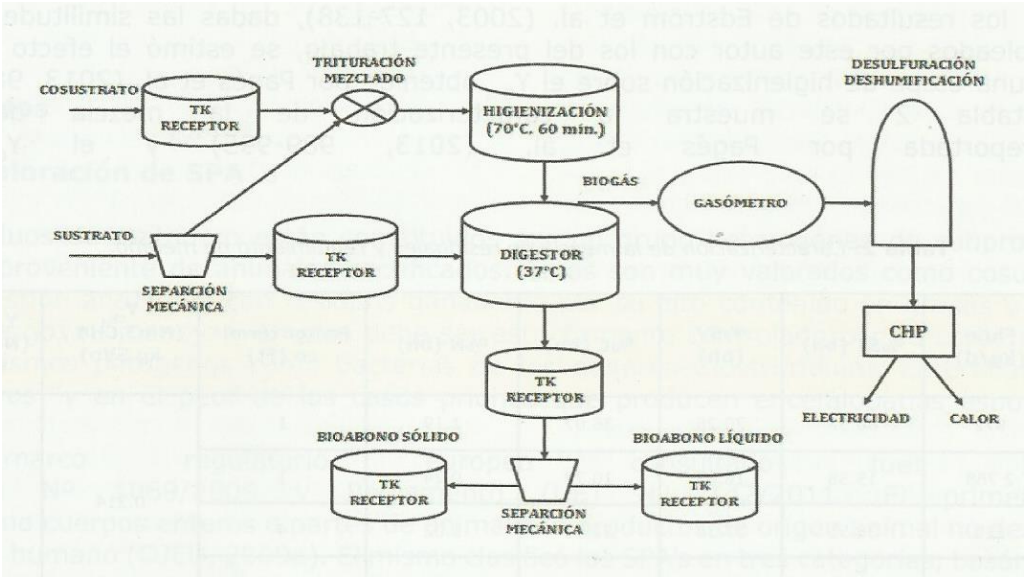

Figura 1. *Diagrama de flujo del rediseño de la alternativa tecnológica.*

En la tabla 4 se resumen los resultados del balance de masa (BM) y se reporta el contenido energético del biogás en función de su composición en metano.

Tabla 4: *Resultados de balance de masa.*

Parámetros	
BRH (kg/d)	18 000
Biogás útil (Nm3/d)	591
Contenido energético (MJ/d)	14 881
CH4 (%vol.)	68.5
H20 (%vol.)	2.7
CO2 (%vol.)	26
H2S (%vol.)	0.01
NH3 (%vol.)	0.14
OG (%vol.)	2.35
FES (kg/d)	3 680
FEL (kg/d)	16 912

Leyenda: % vol. – volumétrico base húmeda
Fuente: Elaboración propia

Discusión

La variante de transformación propuesta para los SPA's evaluados en la EPG C.C. se basó en el Reglamento (CE) N° 1069/2009 y Reglamento (UE) NO 142/2011. Dichos reglamentos son los vigentes en toda la Comunidad Europea para normalizar la transformación y valoración de SPA's en plantas de biogás y de compostaje, entre otros usos.

La inclinación hacia el marco legislativo europeo para proponer una variante de transformación adecuada de los SPA's de la empresa en estudio, estuvo basada en el hecho de que Cuba aún no dispone de regulaciones que controlen la valoración de este tipo de residual en plantas de biogás y/o compostaje. Además, Europa es una adecuada referencia en cuanto a estas temáticas, dada la experiencia acumulada en sus países. Por lo tanto, la incorporación de una etapa de higienización (70°C, 60 min.) a la variante tecnológica en condiciones mesofílicas, debe garantizar la inocuidad de los influentes y efluentes de la planta de biogás para la EPG C.C.

Edström et al. (2003, 127-138) obtuvieron un incremenento de cuatro unidades en el Y_{CH4} en un reactor RMC a 37°C a escala piloto y en

régimen discontinuo, tras una higienización (70°C, 60 min.) de la fracción de subproductos de animales (bovino y porcino procedentes de mataderos: harinas de carne, rumen, tubo digestivo, sangre y contenido estomacal).

No es menos cierto que el Y_{CH4} estimado en el presente trabajo es basado netamente en los resultados de Edström et al. (2003, 127-138), sin embargo los mismos son corroborados por los resultados de otros autores como Paavola et al. (2006, 223-231) y Carlsson et al. (2012, 1634-1650).

Paavola et al. (2006, 223-231) descubrieron que la higienización de subproductos de animales antes de la digestión a 35°C, mejora la producción de metano de un 14% a 18% con respecto a un tratamiento similar sin higienización (higienización de los residuos biológicos durante 1 h a 70°C, tamaño de partícula <12 mm). Estos autores atribuyen ese incremento al aumento de la degradabilidad de la materia orgánica por acción del calor, particularmente sobre los lípidos, quedándole más disponible a los microorganismos. Por tanto un proceso de higienización puede constituirse un pretramiento en sí.

Carlsson et al. (2012, 1634-1650) concluyeron que el pretratamiento tiene el potencial de mejorar la digestión anaerobia mediante el aumento de los rendimientos de metano en condiciones de funcionamiento similares a aquellos sin pretratamiento.

Conclusiones

El Reglamento (CE) NO 1069/2009 y Reglamento (UE) N° 142/2011 permitieron conocer mejor los riesgos biológicos de los subproductos animales evaluados en la EPG C.C., y clasificarlos según su nivel de riesgo. Una etapa de higienización a 70°C por una hora y con un tamaño de partícula = 12 mm para los sustratos, fue la variante de transformación más adecuada según las normativas europeas.

El $_{YCH4}$ estimado de manera no experimental se incrementó en un 43,45% respecto al Y_{CH4} tomado como base en el estudio. Para ello se definió $Y_{CH4ponderado}$ como medida del efecto del proceso de higienización introducido. Este resultado es coherente con el incremento del Yco que reportan algunos autores por efecto del pretratamiento de los residuales.

Se diseñó una alternativa tecnológica que contemplara la etapa de higienización a diferencia de las propuestas realizadas para la planta de biogás centralizada entre los años 2010 y 2013.

La consecución de un proyecto de inversión para una planta de biogás centralizada en la EPG C.C., basado en los resultados de investigaciones como esta, contribuirá a demostrar la viabilidad de extender la tecnología del biogás a sectores primarios de la economía de la nación, y con ello contribuir al desarrollo sostenible y a revertir la dependencia a los combustibles fósiles.

BIBLIOGRAFÍA

- Angelidaki I, & Ellegaard L. 2003, "Codigestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants: status and future trends". Appl Biochem Biotechnol., 109, (1-3), 95-105.
- Al Seadi, T. 2008. Biogas handbook [en línea], consultado: 20 noviembre 2014, http://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf
- Carlsson M., Lagerkvist A., & Morgan F. 2012, "The effects of substrate pre-treatment on anaerobic digestion systems: A review". Waste Management, 32, 1634-1650.
- Edström M., Nordber Å., & Thyselius L. 2003, "Anaerobic treatment of animal byproducts from slaughterhouses at laboratory and pilot scale". Appl Biochem Biotechnol, 109, (1-3), 127-138.
- Hillen F., Wall G., Schulze M., & Chvatal S. 2010a, Deliverable 14: Report on the optimised CHP use in agricultural biogas plants and increased degree of efficiency (en línea], consultado: 2 noviembre 2013, http://www.rtd-services.com/euagrobiogas/images/d14.pdf
- Hillen F., Wall G., Schulze M., & Chvatal S. 2010b, Deliverable 21: User manual on the biogas conversion through CHP [en línea], consultado: 2 noviembre 2013, http://www.rtd-services.com/euagrobiogas/images/d21.pdf

BIBLIOGRAFÍA

- Official Journal of the European Union (OJEU) 2009a, Regulation (EC) No. 1069/2009 of the European Parliament and of the Council (en línea], consultado: 10 octubre 2013, http:// eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:300:0001:0033:ES:PDF

- Official Journal of the European Union (OJEU) 2009b, Regulation (EC) No.142/2011 of the European Parliament and of the Council (en línea], consultado: 10 octubre 2013, http:// eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:054:0001:0254:ES:PDF

- Oficina Nacional de Estadística e Información de la República de Cuba (ONEI) 2013a, Fuentes Renovables de Energía Cuba 2013 (Edición junio 2014 – Dirección de Industria y Medio Ambiente) [en línea], consultado: 10 enero 2014, http:// www.one.cu/publicaciones/04industria/energiarenovables/inventarionacional2013.pdf

- Oficina Nacional de Estadística e Información de la República de Cuba (ONEI) 2013b, Anuario Estadístico de Cuba 2013 (Edición 2014 – Carga contaminante por provincia. Medio Ambiente) (en línea], consultado: 10 enero 2014, http://www.one.cu/aec2013/esp/20080618_tabla_cuadro.htm

- Paavola T., Syväsalo E., & Rintala J. 2006, "Co-digestion of manure and biowaste according to the EC Animal By-Products Regulation and Finnish national regulations". Water Science & Technology, 53 (8), 223-231.

- Pagés J., Sárvári J., Pérez J. & Pereda I. 2013, "Co-digestion of bovine slaughterhouse wastes, cow manure, various crops and municipal solid waste at thermophilic conditions: a comparison with specific case running at mesophilic conditions". Water Science & Technology, 67 (5), 989-995.

- Perry RH & Green DW 1999, "Physical and Chemical Data" en Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O. (Eds.), Perry's Chemical Engineers 'Handbook (7th ed.) (pp. 2-120 - 2-200). New York, USA: McGraw-Hill Companies.

- Peu P., Picard S., & Diara A. 2012, "Prediction of hydrogen sulphide production during anaerobic digestion of organic substrates". Bioresource Technology, 121 (6), 419-424.

- Valmaña GO., Pereda RI, y García GD 2014, "Diseño Tecnológico y Evaluación Técnico - Económica del Proyecto de Inversión: Planta de Biogás Centralizada en la Empresa Pecuaria Genética Camilo Cienfuegos (Pinar del Río, Cuba)", Eco_lógicas: Concurso Latinoamericano de Monografías sobre Energías Renovables y Eficiencia Energética: Trabajos Seleccionados (pp. 69-102). Florianópolis: Quorum Comunicação

Ing. Oscar Daniel Valmaña García, MSc
- Master en Energías Renovables Ingeniero Químico, Especialista Asesor del Centro de Estudios de Ingeniería en Procesos, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", La Habana, Cuba.
- Docente en la Carrera de Ingeniería Química, Universidad de Guayaquil, Ecuador.
Email: oscar.valmanag@ug.edu.ec

Dra. Ileana Pereda Reyes, Ph.D
- Doctora en Ingeniería Química, Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", La Habana, Cuba.
Email: ileana@quimica.cujae.edu.cu

Ing. Daniel García Galindo, MSc
- Master en Energías Renovables, Ingeniero Industrial, Investigador de la Fundación CIRCE, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España.
Email: daniel.garcia@fcirce.es