

REVISTA

PRIMERA EDICIÓN • 2017

RedBioLAC



**ARTÍCULOS
ORIGINALES,
ESTUDIOS DE
CASO Y
GRUPOS DE
INVESTIGACIÓN**

EN TEMAS
RELACIONADOS
A LA DIGESTIÓN ANAEROBIA
EN LATINOAMÉRICA Y
EL CARIBE

La primera edición de la Revista RedBioLAC fue realizada gracias a las instituciones que conforman el grupo de trabajo de la Revista RedBioLAC, la RedBioLAC y el apoyo de WISIONS.



Editorial

La “**Revista RedBioLAC**” es sin duda el resultado del esfuerzo conjunto y de sinergias entre varias instituciones de la región que apostaron por realizar una publicación conjunta en aras del desarrollo de la digestión anaerobia, a través de la conformación de uno de los grupos de trabajo (GdT) de 2017 que lleva el mismo nombre.

Como objetivo principal, este GdT busca promover el desarrollo de una metodología para la realización de una publicación periódica arbitrada de la RedBioLAC, con marcado perfil técnico, sobre artículos originales, estudios de caso y experiencia en el desarrollo, implementación y evaluación de biodigestores instalados en LAC; de modo de ser un medio de difusión permanente de la tecnología a los miembros de la Red y personas vinculadas a la temática. Para esto, se ha planteado la elaboración y divulgación de la primera edición de la Revista RedBioLAC y la evaluación de esta experiencia con el objetivo de desarrollar una metodología enfocada en la continuidad y sostenibilidad técnica y financiera. Esta publicación espera canalizar los esfuerzos de los desarrollos técnicos que se realizan en LAC, evitando cometer los mismos errores y aprove-

chando casos exitosos de modo de impulsar la investigación, desarrollo e innovación local.

El GdT está conformado por NETUM, CIBiogás y el NEST-UNIFEI quienes han propuesto a su personal técnico calificado para el desarrollo, la edición, diseño y revisión técnica de esta publicación.

NETUM es una empresa joven que trabaja en la valorización y gestión de residuos en Uruguay. Se especializa en la investigación, diseño, construcción, implementación y seguimiento de biodigestores. www.netum.com.uy

El Centro Internacional de Energías Renovables - Biogás (CIBiogás) es una institución científica, tecnológica y de innovación, ubicada en Brasil, que tiene como misión promover el desarrollo sostenible de la cadena del biogás y otras energías renovables. www.cibiogas.org

El NEST-UNIFEI es un grupo de investigación y extensión de la Universidad Federal de Itajubá en Brasil, que desarrolla trabajos experimentales y teóricos aplicados en los temas de diseño y optimización de sistemas de conversión de energía. Trabaja en temáticas relacionadas al aprovechamiento energético de biomasas residuales, análisis de Ciclo de Vida, digestión anaerobia, entre otros. www.nest.unifei.edu.br

Asimismo, este GdT ha estado en comunicación fluida y ha contado con el

apoyo de la Red en todas las etapas del desarrollo de la Revista, de modo de que esta sea un reflejo de lo que la RedBioLAC tiene para mostrar.

Nos encontramos complacidos del trabajo realizado al entregarles esta primera edición de la revista que sin duda marcará pautas a trabajar sobre la temática en la región. Esperamos que los artículos y estudios de caso que se comparten al interior de esta primera publicación, sean del agrado y el interés de cada uno de los lectores, ya que fueron seleccionados teniendo en cuenta la gran diversidad de temas y experiencias hasta el momento desarrolladas en América Latina y el Caribe, las cuales están enmarcadas principalmente en torno a la producción de biogás a partir de residuos pecuarios y como no, también mencionar el tema de la co-digestión de diversos sustratos que de alguna forma viene tomando fuerza para mejorar la performance de estos procesos e incluir las problemáticas urbanas y peri-urbanas.

Invitamos a toda la comunidad del biogás, que se anime a publicar sus trabajos de investigación, estudios de caso y grupos de investigación en versiones futuras de la Revista RedBioLAC, lo que podría ser un fuerte incentivo para que de esta forma los conocimientos puedan ser difundidos a mayor cantidad de personas y puedan llegar a todos los rincones de LAC, y así continuar sembrando inquietudes, interés y vinculando a quienes desarrollamos la temática en la región.



Mariela Pino
RedBioLAC



Guillermo Zinola
NETUM



Leidiane Mariani
CIBiogás



Jean Velásquez
NEST-UNIFEI

RedBioLAC 2017

- 03. Editorial
- 04. Índice
- 05. ¡Bienvenidos!
- 06. Historia de la RedBioLAC

SALUDOS DE LOS HISTÓRICOS DE LA RED

- 08. CIPAV: como precursor de la Red de Biodigestores para Latinoamérica y el Caribe – RedBioLAC
- 09. UPC: Una década investigando los biodigestores familiares en países andinos
- 11. CINER, y los biodigestores en Bolivia

- 12. Asobiogás cumple dos años de impulsar los biodigestores en Costa Rica
- 13. GEF Biogás: Promoviendo el desarrollo de la energía a biogás en pequeñas y medianas agroindustrias seleccionadas

ESTUDIOS DE CASO

- 15. Diseño e instalación del Biodigestor del Comedor Universitario de la Universidad Nacional del Litoral: Una experiencia multidisciplinaria y participativa
- 22. Integración de biodigestores y celdas Peltier como alternativa energética para granjas agropecuarias de las Zonas No Interconectadas (ZNI)
- 27. Los biodigestores como componentes claves para la sostenibilidad de la Agricultura Familiar
- 32. Desarrollo de un Curso de Especialistas en Biogás para responder la exigencia de un nuevo Reglamento Biogás en Chile

ARTÍCULOS

- 37. Monitoreo a escala de real de un digestor anaeróbico de bajo costo instalado en una planta de sacrificio animal
- 45. Avaliação da produção de energia elétrica a partir do biometano gerado pelo tratamento do esgoto sanitário no município de Itajubá, Minas Gerais, Brasil
- 52. Producción de biogás a partir de la codigestión de estiércol bovino, melaza e inóculo bacteriano
- 58. Avaliação econômica da geração de energia elétrica a partir do biometano produzido em aterro sanitário no município de Formiga, Minas Gerais, Brasil

Índice

- 66. Estudio de factibilidad de producción de biogás con residuos orgánicos ganaderos para satisfacer la demanda energética del caserío el Tambo

GRUPOS DE INVESTIGACIÓN

- 75. Centro de Tecnologías ambientales y Energía. Facultad de Ingeniería Olavarría Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires / cTAE-FIO
- 76. Grupo de investigación de la Planta Experimental de Biogás Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo / FCA-UNCuyo

GRUPOS DE TRABAJO

- 77. Grupo I: Evaluación de biol de segunda generación (Biol IIG) producido a través de biodigestores alimentados con excretas de vacunos y residuos agrícolas
- 77. Grupo II: Biodigestión semiseca y uso de hidrolavadoras con motores alimentados con biogás como herramienta para disminuir la huella hídrica y energética en sistemas agropecuarios sostenibles a pequeña y mediana escala
- 78. Grupo III: Prototipo de biodigestor con aporte solar térmico, para pequeña agricultura en la zona central de Chile y apoyo en la formación de técnicos en Energías Renovables
- 80. Grupo IV: Difusión de conocimiento en biodigestión, biogás y digestato en América Latina y Caribe / Cursos en la modalidad a distancia y planeamiento de un proyecto de largo plazo

Queridos lectores,

Con mucho gusto saludamos a nuestros lectores en esta, la primera edición de la revista de la Red de Biodigestores para Latino América y el Caribe.

Nos complace que el ejemplar de esta revista ya esté en las manos de lectores interesados en la digestión anaeróbica, a lo largo de toda la región latinoamericana. La revista es fruto del esfuerzo de muchas personas que han venido trabajando en la existencia y el funcionamiento de la red a lo largo de ya 8 años. Una constante en el desarrollo de la red ha sido el buscar difundir y diseminar conocimiento, lecciones aprendidas, y el vincular a todos quienes tengan interés en esta noble tecnología. Hasta el momento se han sumado muchos a la tarea de tratar nuestros residuos en biodigestores, ya sea en escalas domésticas, productivas o comunitarias. Contamos con colaboradores en la academia, en la empresa privada, en organismos y agencias de educación, desarrollo agropecuario y de gestión de residuos urbanos; y con una gran comunidad de personas que aportan cada día al compartir sus puntos de vista e información relevante en el foro, como también en los encuentros.

Más que nunca se evidencia el interés y la necesidad que existe en la sociedad en torno al tratamiento adecuado de los residuos orgánicos (en su vasta variedad) para evitar contaminación, y al mismo tiempo valorizarlos. Cada vez más esta necesidad se instala en la agenda, se formaliza, y aumenta el número de biodigestores instalados; quisiéramos que esto no sólo sea una moda pasajera. Es muy gratificante e importante seguir trabajando en que se conozca la tecnología no solamente como una forma de tratamiento biológico, sino que también como un método de diversificación energética (muy relevante en zonas aisladas), y de re-integración de materia orgánica rica en nutrientes a nuestros suelos (disminuyendo la superficie de suelos erosionados). Muchos son los impac-

tos que esta tecnología ofrece a la humanidad, y por lo tanto nos enorgullece de estar detrás de esta iniciativa, que sin duda y lejos lo más importante, contribuye a acercarnos un poquito más a las técnicas que permiten cuidar del planeta tierra.

Queremos seguir impulsando estas labores y nuestros objetivos, hasta lograr nuestra visión y nuestra misión en la región, como un objetivo que nace de entre nosotros, en y para nuestro territorio. Esperamos que esta revista logre reflejar y logre reflejar y recopilar año tras año, los avances que hay en la materia, las conclusiones a las que han llegado quienes implementan la tecnología, que dé a conocer y reconozca a quienes están detrás de los grupos de trabajo e investigación existentes en todos los rincones de LAC; y siga contribuyendo a desarrollar y consolidar la tecnología de los biodigestores, conectando a quienes compartimos estos intereses.

Los invitamos a volcar la discusión en torno a estas formas orgánicas y amigables con el planeta, a influenciar la toma de decisiones en cuanto a su utilización, a actuar con responsabilidad frente al manejo de residuos, a incentivar el uso de la tecnología donde exista la oportunidad, a empoderar a los usuarios, y a capacitar a quienes lo requieran, y a continuar desarrollando todos los aspectos que hagan de los biodigestores un recurso primordial e imprescindible para una América Latina sostenible en el largo plazo.

Esperamos que disfruten de este primer ejemplar, y que nos permitan, y contribuyan, a seguir mejorando en las siguientes ediciones de la revista de la RedBioLAC.

Consejo Directivo de la Red de Biodigestores de Latino América y el Caribe.

En el año 2008 Green Empowerment en colaboración con sus socios de países en los que trabaja a nivel de Latinoamérica, se percató del trabajo que se estaba realizando en muchas ONGs con biodigestores de diferentes modelos. Tuvimos la idea reunir cinco socios locales: *Soluciones Prácticas* de Perú, *Asociación Fénix* de Nicaragua, *Sistema Biobolsa* de México, *CARE* Ecuador y la *Universidad EARTH* de Costa Rica para compartir diseños, realizar una instalación juntos y escoger "el mejor modelo".

Con el apoyo de WISIONS y el Banco Interamericano de Desarrollo, logramos instalar biodigestores a nivel piloto y una evaluación final en cada uno de los cinco países. Realizamos el primer encuentro en Cajamarca, Perú en el año 2009 donde dos aprendizajes claves fueron: 1) No existía "el mejor modelo" porque cada contexto de los países son diferentes, valorando también las ventajas y desventajas de biodigestores de diferentes materiales, tamaños, usos, precios y diseños. 2) Había mucho entusiasmo en formar una red para ser utilizada como un foro de discusiones, investigaciones, transferencias de tecnología y apoyo mutuo, siendo así creada la RedBioLAC.

Hoy en día la red se auto define como [Visión] la organización de referencia en la investigación, desarrollo, implementación y difusión de biodigestores para estimular el manejo adecuado de los recursos naturales y promover el bienestar socioeconómico de Latinoamérica y el Caribe. ¿Qué busca? [Misión] aglutinar a las instituciones relacionadas con la investigación aplicada y en la difusión de la biodigestión anaeróbica para estimular el tratamiento integral y el manejo de los residuos orgánicos, como estrategias para mejorar el bienestar de la población de Latinoamérica y el Caribe.

Escrito por:
Anna Garwood en colaboración con Green Empowerment.

Contacto:
Caitlyn Peake Director Regional LAC, Green Empowerment
www.greenempowerment.org
caitlyn@greenempowerment.org

Consejo Directivo

Coordinadora General
Mariela Pino / Chile
redbiolac@gmail.com
www.redbiolac.org

Gloria Pedraza / Colombia
Lilian Rodríguez / Colombia
Fernando Acosta / Perú
Guillermo Zinola / Uruguay
Joaquín Viquez / Costa Rica
Mariano Butti / Argentina
Lucas Gallo / Argentina
Leidiane Mariani / Brasil
Rafael González / Brasil

Editores

Mariela Pino / RedBioLAC
Guillermo Zinola / NETUM
Leidiane Mariani / CIBiogas
Jean Velásquez / NEST-UNIFEI

Revisores

Gloria Pedraza
Fernando Acosta
Joaquín Viquez
Mariela Pino
Jean Velásquez
Guillermo Zinola

Diseño gráfico

Juan Manuel Bove
www.juanmanuelbove.com

Imagen de tapa

Mariela Pino
Foto: Universidad El Zamorano, Tegucigalpa, Honduras.

Impresión

LOB IMPRESORES
Tres Sargentos 1249 (Gerli)
Avellaneda / Bs. As. / Argentina
www.lobimpresores.com.ar

Grupo de trabajo:

Revista RedBioLAC
Guillermo Zinola / NETUM
Jean Velásquez / NEST-UNIFEI
Leidiane Mariani / CIBiogas
Juan Manuel Bove / NETUM
Rafael González / CIBiogas
Felipe Sousa / CIBiogas
Bruno Terao / CIBiogas
Macarena Guajardo / RedBioLAC

Registro:

ISSN: 2393-7394 Impreso
ISSN: 2393-7408 Digital

Puede hacer uso de esta revista y sus partes citando a sus autores y a la RedBioLAC.

Esta revista fue financiada gracias al apoyo de WISIONS.



Historia de la RedBioLAC

Hace ya 8 años, justo durante el clímax de la influenza porcina, era un momento complicado para viajar por América Latina, a pesar de eso, después de dos días de viaje llegué a Cajamarca, Perú, a reunirme con un grupo humano muy particular. Este grupo se reunía en torno a la temática de los excrementos y la alquimia de transformarlos en biogás y fertilizante, pero por sobre todo el interés en su positivo potencial para el mundo y quienes lo habitamos.

El año anterior, yo había trabajado en el equipo de Green Empowerment

(GE) para consolidar experiencias en proyectos de biogás; casos de éxito y fracaso en América Latina. Empecé instalando proyectos de biogás en 2005 con el Instituto Internacional de Recursos Renovables (IRRI México), con quienes experimentamos muchos errores, y empezamos a hacernos preguntas del tipo: ¿Cómo evitamos que otros cometan los mismos errores?, ¿Quién más está trabajando en resolver estos mismos desafíos?

Así nació la idea de la primera cumbre de biogás de pequeña escala en Amé-

rica Latina, que finalmente desarrollamos en Cajamarca. Organizado por IRRI, Soluciones prácticas y GE, hicimos una búsqueda exhaustiva para invitar a todos aquellos que estaban trabajando en biogás de escala doméstica en ese momento. Tras una semana de pláticas, presentaciones y bastantes bebidas fermentadas; fueron evidentes los retos, los vacíos de información, el interés en la región y la necesidad de desarrollar información en español; así es como llegamos al concepto y nombre de la RedBioLAC. Desde entonces hemos logrado, a pesar del limitado



Alex Eaton guía el proceso de instalación de un biodigestor en Cajamarca, Perú.

presupuesto y retos de logística, reunimos mínimo una vez al año, en Costa Rica, México, Nicaragua, Honduras, Colombia, Chile y ahora en Argentina.

Es importante reconocer el contexto mundial del biogás en aquel entonces. Tras la firma del Protocolo de Kioto, el tema del cambio climático, los retos de la pobreza, soberanía alimentaria y el cuidado de los recursos de agua y suelos, se definieron como los desafíos más apremiantes por enfrentar por la humanidad. En ese entonces, mucha inversión entró a América Latina para proyectos de biogás a escala industrial, la que estuvo dirigida únicamente por empresas extranjeras, sin mucho control o experiencia a nivel local. Por otro lado, los proyectos de biogás a pequeña escala estaban hechos de manera artesanal, sin estándares, sin producción en serie, y sin una forma clara —o lenguaje común— para compartir resultados. Habían muchas experiencias y personas sin una plataforma eficiente para compartir los aprendizajes que se estaban dando, a todos los niveles.

RedBioLAC ha logrado mucho en sus 8 años de vida, ha generado un sin número de aportes a la comunidad del biogás, por ejemplo: un lenguaje común para la gente de América Latina, un espacio para identificar a otras personas e instituciones y una memoria colectiva que nos permite saber qué ha funcionado y qué no ha funcionado.

Estos logros me alegran porque es difícil calificar el acuerdo de Kioto y los acuerdos de hoy como un éxito. Tengo poca fe en que los líderes internacionales y las grandes industrias de hoy van a actuar para construir la infraestructura y los sistemas agrícolas que necesitamos. Pero nosotros sí podemos: una comunidad como esta, conectada con millones de familias, pequeños y medianos productores y ciudadanos puede construir, innovar y compartir el mundo donde queremos vivir. Podemos generar un sistema de bajas emisiones que sea justo, y a su vez promueva la soberanía alimentaria y la energía limpia, en un mundo que

necesita de la economía circular. Hemos demostrado que juntos podemos hacer mucho.

Estoy muy contento de ver dónde estamos y cómo se ha profesionalizado la red, y muy expectante por ver hacia dónde vamos. Lo que hace única a RedBioLAC es ser una comunidad de personas apasionadas, y no una mera organización convencional. Esta pasión que los miembros de la red compartimos, por el impacto que pueden tener los biodigestores, nos une y nos vincula. Por eso, los invito a sumarse a esta comunidad de locos que tienen curiosidad en el excremento (y todos los desechos orgánicos), y que practican la alquimia de transformarlos en biogás y fertilizante, y creen en el potencial de tener un impacto positivo en el mundo.



Alexander Eaton
IRRI Programa de Biogás
Co-fundador Sistema Biobolsa

Quien les iba a decir a la docena de participantes que asistieron a la reunión de Cajamarca (Perú) de 2009, que aquello desembocaría en la Red de Biodigestores de Latino América y Caribe (RedBioLAC) y que nueve años después seguiría operativa y más fuerte que nunca.

Aquella reunión del 2009 mostró la necesidad de formar una red que permitiera el intercambio de información y experiencias entre personas vinculadas a los biodigestores en latino América y Caribe. En 2010 se logró reunir de nuevo a una veintena de personas en Costa Rica, dando nombre y forma a la RedBioLAC. Desde entonces, cada año nos hemos venido reuniendo en diferentes países (México en 2011, Nicaragua en 2012, Honduras 2013,

Colombia 2014, Chile 2015, Costa Rica en 2016 y Argentina 2017), como una herramienta de la Red, con la participación de más de 150 personas a cada evento. Y entre estos Encuentros, la lista de correos es la herramienta de comunicación continua con ya casi 900 personas participando en ella: compartiendo experiencias, resolviendo dudas, anunciando avances, retrocesos, éxitos y fracasos.

La Red va creciendo, consolidándose y generando diferentes espacios de intercambio entre diferentes puntos de vista, enfoques y tecnologías vinculadas a la temática amplia de los biodigestores. Los biodigestores tienen un alcance amplio, y personas del ámbito de las energías renovables, de la agricultura, de la gestión y aprovechamiento sostenible de los recursos y residuos, de lo social, económico, ambiente... políticos, ingenieras, científicos, usuarias, técnicos... academia, agricultores, activistas... han encontrado en la red una familia diversa con quien compartir y aprender.

Ahora llega esta revista como una nueva herramienta de la Red, donde queremos dejar por escrito y compartir algunas de nuestras experiencias, pues todas son imposibles. Se van diversificando las herramientas: Encuentros anuales, webinars, la página web, la lista de correos, los intercambios entre países, las redes nacionales, los grupos de trabajo, el apoyo a estudiantes de intercambio y ahora la revista. Esta diversificación, como diversos somos quienes participamos en la red, solo nos puede hacer más fuertes y resilientes.

Porque trabajamos por un sociedad justa y sostenible en este mundo redondo y finito, seguimos caminando.



Jaime Martí Herrero
Coordinador de RedBioLAC (2010-2013)

CIPAV: como precursor de la Red de Biodigestores para Latinoamérica y el Caribe – RedBioLAC

Raúl Botero Botero MVZ; MSc.

Consultor Privado en Sistemas Pecuarios Tropicales Integrados y Amigables con el Ambiente

El biodigestor plástico de flujo continuo, tipo Taiwán, fue traído a Colombia por el Dr. Thomas Preston, por el CIPAV, institución que se fundó e inició sus labores en Cali, Colombia, bajo la coordinación de Raúl Botero Botero, en 1986. Año en el que se instalaron los primeros biodigestores plásticos de diversos tamaños.

Su costo inicial (tamaño familiar 16 m³ y producción diaria de biogás que permitía lograr seis horas de cocción) era el equivalente a \$200 USD, lo que los hacía aptos para ser adoptados por familias rurales de escasos recursos económicos. Con ello se pueden procesar las excretas animales y otros remanentes orgánicos, para producir biogás, bio-abono y lograr la descontaminación productiva de las aguas servidas provenientes de las actividades agropecuarias.

A partir de esta experiencia en los trabajos iniciales del CIPAV, la Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, se comenzaron los mismos trabajos de investigación a nivel internacional.

“Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización”, fue escrito y publicado por Raúl Botero Botero y Thomas Preston en 1987. Esta publicación tiene por objetivo difundir la tecnología del biodigestor de polietileno de bajo costo y de flujo continuo tipo Taiwán, su manejo y las múltiples opciones de utilización del biogás y del efluente de los biodigestores, entre los productores de habla hispana en LAC.

Se visualizó la necesidad e importancia de crear una red, para la difusión de la investigación con biodigestores y los usos alternativos del biogás como fuente de energía alternativa y del bio-abono, como productos de la biodigestión anaeróbica de los desechos orgánicos generados en el medio rural. Esta institución se denominó Red de Biodigestores para Latinoamérica y el Caribe – RedBioLAC y fue creada en el año 2009 en Cajamarca, Perú, durante una reunión técnica en la que planteamos y aprobamos dicha iniciativa.

La RedBioLAC realiza reuniones en un país diferente cada año, con la finalidad de motivar a más personas, profesionales, instituciones y a la empresa privada a financiar y fortalecer la investigación, la transferencia de tecnología y la instalación y utilización de biodigestores, para la producción de biogás y de bio-abono en América Latina y el Caribe.

Posteriormente se inició la creación de las Redes Nacionales. En octubre del año 2012 se fundó en la Finca Ecológica TOSOLY en Guapotá, Santander, la Red Colombiana de Energía de la Biomasa – RedBioCOL. El Dr. Preston, en representación de la Fundación para la Producción Agropecuaria Tropical Sostenible, Capítulo Colombia – UTA, con su sede principal en el Sudeste de Asia, lideró este proceso, con el apoyo de WISONS, Green Empowerment y la RedBioLAC. En esta reunión contamos con la participación de 24 personas representantes de iniciativas privadas, organizaciones e instituciones de diversos países y de diferentes regiones de Colombia. Los participantes tuvimos la oportunidad de intercambiar experiencias, innovaciones, futuras investigaciones, desafíos técnicos y estrategias para la difusión de la tecnología del biogás, para lograr una mayor adopción por parte de los agricultores y ganaderos.

UPC: Una década investigando los biodigestores familiares en países andinos

Ivet Ferrer¹ / Marianna Garfí¹ / Laia Ferrer-Martí²

1. GEMMA - Grupo de Ingeniería y Microbiología del Medio Ambiente, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTech, c/ Jordi Girona 1-3, Módulo D1, E-08034 Barcelona. www.gemma.upc.edu

2. EOLI - Grupo de Ingeniería de Investigación y Logística Industrial, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTech, Av. Diagonal 647, E-08028 Barcelona. www.eoli.upc.edu/es

La Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTech (UPC-Barcelona, España) hace más de 10 años que está investigando la evaluación y optimización del diseño de biodigestores familiares en países andinos. Este trabajo se lleva a cabo principalmente gracias al apoyo del Centro de Cooperación para el Desarrollo de la UPC a través del intercambio de profesores y estudiantes (Ferrer-Martí et al., 2015). Desde la UPC, socio fundador de la RedBioLAC, queremos dar la bienvenida a esta nueva Revista RedBioLAC, la cual esperamos sea tan exitosa como la propia red, que tras 8 años de existencia sigue creciendo, ampliando fronteras, haciendo sus Encuentros anuales, promoviendo el foro y la discusión y, en definitiva, ayudando a difundir y a mejorar la tecnología de los biodigestores en América Latina y el Caribe.

La UPC empezó este trabajo en el 2006 en zona del Cusco (Perú) con el Instituto para una Alternativa Agraria

(IAA) colaborando en la implementación de biodigestores en comunidades andinas. Además, participó en la construcción y en la realización de experimentos en una planta piloto en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) para investigar el diseño de los biodigestores, la producción de biogás y su aprovechamiento (Ferrer et al., 2011). Paralelamente, colaboró con la organización Ciudad Saludable (Perú) estudiando la producción de biogás en el Parque Porcino de Ventanilla, Lima (Ferrer et al., 2009). En 2008, la UPC empezó a trabajar en Cajamarca (Perú), con ITDG-Soluciones Prácticas (Perú), Ingeniería Sin Fronteras (ISF, España) y Green Empowerment (EEUU). Se evaluaron las experiencias previas, se empezaron a implementar biodigestores familiares y se construyó una planta piloto en el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) de Baños del Inca (Figura 1). Aquí se pudo investigar la producción de biogás con estiércol de



Figura 1. Construcción de la planta piloto y ensayos con biol en el INIA (Baños del Inca, Perú).



cuy y la influencia del tipo de invernadero, con el techo a cúpula o a un agua (Garfí et al., 2011a), la codigestión de estiércol de cuy y vacuno (Garfí et al., 2011b), así como el biol producido y su efecto sobre los cultivos (Garfí et al., 2011c). Posteriormente, se compararon los diseños de biodigestor tubular de plástico y chino desde el punto de vista técnico, económico y ambiental, haciendo un análisis del ciclo de vida (Pérez et al., 2014), y se evaluaron los biodigestores implementados (Garfí et al., 2012).

Referencias bibliográficas

Ferrer, I., Gamiz, M., Almeida, M., Ruiz, A. (2009) Pilot project of biogas production from pig manure and urine mixture at ambient temperature in Ventanilla (Lima, Peru). *Waste Management*, 29(1), 168-173.

Ferrer, I., Garfí, M., Uggetti, E., Ferrer-Martí, L., Calderón, A., Velo, E. (2011) Biogas production in low-cost household digesters at the Peruvian Andes. *Biomass and Bioenergy*, 35, 1668-1674.

Ferrer-Martí, L., Garfí, M., Ferrer, I. (2015) Cooperation and Human Development Projects as Bachelor, Master and PhD Thesis: Evaluating an Internship Program. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 196, 63-68.

Garfí, M., Ferrer-Martí, L., Villegas, V., Ferrer, I. (2011a) Psychrophilic anaerobic digestion of guinea pig manure in low-cost tubular digesters at high altitude. *Bioresource Technology*, 102, 6356-6359.

Garfí, M., Ferrer-Martí, L., Pérez, I., Flotats, X., Ferrer, I. (2011b) Codigestion of cow and guinea pig manure in low-cost tubular digesters at high altitude. *Ecological Engineering*, 37, 2066-2070.

Garfí, M., Gelman, P., Comas, J., Carrasco, W., Ferrer, I. (2011c) Agricultural reuse of the digestate from low-cost tubular digesters in rural Andean communities. *Waste Management*, 31, 2584-2589.

Garfí, M., Ferrer-Martí, L., Velo, E., Ferrer, I. (2012) Evaluating benefits of low-cost household digesters for rural Andean communities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 575-581.

Garfí, M., Martí-Herrero, J., Garwood, A., Ferrer, I. (2016) Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 599-614.

Pérez, I., Garfí, M., Cadena, E., Ferrer, I. (2014) Technical, economic and environmental assessment of household biogas digesters for rural communities. *Renewable Energy*, 62,313-318.



CINER, y los biodigestores en Bolivia

Lic. Alba Gamarra De Guardia / Ing. Walter Canedo Espinoza www.ciner.org / ciner@ciner.org ✉

El incorporar el uso de energía en las actividades de los sectores deprimidos, es una tarea que demanda un gran esfuerzo (geografía dispersa, existentes estructuras sociales y las fuertes inversiones económicas que demanda). Ante estas circunstancias se han generado iniciativas que tratan de ejecutar proyectos que utilicen las energías alternativas.

Dentro de este marco el **Centro de Información en Energías Renovables – CINER**, busca contribuir a la conservación de los recursos naturales con miras a la producción y al uso racional de la energía, orientando, asesorando y promoviendo el intercambio de información, investigación y avances tecnológicos entre instituciones, empresas y personas que trabajan en el tema energético, estimulando la relación entre el uso de energía y la productividad. Nos hemos especializado en temas de biogás como un ente promotor, difusor y principalmente evaluador de programas, proyectos y políticas.

Desde el año 1996 a la fecha hemos trabajado con diversas entidades de cooperación, principalmente con GIZ. En los últimos años en Bolivia, lamentablemente la actividad con respecto a biodigestores se ha visto disminuida; los últimos esfuerzos se dieron con el Programa EnDev, el cual cerró hace algunos años.



Biodigestor agroindustrial de 250 m³ en Cochabamba con Motor dual (biogás – diesel) de 7.5 kW



Fuente: Archivo CINER (1993)

Como parte del accionar en difusión hemos promovido durante 18 años la revista *Energía y Desarrollo – E&D*, disponible en Internet y OLADE. Asimismo, hemos colaborado con la AEA en un catálogo de nodos de conocimiento. He aquí nuestro reconocimiento y felicitación a la RedBioLAC, pues la página, el boletín, su foro y el contacto entre países e instituciones que se da en cada Encuentro son la única forma de crecer y apoyarnos en épocas en las que las ERNC son un puntal para la salvación del planeta.

También se ha participado (2007 – 2012) en la planificación, monitoreo y evaluación del componente de biodigestores del Programa EnDev – GIZ, participando en las diferentes regiones. A raíz de este trabajo se publicaron varias de las lecciones aprendidas junto al coordinador, Sr. Jaime Martí, aunque lamentablemente el Plan gubernamental no pudo llevarse a cabo, quedando la masificación de las instalaciones postergada.

Desde el año 2010 a la fecha, nos encontramos desarrollando CINER-ELLA, que trabaja en temas transversales con enfoque de género. Se ha logrado capacitar en temas de prevención de violencia hacia la mujer en áreas rurales; del programa regional *ComVoMujer* de la GIZ, el que tiene presencia en Ecuador, Perú, Paraguay y Bolivia.

Lecciones aprendidas sobre biodigestores en Bolivia

- El papel de las fuentes energéticas renovables se definirá en función de las políticas que las impulsen.
- El enfoque energético en sistemas de DA debe ser implementado fundamentalmente con el enfoque de ser un tratamiento ambiental, miras a las mejoras en la producción agropecuaria mediante la utilización de su abono.
- La dimensión ambiental tiene una importancia creciente en nuestros países.
- La tecnología del biogás debe ser “apropiada” por los mismos usuarios.
- Se requiere bastante difusión y movilización para lograr impactos.
- El uso de los efluentes de los biodigestores depende del capital cultural de los usuarios.



Fuente: Taller de Tolerancia cero contra la violencia hacia las mujeres (TOT) – ComVoMujer – GIZ-CINER. Asunción – Paraguay 2015.

Con apoyo de varias instituciones, CINER se ha especializado también en la elaboración de manuales de preparación de proyectos, planeación, monitoreo y evaluación; así que felices de poder compartir con la Red y felicitar por esta excelente iniciativa para difundir conocimientos. Nuestro gran saludo y muchas felicitaciones por las tareas que realizan, espacio y donde nos sentimos a gusto y se comparte no solamente como una red; sino como un nodo de conocimiento.

Asobiogás cumple dos años de impulsar los biodigestores en Costa Rica

Leticia Vindas

www.asobiogas.org info@asobiogas.org ✉

Un grupo de profesionales del sector público y privado notaron hace poco más de dos años que compartían el interés por una tecnología de la que poco se habla en Costa Rica: los biodigestores. Tras conversaciones entre ellos, surgió la Asociación Costarricense de Biogás (Asobiogás) como un ente cuya meta es impulsar el uso de estos sistemas.

“Se tomó la oportunidad para crear una organización que proteja los intereses de la tecnología, para bien de Costa Rica”, comentó Joaquín Víquez, fiscal de la Asociación y presidente de la empresa privada Viogaz.

Ahora, el pequeño equipo de profesionales continúa ganando socios y abriéndose espacio en discusiones nacionales e internacionales. La meta a futuro es convertirse en el canal articulador del núcleo tecnológico, productor e investigador del biogás en nuestro país.

Como parte de las alianzas que forjaron, desde sus inicios se integró a la Red-BioLAC. “Hay luchas que se deben hacer como gremio para que el impacto sea mayor. Es un espacio para intercambiar conocimientos y experiencias. Hay dejar de mirar tanto hacia afuera, a Europa, China o India, y empezar a escribir nuestra propia historia”, puntualizó Adrián Sandí, presidente de la Asociación.

En noviembre de 2016, Asobiogás fungió como el socio local de la entidad para organizar el VIII Encuentro de la RedBioLAC, que se llevó a cabo en Costa Rica. “El Encuentro nos permitió acercarnos más al trabajo que realiza la red, agradecemos la confianza depositada en nosotros. A partir de este acercamiento aprovechamos más los beneficios de pertenecer a la red, como el intercambio de conocimientos y el establecimiento de contactos, por ello, valoramos el trabajo que realiza la Red, y esperamos que su trabajo siga mejorando y perdure en el tiempo”, añadió Sandí.

El mercado de los biodigestores

El uso de los biodigestores más tecnificados en el país inició hace unos 8 años, explicó Carolina Hernández, coordinadora del Programa de Biogás del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y vicepresidenta de Asobiogás; sin embargo, fue hasta el 2014

que el primero se interconectó a la red de energía.

Actualmente, empresas como Porcina Americana, El Arreo y Matadero del Valle cuentan con biodigestores a escala industrial. Además, pequeñas fincas en diferentes partes del país cuentan con esta tecnología a pequeña escala.

Sin embargo, su uso no podrá aumentar hasta que la banca sea más accesible y otorgue créditos a los productores agropecuarios, en opinión de Hernández. “Menos del 3% de los créditos que se otorgan a nivel nacional son para el agro, y de este porcentaje la mayoría es sólo para compra de terreno o maquinaria. Los productores no tienen oportunidad de adquirir préstamos para sistemas de aprovechamiento de la biomasa como un biodigestor”, añadió.

Una solución a mediano plazo es el financiamiento mediante el NAMA Biogás. Se trata de un conjunto de acciones y políticas enfocadas en mitigar las consecuencias que generan las emisiones de gases de efecto invernadero.



GEF Biogás: Promoviendo el desarrollo de la energía a biogás en pequeñas y medianas agroindustrias seleccionadas

Javier Obach Martiniello / Marianela Rosas Uribe

Coordinadores del Programa GEF Biogás “Promoviendo el desarrollo de la energía a biogás en pequeñas y medianas agroindustrias seleccionadas”, Chile.

j.obach@unido.org / m.rosas@unido.org ✉
www.minenergia.cl/biogaslechero

Desde el Programa GEF Biogás en Chile, felicitamos a la Red en su Primera edición de la Revista Red-BioLAC.

Para el Programa GEF Biogás, es un honor celebrar con la Red este nuevo logro.

Nuestro Programa es ejecutado en Chile a través del Ministerio de Energía, cuenta con el financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) y el apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) como Agencia implementadora. Busca re-

ducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) mediante la promoción de la inversión y el desarrollo del mercado del biogás en pequeñas y medianas lecherías del sur de nuestro país. Para ello, concentramos nuestras acciones en tres componentes o ejes principales: Política e información; Inversiones y cartera de proyectos y; Capacidades técnicas y habilidades de ejecución.





En nuestro tercer año de implementación y, siguiendo estas componentes, nos encontramos con los siguientes desafíos y oportunidades para el biogás en el sector lechero: calibrar modelos económicos a través del seguimiento anual de plantas en operación; avanzar en estudios de factibilidad técnica y económica y; continuar en el desarrollo de competencias en profesionales y actores clave. Se debe entender la tecnología del biogás, como un complemento al tratamiento de los residuos generados en la lechería e incentivar la gestión eficiente del agua. Todo esto, permitirá contar con un conocimiento único y acabado para avanzar en la incorporación del concepto de economía circular en nuestro sector lácteo.

Queremos destacar y agradecer la experiencia y conocimiento del equipo multidisciplinario que compone la RedBioLAC y las valiosas actividades que ejecutan y promueven en Latino América y El Caribe. La Red nos apoya en la difusión de nuestro Programa y en la generación de capacidades en actores clave como son estudiantes y agricultores.

Nos han recibido en su VII Encuentro desarrollado en la ciudad de Santiago de Chile y en países como México y Costa Rica. Ambas, Giras Tecnológicas ejecutadas por nuestro Programa en conjunto con organismos públicos y privados ávidos por conocer y apoyar los logros de esta tecnología en Latinoamérica. Muchísimas gracias y que sean muchos logros más!



Diseño e instalación del Biodigestor del Comedor Universitario de la Universidad Nacional del Litoral:

Una experiencia multidisciplinaria y participativa

Orlando Giampaoli¹ / Luis Ignacio Schneider^{1,2} / Elisabet Greco¹ / Eduardo Santiago Gropelli¹

1. Facultad de Ingeniería Química – UNL / orlandogiampaoli@gmail.com ✉

2. Programa de Gestión Integral de Residuos – Municipalidad de Santa Fe

RESUMEN

A partir de una experiencia interdisciplinaria y participativa se diseñó e instaló un digestor anaeróbico en la Universidad Nacional del Litoral, destinado al procesamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos generados diariamente en el Comedor Universitario ubicado en el Predio UNL-ATE. El énfasis fue puesto en, por un lado, la valorización de los residuos generados para el aprovechamiento energético dentro del mismo predio y, por el otro, promover experiencias de alto impacto educativo, no solo para los cientos de estudiantes que circulan diariamente por las instalaciones, sino para toda la comunidad en general. Dicho biodigestor, de tipo hindú, fue diseñado para una generación estimada de 4m³ de biogás por día, cuyo destino es la transformación en energía calórica para calentar agua para el consumo de mate (82°C) dentro del predio.

INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos domiciliarios (RSD), definidos como aquellos generados diariamente por las personas en su actividad cotidiana, se encuentran comprendidos por una diversidad de materiales, que responden a una composición característica relativamente constante.

Los rangos de variación porcentual que aparecen típicamente en estudios de caracterización en nuestro país dan cuenta que la fracción orgánica de los RSD involucra aproximadamente el 50% en peso de lo generado cada día por habitante, resultados coincidentes con otras experiencias en el mundo, según lo reportado por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (ENGIRSU, 2005).

De un manejo inadecuado de los mismos se generan distintos problemas a escala urbana, como ser: emisión de gases de efecto invernadero de manera no controlada; producción de líquidos lixiviados que pueden contaminar cursos de agua

y el suelo; obstrucción de alcantarillas, canales y desagües pluviales para el normal escurrimiento del agua de lluvia; generación de microbasurales; afecciones a la salud derivadas de la quema de residuos; proliferación de vectores transmisores de enfermedades; etc.

Existen alternativas que permiten reducir los inconvenientes asociados a la mala gestión de la basura y transformar los residuos en recursos con una impronta productiva (ISWA, 2009). La digestión anaeróbica se constituye como una alternativa factible para recuperar la fracción orgánica y obtener biogás, además de fertilizantes sólidos y líquidos beneficiosos para mejorar las características del suelo (RODRIGUEZ PERDIGÓN, 2014).

La digestión anaeróbica se define como un proceso biológico que corresponde al ciclo anaerobio del carbono, realizado por la acción coordinada y combinada de diferentes

PALABRAS CLAVE:

DIGESTIÓN ANAERÓBICA
EDUCACIÓN
RSU
EXPERIENCIA PARTICIPATIVA

grupos bacterianos, que degradan la materia orgánica para sus procesos metabólicos, que puede provenir de diferentes fuentes (GROPPELLI et al., 2001). En ausencia de oxígeno convierten esta materia orgánica en compuestos más sencillos y biogás, que es un combustible renovable, compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono, más otros componentes en menor proporción.

Teniendo en cuenta las anteriores premisas, y con el objetivo de reducir al mínimo la generación en origen de los residuos, desde la Universidad Nacional del Litoral (UNL) se ha desarrollado una experiencia participativa e interdisciplinaria de construcción de un digestor anaeróbico que permite el aprovechamiento de los desechos del Comedor Universitario para la obtención de biogás y un digestato líquido útil para abonar la tierra.

Durante el año 2015, la UNL impulsó la cuarta edición del programa de Presupuesto Participativo, con el objetivo de incentivar a la comunidad universitaria a la presentación de diferentes proyectos que, luego de ser sometidos a un proceso de prefactibilidad, votación y selección, sean concretados con fondos propios de la institución.

A partir de la propuesta de un grupo de estudiantes surgió el proyecto de instalación de un biodigestor con el objetivo de recuperar el 100% de los residuos biodegradables que se producen cada día en el Comedor Universitario, ubicado en el Predio UNL-ATE. Este proyecto, a su vez, se enmarcó en el programa institucional "UNL VERDE", cuyo objetivo principal es extender acciones de respeto al medio ambiente y de cuidado de los recursos naturales y energéticos a las políticas de gestión, involucrando a toda la comunidad universitaria en objetivos comunes y concretos.

METODOLOGÍA

El proyecto de diseño y construcción del biodigestor del Comedor Universitario surgió como una propuesta dentro de la cuarta edición del Presupuesto Participativo de la UNL, superando las etapas de discusión, prefactibilidad técnica y económica y votación por parte de toda la comunidad universitaria.

El trabajo comenzó a partir de la conformación de un equipo interdisciplinario que involucró docentes, graduados y estudiantes de la Facultad de Ingeniería Química, arquitectos y personal de gestión y de mantenimiento del Predio UNL ATE. Se definieron los roles y se planificaron las intervenciones de cada uno de los integrantes de dicho equipo durante el tiempo de desarrollo del proyecto de diseño y constructivo. El diseño preliminar y la coordinación general de las tareas estuvieron a cargo del Ing. Qco. Orlando Giampaoli, asistido por un equipo técnico en cuanto al seguimiento de la obra y parquizado y la gestión de los recursos económicos y administrativos.

El proceso fue abordado con la misma impronta participativa que permitió, a través de reuniones periódicas con los actores involucrados, avanzar en el rediseño de las etapas y analizar y resolver los imprevistos que fueran surgiendo, principalmente en las etapas constructivas.

DESCRIPCIÓN DEL CASO Y RESULTADOS

Dentro de los objetivos que se plantearon en el diseño del Biodigestor se destacan la reducción del consumo energético e implementación de energías limpias dentro del Predio UNL – ATE; la minimización de la generación de residuos y gestión integrada de los mismos; y el desarrollo de una experiencia educativa con fuerte impronta visual que permita mostrar la potencialidad existente en las estrategias de valorización de los residuos.

El proceso de diseño, construcción y puesta a punto del equipo tardó aproximadamente 9 meses desde la conformación del equipo interdisciplinario. Desde la primera reunión, se involucró a estudiantes, docentes, graduados y personal de gestión de la UNL, además de personal de mantenimiento del predio UNL-ATE (responsables de la etapa constructiva). Para el dimensionamiento se tuvo en cuenta que en el comedor suelen circular aproximadamente 500 personas por día, de lunes a viernes. Realizando un análisis de la disponibilidad de residuos biodegradables, se obtuvieron las siguientes estimaciones:

Tabla 1. Cantidad disponible de residuos por día (elaboración propia)

Residuos disponibles por día	Composición	Unidad	Valor
Restos de la cocina	Cáscaras y unidades en mal estado de frutas, verduras y hortalizas; cáscaras de huevo; otros restos orgánicos.	Kg/día	14
Restos de las mesas	Restos de comida; cáscaras de frutas; servilletas usadas; pan.	Kg/día	22
Restos de yerba mate	Yerba mate usada.	Kg/día	>10

Los datos anteriores dan cuenta de una generación de residuos propios de la actividad diaria del Comedor que supera los 36 Kg por día, con una disponibilidad adicional de yerba mate usada tanto en el ámbito del Predio UNL-ATE como en los edificios aledaños de Ciudad Universitaria.

En base a esto, se diseñó un equipo capaz de procesar al menos 40 kg por día de residuos biodegradables, con la posibilidad de aumentar este valor en función de la demanda.

Según estudios realizados por el Grupo de Energías No Convencionales de la UNL, la generación de biogás que puede esperarse al procesar 1 kg de RSU preclasificado es de 75 a 120 litros dependiendo de la composición de sólidos fundamentalmente, por lo que el diseño del equipo implicó una producción estimada mínima de 4 m³/día (GROPPELLI et al., 2001).

El diseño seleccionado para el digestor anaeróbico responde a la clasificación de "tipo hindú", teniendo en cuenta la ventaja de contar con un gasómetro que se desplaza axialmente, permitiendo entregar el biogás generado a una presión relativamente constante, además de su robustez y facilidad de operación (GROPPELLI et al., 2001). Este digestor se compone principalmente de:

a) Embudo de carga:

El ingreso de residuos sólidos al biodigestor se realiza por esta zona, que está construida con una combinación de materiales resistentes a la acidez. La parte superior es el embudo y tapa de acero inoxidable revestido en ladrillos (sección cuadrada de 1mx1m), en el cual se inserta en su parte inferior un caño de PVC de 250 mm. Es donde se produce la mezcla entre los materiales sólidos y el agua para la alimentación del equipo.

Debido a que el sustrato de alimentación se incorpora como una sola carga diaria, el embudo debe tener un volumen que permita la acumulación de esta y su ingreso a lo largo del tiempo dependerá fundamentalmente de la densidad de dicho material. Si este es un material fresco, seguramente tendrá una densidad menor a la del agua y permanecerá flotando hasta que la degradación del mismo haga que la densidad aumente y se hunda, produciéndose recién en ese momento el ingreso a la cámara de digestión. Si la alimentación es un resto de comida, el hundimiento será más rápido.

b) Conducto de carga:

Es el caño de PVC que comunica la cámara de carga con el biodigestor propiamente dicho. Por el mismo, circula la materia prima preparada generalmente por acción de la gravedad o, en este caso, el impulso por el caudal de bombeo.

c) Cámara de digestión:

Elemento principal del biodigestor que permite que el material permanezca el tiempo requerido en ausencia de oxígeno y en contacto con los microorganismos anaerobios. Se produce la digestión y se comienza a generar el biogás producto de la degradación de la materia orgánica.

Además, en esta cámara se produce un fenómeno particular, donde los sólidos quedan retenidos por un tiempo de residencia mayor que el líquido, debido a la formación de lodos en forma de gránulos que actúan como filtro para el ascenso de los mismos. Esto hace que la operación se conduzca como si fuera un digestor de manto de barro de flujo ascendentes (UASB).

La construcción de la cámara se realizó en mampostería (ladrillos comunes con paredes de 30cm), revestidas con un revoque impermeable (1 de cemento – 3 de arena + hidrófugo) y con una loza de fondo en la base del digestor. El diámetro interior fue de 2,35m y alto total de 3m.

El volumen total de la cámara de digestión, incluida la zona de decantación interna, es de 12 m³ (volumen hidráulico del digestor).

d) Cámara de descarga (decantador):

Por donde se realiza la extracción del material estabilizado (biofertilizante). La pileta depósito fue diseñada para el funcionamiento por gravedad, incorporando 3 cañerías de derrame (caño de PVC de 110cm) a nivel del suelo, y se dividió a la misma en dos decantadores, a los efectos de garantizar la sedimentación de los barros que pudieran pasar desde la cámara de digestión. Luego de esta segunda pileta, se incorporaron cañerías de infiltración al terreno para aprovechar la generación del abono líquido como nutrición del suelo. Ambas cuentan con tapas de aluminio para garantizar su protección.

e) Gasómetro:

Es el recipiente móvil que permite la acumulación del biogás generado a una presión relativamente constante. Se confeccionó empleando un tanque plástico invertido de 6 m³ de capacidad, solidario a una guía central (caño de PVC de 2"), para asegurar el correcto desplazamiento vertical en función de la cantidad de biogás contenido.



Universidad Nacional del Litoral

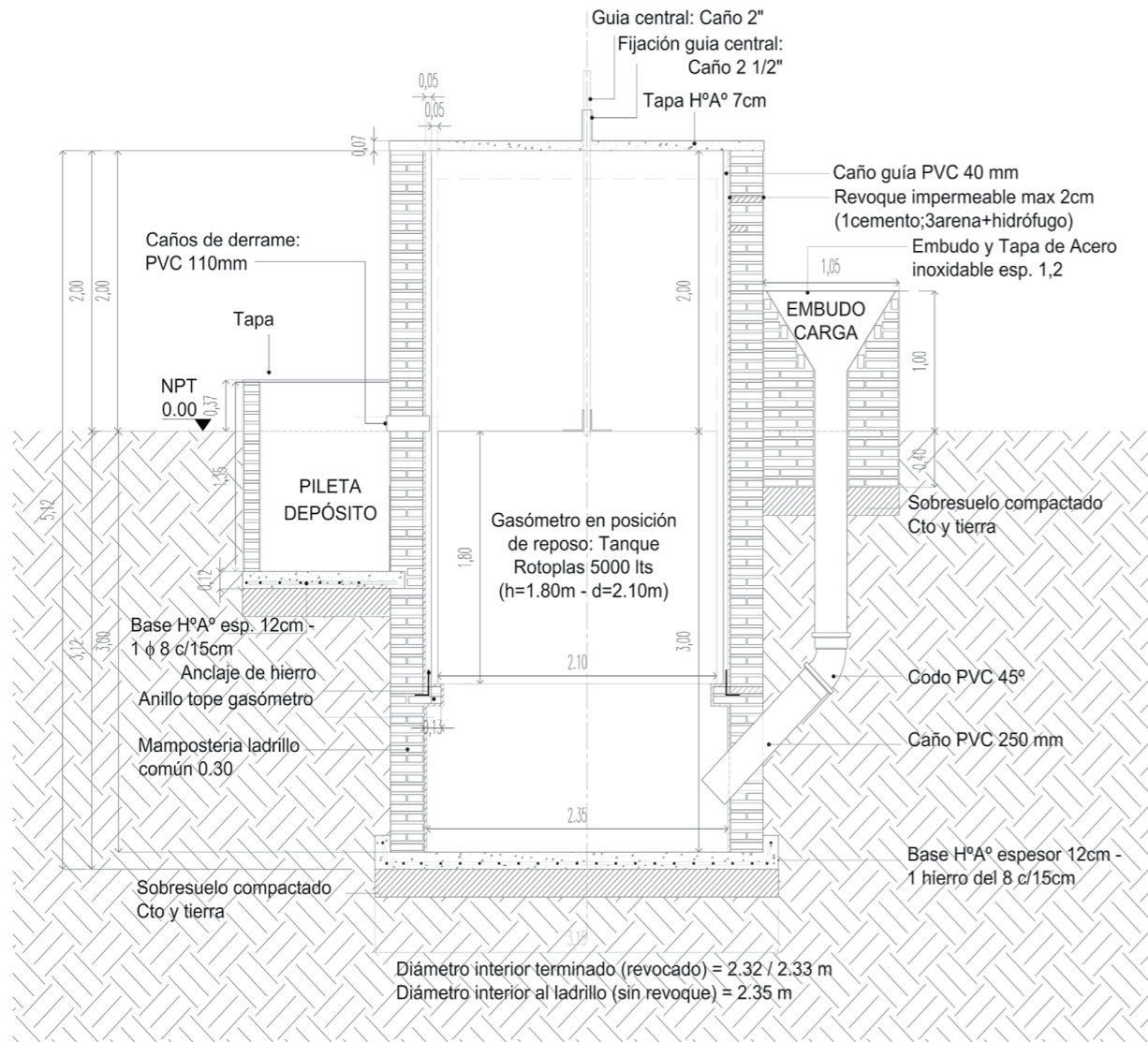


Figura 1. Corte general del biodigestor a instalar.

Se ha calculado el tiempo de residencia del digestor, como:

$$\theta_{Res} = \frac{V_{HD}}{Q} = 150 \text{ días}$$

Siendo θ_{Res} el tiempo de residencia hidráulico del equipo, V_{HD} el volumen hidráulico y Q el caudal diario de carga (estimando volumen de residuos sólidos y de agua agregada).

Se observa que el tiempo de residencia hidráulico es elevado, lo que asegura que la purga de barros esté lo suficientemente digerida. Teniendo en cuenta que los rangos usuales de tiempos de residencia hidráulicos para equipos que trabajan a temperaturas mesófilas se ubican entre 20 y 55 días (VARNERO MORENO, 2011), podemos asegurar que el digestor se encuentra sobredimensionado y que la estabilización de metabolitos secundarios se encuentra garantizada, aún ante un eventual aumento de la carga en la alimentación.

A los efectos de facilitar la circulación de la materia orgánica durante la etapa diaria de carga, se incorporó en la primera cámara de decantación, una bomba para barros cloacales sumergible para la recirculación de líquido y barro al embudo de carga, adicionando a su vez un temporizador programado que permite el corte de la impulsión luego de 3 minutos. Esto está preparado mediante un sistema de cañerías por debajo del terreno con combinación de válvulas que permitan enviar el reciclo al embudo de carga o realizar una purga de barros.

La recirculación mediante bombeo desde la primera cámara decantadora se realiza por las siguientes razones:

1- Permite la mezcla de un fluido que posee pocos sólidos con la carga fresca que es prácticamente sólida permitiendo la fluidez de la misma, facilitando de esta forma la alimentación.

2- El contenido de la primera cámara decantadora es salida del digestor y por lo tanto posee un pH neutro y una elevada alcalinidad provista por las mismas reacciones de digestión. Al ser bombeada a la cámara de carga produce la neutralización de los materiales de alimentación, reduciendo su acidez y favoreciendo el equilibrio interno en el digestor.

3- Provee de agitación al biodigestor que favorece el contacto sustrato-bacteria, ya que el mismo no posee agitación de otro tipo.

4- Al ir aumentando la concentración interna de sólidos a lo largo del tiempo en el interior del digestor, se producirá el arrastre de sólidos hacia la primer cámara decantadora. Como la bomba sumergible está ubicada en el fondo de la misma, tomará estos sólidos devolviéndolos por la boca de carga, con lo que favorecerá la concentración interna de sólidos en el digestor.

Este sistema permite la carga del biodigestor sin molienda previa, simplificando el proceso de carga y evitando un paso complicado, teniendo en cuenta la escasa disponibilidad de personal que pueda dedicarse a esta tarea. Cabe resaltar que la definición de ingresar el material sin triturar, fue tomada en cuenta en la etapa de diseño del digestor, debido a que esto implica un aumento en el tiempo de residencia de los residuos, elevándolo por la dificultad de ataque bacteriano a un material sólido de mayor tamaño.

Este sistema de bombeo genera un consumo de energía diario de 18,5 watt, teniendo en cuenta que se ha instalado una bomba de 370 watt/h su uso está previsto en 3 minutos diarios. Esto demuestra que el consumo por el bombeo es muy bajo.

El primer decantador se comunica con un segundo decantador mediante un pasaje ubicado a un nivel intermedio que no permita la salida de los sólidos decantados ni de los sólidos flotantes que podrían generarse por salida de los mismos desde el digestor o por flotación por burbujas de biogás en el decantador primario.

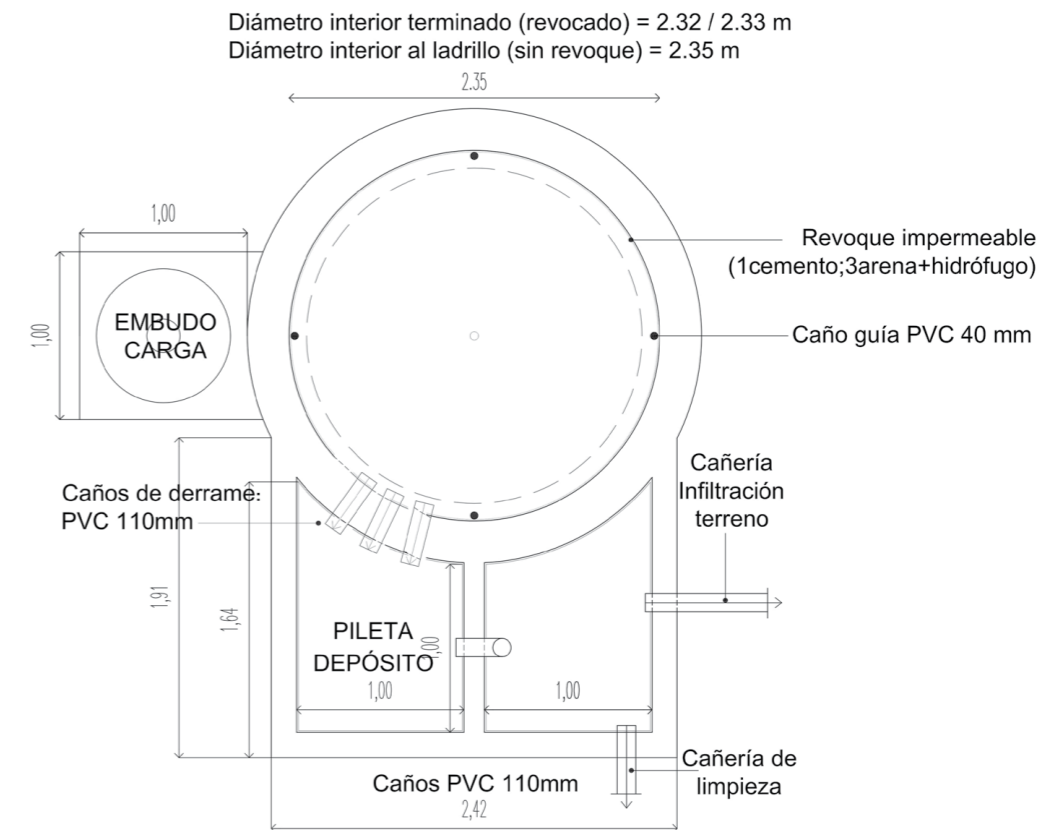


Figura 2. Vista superior del biodigestor a instalar.

La cañería de infiltración se preparó realizando una zanja en el terreno de mayor profundidad. Se rellenó el fondo de la misma con cascote de ladrillo molido en unos 10 cm apoyando sobre este el caño de infiltración con perforaciones a los costados. A continuación, se cubrieron los costados y sobre el caño con más relleno y sobre este se coloca una malla geotextil para impedir el ingreso de tierra, y a partir de allí se agregó tierra hasta nivel de terreno. La longitud de esta cañería es función de la cantidad de líquido a infiltrarse. En nuestro caso esta infiltración es de unos 80 lt diarios como máximo y se construyó una cañería de 20 metros lineales.

Una vez finalizada la etapa constructiva, se realizó la prueba hidráulica, donde se verificó la estanqueidad del equipo cargado agua durante 5 días consecutivos y controlando que su nivel no baje.

Seguidamente, se coordinó la inoculación del digestor anaeróbico. Se realizó la misma utilizando una purga de barros proveniente de un digestor anaeróbico destinado a tratar los efluentes de CCU Argentina Compañía Cervecería, a través de una carga de 4 m³ empleando un camión tipo atmosférico. El resto del volumen se completó con agua limpia.

Una vez lograda la concentración adecuada en el digestor, se estima una purga de barros de unos 200 lt semanales. El uso adecuado de esta salida podría tener distintos caminos: utilizarse en la reserva que posee la UNL, mezclarse en el compostaje de residuos sólidos que ya se realiza en el predio, utilizarse para el riego controlado de especies arbóreas forestales, etc.

En cuanto al uso de biogás se montó una cañería subterránea de 40 m lineales en caño de polipropileno rojo en 2 pulgadas con pendiente hacia una trampa de agua. En el extremo se instala, empleando una cabina protegida de los vientos y aislada, un termotanque comercial de 50 lt de capacidad, que fue convertido para funcionamiento automático de protección por apagado de llama y combustión deficiente.

La definición respecto al uso del producto generado a partir del aprovechamiento de los residuos orgánicos respondió al objetivo de generar una experiencia de alto impacto visual y carácter educativo: calentar agua a 82°C para el consumo de mate en el Predio UNL-ATE. De esta manera, se asegura que los usuarios del predio puedan acercarse al biodigestor, y conocer algunos aspectos básicos de su funcionamiento y su potencialidad, independientemente del nivel de conocimientos previos que tengan respecto al tema.

Figura 3. Fotografía del digestor anaeróbico instalado.



LECCIONES APRENDIDAS Y RECOMENDACIONES

El haber incorporado diferentes miradas a partir de la conformación de un equipo interdisciplinario permitió un abordaje integral al momento de sortear las dificultades que fueron surgiendo, principalmente luego de la etapa de diseño y durante el proceso de construcción y puesta a punto del equipo.

Una de dichas dificultades fue el que el nivel de las napas freáticas se encontraba por encima de lo previsto, cuestión que demandó la primera revisión del diseño inicial, complejizando las primeras tareas de la etapa constructiva, vinculadas con establecer el nivel de piso y la profundidad de la loza de fondo.

Otra de las dificultades que se observa es que el arranque del digestor debe efectuarse con una menor carga para ir acostumbando a las bacterias y evitar la acidificación interior, pero esto hace que no se logre la producción de biogás esperada es su funcionamiento a pleno, por lo que no se logra mantener el termotanque en los 82 °C en forma continua. Esto se debe también a que se inició el digestor en invierno y las bajas temperaturas no favorecen la cinética de la digestión.

Para poder desarrollar una experiencia educativa válida, y transmitir la idea de la valorización energética empleando residuos orgánicos, tuvo fundamental importancia la definición de la utilización del biogás generado. Instalar un termotanque para calentar agua disponible para el consumo de mate, una tradición muy arraigada en la cultura de los santafesinos como práctica socializadora, permitió transmitir la factibilidad del uso del biogás como forma de energía alternativa, y fomentar la idea de avanzar hacia una economía circular que aproveche los residuos como recursos.

CONCLUSIONES

Los residuos que producidos por las personas en su actividad diaria pueden ser aprovechados como recursos a partir de una correcta gestión que inicia en el primer eslabón de la cadena: la generación. Si tenemos en cuenta que el porcentaje mayoritario se encuentra constituido por la fracción orgánica de los mismos, se entiende la importancia de encontrar alternativas que permitan valorizarlos, cerrando el ciclo de reciclaje de los mismos.

La digestión anaeróbica es una alternativa factible para poder procesar esta fracción mayoritaria, transformando los residuos en un combustible gaseoso para su aprovechamiento energético.

Por este motivo, se considera central que en instituciones educativas que cuentan con instalaciones donde se generen importante cantidad de RSD en forma concentrada, tal como en el caso del Comedor Universitario, se puedan replicar este tipo de experiencias de construcción de digestores para el aprovechamiento de los residuos, y más aún desde un enfoque participativo que permita incorporar diferentes miradas y el aprendizaje conjunto a lo largo de toda la experiencia.

AGRADECIMIENTOS

A los estudiantes, graduados y personal de gestión de la Universidad Nacional del Litoral y al personal de mantenimiento del Predio UNL - ATE que colaboraron en forma comprometida en el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ENGIRSU. Informe de la Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Ministerio de Salud y Ambiente de la República Argentina, 2005.

GROPPELLI, E. S. et al. El camino de la biodigestión. Ambiente y tecnología socialmente apropiada. Centro de Publicaciones, Secretaría de Extensión, Universidad Nacional del Litoral, 2001.

ISWA. Residuos y cambio climático. Libro Blanco del ISWA (International Solid Waste Association), 2009.

RODRIGUEZ PERDIGÓN, L. A. Viabilidad técnica para producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos – FORSU. Universidad EAN, Facultad de Postgrados, Bogotá, 2014.

VARNERO MORENO, M. T. Manual de Biogás. Proyecto CHI/00/G32 "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables". FAO. ISBN 978-95-306892-0, 2011.

Integración de biodigestores y celdas Peltier como alternativa energética para granjas agropecuarias de las Zonas No Interconectadas (ZNI)

ESTUDIO DE CASO

Prueba piloto: Hacienda Villa Mercedes, Sahagún - Córdoba

Adriana M. Molinares P. / Fabián E. Salgado V. / Ximena Vargas R.

Universidad del Atlántico, Colombia / adriana_molinaresp@hotmail.com ✉

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue integrar módulos Peltier al uso de biodigestores con fines de generación eléctrica, sin usar partes móviles. Para ello se instaló en la Hacienda Villa Mercedes un biodigestor tipo Taiwán de geomembrana alimentado con agua y estiércol de ganado, cuya producción máxima fue 1.835 m³CH₄/día obteniendo así una tasa de producción de 0.21 m³CH₄/KgSV (considerando una fracción volumétrica del metano con respecto al biogás producido de 60% V/V) y 0.35 m³biogás/KgSV. La potencia instalada con el diseño preliminar del panel termoelectrónico propuesto en esta investigación fue de 200 W, logrando una generación máxima de 10.6 W a partir de 12 Kg de estiércol y 36 L de agua, con grado de digestión del 48.7% y eficiencia de conversión energética de 5.3%, permitiendo el encendido diario de 3 bombillas de bajo consumo (6W = 40W) durante 2 horas sin interrupción. Esto se traduce en un primer avance en la integración de biodigestores y tecnología termoelectrónica para el desarrollo de las zonas no interconectadas del país que depende de actividades agropecuarias.

ABSTRACT

The objective of this research was to integrate Peltier modules to the use of biodigesters for power generation purposes, without using moving parts. For this, a Taiwan-type biodigester of geomembrane fed with water and livestock manure was installed at Hacienda Villa Mercedes, whose maximum production was 1,835 m³CH₄/day obtaining a production rate of 0.21 m³CH₄/KgSV (considering a volumetric fraction of methane with respect to the biogas produced of 60% V/V) and 0.35 m³biogas/KgSV. The power installed with the preliminary design of the thermoelectric panel proposed in this research was 200 W, achieving a maximum generation of 10.6 W from 12 kg of manure and 36 L of water, with a digestion rate of 48.7% and conversion efficiency Energy of 5.3%, allowing the daily ignition of 3 bulbs of low consumption (6W = 40W) during 2 hours without interruption. This translates into a first advance in the integration of biodigesters and thermoelectric technology for the development of non-interconnected zones of the country that depend on agricultural activities.

PALABRAS CLAVE:

BIOGÁS
CALOR
EFECTO SEEBECK
SOSTENIBILIDAD

KEYWORDS:

BIOGAS
HEAT
SEEBECK EFFECT
SUSTAINABILITY

INTRODUCCIÓN

Entre las principales fuentes de energía en Colombia figura el gas natural, el petróleo, el carbón mineral, la hidroenergía, la leña y el bagazo, en su mayoría fuentes no renovables que al ser sometidas a diversas transformaciones generan fuentes de energía secundaria como la electricidad, el diésel oil, la gasolina motora, el fuel oil y el biodiesel (UPME, 2009). Aunque hay variedad de fuentes, existen "Zonas No Interconectadas - ZNI" que representan el 52% del territorio nacional, donde la prestación del servicio eléctrico se realiza por tiempos limitados debido a factores geográficos, ambientales y económicos.

Dentro de las ZNI, las localidades "sin servicio" eléctrico durante todo el día representan el 12.8% del total su población, es decir, 187 localidades, 22.447 usuarios. Se estima que reúnen en su mayoría menos de 300 habitantes entre Localidades Menores, Corregimientos, Caseríos, Centros Poblados e Inspecciones de Policía (IPSE-CNM, 2015). Estas localidades se concentran en los departamentos de Nariño, Cauca, Chocó, Vaupés, Guainía, Vichada y la frontera entre Meta y Guaviare, su desarrollo integral está condicionado por el acceso a la energía eléctrica y en consecuencia a otros servicios básicos como abastecimiento de agua, salud, educación, actividades productivas, iluminación, funcionamiento de equipos, refrigeración, acceso al saneamiento, potabilización del agua, la producción agraria y la seguridad alimentaria.

Reconociendo la importancia del servicio eléctrico en dichas localidades, esta investigación tomó en consideración la problemática de las localidades de tipo "hasta 50 usuarios" que no tienen electricidad. Se realizó una prueba piloto en una finca del departamento de Córdoba a fin de establecer, en primera instancia, las condiciones de operación para el funcionamiento del sistema de autogeneración eléctrica conformado por un biodigestor tipo Taiwán y un panel termoelectrónico de Módulos Peltier.

Los resultados de esta investigación pueden ser replicables en lugares que dispongan de biomasa residual y cuenten con condiciones similares, favoreciendo el acceso al servicio eléctrico, el manejo sostenible de los residuos agropecuarios y el mejoramiento de las condiciones de vida de los residentes de las ZNI.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló en cuatro etapas descritas a continuación:



Figura 1. Resumen metodológico. Fuente: (Autores, 2015).

Etapa 1: Preparación

Se realizó un censo de carga para obtener un estimado del consumo promedio mensual de la Hacienda Villa Mercedes, considerando tipos, características y cantidad de los equipos eléctricos instalados, rangos horarios y cantidad de días al mes de operación de los mismos.

De acuerdo a experimentos preliminares realizados durante el estudio de las características termoelectrónicas de módulos Peltier, se diseñó, fabricó e instaló un panel termoelectrónico conformado por 20 módulos Peltier de 4x4cm.

Teniendo en cuenta la cantidad de estiércol mínimo disponible en una vivienda rural, se determinó el volumen total del biodigestor y el volumen de fase líquida que podría ser instalado para aprovechar esa cantidad a través de digestión anaerobia.

Etapa 2: Instalación, estabilización y seguimiento

Al utilizar biomasa residual de tipo animal, específicamente estiércol de ganado bovino, y dichos residuos fueron aprovechados a través de la digestión anaerobia en un biodigestor, sin combustión directa de la misma, los parámetros tenidos en cuenta en ésta caracterización fueron densidad aparente, humedad, azufre y relación C: N, material volátil, materia orgánica, Potencial Calórico Interno – PCI (UPME, 2008). Se recolectó una muestra de estiércol fresco (1Kg) por método de Zigzag y Cuarteo, la cual fue enviada a análisis de laboratorio en la ciudad de Bogotá D.C.

La instalación del biodigestor se realizó siguiendo los lineamientos marcados por Botero, R. y Preston, T. en su “Manual para la Instalación, Operación y Utilización de biodigestores”. Se instaló un biodigestor de geomembrana, dos sistemas de tuberías que comprenden la línea de entrada y salida del biodigestor, la línea de recuperación y conducción del biogás así como sus respectivos aditamentos y válvulas de control. Para el diseño del panel se tomaron como referencia los componentes básicos de los Sistemas de Energía Remotos: los módulos termoeléctricos (para este caso tipo Peltier), zona fría y zona caliente para funcionamiento continuo, salvo algunas variaciones importantes en la generación y transmisión de calor y la zona de enfriamiento, pensando en las condiciones del lugar de prueba y proyectando la unión de estas dos tecnologías como un sistema auto sostenible para zonas rurales.

Etapa 3: determinación de los parámetros operativos del biodigestor e instalación del panel termoeléctrico

La determinación de los parámetros operativos del biodigestor se realizó de acuerdo a la relación de carga y tiempo de retención planteada por Botero y Preston en su manual de biodigestores (1987), y las ecuaciones de productividad y rendimiento fueron tomadas de la Guía Alemana sobre el Biogás (GIZ, 2010). La producción de metano fue medida a partir del cumplimiento del tiempo de estabilización del biodigestor todos los días en la mañana, antes de realizar la alimentación, para obtener un estimado de la producción diaria hasta finalizar la investigación.

El volumen de metano generado fue determinado por el método de “Desplazamiento de Volumen con la Botella de Mariotte”, utilizando una solución concentrada de NaOH en un rango de 15-20 g/L.

La conexión entre biodigestor y generador termoeléctrico se logró a través del quemador, el cual quedó conectado al flujo de biogás filtrado a través de tubería flexible de ¼”. La activación del sistema iniciaba con la apertura de las llaves de corte desde el biodigestor hasta el quemador, luego se realizaba el encendido con chispa dando inicio a la combustión de biogás.

Etapa 4: Evaluación del sistema integrado

Se hizo un seguimiento a la generación de electricidad en relación a todas las condiciones y parámetros planteados en esta investigación durante 31 días en las horas de la mañana, a fin de evaluar la eficiencia energética del sistema, la relación causa-efecto entre las variables, identificar posibles inconvenientes que afectaron el funcionamiento adecuado de las tecnologías integradas, oportunidades de mejora y optimización de la producción y combustión de metano, transferencia de calor al panel y conversión energética a con los módulos Peltier.

DESCRIPCIÓN DEL CASO Y RESULTADOS

La Hacienda Villa Mercedes, ubicada en el Km 30 vía Sahagún – Pueblo Nuevo, en el departamento de Córdoba, cuenta con 120 hectáreas destinadas a la cría y levante de aproximadamente 98 cabezas de ganado vacuno, dispone de tres construcciones principales: la casa (dos cuartos, un baño, cocina, sala y terraza), el quiosco y un corral.

Actualmente cuenta con la conexión a la fuente suministrada por la empresa Electricaribe que provee 110 kWh mensualmente en cables de alta tensión. El censo de carga registró un consumo promedio de 159.340 KWh/mes, cercano al “consumo de subsistencia para viviendas rurales” (CADENA, 2012) que oscila en un rango de 187 – 274 KWh/mes, dependiendo por supuesto del tamaño de la vivienda, número de personas que la habitan, condiciones climáticas y requerimiento energético.

Se instaló un biodigestor de geomembrana para el tratamiento de estiércol de ganado bovino, raza cebú blanco, cuya alimentación es a base de pastos forrajeros de tipo angleton. El estiércol provenía de labores de ordeño en establo lo cual favorece la acumulación de estiércol y su recolección. En la **Tabla 1** se muestran las especificaciones del biodigestor instalado, en la **Tabla 2** los resultados de la caracterización de biomasa, **Figura 2** el diseño 3D del panel termoeléctrico, **Figura 3** Diagrama de variables y **Grafico 2** el comportamiento de dichas variables durante la etapa de evaluación.

Tabla 1. Especificaciones del biodigestor instalado.

Descripción	Abreviatura	Medida	Unidad
Longitud efectiva	Long	6	m
Diámetro	DI	0,800	m
Volumen total	V _B	3,016	m ³
Volumen fase líquida	Vf _l	2,262	m ³
Volumen fase gaseosa	Vf _g	0,754	m ³
Alimentación diaria	A _D	0,045	m ³
Alimentación de Agua	A _A	0.036	m ³ /d
Masa de agua	MA	36	Kg/d
Alimentación de estiércol	A _E	8.984	Kg/d

Fuente: Autores 2016.

Tabla 2. Resultado caracterización de estiércol bovino Hacienda Villa Mercedes.

Parámetro	Método	Valor	Unidad
Densidad Aparente Seca	LBC 43 Gravimetría	0,180	g/cm ³
Humedad	NTC 35 Gravimetría	80,14	% P/P
Nitrógeno total	Suma de Nitrógenos	1,68	% P/P
Azufre	NTC 1154 Turbidimetría	0,18	% P/P
C. Orgánico Oxidable Total	NTC 5167 Walkey Black	29,26	%P/P
Rel (C/N)		17,42	
Solidos volátiles	NTC 5167 Gravimetría	72,37	% P/P
Poder Calorífico Superior	LBC 227 Bomba Calorimétrica	12593	KJ/Kg
Poder Calorífico Inferior	LBC 227 Bomba Calorimétrica	11373	KJ/Kg

Fuente: Autores, Análisis realizados por Laboratorios Calderón, Bogotá D. C. 2016.

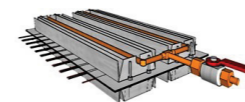


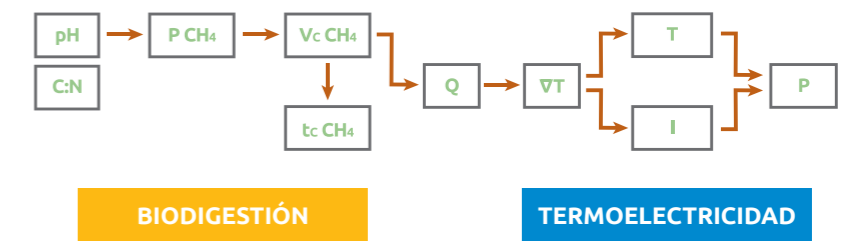
Figura 2. Panel termoeléctrico.

Fuente: Autores, 2016.

De acuerdo al diagrama de las variables, el punto de integración de las dos tecnologías investigadas es el calor transferido. En el proceso de biodigestión el calor transferido (Q) es la variable dependiente de mayor relevancia, pero se transforma en la variable inicial para la generación de electricidad. De acuerdo al **Gráfico 1** la variable que presentó mayor fluctuación fue el gradiente de temperatura debido a las caídas de presión en el biodigestor, alterando la conducción de calor, y la pérdida de contacto entre los módulos y los disipadores.

Con base en las observaciones realizadas, mediciones, cálculos directos e indirectos y análisis estadístico se sugieren las siguientes condiciones de operación para el funcionamiento del sistema de autogeneración eléctrica propuesto y evaluado en esta investigación:

- El biodigestor tipo Taiwán de geomembrana con 6 m de longitud y 0.8 m de diámetro, tardó 37 días en estabilizarse a pH estable ligeramente ácido entre 6.4 - 6.5, temperatura interna



BIODIGESTIÓN

TERMoeLECTRICIDAD

- pH = potencial de hidrógeno
- C:N = Relación carbono-nitrógeno
- P CH₄ = Producción de metano
- Vc CH₄ = Volumen de combustión de metano
- tc CH₄ = Tiempo de combustión de metano
- Q = Calor transferido
- VT = Gradiente de temperatura
- T = tensión eléctrica
- I = Intensidad de corriente
- P = Potencia eléctrica

Figura 3. Diagrama de variables involucradas en todo el proceso.

Fuente: Autores, 2016.

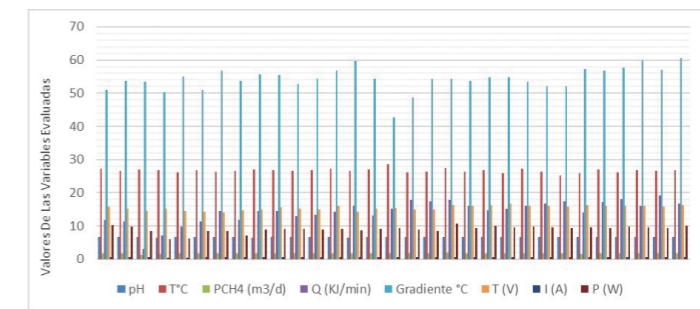


Gráfico 1. Comportamiento de las principales variables durante la evaluación del sistema integrado Biodigestor – Módulos Peltier.

Fuente: Autores, 2016.

promedio de 30.3 °C y temperatura ambiente promedio de 32.5°C. Durante el tiempo de estabilización, seguimiento y evaluación se mantuvo constante la alimentación a base de agua y estiércol de ganado cebú blanco proveniente de animales mayores a 20 meses de edad. La proporción utilizada en la alimentación fue de 4 partes de agua por 1 de estiércol logrando la producción diaria promedio de 1.703 m³ de CH₄. La producción máxima fue de 1.835 m³/día y la mínima 1.264 m³/día, conservando en un rango de 56 – 60% la fracción de CH₄ en el biogás.

- Considerando que el valor calorífico del metano es 8500 Kcal/m³, es importante asegurar un suministro diario de estiércol bovino con una composición igual o mayor a 72% P/P SV, 29.26% P/P de carbono orgánico oxidable total, 1.68% P/P Nitrógeno total, identificados como parámetros influyentes en la transformación

energética de la biomasa. Adicional a esto se sugiere un rango de temperatura mayor a 30°C (digestión mesofílica) que favorezca la reproducción de las bacterias metanogénicas aumentando el grado de digestión y pH lo más cercano posible a 7.0. Controlando estas variables es posible asegurar la producción de biogás con el porcentaje de CH₄ mayor o igual al 60%.

• La potencia instalada con el diseño preliminar del panel termoeléctrico propuesto en esta investigación fue de 200 W, durante un mes de prueba y evaluación se logró la generación máxima de 10.6 W a partir de 12 Kg de estiércol y 36 L de agua, con un grado de digestión del 48.7% y eficiencia de conversión energética de 2%. Esto permitió el encendido de 3 bombillas de bajo consumo (6W = 40W) durante 2 horas sin interrupción diariamente. Las mayores pérdidas de energía se dieron en la combustión (65%) y en la producción de energía eléctrica (28%).

LECCIONES APRENDIDAS Y RECOMENDACIONES

EL uso de reservorios aumenta la presión del biogás para la combustión. El seguimiento y control de esta variable es indispensable para garantizar la combustión estable, y en consecuencia la transferencia uniforme de calor al panel termoeléctrico. Se estima que a partir de 700L de biogás es posible contar con 3 horas de combustión estable para cocinar por jornada, pero sin reservorio solo se dispone de 20 -30 minutos de biogás.

El aislamiento de la zona de combustión y transferencia de calor a través del uso de cavidad de zinc o aluminio, permite

el control del flujo de aire y la concentración de calor en la zona caliente, obteniendo una llama estable y transferencia uniforme de calor desde el quemador hasta el módulo.

Mejorando las condiciones de operación al punto de lograr la llama estable y transmisión uniforme de calor, es posible cargar completamente una batería de ciclo profundo con capacidad de 12v y 9A a partir del funcionamiento del panel. Esto permitiría 12 horas de alimentación para un flujo eléctrico de 12V y 9A.

CONCLUSIONES

Es posible generar electricidad a partir de la integración de biodigestores tipo Taiwán y módulos termoeléctricos Peltier, a través de la transferencia de calor por combustión de biogás.

Es sistema biodigestor – celdas Peltier es viable porque su recurso primario se genera en la vivienda misma como resultado espontáneo de su actividad económica, su conversión energética no incluye partes móviles, brinda soluciones a problemas de contaminación por exposición de excretas al aire libre, favorece la reducción en el uso de leña y adicionalmente aporta el efluente para la fertilización de cultivos.

La continuación de esta investigación en pro de perfeccionar el sistema biodigestor – celdas Peltier permitiría el desarrollo una innovadora alternativa sostenible de generación eléctrica para autoconsumo, dirigido a los habitantes de ZNI tipo “hasta 50 usuarios”, donde la electrificación se ve truncada por factores geográficos, ambientales y económicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOTERO, Raúl, PRESTON, Thomas. Biodigestor de Bajo Costo para la Producción de Combustible y Fertilizante a partir de Excretas: Manual para su Instalación, Operación y Utilización. 1987. p. 11.

CADENA, Ángela – Grupo de Cobertura y ZNI. Acciones y Retos para la Energización de las ZNI. [Diapositivas], UPME. Octubre 2012. D. 6 FIELD, J. Medición de Parámetros. Metano. Universidad Agrícola de Wageningen, Holanda. p. 2. [Internet] [Consultada el 4 de diciembre de 2014]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/000866/000866c.pdf>.

GIZ (Alemania). Leitfaden Biogás. Quinta edición. Gülzow, Alemania. FNR, Abt. Öffentlichkeitsarbeit. 2010. p. 21, 22. Versión en español: “Guía Sobre el Biogás, desde la Producción hasta el Uso.

IPSE, CNM. Prestación del Servicio. Informe del Consolidado Nacional de la Prestación del Servicio de Energía Eléctrica en las ZNI. [Internet] [Consultada: martes, 12 de mayo de 2015] Disponible en: http://190.216.196.84/ps_cnm/.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA – UPME. Balances Energéticos 2009. PRIAS, Omar. Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes no Convencionales – PROURE., Informe Final. Bogotá. 2010. p. 1-5

UPME, IDEAN, COLCIENCIAS y UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER – UIS. Atlas del Potencial Energético de Biomasa Residual en Colombia. Colombia. Luis A. Morales, Diana M. Buitrago. 2008. Anexo A, p. 118. ISBN 978-958-8504-59-9.

Los biodigestores como componentes claves para la sostenibilidad de la Agricultura Familiar

Federico Vargas Lehner¹ / Ana Lucia Giménez²

1. Facultad de Ciencias Agrarias / vargaslehner@gmail.com ✉

2. Tierra Nueva

RESUMEN

Este estudio recoge las experiencias en la utilización de biodigestores del tipo tambor por parte de 50 familias rurales ubicadas en la compañía Presidente Franco del distrito de Piribebuy, Paraguay. Ellas son parte del proyecto Producción Hortícola Sostenible impulsado por la Organización Tierra Nueva que busca fortalecer la producción de hortalizas a través de la implementación de tecnologías apropiadas. La agricultura familiar agrupa a la mayor cantidad de población de las zonas rurales del Paraguay por ello identificar los puntos críticos para su sostenibilidad y plantear alternativas de solución es un factor clave para el desarrollo rural del País. Los biodigestores tienen el potencial de ser empleados como generadores de energía, fertilizantes y sistemas de tratamiento para los desechos. El empleo de los biodigestores por parte de las familias campesinas en esta compañía al inicio ha sido lento, pero una vez que la tecnología se va afianzando, su utilización aumenta.

ABSTRACT

This study shows the experiences in the use of biodigestores of the drum type by 50 rural families located in the company Presidente Franco of the district of Piribebuy, Paraguay. They are part of the Sustainable Horticultural Production project promoted by the Tierra Nueva Organization that seeks to strengthen vegetable production through the implementation of appropriate technologies. Family farming groups the largest number of rural people in Paraguay, so identifying the critical points for their sustainability and proposing alternative solutions is a key factor for rural development in the country. Biodigesters have the potential to be used as energy generators, fertilizers and waste treatment systems. The use of biodigestors by the peasant families in this company at the beginning has been slow, but once the technology is strengthened, its use increases.

INTRODUCCIÓN

La agricultura familiar (AF) es el sector más importante, en cuanto a población, en las zonas rurales del Paraguay. Este sector además es el que más conserva las costumbres y tradiciones del pueblo paraguayo. De ahí radica la importancia de emprender acciones que permitan su fortalecimiento (Palau, 1996; Instituto de Bienestar Rural, 1998). Se caracte-

teriza por una producción agrícola diversificada orientada al auto consumo y un excedente para la renta, así como la cría de animales como alternativas para la producción y también como formas de ahorro de capital. Según datos del Censo Agropecuario de 2008 la agricultura familiar representa el 84% de los establecimientos rurales existentes en el país y constituyen el 4% de la superficie cultivada. Comparando estos datos con los del censo de 1991 se puede decir que la

PALABRAS CLAVE:

BIODIGESTORES
AGRICULTURA FAMILIAR
SOSTENIBILIDAD

KEYWORDS:

BIODIGESTERS;
FAMILY AGRICULTURE
SUSTAINABILITY

cantidad de fincas que practican AF va disminuyendo. Dentro de este importante sector rural paraguayo un 35,1% de los establecimientos posee superficies menores de 5 ha (Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias, 2009). Esta disminución de la población rural se da por la migración del campo a las ciudades en busca de mejores alternativas para el desarrollo.

En el distrito de Piribebuy las familias rurales en promedio están compuestas por cuatro miembros, con una leve predominancia masculina, un promedio de 31 años, en donde el 60% de la población es mayor de edad y 35% corresponde al grupo etario de 31 a 55 años. Un punto importante es la antigüedad de los pobladores ya que 79% de las personas manifestó estar asentada en el lugar por más de 10 años, a lo cual se suma el bajo nivel de asociatividad ya que sólo el 14% manifestó ser parte de algún tipo de asociación. En cuanto a los indicadores económicos el 95% de las familias es propietario de sus tierras con un promedio de tres hectáreas, y casi la mitad de las fincas ni siquiera alcanzan una hectárea. Los principales rubros cultivados son la mandioca (*Manihot esculenta Crantz*), el poroto (*Phaseolus vulgaris L.*) y el maíz (*Zea mays L.*); siendo otros rubros importantes el maní (*Arachis hypogaea L.*) y el poroto manteca (*Phaseolus lunatus L.*). En cuanto a la diversidad de cultivos más de la mitad de las familias cultivan tres o más rubros. En cuanto a la cría de animales casi las tres cuartas partes de las familias poseen ganado bovino y aves, además existen familias que poseen piscicultura y cunicultura. En cuanto a las técnicas productivas más de la mitad de las familias utilizan la rotación de cultivo y la asociación; la técnica menos utilizada es la curva de nivel. Casi todas las familias practican la reforestación y más de la mitad utilizan los recursos maderables para leña. En cuanto a la eliminación de los residuos más de la mitad de las familias tiran o queman los mismos; para la eliminación de las excretas de animales la mayoría los deposita en estercoleros y las excretas humanas son tratadas con pozos ciegos (Vargas Lehner & Miranda, 2013).

Los principales problemas identificados fueron: la alta migración de jóvenes lo que genera una falta de mano de obra para la Agricultura Familiar, las pequeñas dimensiones de los predios productivos, el rendimiento de los cultivos, la calidad del suelo, el difícil acceso al mercado, los bajos precios de los rubros producidos, la calidad de la producción, la tala de especies nativas, la disminución del caudal de los arroyos y la falta de sistemas de adecuado de tratamiento de excretas, principalmente de origen animal (Vargas Lehner & Miranda, 2013).

Los biodigestores son sistemas naturales que utilizan la digestión anaeróbica para transformar materia orgánica en biogás y fertilizantes. Se constituyen en una alternativa válida para la generación de energía y fertilizantes, además del tratamiento de las excretas y otras materias orgánicas generadas en las fincas rurales (Botero, 2011; Guevara, 1996; Martí, 2008).

De acuerdo al resultado de varios estudios indican que el uso de biodigestores reduce la pobreza, pues disminuye el gasto en combustibles, abonos y alimentos, permitiendo a las familias rurales destinar estos recursos económicos para cubrir otras necesidades. Además el empleo del abono como fertilizante en la producción agrícola ha incrementado la producción. Otros beneficios que brinda su utilización están relacionados a la mejora en la salud de la familia ya que reduce los malestares y enfermedades asociados a la intoxicación con humo y aguas contaminadas. En cuanto al aspecto medio ambiental, su empleo reduce la emisión de gases de efecto invernadero y la lluvia ácida (Botero, 2011).

METODOLOGÍA

La investigación se realizó en la compañía Presidente Franco del distrito de Piribebuy, situada a 80 km de Asunción, capital del Paraguay durante los años 2015 y 2016. La población del estudio estuvo compuesta por 50 familias beneficiadas por el proyecto "Producción Hortícola Sostenible" ejecutado por la Asociación Civil Tierra Nueva y financiada por la Fundación Interamericana.

Las variables a ser utilizadas para determinar la sostenibilidad de los sistemas de agricultura familiar corresponden a las sugeridas por la metodología MESMIS y Biograma (Barrantes, Siura, Castillo, Huarcaya, & Rado, 2015).

Para determinar la sustentabilidad de los sistemas de agricultura familiar se utilizó la metodología del biograma que consiste en la selección y elaboración de indicadores (cuadro 1), estandarización de indicadores, y análisis y determinación de puntos críticos de la sostenibilidad (Sepúlveda, 2008). Los indicadores fueron elaborados de manera conjunta con los pobladores y técnicos involucrados en el proyecto partiendo del concepto de sostenibilidad utilizado en el informe "Nuestro Futuro Común" de la Comisión Burtland, publicado en 1987; este concepto describe a la sustentabilidad como la capacidad de un sistema de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer la facultad de las generaciones futuras para satisfacer sus propios requerimientos (Maccagno, 2006). La estandarización de los indicadores se realizó mediante el método Min-Max donde se asignan valores mínimos y máximos a partir de lo observado a cada categoría (Sepúlveda, 2008). La normalización min-max utiliza los valores mínimo y máximo observados para normalizar linealmente los datos de manera que los valores mínimos y máximos de los indicadores se desplacen a los valores 0 (menos sostenible) y 1 (más sostenible), respectivamente, y todos los demás indicadores adopten valores relativos que varían en el rango adimensional [0,1], de modo que la distribución original se conserve, sin que se mantenga el factor de escala (Barrantes, Siura, Castillo, Huarcaya, & Rado, 2015).

Biófísico Ambiental	Económico Productivo	Institucional	Socio cultural
<ul style="list-style-type: none"> B1. Fuentes de energía para la cocción B2. Técnicas de manejo de suelo B3. ¿Utiliza agro químicos? B4. ¿Cómo elimina sus envases de agro químicos? B5. ¿Cómo elimina la excreta de los animales? B6. Forma de eliminación de la basura B7. Percepción de la naturaleza B8. Diversidad de rubros agrícolas. B9. Biodigestor [¿Cuenta con uno?] 	<ul style="list-style-type: none"> E1. Producción animal E2. Sistema de tracción utilizado E3. ¿Posee semillas propias? E4. Sistema de riego [¿Cuenta con uno?] E5. Invernadero [¿Cuenta con uno?] E6. Media sombra [¿Cuenta con uno?] E7. %Ingresos propios E8. Relación con línea de pobreza 	<ul style="list-style-type: none"> I1. Instituciones visualizadas en la comunidad I2. ¿Forma parte de algún otro comité o comisión? 	<ul style="list-style-type: none"> S1. Edad S2. Nivel educativo S3. Trabajo remunerado S4. Tiempo asentado en la comunidad S5. Tipo de cocinas S6. ¿De donde se abastece? S7. Tipo de abastecimiento de agua potable S8. Energía eléctrica S9. Grado de satisfacción con la actividad

Cuadro 1. Indicadores de sostenibilidad por dimensión.

Para la categorización de los indicadores se utilizó la escala propuesta por Sepúlveda (2008) que agrupa en cinco categorías y les asigna un color para su representación, en la figura 1 se puede apreciar esta categorización.

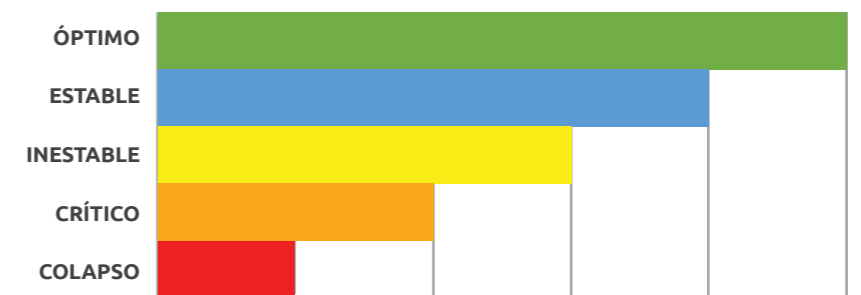


Figura 1. Categorización de los niveles de sostenibilidad (Sepúlveda, 2008)

DESCRIPCIÓN DEL CASO Y RESULTADOS

Los sistemas de agricultura familiar existentes en la compañía Presidente Franco en el 73% de los casos están a cargo de mujeres porque el hombre realiza trabajos extra prediales lo que le obliga, a ausentarse por varios días. El promedio de edad de las personas encargadas de los sistemas productivos está por los 44 años con un bajo promedio educativo. La mayoría de las familias viven hace más de 10 años en la comunidad, y los sistemas productivos están orientados a la producción de alimentos (maíz, poroto y mandioca), además cuentan animales, una baja utilización de agroquímicos. En cuanto a la preparación de alimentos, las familias utilizan como fuente de energía la leña y se abastecen de almacenes locales. Los desechos generados en la finca no reciben ningún tipo de tratamiento, en la mayoría de los casos o simplemente son enterrados.

SOCIO CULTURAL	BIOFÍSICO AMBIENTAL	ECONÓMICO PRODUCTIVO	INSTITUCIONALES
S1	B1	E1	I1
S2	B2	E2	I2
S3	B3	E3	
S4	B4	E4	
S5	B5	E5	
S6	B6	E6	
S7	B7	E7	
S8	B8	E8	
S9	B9		

Cuadro 2. Situación de los indicadores por dimensión en la situación inicial

En el cuadro 2 se puede apreciar que los puntos críticos de la sostenibilidad de estos sistemas productivos se sitúan en las dimensiones biofísica ambiental, económico productivo e institucionales. Si entramos a analizar cada uno de los 28 indicadores, los que se encuentran en rango de colapso o crítico son 12 los cuales contienen puntuación menor a 0,4.

Es a partir de esta situación inicial que el proyecto plantea la utilización de los biodigestores para mejorar los indicadores relacionados a las dimensiones biofísicas ambientales y económicas productivas. Para ello se ha promocionado el uso de un biodigestor de tipo tambor de plástico regido y caños de PVC, con un volumen de 500 litros, con entrada de materia orgánica y salida de biol, en sistema continuo, también contará con una salida de biogás con una llave de paso, trampa de agua, filtro y sistema de conducción de gas hasta el quemador en la cocina de la vivienda.

Estos biodigestores, en su etapa inicial de implementación con 10 familias, han tenido problemas principalmente con la retención de cantidades suficientes de biogás como para poder ser funcionales, por ello, en una segunda etapa, se han agregado al sistema gasómetros tipo bolsa con una capacidad de 1 m³; a partir del uso de los reservorios de gas ya fue constante su producción; hoy día son 20 las familias que cuentan con sus biodigestores en funcionamiento.



Figura 2. Beneficiaria con el biodigestor y el gasómetro.

Los biodigestores utilizados son alimentados, principalmente con estiércol vacuno y en segundo lugar con estiércol porcino, en algunos casos las familias también incorporan residuos vegetales. Esta carga normalmente se hace cada día o

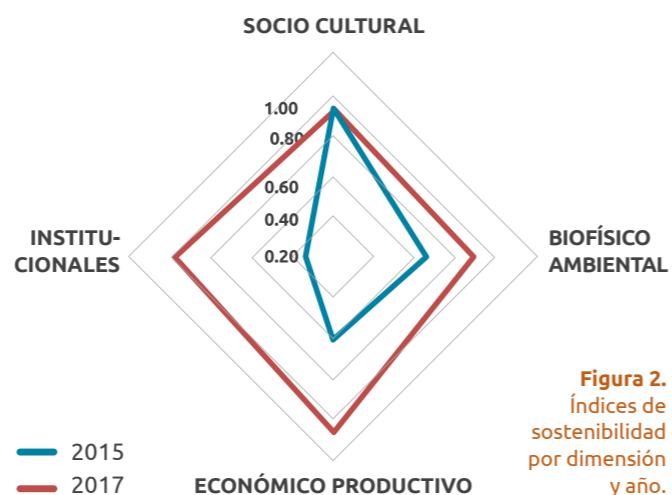
día de por medio en una cantidad aproximada de 20 litros con una relación de 1:3 con agua.

Entre los principales problemas que fueron identificados en la adopción de la tecnología se resalta el hecho de que, como en la mayoría de las fincas sólo están las mujeres, que ya se encuentran con una cantidad de tareas, el cuidado del biodigestor puede constituirse en una sobrecarga de labores y es descuidado, en muchas ocasiones. Esta situación se ha revertido con el acompañamiento cercano de las técnicas del proyecto y hoy día, una vez que el biodigestor empieza a producir biogás, las mujeres ya realizan las tareas de mantenimiento sin inconvenientes ya que se reducen otras actividades como la búsqueda de gas licuado de petróleo.

Una vez que el biodigestor está en funcionamiento se resalta el hecho de que no reemplaza a la leña, sino al Gas Licuado de Petróleo y es empleado para la cocción rápida de algunos alimentos o para calentar alimentos preparados previamente. Esta situación se da, según las propias beneficiarias, por el hecho de que los alimentos preparados con leña poseen un sabor característico y de mayor aceptación por la familia. Otro punto importante es que el biogás es valorado y reservado para situaciones específicas y su uso por lo tanto es más limitado.

La utilización del biol se da principalmente en la preparación de suelo y su empleo ha permitido mejorar la producción de hortalizas, especialmente especies como lechugas (*Lactuca sativa L.*), cebolla de verdeo (*Allium fistulosum L.*), perejil (*Petroselinum crispum (Miller) A.W. Hill*) y acelga (*Beta vulgaris var. cicla (L.) K.Koch*), aumentando el tamaño de las hojas, la vigorosidad de las plantas, la calidad final del producto y su resistencia al ataque de plagas y enfermedades.

Con la aplicación de los biodigestores se observó una mejora en las condiciones de sostenibilidad disminuyendo los puntos críticos, principalmente en los indicadores B1, B5 y S5. En la figura 2 se puede apreciar la evolución de la sostenibilidad de las fincas desde el año inicial (2015) hasta la actualidad con la aplicación de los sistemas de producción basados en biodigestores.



LECCIONES APRENDIDAS Y RECOMENDACIONES

Entre las lecciones aprendidas de mayor valor están el hecho de la necesidad de aplicar la tecnología en campo con los propios beneficiarios e ir ajustándola hasta lograr su completa adaptación a las condiciones de la población beneficiaria para lograr su adopción. Otro punto importante es que el acompañamiento técnico durante la fase de implementación y ajuste debe ser cercano hasta lograr un funcionamiento estable del biodigestor, una vez que esto ocurre, las beneficiarias van asumiendo solas las acciones de mantenimiento del biodigestor.

CONCLUSIONES

El biodigestor posee un gran potencial para mejorar las condiciones de sostenibilidad de los sistemas de agricultura familiar de la compañía Presidente Franco ya que tiene un efecto directo sobre 4 de los 10 indicadores considerados como críticos o colapsados en el análisis de la sostenibilidad realizado. Desde la aplicación del proyecto se ha logrado pasar de un índice general de sostenibilidad de 0,44 a 0,77 es decir de un estado crítico a uno estable.

El biodigestor se constituye en una herramienta vital para el desarrollo de las familias rurales y contribuye, específicamente en este caso, a facilitar el acceso a energías para la cocción de alimentos reemplazando al GLP que es costoso y de muy difícil acceso. Además el empleo del biol ha permitido mejorar la calidad y rendimientos de la producción agrícola, principalmente aquellos rubros donde el producto consumido son las hojas.

Su empleo como sistema de tratamiento no es tan destacado por las mujeres rurales, debido a que no es una necesidad sentida por las familias, pero si se aprecia una disminución en la presencia de estiércol alrededor de las viviendas.

AGRADECIMIENTOS

A la organización no gubernamental Tierra Nueva por acompañar el estudio realizado con los beneficiarios del proyecto "Producción Hortícola Sostenible".

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMADA, F., & BARRIL, A. (2007). La agricultura familiar en los países del cono sur. Asunción: IICA.

AJAYI, F. T. Effects of feeding ensiled mixtures of elephant grass (*Pennisetum purpureum*) with three grain legume plants on digestibility and nitrogen balance of West African Dwarf goats. *Livestock Science*, v. 142, n. 1-3, p. 80-84, diciembre 2011.

BARRANTES, C., SIURA, S., CASTILLO, E., HUARCAYA, M., & RADO,

J. (2015). Guía metodológica para la construcción de indicadores de sostenibilidad en sistemas de producción agrícola familiar. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

BOTERO, R. (2011). El biodigestor de bajo costo, su aporte a la mitigación del cambio climático y su potencial para reducir la pobreza rural en América Latina y el Caribe. *UTN Informa*, 60-65.

CÁRDENAS, G., GIRALDO, H., IDÁRRAGA, Á., & VÁSQUEZ, L. (2006). Desarrollo y validación de metodología para evaluar con indicadores la sustentabilidad de sistemas productivos campesinos de la Asociación De Caficultores Orgánicos de Colombia-ACOC. *Investigaciones UNISARC*, 4(2), 22-46.

CHAE, K. J. et al. The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 1, p. 1-6, 2008.

DELGADO, M., HERNÁNDEZ, R., GARCÍA, M., & CRUZ, R. (2006). Desarrollo agrícola sostenible. Recuperado el 27 de Agosto de 2015, de Universidad Pinar del Río: <http://213.254.226.17/biblioteca/Pinar-delRio/DesarrolloSostenible.pdf>

GATTINI, J. (2011). Competitividad de la agricultura familiar en Paraguay. Asunción, Paraguay: Centro de Análisis y Difusión de la Economía Paraguaya.

GUEVARA, A. (1996). Fundamento básico para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Lima: Organización Panamericana de la Salud.

INSTITUTO DE BIENESTAR RURAL. (1998). Cultivar arraigo campesino. Asunción: Instituto de Bienestar Rural.

MACCAGNO, P. (2006). La construcción de un sistema nacional de indicadores de desarrollo sostenible: lecciones técnicas y políticas. Santiago de Chile: FAO.

MARTI, J. (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. La Paz, Bolivia: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit - GIZ.

MASERAS, O., ASTIER, M., & LÓPEZ-RIDAURA, S. (2000). Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación MESMIS. México: Mundi Prensa México.

PALAU, T. (1996). La agricultura paraguaya al promediar los 90s: situación, conflictos y perspectivas. Asunción: BASE Investigaciones Sociales. Recuperado el 20 de Noviembre de 2011, de <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Paraguay/base-is/20120911030250/Doc86.pdf>

SARÁNDON, S., & FLORES, C. (2014). Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. La Plata: Universidad de la Plata.

SEPÚLVEDA, S. (2008). Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios: Biograma. San José: IICA.

TORRES, P., RODRIGUEZ, L., & SANCHEZ, O. (2004). Evaluación de la sustentabilidad del desarrollo regional. El marco de la agricultura. *Región y Sociedad*, XVI(29), 109-144.

Desarrollo de un Curso de Especialistas en Biogás para responder la exigencia de un nuevo Reglamento Biogás en Chile

ESTUDIO DE CASO

Jean-François Bradfer

AS&D Consultores EIRL / jf.bradfer@asdconsultores.cl ✉

RESUMEN

En 2015, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles de Chile impulsó la capacitación de Especialistas respondiendo las exigencias del futuro Reglamento de Seguridad de Instalaciones de Biogás (ya vigente en agosto de 2017). AS&D desarrolló un curso pragmático con un equipo de expertos en su respectiva disciplina para comunicar los correctos modus operandi inaccesibles en la literatura técnica. Desde entonces, 3 cursos permitieron formar los 51 primeros especialistas en biogás de Chile. A pesar del interés de los candidatos y experiencia en su respectiva disciplina (que no fuese el biogás), constatamos una asimilación difícil, exigente y selectiva. Porque la ingeniería del biogás es multidisciplinaria, además de utilizar equipamiento específico con un diseño propio. Paralelamente, observamos un desconocimiento general de la tecnología eléctrica ATEX, incluyendo las instituciones públicas, quienes a posteriori no han querido mantener un taller de aplicación de dicha tecnología. Decisión que podría mermar la capacidad de los siguientes especialistas para diseñar instalaciones eléctricamente seguras en zonas con atmósfera explosiva (ATEX).

ABSTRACT

In 2015, the Superintendencia de Electricidad y Combustibles of Chile (SEC is a public institution dependent of the Energy Minister as a technical consultative organization, charged to regulate and control the compliance of electric and combustible regulation, norms, etc.) has driven to develop the training of specialists to respond to the requirement of the future Biogas Installations Security Regulation (valid in august 2017). A special course has been pragmatically developed by AS&D with a team composed by experts of different disciplines, to transfer the correct modus operandi inaccessible from technical literature. At this time, 3 training courses have been executed to prepare and validate the 51 first biogas specialists of Chile. Even if candidates had experiences inside their own specialty (out of biogas field of course), we could observe a difficult, exigent and selective assimilation. This because the biogas engineering is a multidisciplinary specialty which requires additionally the knowledge of specific design and equipment's proper to biogas installation. At the same time, we perceived the lack of knowledge of the ATEX electrical technology, including the public institution, who, to our surprise, did not accept to maintain for the future courses, a special workshop dedicated to ATEX technology. A decision which could lessen the capacity and knowledge of future specialists, to design installations electrically secured inside explosive atmosphere (ATEX).

PALABRAS CLAVE:

BIOGÁS
CAPACITACIÓN
CURSO
INSTALADOR
REGLAMENTO

KEYWORDS:

BIOGAS
TRAINING
COURSE
GAS INSTALLER
REGULATION

INTRODUCCIÓN

En el año 2015, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) junto con el Ministerio de Energía de Chile, impulsó la capacitación de futuros Especialistas Biogás para generar capacidades técnicas en instaladores, fiscalizadores y profesionales de certificación e inspección en el ámbito de las instalaciones de biogás, a modo de preparar un soporte técnico de especialistas que pudiesen responder a las exigencias del futuro Reglamento de Seguridad de Instalaciones de Biogás. AS&D Consultores EIRL (en adelante AS&D) tuvo a cargo desarrollar este curso muy específico cuya característica debía diferenciarse de los cursos clásicos que presentan generalidades sobre el biogás: información fácilmente accesible por internet, y sin interés adicional para un especialista.

La tarea ha sido (y seguirá) compleja debido a la particularidad del proceso que da origen al biogás y que se aparta de la ingeniería convencional en materia de transporte, almacenamiento, transformación, distribución y consumo de los gases combustibles convencionales (GN y GLP) para la cual la SEC procedió a crear las licencias de instaladores clase 1, 2 y 3 según Decreto N°191/96. Difícil por dos razones principales. La primera se debe a una modificación de la esfera de abarcamiento del marco legal donde la SEC esta vez decidió incluir en el "Reglamento Biogás" requisitos que anteceden el clásico proceso de recepción, transporte, distribución y consumo de un gas combustible; pues las actividades de recepción, preparación y almacenamiento de sustrato (que no es el combustible mismo) como las de producción del biogás, son parte ahora del Reglamento, lo cual significa una novedad para cualquier instalador certificado; pues hasta el momento los reglamentos para GN (Decretos N°254, 277 & 67] y GLP [Decretos N°102 & 108] no consideraban el proceso de producción del combustible mismo, lo que tiene sentido porque Chile no es un país ampliamente productor como lo es Argentina. Por tanto, los instaladores desconocen en su gran mayoría la tecnología y los criterios de diseño asociados a las plantas generadoras de combustibles (la fuente) tales como plataformas petroleras, pozos gasíferos, o super-tanques de transporte (donde las reglas de seguridad son extremas) y se limitan a las redes de transporte y de distribución, desde el punto donde llega el combustible (gasoducto desde Argentina, o puerto de descarga de gas propano o de GNL) hasta el artefacto. La segunda razón es aún más compleja e intrínseca a la digestión anaeróbica, porque este proceso incluye fenómenos adicionales a los clásicos del transporte de gases (mecánica de fluidos) exigiendo nuevos conocimientos tales como bioquímica, química, física, termodinámica, procesos industriales, bombeo de líquidos, y otros que no encontramos en la ingeniería normalmente abordada por los instaladores certificados; y cuya especialidad en su mayoría es únicamente la ingeniería mecánica.

En tanto, el nuevo criterio dado por la SEC ha significado un reto para la creación de un curso que pudiese abarcar tantas

especialidades en un formato concentrado y resumido a lo justo necesario para el diseño de una planta biogás. Y lo más didáctico posible para poder ser asimilado a profesionales que no tenían la especialidad de los bio-procesos o del tratamiento de Riles. Adicionalmente, era de nuestra responsabilidad revisar que el alumno hubiese entendido correctamente las materias casi "ingurgitadas" en 4 días, asegurando que tuviera por lo menos asimilado conceptos básicos, y abierto la conciencia sobre una problemática que no era sólo transportar y quemar un gas combustible, sino que donde la complejidad predominante está en la fase de generación del biogás; es decir dentro y alrededor de los biodigestores. Este curso debía entonces incluir las disciplinas propias de la ingeniería asociada a la digestión anaeróbica y al proceso de generación, transporte, transformación, almacenamiento y uso final del biogás, sumando más de 120 horas de curso, y terminando con exámenes y un importante trabajo en casa, permitiendo aprender y desarrollar la ingeniería básica de un digestor anaeróbico y de sus anexas.

METODOLOGÍA

Los tres (3) cursos (Concepción y Santiago en 2015, luego Osorno en 2016) impartieron las materias siguientes: introducción al biogás, diseño de plantas anaeróbicas y redes de biogás, certificación e inspección, seguridad en el diseño y la intervención de las instalaciones de biogás, aspectos de operación, marco legal, ambiental y permisos requeridos, generación eléctrica. Fueron desarrollados y presentados por profesionales especialistas en su dominio (ingeniero procesista, químico, ambiental, prevencionista) que tuvieran experiencia y hubieran aplicado su especialidad en casos asociados con el biogás. Era la condición sin equa non para poder escapar de los contenidos teóricamente clásicos y pocos pragmáticos, y conseguir entregar herramientas sencillas, comprobadas y aplicable a la realidad.

Adicionalmente, y por las exigencias del Reglamento, se incluyeron materias particulares tales como generación de una Matriz de Riesgos, un Plano de Zonas de Riesgo de Explosión (ATEX), un taller de descubrimiento y conexionado de materiales eléctricos aptos para zonas ATEX, y una introducción a los Sistemas de Gestión de Seguridad y Riesgos (SGSR).

Figura 1. Alumnos trabajando sobre bancos de prueba de la tecnología intrínsecamente segura de tipo Eex-ia/ib marca Phoenix Contact, aplicable para zonas ATEX nivel 0,1 y 2.



Debido a un programa muy intenso cuyo plazo inicial era de sólo 3 días, decidimos aumentarlo a 5 días (4 de capacitación, más 1 de examen final, y terminando con una visita a terreno); luego agregar pruebas intermediarias de 10 minutos cada una y un examen en casa. Porque teníamos conciencia que este plazo era aún insuficiente para asimilar tal cantidad de información y poder practicar con ello. Adicionalmente, procuramos exigir una atención máxima a los candidatos, y "extender", "extrapolar" virtualmente los plazos de estudios gracias al trabajo a realizar en casa.



Figura 2. El prevencionista de riesgos José Miguel Valdebenito enseña a un alumno el uso de un medidor de %LEL portátil (explosímetro). Fuente: (AS&D Consultores, 2016)

Para poder conseguirlo, procuramos planificar el curso con estos hitos, cada uno de ellos teniendo la siguiente intención:

Pruebas intermediarias sin los apuntes del curso (pruebas con bajo coeficiente) para:

- mantener la atención y solicitar de inmediato la asimilación (aunque parcial) de los conocimientos; y no caer en la estrategia de esperar pasivamente la información que vendrá después...
- Tomar conciencia de su real nivel de conocimiento para poder anticipadamente "actualizarse" antes del examen final.

Examen final con los apuntes del curso (alto coeficiente):

después de haber recordado las bases de la ingeniería necesarias al diseño "biogás", se inician con este examen unos cálculos simples, etapa por etapa del proceso, sin que aún

podieran ver la relación que existiese entre los procesos. Ello porque los conocimientos y la práctica sólo permitía en esta etapa ejercitar zona por zona, sin poder aún abordar al proceso como un conjunto.

Trabajo en casa (alto coeficiente):

De un formato totalmente distinto a lo anterior, este trabajo pone en marcha por fin la unificación de los problemas, dando un hilo conductor final hacia el diseño de una planta biogás. Es la reunificación, el sentido a todo el trabajo realizado hasta este momento cuando recién el alumno comprende la relación entre las distintas especialidades.

Debido al programa y los plazos dados, ciertamente que un diseño integral no pudo ser practicado anteriormente; sin embargo, con esfuerzo, investigación y aplicación, un 70% de los candidatos de 2015 lograron asimilar el ejercicio de desarrollar la ingeniería básica de una digestión anaeróbica, quienes para la mayoría era su primera planta biogás.

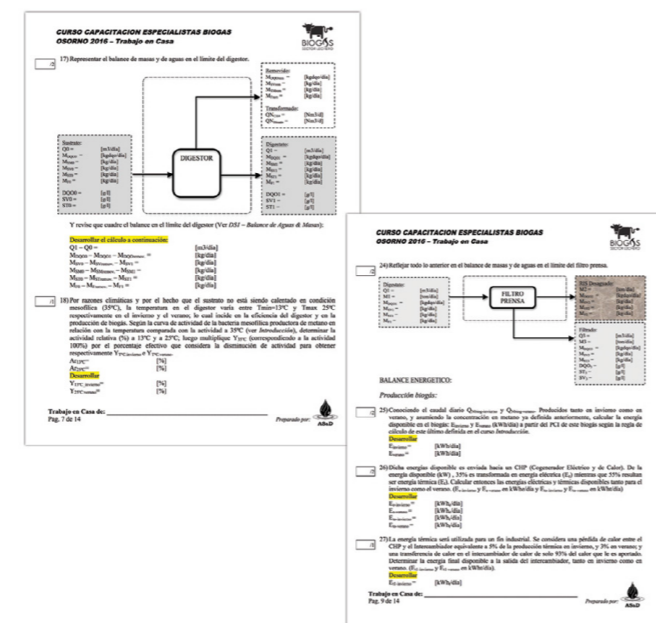


Figura 1. Parte del estudio de caso a realizar en casa: una ingeniería que incluía un balance de masa y de aguas, cálculos térmicos, de condensados y de pérdida de carga (entre otros). Fuente: (AS&D Consultores, 2016)

LECCIONES APRENDIDAS Y RECOMENDACIONES

La exigencia por ser ingeniero civil o ingeniero de ejecución, en las especialidades de mecánica o química, no fue suficiente para asegurar tener el nivel que permita poseer (o recordar) los conocimientos básicos universitarios, y que permitiese adquirir con facilidad nuevos conocimientos requeridos por la ingeniería del biogás (que no son de la especialidad de uno). Por lo cual nos encontramos por un lado con profesionales que sí tenían la capacidad de entender y aprender, lo cual

se denotó en el trabajo en casa hasta sorprendente por su calidad. Pero por otro lado encontramos profesionales que no sabían hacer simples balances de masa, o que tenían dificultades con el uso de nuevas unidades (kgDQO , kgSS , Nm^3), dando resultados de cálculo no aceptables, y hasta absurdos.

Los conocimientos necesarios para poder diseñar una planta de digestión anaeróbica no son de la especialidad de la mayoría de los instaladores SEC clase 1 (el nivel más exigente), quienes en general son mecánicos, y muy pocos químicos. Hemos notado por ejemplo dificultades para algunos en entender el concepto de "concentración", o confundiendo caudal másico con caudal volumétrico, etc. El problema no está en el nivel universitario o el profesionalismo de los candidatos quienes pueden dominar su especialidad, sino que en la dificultad para adquirir en menos de una semana una nueva disciplina con conceptos tan alejados de su cotidiano. La dificultad sería similar si pidiéramos a un ingeniero químico calcular la resistencia mecánica de una viga.

Luego, a sabiendo que no eran ingenieros eléctricos, no fue sorprendente el desconocimiento para la mayoría de los candidatos, de los materiales eléctricos aptos para las zonas ATEX, o el cómo determinar y clasificar las zonas con riesgos de explosión aplicando criterios de riesgos propios por ejemplo de una sala de sopladores biogás, o de un gasómetro (bueno, un ingeniero eléctrico tampoco podría definir una zona ATEX, puesto que se requiere conocer el proceso manejado por el Especialista Biogás quién tendrá a cargo generar el plano "ATEX"). No obstante, llamó la atención que el desconocimiento se extendiera a los profesionales quienes sí tenían experiencia en diseño de plantas biogás, pero quienes no habían tenido la oportunidad de dibujar planos con zonas ATEX, o de haber utilizado por ejemplo un instrumento a prueba de explosión. Lo anterior nos demuestra la importancia y la urgencia en mantener la capacitación en este rubro puesto que es un requisito obligatorio del Reglamento para diseñar instalaciones seguras, y presentar los futuros proyectos.



Figura 3. Sobre un plano Lay-Out de una planta biogás, los alumnos deben definir los límites y los tipos (0, 1 o 2) de las zonas ATEX según criterios normados, para luego especificar los equipos eléctricos o los instrumentos autorizados en la respectiva zona. Fuente: (AS&D Consultores, 2016)



No obstante, a pesar de no estar bien acostumbrados a este tipo de examinación donde se presenta un problema a resolver con cálculos (los apuntes estaban autorizados para el examen final considerando que cualquier ingeniero que oficia lo hace con sus libros al alcance) los candidatos entendieron voluntariamente cual era el doble objetivo detrás de esta metodología: evaluar el alumno mientras el seguía capacitándose al realizar un examen con aplicación numérica de casos reales. El fenómeno anterior se ve claramente resumido en lo que nos contó una Especialista Biogás recién titulada, con estos términos: "Respecto de la tarea, fue bastante acertada. Si bien era larga, permitió revisar todos los conceptos de diseño vistos en el curso. Además, las preguntas fueron bien guiadas hasta los resultados finales." Una visión acertada por una especialista quién dos meses antes no sabía nada de biogás.

CONCLUSIONES

El biogás en Chile tiene mala fama. No por su mal olor, sino que por la propagación de una onda expansiva originada en proyectos fracasados, muertos antes de nacer. Y lamentablemente, el efecto negativo de proyectos erróneos genera un impacto mayor en la memoria y en la fama, que los proyectos exitosos. Es injusto para quienes han hecho un buen trabajo, pagar por los charlatanes quienes se presentaron como los mesías de la revolución anaeróbica. Pero para quienes defendemos la era del biogás, tenemos la responsabilidad de buscar las herramientas y defendernos de los farsantes, causantes de un daño (a veces irreparable) primero hacia su propio cliente, pero también hacia toda nuestra comunidad de Especialistas Biogás.

La realización y la ejecución de estos tres cursos de capacitación para Especialistas Biogás, además de cumplir el objetivo encargado por el Ministerio de Energía y la Superintendencia

de Electricidad y Combustibles, significó una oportunidad y una respuesta lógica a la necesidad chilena y a nuestra comunidad, para intentar crear un corta-fuego permitiendo recuperar la buena fama que le hace bien a los proyectos de biogás. Con una preparación adecuada, una evaluación efectiva y una certificación (que excluyera la entrega de certificados de participación como si presencia fuese sinónimo de habilitado), podremos asegurar tener los profesionales capacitados para la realización de las futuras instalaciones de biogás: seguras y operacionales.

Pero la última licitación al curso de Especialistas Biogás (GIZ - año 2017) excluyó el taller ATEX del programa, a pesar que el mismo Reglamento en su artículo 70 letra e) exigiera que "el circuito o sistema eléctrico de alimentación o control deberá ser antideflagrante o a prueba de explosión de acuerdo a la norma técnica NCh.Elec 4/2003". Este retroceso no va en el sentido de estar preparando correctamente a los Especialistas Biogás, cuando más aún la mencionada norma es totalmente desadaptada a las instalaciones de biogás, pues aborda las zonas peligrosas (el término correcto utilizado hoy en día sería explosivo en consideración que una zona con riesgo de asfixia o de caída también es peligrosa) de las salas de operación, de las estaciones dispensadoras de gasolina, y de las salas de pintura; pero no de las instalaciones de biogás. Tampoco se menciona el uso de la tecnología intrínsecamente segura (ia/ib), más económica que la anti-deflagrante (d), generándose una discriminación tecnológica por obsolescencia y reduccionismo de terminología.

La Superintendencia se ha decidido en ampliar el alcance del Reglamento hacia una nueva etapa de proceso poco común para un instalador de gas; y con ello nos ha puesto la barra muy alta al incluir en el Reglamento, el manejo del sustrato y los complejos fenómenos de la digestión anaeróbica junto con los asuntos de los gases combustibles. Sin entrar en el debate de si tal decisión ha sido la correcta, sólo nos queda por asumir una dura tarea dando una respuesta sensata y adecuada. Pero sólo podremos lograrlo si se mantienen vigentes y efectivos los filtros selectivos que califican quienes son

habilitados y quienes no. El nivel del examen de competencia ante la Superintendencia de Electricidad y Combustibles mencionado en el Reglamento tendrá que responder de manera apropiada y proporcional a la exigencia del dicho marco regulador, y también debido a la complejidad de los procesos de digestión anaeróbica. La reputación de las instalaciones de biogás dependerá de ello. Y todos deberemos velar para que así sea.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ministerio de Energía. Reglamento de seguridad de las Plantas de Biogás, decreto 119, febrero 2017.

Jean-François Bradfer. El costo de la negligencia. ECOAMERICA, n. 91, 2010.

Jean-François Bradfer. La Farfana: ¿fallas de unos o faltas de otros? ECOAMERICA, noviembre 2004.

AS&D Consultores EIRL. Programa curso biogás, Osorno 2016, http://cursobiogas.cl/wp-content/uploads/2016/09/Temario-Curso-Biogás-Osorno-2016_rev.D.pdf



Figura 4. Premiación de los primeros Especialistas Biogás de Chile en la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (mayo 2016) en presencia de la Subsecretaria de Energía, Jimena Jara Quilodrán, del Superintendente de la SEC, Luis Ávila Bravo, y de Karin Von Osten de la Unidad de Energías Renovable No Convencionales (SEC) quién tiene un rol preponderante en este proyecto de capacitación de Especialistas Biogás.

Fuente: (AS&D Consultores, 2016)

Monitoreo a escala de real de un digestor anaeróbico de bajo costo instalado en una planta de sacrificio animal

Liliana Castro¹ / Martín Carballo¹ / Jaime Martí-Herrero^{2,3} / Humberto Escalante¹

1. Grupo de Investigación en Tecnologías de Valorización de Residuos y Fuentes Agrícolas e Industriales para la Sustentabilidad Energética (INTERFASE), Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Carrera 27, Calle 9 Ciudad Universitaria.

2. Centre International de Méthodes numériques en Ingénieria (CIMNE), Building Energy and Environment Group, Edificio GAIA (TR14), C/Rambla Sant Nerbridi 22, 08222, Terrassa-Spain.

3. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), Iñaquito N35-37, Quito, Ecuador. Pilicasm084@gmail.com ✉

RESUMEN

Las plantas de beneficio animal generan en promedio 6,5 kg de estiércol/bovino diariamente, a partir de animales con un peso entre 350 y 400 kg. El estiércol generado causa problemas económicos, ambientales y legales para las empresas de sacrificio. En este estudio, se evaluó el comportamiento de un biodigestor de bajo costo para estabilizar el 5,5% del estiércol bovino generado en la planta de sacrificio. Los resultados muestran una reducción de la materia orgánica de 60% en sólidos volátiles y una producción promedio de biogás de 0,9 Nm³/d. Durante el proceso anaeróbico se alcanzaron eficiencias en términos de velocidad de producción de biogás, producción específica de biogás y reducción del contenido de patógenos de 0,21 m³ biogás/m³ digestor d y 0,20 m³ biogás/KgSV y 90% respectivamente. El digerido contiene nitrógeno, fósforo y potasio demostrando su potencial uso como fertilizante.

ABSTRACT

Slaughterhouses generate an average 6.5 kg of manure/animal. Day. The animals has a weight between 350 and 400 kg. Manure causes economic, environmental and legal problems for the slaughter companies. The aim of this work, was to stabilize the 5,5 % of cattle manure of FOGASA Slaughterhouse by means of low cost digester. The results show organic matter reduce of 60% volatile solid and an average biogas production of 0,9 Nm³/d. During anaerobic digestion process efficiencies were reach in terms of biogas production rate, specific biogas production and reduction of the pathogen content of 0,21 m³ biogás/m³ digester d y 0,20 m³ biogás/KgSV y 90% respectively. The digestate contained nitrogen, phosphorous and potassium, which is an important feature of fertilizers.

INTRODUCCIÓN

La carne bovina representa una fuente de proteína de alto valor biológico para la nutrición humana (Castro et al., 2013). Este alimento ocupa el tercer lugar en la ingesta mundial de carne, representando el 22% del total (la de mayor consumo es la de cerdo, con un 36%,

PALABRAS CLAVE:
DIGESTIÓN ANAERÓBICA
DIGESTOR DE BAJO COSTO
NUTRIENTES
PLANTA DE SACRIFICIO ANIMAL

KEYWORDS:
ANAEROBIC DIGESTION
LOW TECH DIGESTER
NUTRIENTS
SLAUGHTERHOUSES

seguida de la carne de aves de corral con aproximadamente 35%) (FAO, 2014). Particularmente en Colombia, durante el año 2016 se sacrificaron 3.338.370 cabezas. (DANE, 2017).

Los animales que van a ser sacrificados en las plantas de beneficio, reposan en los corrales entre 6 y 12 horas de descanso, sin darles alimento o agua. Lo anterior, con el propósito de obtener una carne de alta calidad, dado que si el tracto intestinal se encuentre parcialmente vacío, se reduce el estrés ante-mortem y se lleva a cabo la conversión de músculo a carne, a las condiciones adecuadas (pH 5,6) (Hernández et al., 2013).

Tradicionalmente, el estiércol generado en corrales no tiene un tratamiento previo o adecuado para su disposición final, lo cual implica mantener un foco de infección latente perjudicial para las comunidades vecinas a la planta y sanciones para la planta de beneficio. En una planta de sacrificio bovino, el peso del animal se encuentra entre 350 y 450 kilogramos. En promedio, un animal bovino produce 1,5 kg de estiércol/100kg de peso del bovino y por consiguiente, se pueden producir entre 5,7 y 7 kg diarios de estiércol por cada bovino.

La digestión anaeróbica constituye una alternativa para el tratamiento de este estiércol, con un triple efecto, debido a que reduce la materia orgánica, produce energía en forma de biogás y recicla nutrientes (N, P, K) presentes en el digerido.

El proceso de digestión anaeróbica puede llevarse a cabo en digestores tubulares de bajo costo, caracterizados por la ausencia de sistemas activos de calefacción y mezcla (Martí-Herrero et al., 2014a). La configuración de estos digestores consiste en una bolsa cilíndrica de polietileno o geomembrana, donde se lleva a cabo el proceso de digestión mientras el sustrato fluye en dirección axial. Las investigaciones en digestores tubulares de bajo costo han sido enfocadas en el diseño, construcción, optimización en climas fríos, control de olores, contaminación del agua procedente de instalaciones de animales y la disminución de patógenos (Garfí et al., 2016) Estudios anteriores incluyen digestores tubulares empacados (anillos plásticos al interior de los digestores) y adición de invernaderos como adaptaciones a climas fríos (Martí-Herrero, 2014b). Kinyua et al. (2016a) realizaron una revisión sobre digestores tubulares anaeróbicos a escala real que tratan diferentes tipos de estiércol (ganado, cerdo, oveja, cabra, llama, búfalo, conejillo de india) en países llamados “en vía de desarrollo”, que resume: i) características del sustrato como nitrógeno total amoniacal (NTA) y pH, los cuales varían de 0,086 a 1,4 $\frac{NH_4^+-N}{l}$ y 6,5-8,8 respectivamente; ii) parámetros de operación (velocidad de carga orgánica -VCO- de 0,33 a 1,5 kg SV/ m³-d y temperatura de 17 a 31 °C) y iii) rendimiento de los digestores tubulares en términos de biogás (0,013 a 0,56 m³biogás/kgSVañadidos) y contenido de CH₄ (de 21 a 76 %). Posteriormente, Kinyua et al. (2016b) investigaron el desempeño de un digestor tubular tratando residuos de ganado a través de estudios experimentales y

modelos de bioprocesos. Se encontró que las eficiencias de eliminación de sólidos volátiles (SV) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) fueron superiores al 75%. Con respecto al contenido de patógenos, Kinyua et al. (2016c), durante el proceso de digestión de estiércol porcino, alcanzaron una remoción del 60 y 90 % en el contenido de *Cryptosporidium parvum* y *Giardia lamblia* respectivamente.

Particularmente, este trabajo se enfoca en la planta de beneficio de ganado bovino y bufalino FOGASA (departamento de Cesar, Colombia). Esta planta de sacrificio tiene una capacidad máxima de sacrificio de 200 animales/día. Actualmente, el estiércol que se recoge diariamente de los corrales se deposita en los potreros aledaños sin tratamiento previo. Esta acción causa un impacto visual negativo al entorno natural, se generan olores desagradables por la descomposición del estiércol, presencia de vectores como moscas, zancudos y aves de rapiña y los lixiviados del estiércol, en épocas de lluvia, son arrastrados hacia los cuerpos de agua cercanos.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue monitorear y caracterizar un digestor tubular de bajo costo alimentado con el 5,5% de estiércol bovino (50 kg/día durante 5 días de la semana) generado de los corrales de la planta de beneficio animal FOGASA SAS. Con estos datos, se han proyectado las dimensiones para tratar, mediante biodigestores tubulares, el 100% del estiércol de los corrales.

METODOLOGÍA

1. Información del caso de estudio

El caso de estudio es la planta de beneficio de ganado bovino y bufalino, ubicada en el departamento de Cesar, Colombia (Lat.: N 8°15' 34,2" Long W 73°36'0,41"), llamada FOGASA. Esta planta de sacrificio tiene una capacidad promedio para sacrificar 200 animales/día durante 5 días a la semana. La planta tiene 20 corrales (7x7m cada uno) separados e identificados de la siguiente manera: 7 corrales de recepción, 12 corrales de beneficio y 1 corral de observación. La capacidad máxima de cada corral es de 20 animales aproximadamente, pudiendo albergar un total de 500 animales. El piso de los corrales es de cemento, techado con polisombra y es lavado diariamente para mantener el área en condiciones higiénico-sanitarias.

2. Diseño e instalación del biodigestor de bajo costo

Los animales que van a ser sacrificados tienen un tiempo de reposo en los corrales que va de 6 a 12 horas sin suministro de alimento. Para evaluar la cantidad de estiércol diario producido en el establo se recolectó y pesó durante un mes. Los resultados indicaron una mínima producción de estiércol de 430 kg/día y una máxima cantidad de 900 kg/día.

La tabla 1 resume los parámetros de diseño del biodigestor considerado. Para el diseño del biodigestor se consideró una

carga diaria (5 días a la semana) de 50 kg de estiércol/día, lo que supone de 5,5% a 11,6% de la producción total de estiércol en los corrales. Esta carga, cuando se promedia para los siete días de la semana supone 35,7 kg de estiércol por día. Para el diseño del biodigestor se utilizó la metodología propuesta por Martí-Herrero (2008). Se consideró un tiempo de retención hidráulico de 28 días y una mezcla estiércol: agua de 1:3, resultando en una carga diaria promedio de 142,9 L por día (35,7 kg de estiércol y 107,2 litros de agua).

Tabla 1. Parámetros del BDG

Parámetro	Unidades	Valor
Masa de estiércol	kg/d	35,7
Caudal de afluente (Q)	m ³ /d	0,143
Temperatura de operación	°C	30 ± 2
TRH	D	28
Diámetro	m	1,3
Radio	m	0,65
Longitud	m	4
Volumen	m ³	5
Volumen de operación (VL)	m ³	3,6
Volumen de gas (VG)	m ³	1
Reservorio de biogás	m ³	2,5
Dimensiones de la zanja		
Ancho superior	m	1
Ancho inferior	m	0,8
Alto	m	1
Largo	m	4
Altura de la campana	m	0,35

3. Monitoreo del proceso de digestión anaeróbica

Del estiércol recolectado en los corrales se tomaron dos muestras, con una separación de 15 días la una de la otra, y se les realizó una caracterización fisicoquímica en términos de demanda química de oxígeno (DQO), sólidos volátiles (SV), ácidos grasos volátiles, alcalinidad total (AT) y pH.

Durante un periodo de un mes, se tomaron muestras de afluente y efluente del biodigestor dos veces por semana para evaluar el proceso de DA. Las etapas hidrolítica y acidogénica fueron monitoreadas midiendo la variación de azúcares reductores totales (ART) y ácidos grasos volátiles (AGV). Las etapas acetogénica y metanogénica se valoraron por la producción de biogás, el cual se midió mediante la lectura diaria de un medidor de flujo marca Metrex® modelo G1-6, a su vez la temperatura ambiente fue medida tres veces al

día mediante un termómetro de mercurio. La estabilidad del proceso se evaluó con la relación AGV/AT y pH.

4. Estabilización de materia orgánica

La mitigación del impacto ambiental generado por el estiércol bovino fue cuantificada mediante la reducción de la DQO y de los sólidos volátiles. Estas variables fueron medidas dos veces por semana. Adicionalmente, el reciclaje de nutrientes en el digerido fue determinado por las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio, que se midieron semanalmente, y la remoción de microorganismos patógenos (RMP) fue evaluada mediante el análisis microbiológico (Coliformes fecales, totales y Salmonella Spp).

La eficiencia del proceso de digestión anaeróbica y del biodigestor piloto se determinó en términos de velocidad de producción de biogás:

$$\left[\frac{m^3 \text{ biogás}}{m^3 \text{ digestor día}} \right]$$

$$Y \text{ producción específica de biogás (PEB): } \left[\frac{m^3 \text{ biogás}}{Kg \text{ SV}} \right]$$

5. Métodos analíticos

Los SV y la DQO fueron medidos de acuerdo con los protocolos descritos por Standard Methods (APHA et al., 2005). Los ART se determinaron a partir del protocolo descrito por Miller, 1959. Los AGV y la alcalinidad total (AT) fueron cuantificados por titulación de acuerdo al protocolo propuesto por Jobling et al., 2014. El pH fue determinado usando un pHmetro metrohm 691. Estos protocolos se llevaron a cabo en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad Industrial de Santander, Colombia. La medición de N, P, K, se realizó de acuerdo a las técnicas SM 4500-Norg B/SM 4500-NH3 B,C-Volumétrico, SM 4500-P B,E-Fotométrico, SM 3030 K/SM 3500-K B-Espectrométrico, respectivamente. La medición de Salmonella Spp Coliformes totales y fecales, se realizaron por los métodos ISO 19250 de 2010 y SM 9221 E.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Caracterización del sustrato estiércol bovino

La DQO y los SV representan la materia orgánica degradable. En este estudio, el estiércol presentó una concentración de DQO de 15,90±0,99 %p/p y SV de 141,6±1,17g/kg de muestra. Estas concentraciones representan la fuente de carbono disponible para la conversión anaerobia de la materia orgánica. La concentración de AGV (750mg/L CH₃COOH) del sustrato se encuentra por debajo del límite de inhibición por acidificación para reactores continuos (1500 mg/L; Søndergaard et al., 2015). La relación AGV/AT es de 0,25±0,03 encontrándose en el rango de estabilidad de procesos anaeróbicos entre 0,2 y 0,8 (Raposo, et al., 2011). Finalmente, el pH se encuentra entre 6,5 y 8, valores en los que se obtienen mayores rendimientos de DA (Poh et al., 2009).

Los sólidos volátiles obtenidos son comparables con los reportados por Castro et al., (2017) para el estiércol bovino (132±11 g/kg muestra), lo que evidencia que no hay diferencia significativa entre el estiércol producido por un bovino de granja y uno que se mantiene sin alimentación previo al sacrificio (sólo consumo de agua por un tiempo mínimo de 6 horas).

2. Monitoreo del proceso de digestión anaeróbica

A. ETAPAS HIDROLÍTICA Y ACIDOGÉNICA

Los valores de ART y AGV representan la materia orgánica soluble fácil de digerir por los microorganismos. La figura 1 muestra una disminución de la concentración de ART del digerido con respecto a la concentración del afluente demostrando degradación en la etapa hidrolítica.

La concentración de AGV en el afluente se encontró en un rango entre 960 y 1980±85mg/l. Estas concentraciones indican la materia orgánica accesible que será transformada a biogás. Aunque se alcanzaron concentraciones alrededor de los 2000mg/L en el afluente, la operación del digestor no se puso en riesgo de acidificación, dado que las concentraciones de ácidos en el digerido fueron en promedio 500 mg/L manteniéndose por debajo del límite de inhibición para reactores continuos (1500 mg/L; Søndergaard et al., 2015). De acuerdo a los resultados anteriores, se infiere que la actividad microbiana dentro del digestor es favorable porque los ácidos son consumidos evitando acumulación de estos compuestos en el reactor.

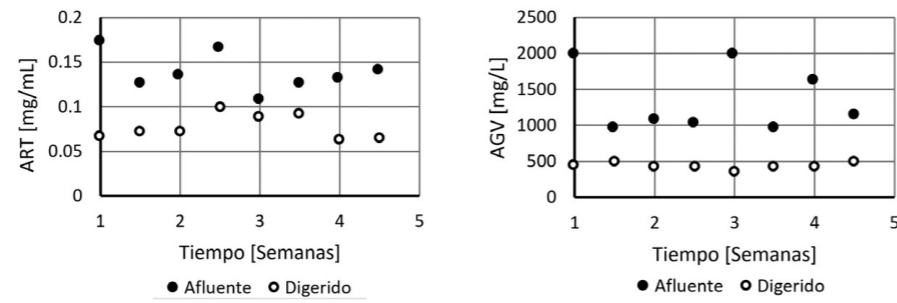


Figura 1. Monitoreo de las etapas hidrolítica y acidogénica.

B. ETAPAS ACETOGÉNICA Y METANOGÉNICA

En la figura 2a se muestra la producción de biogás y la temperatura ambiente (promedio de tres mediciones) del biodigestor piloto instalado en la planta de sacrificio. El comportamiento de la curva evidencia una producción estable de biogás en un promedio de 0,9 m³ /día normalizados a presión y temperatura (101,325 kpa y 273,15 K). La producción de biogás en el proceso de digestión anaeróbica demuestra que la implementación de la tecnología favorece la reducción del daño en la capa de ozono al liberar menos metano a la atmósfera además de que elimina los malos olores que causa el estiércol bovino expuesto al ambiente.

C. ESTABILIDAD DEL PROCESO

Como se muestra en la figura 2b el pH se mantiene en el rango de 6,5 a 8, en el cual se obtiene la máxima producción y la mejor calidad de biogás en la DA (Poh et al., 2009). A su vez la relación de AGV y AT, conocida como la capacidad buffer del sistema se mantiene en un rango recomendado (0,2-0,8) para que el sistema no se acidifique. De acuerdo a los resultados presentados, es posible afirmar que el digestor no presenta riesgos de fallas por inhibición.

La descarga generada por el biodigestor cumple con el criterio físico de pH (6,0-9,0) para uso agrícola (riego de pasto para consumo animal, cultivos para la obtención de biocombustibles, cultivos forestales de madera, jardines u otros cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos) según la normativa colombiana (resolución No. 1207 del 25 de Julio de 2014).

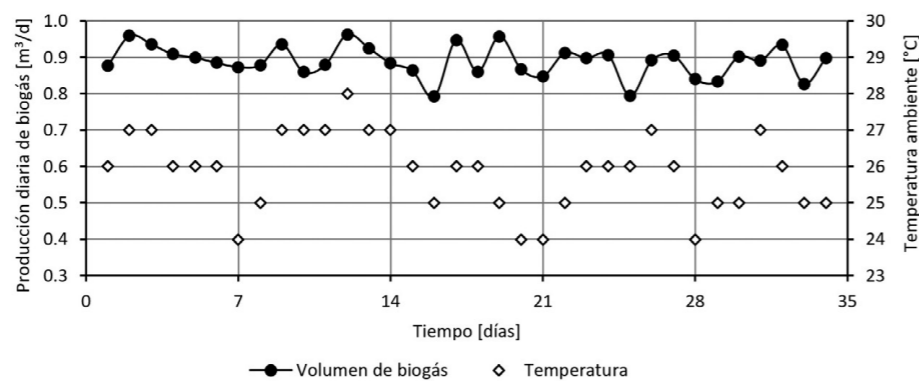


Figura 2a. Producción diaria de biogás y temperatura ambiente. medida a diferentes horas durante el día, sin disponer de mediciones de la noche.

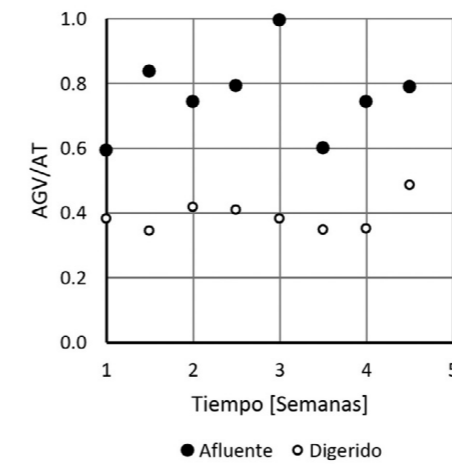
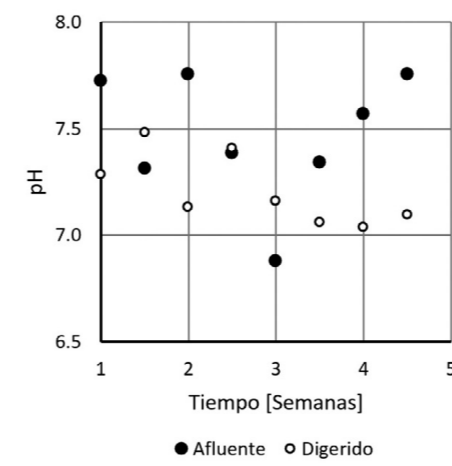


Figura 2b. Estabilidad del proceso evaluada en pH.

3. Estabilización de materia orgánica

A. DEGRADACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

La degradación de materia orgánica en términos de SV y DQO se muestra en la figura 3. El porcentaje de reducción de SV y de DQO es de 60% y de 55%, respectivamente, mostrando una conversión y estabilización de la materia orgánica que indica que el proceso de DA se llevó a cabo.

A pesar de que el biodigestor presenta remoción de materia orgánica, este porcentaje está por debajo del reportado por Castro, et al., (2017) para un biodigestor tubular de bajo

costo alimentado con estiércol bovino (76% de remoción en SV). Esta baja remoción se puede atribuir a la presencia de fibra y material difícil de degradar en el estiércol bovino que requiere más tiempo de retención hidráulica en el digestor.

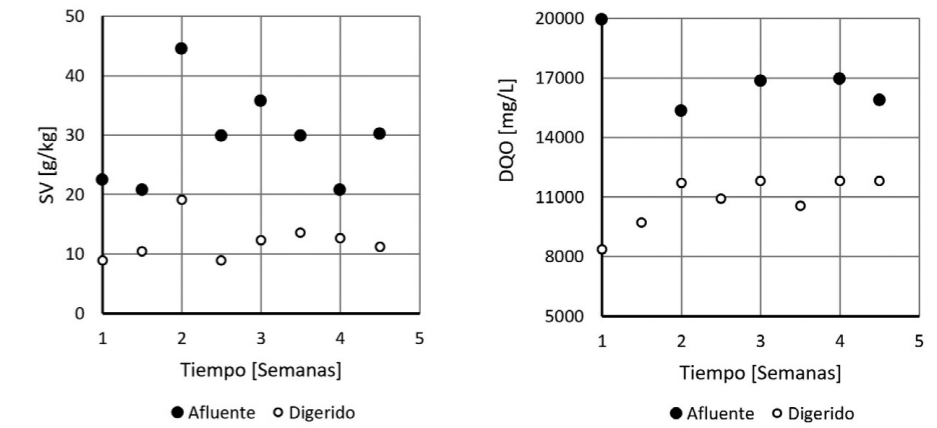


Figura 3. Degradación de la materia en términos de SV y DQO.

B. RECICLAJE DE NUTRIENTES Y REMOCIÓN DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS

El comportamiento de las concentraciones de nutrientes (N, P y K) tanto en el afluente como en el digerido se presentan en la figura 4a. Para una determinada concentración de nutrientes en el afluente, teniendo en cuenta el TRH, las concentraciones de nutrientes en el digerido corresponden a las alcanzadas 28 días después. De acuerdo a lo anterior, en la corriente del digerido se observa el incremento para cada uno de los nutrientes.

Del grupo de macronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, los nutrientes primarios son el nitrógeno, fósforo y potasio. La aplicación de digerido en la tierra puede mejorar calidad del suelo y está representado por el aumento de la biomasa y el contenido de N-P. Algunos estudios informan que el rendimiento de los cultivos aumenta entre 15 y 28 % con la aplicación de digerido (Möller et al., 2012).

En un estudio anterior realizado por Aparcana et al., (2008) se reportó un digerido con alto valor fertilizante (N=2630 mg/l, P=430 mg/l, K=2660 mg/l). Estos valores comparados con este estudio muestran que es posible aprovechar el contenido de nutrientes primarios presentes en el digerido del BDG piloto para su uso como fertilizante orgánico.

La figura 4b evidencia la disminución de microorganismos patógenos en el biodigestor. La remoción alcanzada es del 80% para Coliformes totales, y 90% para Coliformes fecales. A su vez, el análisis de Salmonella Spp, dio como resultado la ausencia de este parásito en el afluente y el digerido cumpliendo lo establecido en las reglas internacionales (US EPA, 2016).

Teniendo en cuenta, las concentraciones de Coliformes fecales (1,7x10⁶ NM-P/100mL), US EPA clasifica al digerido como clase B, que requiere una estabilización final antes de ser vertido a suelos de cultivo para consumo (Rivera, et al., 2012). La tecnología anaeróbica reduce patógenos lo que a su vez mitiga la contaminación y evita enfermedades causadas por el consumo de agua contaminada con residuos agropecuarios como el estiércol bovino sin estabilizar.

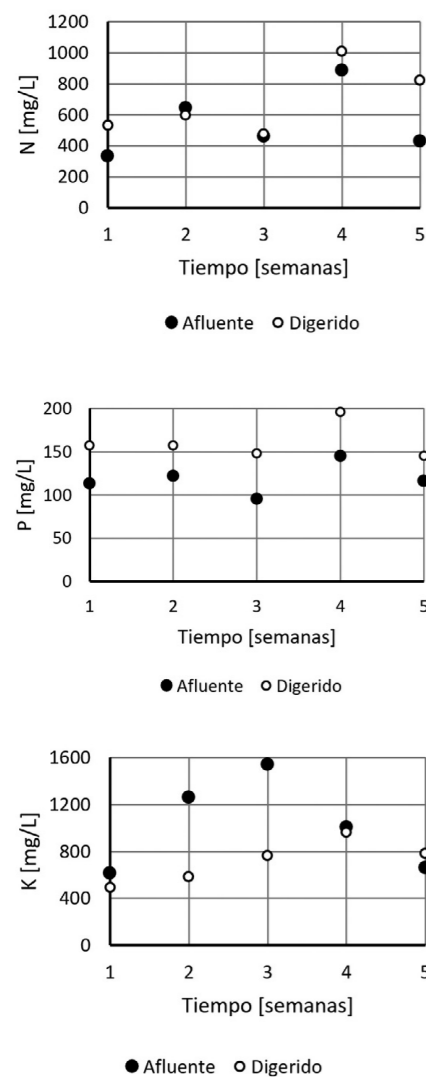


Figura 4a. Concentraciones de nutrientes primarios (Nitrógeno, Fósforo y Potasio).

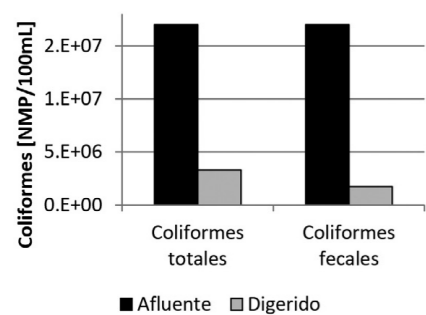


Figura 4b. Reducción de microorganismos patógenos.

C. CARACTERIZACIÓN DEL BIODIGESTOR

Martí-Herrero, et al., (2015) define como parámetros de funcionamiento de un biodigestor la velocidad de producción de biogás (VPB) medida como los metros cúbicos de biogás producidos por metro cúbico de biodigestor al día; y la producción específica de biogás (PEB) medida como los metros cúbicos de biogás producidos por kilogramo de sólido volátil añadido al biodigestor, siendo la VPB la eficiencia del biodigestor como tecnología y la PEB la eficiencia del proceso de digestión anaeróbica en el biodigestor. Como parámetros de operación se definen la Velocidad de Carga Orgánica (VCO) medida en kilogramos de sólidos volátiles cargados por día al biodigestor por metro cúbico de biodigestor y día, el tiempo de retención hidráulico y la temperatura de operación.

En la tabla 2, se muestran la caracterización de diferentes biodigestores de Sur América alimentados con estiércol de vaca, donde el presente biodigestor queda caracterizado por una VCO de 1,05 kgSV/m³d, TRH de 28d, VPB de 0,22 m³/m³d y PEB de 0,21 m³/kgSV, trabajando a una temperatura menor de 26°C.

Estos resultados muestran que el presente biodigestor opera con un TRH mucho menor, y por tanto una VCO alta, respecto a otros biodigestores reportados, debido a la mayor temperatura de trabajo en el presente estudio. La eficiencia de la tecnología, evaluada a través del VPB, está fuertemente influida por la cantidad de carga de sólidos volátiles, y como es de esperar, el biodigestor de la planta de beneficiado, con un mayor VCO y temperatura de operación, muestra valores de VPB (0,22 m³/m³d) muy superiores a los reportados previamente en condiciones más frías y de menor VCO (0,07-0,13 m³/m³d). En cambio, la eficiencia de la digestión anaerobia medida a través de la PEB (0,21 m³/kgSV) se encuentra en el rango reportado en otros trabajos (0,12-0,25 m³/kgSV). Es destacable que en los casos donde la eficiencia de la digestión anaerobia supera al presente estudio se produce para TRH muy elevados (90 y 124 d), en situaciones de clima frío, y con bajas VCO. En el caso específico de Martí-Herrero et al, (2015), con una PEB similar al presente caso, pero triplicando el TRH y disminuyendo la VCO, indicando la importancia de la temperatura de operación de los biodigestores.

Al comparar el presente estudio con el de Castro et al., (2017) se aprecia como aumentando la VCO un 50% (de 0,7 a 1,05 kgSV/m³d) implica un aumento de la eficiencia del biodigestor (VPB) en un 69%, entando ambos casos por encima de los 23°C de temperatura de operación, mientras que en el caso de los dos biodigestores de Bolivia, aumentando un 65% el VCO solo implica un aumento del VPB en un 22% (Martí-Herrero et al., 2015), siendo que a mayor temperatura de operación, mayor es el impacto del aumento de VCO. Por otro lado, al aumentar la VCO, en el caso de los biodigestores colombianos se muestra un aumento de la eficiencia de la digestión anaerobia (PEB) en un 40%, seguramente debido a una mayor temperatura de operación del presente estudio, mientras que en el caso de los biodigestores de Bolivia, el aumento de VCO disminuye la PEB en un 26%. Esto puede indicar los beneficios de trabajar a temperaturas mesofílicas, ya que se logra aumentar la eficiencia del sistema y de la digestión anaerobia, respecto a trabajar a temperaturas psicofílicas, donde el aumento de la eficiencia en el sistema es a costa de una reducción de la eficiencia de la digestión anaerobia.

Tabla 1. Eficiencia de biodigestores de bajo costo.

País	T (°C)	TRH ^a (d)	VCO ^a (kgSV/m ³ d)	VPB ^a (m ³ biogás/ m ³ digestord)	PEB (m ³ biogás/kgSV)	%CH4	RMP ^a (%)	Referencia
Colombia	<26	28	1,05	0,22 ^b	0,21 ^b	NR*	90	Este estudio
Bolivia	14-18	124	0,26	0,07 ^b	0,25 ^b	47	NR	Martí-Herrero et al., 2014b
Bolivia	14-18	80	0,43	0,08 ^b	0,19 ^b	47		Martí-Herrero et al., 2015
Perú	14-18	90	0,34	0,12 ^b	0,36 ^b	<54	NR	Garfí et al, 2011
Colombia	23	35	0,7	0,13 ^b	0,15 ^b	66	NR	Castro et al., 2017

^aTRH: tiempo de retención hidráulico. VCO: velocidad de carga orgánica. VPB: velocidad de producción de biogás. RMP: remoción de microorganismos patógenos. ^b:Volumen de biogás expresado a 25°C y 1 atm. NR: No reporta. *se obtuvo combustión de biogás con llama estable azulada.

D. CONSIDERACIONES ENERGÉTICAS

En la planta de sacrificio bovino FOGASA S.A. se instaló un prototipo de biodigestor para evaluar la viabilidad de la tecnología anaeróbica en la empresa. Este prototipo produjo energía en forma de biogás, la cual fue aprovechada en la cocción de los alimentos de la cafetería de la planta.

En un biodigestor, el biogás se produce a presión baja y un promedio de concentración de metano del 65%. Por consiguiente, al utilizar el biogás en una estufa domestica diseñada para operar con gas propano, cuyo poder calorífico es mayor, se modificaron las boquillas para contrarrestar estos efectos. El biogás se produjo a razón de 0,9 m³/día. Teniendo en cuenta que este es un prototipo se realizaron pruebas experimentales que permitieron establecer que con solo el 50 % se consigue la preparación de los alimentos diarios de cuatro personas durante 5 horas/día.

En promedio un biogás con un contenido de metano entre el 55 y 65% posee un poder calorífico entre 22.000 a 26.000 kJ/m³ (Hernández, 1996). Durante la combustión el color de la llama es un parámetro cualitativo de la relación combustible/aire. Una llama azul, demuestra una apropiada relación de mezcla. En este caso de estudio, se observó la presencia de una llama azul durante la combustión del biogás (Figura 5), indicando que el ajuste de las boquillas de la estufa fue adecuado.



Figura 5. Uso del biogás.

CONCLUSIONES

El estiércol que se acumula en los corrales de los mataderos puede ser tratado in situ mediante biodigestores tubulares de bajo costo. La DA de este estiércol, a una temperatura de operación entorno a los 26°C, produce 18 litros de biogás por kg de estiércol. Un biodigestor tubular de bajo costo operado a una VCO de 1,05 kgSV/m³d tiene una eficiencia de 0,22 m³/m³d y con una PEB de 0,21 m³/kgSV. Los resultados del presente estudio muestran como al trabajar en condiciones de temperatura mesofílico, se puede aumentar la VCO incidiendo positivamente tanto en la eficiencia del biodigestor como de la digestión anaerobia que se produce dentro, en contraposición a los que sucede en biodigestores psicofílicos similares. En términos de estabilidad el pH se mantuvo en los rangos adecuados descartando inhibición del proceso. El biodigestor piloto alcanzó una degradación de materia orgánica de 55% en términos de DQO y 60% en términos de SV, mostrando la viabilidad de implementar un sistema de biodigestión en la planta de beneficiado que solucione el problema ambiental generado por los residuos sólidos (propagación de microorganismos patógenos, malos olores y generación de GEI).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APARCANA, S. et al. Estudio sobre el Valor Fertilizante de los Productos del Proceso "Fermentación Anaeróbica" para Producción de Biogás. German ProfEC Reporte No.: BM-4-00-1108-1239. Diciembre 2008.

APHA, AWWA & WEF, Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. Washington, D.C. 2005.

CASTRO. L. et al. Low cost digester monitoring under realistic conditions: Rural use of biogas and digestate quality. Bioresource Technology 239 pp 311–317. 2017.

CASTRO et al. Meat nutritional composition and nutritive role in human diet. Meat Science. pp. 586-592. 2013.

DANE. Sacrificio de ganado –ESAG-. [en línea]. 2017. [consultado 15 de abril de 2017] Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuaria/encuesta-de-sacrificio-de-ganado>.

FAO. (26 de noviembre de 2014). Organización de la Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. Obtenido de Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor: http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_sources.htm.

GARFÍ, M. et al. Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 60, pp. 599-614, 2016

GARFÍ, M et al. Co digestion of cow and guinea pig manure in low-cost tubular digesters at high altitude. Ecol Eng. Vol 37 pp. 2066–2670. December 2011.

HERNÁNDEZ A., L. A. Tecnologías para el aprovechamiento del gas producido por la digestión anaeróbica de la materia orgánica. Agronomía Colombiana, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 76-90. 1996.

HERNÁNDEZ B., et al. Efecto del manejo pre-mortem en la calidad de la carne. Nacameh Ciencia y tecnología de la carne, v. 7, n. 2, p. 41-44. 2013.

JOBLING PURSER, B. J et al. An improved titration model reducing over estimation of total volatile fatty acids in anaerobic digestion of energy crop, animal slurry and food waste. Water Environment Research. Vol. 61, pp. 162-170. September 2014.

KINYUA, M. N et al. Review of small-scale tubular anaerobic digester treating livestock waste in the developing world. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 58, pp. 896-910, 2016a.

KINYUA, M. N et al. Use of physical and biological process models to understand the performance of tubular anaerobic digesters. Biochemical Engineering Journal, vol. 107, pp. 35-44, 2016b.

KINYUA, M. N et al. Viability and fate of Cryptosporidium parvum and Giardia lamblia in tubular anaerobic digesters. Science of the Total Environment, vol. 554, pp. 167-177, 2016c.

MARTÍ-HERRERO, Jaime. Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. Proyecto EnDev Bolivia - Acceso a Energía. pp. 15-28. 2008.

MARTÍ-HERRERO, J. et al. Low cost tubular digesters as appropriate technology for widespread application: Results and lessons learned from Bolivia. Renewable Energy, 71, 156-165. 2014a.

MARTÍ-HERRERO, J. et al. Improvement through low cost biofilm carrier in anaerobic tubular digestion in cold climate regions. Biorenewable technology, 167, 87-93. 2014b.

MARTÍ-HERRERO, J. et al. The influence of users' behavior on biogas production from low cost tubular digesters: A technical and socio-cultural field analysis. Energy for Sustainable Development, 27, 73-83. 2015.

MILLER, G. Use of Dinitrosalicylic acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. Analytical Chemistry. Vol. 31 pp. 456-428. March 1959.

MÖLLER, K. et al. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: a review Engineering in Life Sciences. vol. 12, n° 3, pp. 242-257. 2012.

POH, P. et al. Development of anaerobic digestion methods for palm oil. Bioresource Technology. Vol 100 pp. 1-9. January 2009.

RAPOSO, F. et al. Influence of inoculum to substrate ratio on the biochemical methane potential of maize in batch tests. Process biochem, 41(6), pp. 444-1450. 2006.

RIVERA, D., Plata, L., Guzman, C., Castro, L., Escalante, H., 2012. Application of solid by-product generated in fique's bagasse (furcraea macrophylla) anaerobic digestion for soil improvement. Ion 25 (1), 25–34.

SØNDERGAARD. M. et al. Anaerobic co-digestion of agricultural byproducts with manure for enhanced biogas production. Energy & Fuels, vol. 29, n° 12, pp. 8088-8094. 2015.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, "EPA," [en línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/biosolids>.

Avaliação da produção de energia elétrica a partir do biometano gerado pelo tratamento do esgoto sanitário no município de Itajubá, Minas Gerais, Brasil

Zudivan Peterli / Susan J. B. Cañote / Electo E. S. Lora / Francisco R. M. Nascimento

Instituto de Engenharia Mecânica (IEM), Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída (NEST), Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Av. BPS, nº1303, Itajubá, MG, CEP 37500-903, Brasil.

zpetarli@gmail.com ✉

RESUMO

A busca por fontes energeticamente sustentáveis é um dos grandes desafios do século XXI. Diante disto, este trabalho avaliou a produção de eletricidade a partir do biometano gerado num sistema de tratamento de esgoto centralizado, do tipo UASB, que foi previamente dimensionado na hipótese de tratar o esgoto da população residente na cidade de Itajubá. Para isso, foram projetadas as vazões de esgoto, estimada a produção de biometano e a sua conversão em energia elétrica em microturbinas a gás. Na avaliação econômica foi levantado o CAPEX-OPEX da termoelétrica e receita financeira pela venda da eletricidade diretamente na rede de distribuição. Os resultados retrataram uma produção de 624m³.h⁻¹ de esgoto, geração de 153Nm³.h⁻¹ de biogás (60% CH₄), produção de 5,88MWh.day⁻¹ de eletricidade e 245kW de potência elétrica. A avaliação econômica resultou no VPL de R\$-669.476,60 e TIR de 7,40%, demonstrando que o projeto, a partir das estimativas realizadas e do arranjo modelado, não foi viável economicamente, sendo necessário avaliar o uso da energia elétrica dentro da própria estação e um novo arranjo na termoelétrica para incluir a cogeração a partir dos gases de exaustão dos acionadores primários.

ABSTRACT

The search for local sustainable energy sources is one of the great challenges of the 21st century. The main objective of this work was to evaluate the economic viability of the production of electric energy from the biomethane produced in a centralized sewage treatment system. The reactor type UASB is previously scaled in the hypothesis of treating the sewage produced by the resident population of the city Of Itajubá, Minas Gerais, Brazil. The sewage and COD flows were projected at the entrance of the station. Production of biomethane is estimated and converted into electric energy from gas microturbines. For the economic evaluation, the CAPEX and OPEX of the thermoelectric plant were lifted over 20 years of operation, as well as the financial income from the sale of electricity directly to the distribution network. The results obtained showed a mean production of 624 m³.h⁻¹ of sanitary sewage at the entrance of the station, average generation of 153 Nm³.h⁻¹ of biogas with 60% content of biomethane and production of 5.88 MWh.day⁻¹ of electrical energy and 245 kW of electrical power. The economic evaluation resulted in an NPV of R \$ -669,476.60 and IRR of 7.40%, demonstrating that the project, based on the estimates and the modeling arrangement, was not economically viable, and it is necessary to evaluate the use of electric energy inside the station itself and a new arrangement in the thermoelectric plant to include cogeneration from the exhaust gases of the actuators primary.

PALAVRAS-CHAVE:

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO; BIOGÁS; UASB.

KEYWORDS:

RENEWABLE ENERGY; BIOGAS; UASB.

INTRODUÇÃO

A busca por fontes energeticamente sustentáveis vem ganhando a atenção dos grandes centros de pesquisas ao redor do mundo, tanto na procura por energias consideradas limpas, quanto por fontes que apresentem maior viabilidade econômica. Diante deste cenário, o aproveitamento energético do biometano produzido a partir do tratamento, por via anaeróbia, de resíduos sólidos urbanos e águas residuárias vem se tornando uma das possibilidades mais próximas da sociedade, haja vista que a tecnologia demandada se encontra num estado de desenvolvimento maduro e a principal variável para o seu aproveitamento parte da análise da viabilidade econômica do projeto.

Por este motivo, a presente pesquisa avaliou a viabilidade econômica na produção de energia elétrica a partir do biometano gerado numa Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do tipo Upflow anaerobic sludge blanket (UASB) que foi previamente dimensionada para realizar, de forma centralizada, o tratamento do esgoto sanitário gerado no município de Itajubá, Minas Gerais.

A avaliação econômica partiu do levantamento dos custos de CAPEX (Capital Expenditure) e OPEX (operational Expenditure) da termoelétrica projetada, além da receita na venda da eletricidade produzida nos leilões coordenados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) com base num sistema interligado a rede de distribuição.

METODOLOGIA

DEFINIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O município de Itajubá fica localizado na região Sul do estado de Minas Gerais, Brasil. A altitude é de 856 metros em relação ao nível do mar, temperatura média anual de 19,5°C (CLIMA-DATA, 2016) e pressão atmosférica de 0,89 atmosfera padrão (atm). Tal cidade foi escolhida por apresentar, segundo a previsão estatística do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), 96.523 habitantes no ano de 2016, próximo ao valor de 100.000 habitantes que foi definido como a população de projeto para este estudo de caso.

VAZÃO E CARGA ORGÂNICA AFLUENTE AO UASB

A vazão diária recebida pelo sistema UASB foi definida em função do consumo per capita de água da população residente no município de Itajubá, além do coeficiente de retorno e infiltração de águas parasitárias na rede coletora, conforme expresso na equação 1.

$$Q_{in} = \left(\frac{P \cdot C_{pc} \cdot CR}{1000} \right) + (E_r \cdot P \cdot T_i) \quad (01)$$

Sendo:

Q_{in} : Vazão volumétrica afluente ao reator UASB (m³/dia);
 P: População em número de habitantes (hab);
 C_{pc} : Consumo per capita de água (L.hab⁻¹.dia⁻¹);
 C_r : Coeficiente de Retorno (adimensional);
 E_r : Extensão de rede por habitante (km.hab⁻¹);
 T_i : Taxa de contribuição de infiltração (L.s⁻¹.km⁻¹).

Para a definição da carga orgânica afluente a ETE, na forma de Demanda Química de Oxigênio (DQO), foi aplicada a equação 2.

$$CO_{in} = \left(\frac{DQO_{pc} \cdot P}{1000} \right) \quad (02)$$

Sendo:

CO_{in} : Carga orgânica na forma de DQO na entrada do sistema UASB (kg DQO.dia⁻¹);
 DQO_{pc} : DQO per capita (g.hab⁻¹.dia⁻¹);

De acordo com o levantamento realizado no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), com base nos anos de 2013 e 2014, o consumo médio de água potável na cidade de Itajubá foi de 167,36 L.hab⁻¹.dia⁻¹, próximo a média nacional de 171,9 L.hab⁻¹.dia⁻¹ que foi descrita por SNIS (2016). Diante disto, empregou-se o primeiro valor de uso da água.

Para a carga orgânica afluente ao sistema foi empregado o valor médio de produção de matéria orgânica, na forma de DQO, de 100 g.hab⁻¹.dia⁻¹, valor intermediário a faixa de 80 a 120 g.hab⁻¹.dia⁻¹ que foi apresentada por Von Sperling (2005).

O coeficiente de retorno e de infiltração utilizados foram, respectivamente, de 0,8 e 0,05 L.s⁻¹.km⁻¹. Tais valores são recomendados pela Norma Brasileira (NBR) n°9649/86 que trata do Projeto de Redes Coletoras de Esgoto Sanitário (ABNT, 1986). Enquanto para o cálculo da extensão da rede coletora foi empregado um coeficiente médio de extensão de rede por habitante de 0,003681562 km.hab⁻¹ para Itajubá. Tal coeficiente médio foi obtido no SNIS pela relação entre a extensão da rede coletora e a população atendida nos anos de 2013 e 2014.

PRODUÇÃO DE BIOMETANO

Com base na metodologia definida por Chernicharo (1997), a quantidade de biometano gerado no sistema UASB foi estimada pela equação 3.

$$Q_{ch_4} = \left(\frac{COR \cdot \eta_{cap}}{k_{(t)}} \right) \quad (03)$$

Sendo:

Q_{ch_4} : Vazão de biometano produzido ao dia (Nm³/dia);
 COR: Carga orgânica removida (kg DQO.dia⁻¹);
 η_{cap} : Eficiência de captura (centesimal);
 $k_{(t)}$: Coeficiente de correção (kg DQO.m⁻³CH₄).

O coeficiente $k_{(t)}$ é variável em função da temperatura e pressão atmosférica de operação do reator UASB, conforme ilustra a equação 4. Foi considerado que a temperatura e a pressão de trabalho do reator UASB são idênticas ao ar ambiente na cidade de Itajubá.

$$k_{(t)} = \left(\frac{p \cdot K}{R \cdot (273,15 + T)} \right) \quad (04)$$

Sendo:

p: Pressão de trabalho do reator UASB (atm);
 K: Concentração de DQO que corresponde a 1 mol de CH₄ (64g DQO.molCH₄⁻¹);
 R: Constante dos gases (0,08206 atm.L/mol.K);
 T: Temperatura do ar (°C).

A carga de DQO removida pelo sistema foi estimada pela equação 5.

$$COR = CO_{in} \cdot \eta_r \quad (05)$$

Sendo:

η_r : Eficiência na remoção de DQO do sistema UASB (centesimal).

Segundo Chernicharo (2007), a eficiência na remoção de DQO em reatores UASB é na faixa de 60 a 70%, enquanto Von Sperling (2005) afirma que o valor é da ordem de 70%. No presente estudo foi considerada a eficiência média descrita pelo último autor.

Para a eficiência de captura do biometano produzido no reator UASB foi considerado o valor de 75%, conforme abordado por Pierrotti (2007).

Por fim, a estimativa da vazão de biogás gerada foi calculada pela equação 6 que leva em consideração a vazão volumétrica de biometano e o seu teor no biogás. Para isso foi considerado o teor de 60% em volume de biometano no biogás, valor idêntico ao estudo realizado por Santos et al. (2016) e dentro da faixa de 50-75% descrita pela AEBIOM (2009).

$$Q_{biogás} = \frac{100 \cdot Q_{ch_4}}{C_{ch_4}} \quad (06)$$

Sendo:

$Q_{biogás}$: Vazão volumétrica de biogás captada no reator UASB (Nm³/dia);
 C_{ch_4} : Concentração de biometano presente no biogás produzido (porcentagem).

PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A equação 7 foi empregada para estimar a quantidade de energia elétrica que poderia ser produzida a partir da conversão do poder calorífico inferior (PCI) do biometano numa microturbina a gás (MTG) apropriada para a combustão deste tipo de biocombustível. Para isto, foi considerado o PCI de 21,3 MJ.m⁻³ do biogás com 60% de biometano (CETESB,2006) e uma eficiência média de conversão de 27% na MTG (CAPEHART, 2016).

$$E_e = (Q_{biogás} \cdot PCI \cdot \eta_t) \cdot f \quad (07)$$

Sendo:

E_e : Energia elétrica produzida pela microturbina a gás (kWh.dia⁻¹);
 η_t : Eficiência de conversão de energia da microturbina à gás (centesimal);
 PCI: Poder calorífico inferior do biogás com 60% de CH₄ (MJ.Nm⁻³);
 f: Fator de conversão de MJ.dia⁻¹ para kWh.dia⁻¹ (0,2777777777777778 kWh.MJ⁻¹).

A energia produzida pela MTG é função direta da variação de potência pelo tempo de operação, conforme ilustra a equação 8. Entretanto, foi estimado uma potência média, considerada constante ao longo do tempo de operação, a partir da relação entre a energia produzida com o tempo de operação (operação contínua), conforme expressa a equação 8.1.

$$E_e = \int_{t_i}^{t_f} Pot \, dt \quad (08)$$

$$Pot = \frac{E_e}{\Delta t} \quad (08.1)$$

Sendo:

Pot: Potência elétrica produzida na microturbina a gás (kW);
 Δt : Tempo de operação da microturbina à gás durante um dia (h.dia⁻¹).

ESTIMATIVA DOS CUSTOS E RECEITA BRUTA

Para realizar a avaliação da viabilidade econômica da termoelétrica foi considerada a receita obtida pela venda da eletricidade e os custos de CAPEX e OPEX dos compressores, gasômetros e MTG. As tubulações e combustores de biogás (flare) foram considerados como partes integrantes no custo do reator UASB, portanto, não modelados na termoelétrica.

Segundo Silveira et al. (2015), Santos et al. (2016), Sun et al. (2015) e Metcalf, Eddy (2016), os teores de H₂S no biogás proveniente da biodigestão anaeróbia estão na faixa de 1.000-5.000 ppm (partes por milhão). Tais valores são inferiores ao limite tolerável de 70.000 ppm nas MTG projetadas para operar com este tipo de biocombustível de acordo com EPRI (2006), Palacio et al. (2014) e o manual de operação da MTG de modelo C330 da fabricante CAPSTONE (2017), como também inferior ao limite de 10.000 ppm de H₂S relatados por Sun et al. (2015) para MTG operando com biogás.

A elevada tolerância das MTG a H₂S, de acordo com Cárceres et al. (2012), vem ocorrendo por modificações realizadas pelos fabricantes para permitir o uso do biogás como combustível alternativo, aumentando a importância deste acionador primário na área de bioenergia e ampliando o seu mercado de consumo.

Considerando a menor tolerância descrita de H₂S na MTG (10.000 ppm) e o maior valor no biogás (5000 ppm), o uso deste biocombustível sem a remoção de H₂S continua adequado para as MTG. Por este motivo não foi previsto um sistema de tratamento de gases. Ademais, foi considerado que todos os equipamentos da termoelétrica não teriam valor residual de venda ao final da vida útil, compensando, assim, os demais desgastes advindos do biogás sem tratamento.

CAPEX - OPEX

Os custos de CAPEX abrangeram a aquisição, montagem e instalação dos compressores, gasômetro e MTG, conforme representa a equação 9.

$$CAPEX = (Pot \cdot C_{MTG} \cdot n) + (C_C \cdot \frac{Q_{biogás}}{24}) + (C_G \cdot 0,05 \cdot Q_{biogás}) \tag{09}$$

Sendo:
 CAPEX: Custo total do investimento (US\$);
 C_{MTG}: Custo unitário do investimento sobre a microturbina a gás (US\$.kW⁻¹);
 n: Número de MTG instaladas durante o período do projeto (unidade);
 C_C: Custo unitário do compressor de biogás (US\$.m³);
 C_G: Custo unitário do gasômetro de biogás dimensionado para 5% da produção diária (US\$.m³).

O tempo de vida útil da MTG foi fixado em 10 anos e a termoelétrica em 20 anos, conforme metodologia adotada por Santos et al. (2016). Enquanto os custos considerados foram de US\$2.175 por kW de potência das MTG com sistema de regeneração e completa instalação, US\$60 por m³ do gasômetro (considerado 5% da vazão diária de biogás) e US\$565 por m³.h⁻¹ para os compressores (CAPEHART, 2016; SANTOS et al., 2016), não existindo valor residual para a posterior venda da infraestrutura ao final da vida útil.

Para os custos de OPEX, que abrangem a operação e manutenção dos bens instalados e que foram estimados pela

equação 10, foi adotado o valor de 10% ao ano (0,83% ao mês) sobre o CAPEX dos compressores e gasômetro (SANTOS et al., 2016), enquanto nas MTG o valor adotado foi de US\$0,016 por kWh produzido (CAPEHART, 2016). Também foi considerada a operação anual por 335 dias, ficando 30 dias para manutenções/interrupções.

$$OPEX = (335 \cdot E_e \cdot C_{MTG-O\&M}) + 0,1 \cdot \left[\left(C_C \cdot \frac{Q_{biogás}}{24} \right) + \left(C_G \cdot 0,05 \cdot Q_{biogás} \right) \right] \tag{10}$$

Sendo:
 OPEX: Custo total da operação e manutenção do sistema (US\$.ano⁻¹);
 C_{MTG-O&M}: Custo unitário referente a operação e manutenção das MTG (US\$.kWh⁻¹).

RECEITA BRUTA

A receita pela venda da energia elétrica, considerando 335 dias ao ano e desconsiderando o reajuste dos valores de compra e impostos, foi estimada pela equação 11.

$$R = V \cdot E_e \cdot 335 \tag{11}$$

Sendo:
 R: Receita pela venda da energia elétrica para a ANEEL (US\$.ano⁻¹);
 V: Valor unitário da energia elétrica comprada pela ANEEL (US\$.MWh⁻¹);

O valor unitário considerado para a venda da energia elétrica foi de R\$251 por MWh, valor teto do leilão de fontes a partir de biomassa da ANEEL no ano de 2016 (ANEEL, 2016).

AVAliação EconôMica

Para identificar se o investimento foi viável economicamente, o mesmo foi avaliado por meio do Valor Presente Líquido (VPL) apresentado na equação 12 e da Taxa Interna de Retorno (TIR) calculada pela equação 13.

$$VPL = C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \tag{12}$$

Sendo:
 C₀: Fluxo de caixa líquido no instante inicial (R\$);
 t: Período no tempo (anos);
 C_t: Fluxo de caixa líquido no período (R\$);
 r: Taxa de juros ou taxa de desconto que representa o custo de oportunidade do capital (centesimal).

O VPL representa o valor presente dos fluxos de caixa futuros descontados a uma taxa de juros pré-definida, considerando o desconto do investimento inicial. O projeto indica viabilidade econômica se o VPL for positivo (BREALEY, MYERS, ALEN, 2011).

A taxa de juros foi definida como a taxa do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia do Brasil (SELIC), apresentando o valor de 10,15% ao ano para o período de julho de 2017 (BRASIL, 2017).

$$TIR: VPL = 0 = C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+TIR)^t} \tag{13}$$

Sendo:
 TIR: Taxa de juros ou taxa de desconto que representa o custo de oportunidade do capital (Porcentagem).

A TIR é determinada como a taxa de juros que torna nulo o VPL. Portanto, a TIR maior que a taxa de juros (SELIC), associada a um VPL positivo, indica que o projeto é viável economicamente, pois a taxa interna de retorno é maior que a taxa de juros (PUCCINI, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

BALANÇO DE MASSA E ENERGIA

Os principais resultados da modelagem foram expressos na Figura 1. Enquanto a Figura 2 mostra, por meio de um diagrama de Sankey, o balanço de massa e energia da conversão da matéria orgânica em biometano e, por sua vez, em calor residual e eletricidade.

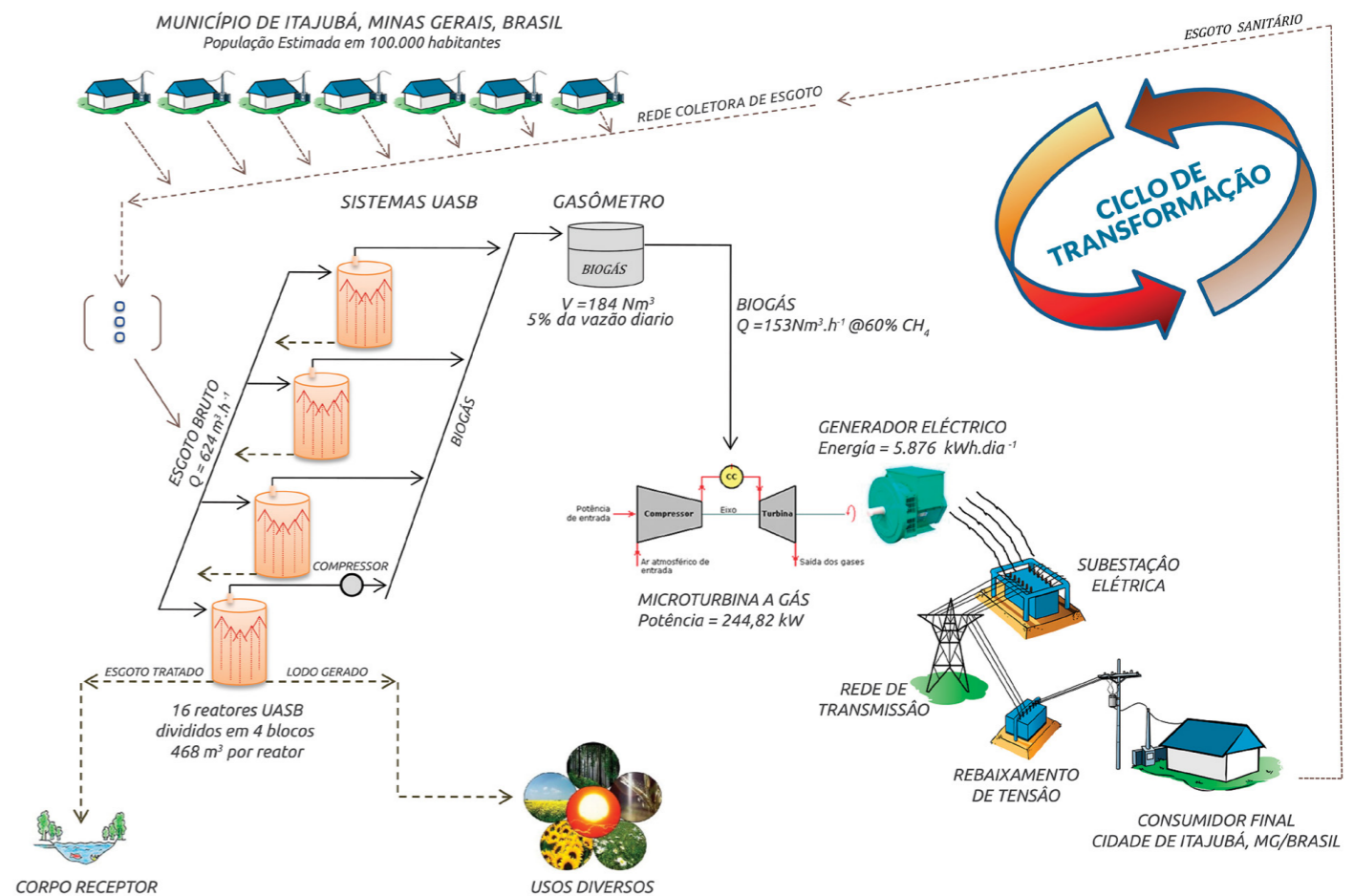


Figura 1. Esquema didático dos resultados diretos e indiretos alcançados na modelagem. Fonte: Produção dos próprios autores.

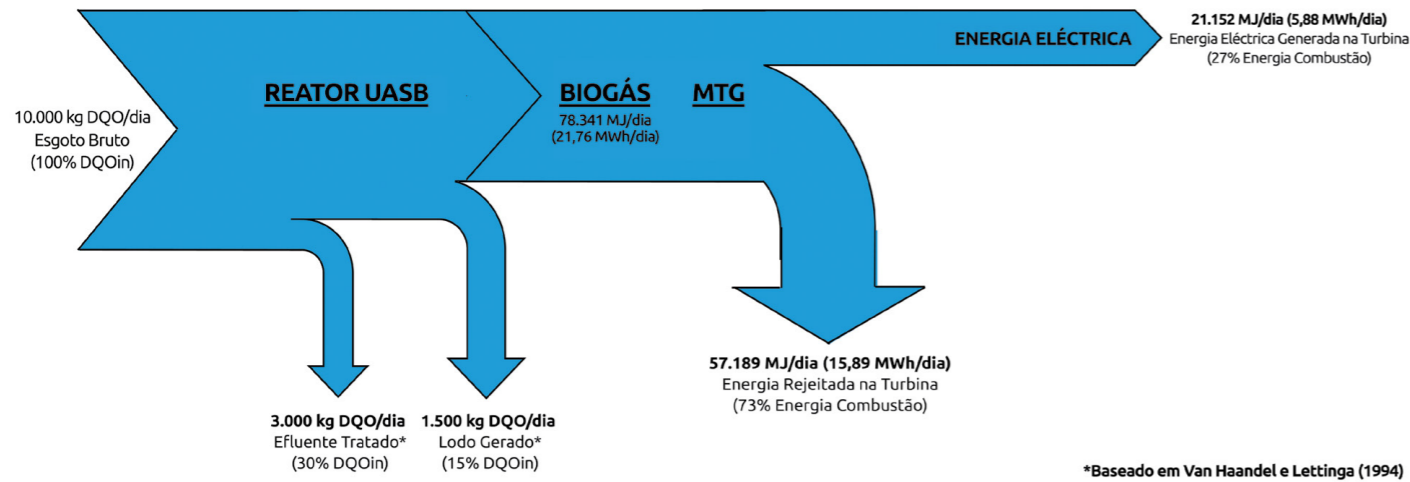


Figura 2. Diagrama de Sankey com as principais partes do processo de transformação da energia.

Fonte: Produção dos próprios autores.

O balanço de massa resultou numa vazão média diária de esgoto de 14.979 m³.dia⁻¹, sendo que a vazão de infiltração contribuiu em 1.590 m³.dia⁻¹, equivalente a 10,62% da vazão afluente a ETE ou 11,88% do esgoto coletado nas residências de Itajubá. Ao final, o esgoto bruto na entrada da estação apresentou a concentração de 668 mgDQO.L⁻¹ e um per capita de 149,79 L.hab⁻¹.dia⁻¹, valores condizentes para cidades de médio porte que são apresentados na literatura de Tchobanoglous et al. (2003), Von Sperling (2005) e Jordão, Pessôa (2005).

A produção de biogás, com base no modelo de Chernicharo (1997), resultou numa vazão de 2.206,79 Nm³.dia⁻¹ de biometano e 3.677,98 Nm³.dia⁻¹ de biogás com 60% de CH₄. Enquanto a energia elétrica produzida na MTG foi de 5,88 MWh.dia⁻¹ (21.152 MJ.dia⁻¹) e o calor residual, rejeitado na turbina, foi de 15,89 MWh.dia⁻¹ (57.189 MJ.dia⁻¹), resultando numa estimativa de potência elétrica média, com base na operação contínua da MTG, de 244,82 kW. Tais valores de produção de energia elétrica a partir de biogás são condizentes com os estudos realizados por Santos et al. (2016), Barros et al. (2014) e Piñas et al. (2016).

AVALIAÇÃO ECONÔMICA

A avaliação econômica foi realizada colocando o CAPEX para o ano zero e

considerando o valor de venda da energia elétrica fixa ao longo dos anos, além de aplicar uma taxa de desconto de 10% sobre o lucro líquido anual. Diante disto, foi obtido um VPL negativo de R\$ 669.476,60 e uma TIR de 7,40%, demonstrando que não há viabilidade econômica para o projeto em virtude do VPL negativo e da TIR ser inferior a taxa de desconto praticada. Tal conclusão também pode ser obtida ao observar o fluxo de caixa descontado e acumulado dos 20 anos de operação da termoeletrica, conforme mostra a figura 3.

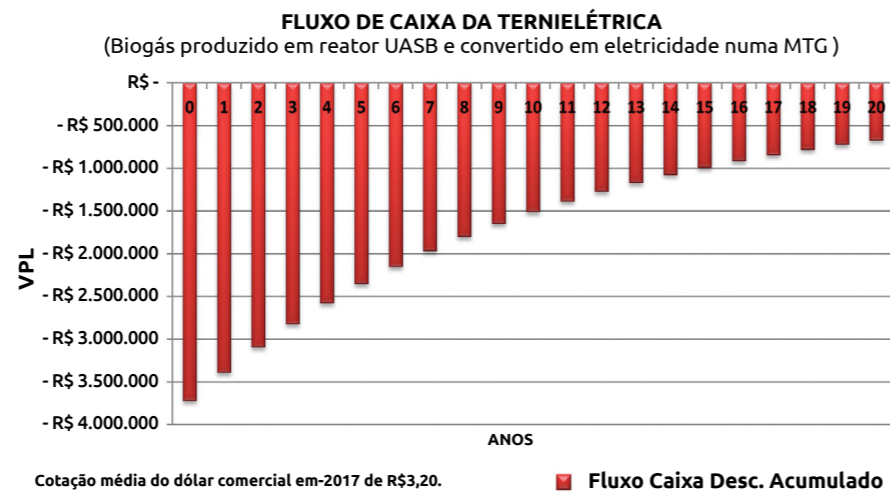


Figura 3. Fluxo de caixa descontado e acumulado ao longo de 20 anos de operação da termoeletrica. Fonte: Produção dos próprios autores.

No estudo conduzido por Santos et al. (2016), envolvendo o potencial de aproveitamento do biogás de ETE para a produção de energia elétrica, foi identificado que a viabilidade só existiria para municípios com a população superior aos 300.000 habitantes e baseado na venda de créditos de carbono como receita complementar e a usina funcionando com motor de combustão interna (maior eficiência na conversão energética).

Enquanto nos estudos de Barros et al. (2014) e Silva et al. (2016) para a produção de energia elétrica em aterros sanitários brasileiros, tipo de empreendimento que apresenta grande semelhança nos métodos de produção de energia elétrica a partir do biogás, também não foi obtido viabilidade econômica para as faixas de popu-

lação próximas a realizada neste trabalho. Os primeiros autores ainda demonstraram que a viabilidade econômica para a produção de eletricidade surge para aterros sanitários que atendem grupos populacionais acima dos 200.000 habitantes e que resultam numa usina termoeletrica com potencia nominal igual ou superior aos 500 kW, valor muito superior aos 245 kW encontrados neste estudo.

CONCLUSÕES

Com base no VPL negativo e a TIR inferior a taxa de desconto praticada, conclui-se que o projeto proposto não foi viável economicamente a partir das estimativas realizadas e do arranjo modelado. Deve-se refinar os valores de entrada para o presente modelo e avaliar novos arranjos para o aproveitamento do biogás, incluindo o uso de motores de combustão interna que podem apresentar maiores eficiências durante a conversão do biogás em energia elétrica, além do aproveitamento da energia térmica residual nos gases de exaustão para a cogeração de eletricidade adicional e calor para o aquecimento dos reatores UASB. Para a avaliação econômica, recomenda-se analisar a produção de energia elétrica com foco no atendimento do consumo da própria ETE, investigando a possibilidade de tornar a estação autossustentável energeticamente e o projeto viável economicamente, haja vista que o valor da energia elétrica vendida pela concessionária para o cliente final (consumidor) é superior ao valor de compra sugerido pela Agência Nacional de Energia Elétrica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UNIFEI pelo espaço concedido para o desenvolvimento deste trabalho, além e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário, 1986, 7p.
 AEBIOM – European Biomass Association. Anaerobic Digestion in Ireland 22ND, 2009. Disponível em: <http://www.seai.ie/Renewables/AD_In_Ireland_22nd_October/A_Biogás_Roadmap_for_Europe.pdf> Acessado em: 15 de outubro de 2016.
 ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL promove primeiro leilão A-5 de 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/id/14921922>. Acessado em: 16 de março de 2017.
 BARROS, R. M.; FILHO, G. L. T.; DA SILVA, T. R. 2014. The electric energy potential of landfill biogás in Brazil. Energy Policy, 65, 150-164. dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.028
 BRASIL – Banco Central do Brasil. 2017. Histórico das taxas de juros. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/Pec/Copom/Port/taxaSelic.asp. Acessado em 31 de agosto de 2017.

BREALEY, R. A.; MYERS, S. C.; ALLEN, F. 2011. Principles of Corporate Finance. McGraw Hill/Irwin; 10th edition. 875 p.
 CAPEHART, B.L. 2016. Microturbines. College of Engineering, University of Florida. Disponível em: <http://www.wbdg.org/resources/microturbines.php>. Acessado em: 25 de março de 2017.
 CAPSTONE, Microturbine. 2017. Model 330: System Operation. California. 59 p.
 CETESB, 2006. Biogás: Generation and energy use (Biogás: Geração e uso Energético e Efluentes). Environmental Sanitation Technology Company (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). CETESB. http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancasclimaticas/biogas/Softwares/16Softwares. Acessado em 16 de setembro de 2016.
 CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 5), 380 p. 2007.
 CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997. 246p. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; 5 eds.
 CLIMA-DATA. Itajubá. Disponível em: <http://archive.is/3c5kj>. Acessado em 15 de setembro de 2016.
 EPRI – Electric Power Research Institute. 2006. Assessment of Fuel Gas Cleanup Systems for Waste Gas Fueled Power Generation. California, USA. 108 p. Disponível em: https://www.epri.com/#/pages/product/000000000001012763/. Acessado em 31 de agosto de 2017.
 IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=313240&search=minas-gerais[itajuba]>. Acessado em: 15 de setembro de 2016.
 JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora SEGRAC, 2005. 932 p.
 METCALF, L.; EDDY, H. P. 2016. Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos. 5ª ed. New York: Mcgraw-Hill. 2008 p.
 PALACIO, J. C. E. et al. Processos biológicos de conversión. In: MARTÍNEZ, J. M. R.; LORA, E. E. S. (Editores). Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad. Bogotá. Red Iberoamericana de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos em Producción de Energía. 2014. p. 123-164.
 PIEROTTI, S.M. (2007). Avaliação de partida de reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), em escala real, sob condições hidráulicas desfavoráveis. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.
 PIÑAS, J. A. V. et al. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos Land-GEM (EPA) e Biogás (Cetesb). R. bras. Est. Pop., Rio de Janeiro, v.33, n.1, p.175-188, jan./abr. 2016.
 PUCCINI, E. C. 2011. Matemática financeira e análise de investimentos. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC; [Brasília]: CAPES: UAB. 204p.
 SANTOS, I.F.S., BARROS, R.M., TIAGO FILHO, G.L. 2016. Electricity generation from biogás of anaerobic wastewater treatment plants in Brazil: an assessment of feasibility and potential. Journal of Cleaner Production, 126, 504-514. dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.072
 SILVA, L. O.; LOPES, M. M.; VELA, G. A. L.; MEDEIROS, L. O. C.; SOARES JUNIOR, P. A. 2016. Análise de viabilidade do aproveitamento energético do gás de aterro para a cidade de Cruzeiro [SP]: três diferentes cenários. Labor&Engenho, volume 10, número 1, 07-16. doi: http://periodicos.bc.unicamp.br/ojs/index.php/labore
 SILVEIRA, B. et al., 2015. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto. Brasília, DF. Ministério das Cidades. 183 p.
 SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Ministério das Cidades. Série Histórica. Disponível em: <http://app.cidades.gov.br/serie-historica/#>. Acessado em 15 de setembro de 2016.
 SUN, Q. et al. 2015. Selection of appropriate biogás upgrading technology-a review of biogás cleaning, upgrading and utilisation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, volume 51, 521-532. doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.029
 TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F. e STENSEL D. Wastewater engineering: Treatment and Reuse. 4ª ed. Metcalf & Eddy Inc. New York: Mcgraw-Hill, 2003. 1819 p.
 VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. (1994). Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente. Epgraf. Campina Grande.
 VON SPERLING, M. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

Producción de biogás a partir de la codigestión de estiércol bovino, melaza e inóculo bacteriano

ARTÍCULO

Edwin Alfonso Zelaya-Benavidez / José Noel Toledo-Amador /
Yader Miguel Palacios Montenegro / Flavia María Andino Rugama / William Arturo Ortiz González

Universidad Católica del Trópico Seco, Estelí, Nicaragua

alfonsoz_11@yahoo.es ✉

RESUMEN

El ensayo se realizó a fin de evaluar la producción de biogás a partir de mezclas de estiércol bovino-melaza e inoculación bacteriana. Se estableció un Diseño Cuadrado Latino con cinco tratamientos: estiércol bovino (EB) como testigo, EB más melaza en proporciones de 3, 6 y 9% y EB más un inóculo bacteriano en proporción de 10%. El tiempo de inicio de producción de biogás fue menor con las mezclas que contenían melaza y el inóculo bacteriano; en comparación con el testigo, el cual presentó mayor periodo de producción de biogás. El volumen de biogás por día fue mayor con la mezcla que contenía 6% de melaza, pero sucedió al contrario para calidad calórica del biogás en comparación con las otras mezclas. La adición de inóculo bacteriano anticipa el inicio de producción y disminuye el período de producción de biogás, y mantiene la calidad calórica, mejorando la eficiencia del biodigestor.

ABSTRACT

The test was carried out to evaluate the biogas production from mixtures of bovine manure-molasses and bacterial inoculation. A Latin Square Design was established with five treatments: bovine manure (EB) as a control, EB plus molasses in proportions of 3, 6 and 9% and EB plus a bacterial inoculum in a proportion of 10%. The start time of biogas production was lower with mixtures containing molasses and bacterial inoculum; in comparison to the control, which had the longest biogas production period. The volume of biogas per day was higher with the mixture containing 6% molasses, but it happened instead for biogas calorific quality compared to other mixtures. The addition of bacterial inoculum anticipates the start of production and decreases the biogas production period, and maintains the caloric quality, improving the efficiency of the biodigester.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia el hombre ha buscado su desarrollo mediante la explotación de los recursos naturales renovables y no renovables, usándolos como fuente de energía. Algunos recursos como el petróleo le han permitido alcanzar un punto máximo en su crecimiento; no obstante, no son accesibles para toda la población y además, le han heredado a

cambio, un alto nivel de contaminación al medio ambiente. Además del petróleo, el hombre también ha utilizado la leña obtenida de la tala de árboles y como consecuencia ha aumentado la desertificación de la tierra.

Al respecto, más de 3 mil millones de personas en el mundo usan combustibles sólidos como la leña. En países de Asia, África y América Latina más del 50% de la población utilizan

este tipo de combustible, principalmente en zonas rurales y pobres donde es utilizada para cocción de alimentos, calefacción de viviendas e industrias. El uso de leña tiene efectos negativos para la salud de las familias, especialmente en mujeres, niños y ancianos; además, la sobreexplotación de la vegetación leñosa conlleva a la deforestación, desertificación y erosión de la tierra, así como la desestabilización del ambiente, lo cual representa no sólo un problema de subsistencia, sino de desarrollo para estos países (FAO 2017, OMS 2006). Ante esta situación, se han desarrollado tecnologías para la producción de energía alternativa como el biodigestor, productor de biogás, el cual se utiliza como combustible para cocinar. El biogás se obtiene a partir de la descomposición anaeróbica de materia orgánica, especialmente de desechos animales como el estiércol.

Sin embargo, la adopción de dicha tecnología presenta ciertos inconvenientes, por ejemplo, la poca eficiencia para suplir la demanda energética familiar, lo que conlleva a los usuarios a abandonar su uso y retomar las prácticas de consumo de leña. De tal manera que, el éxito de la aplicación de la tecnología anaeróbica al tratamiento de residuos sólidos depende del desarrollo y aplicación de biorreactores anaeróbicos más eficientes que permitan una velocidad de reacción significativa alta (Vereda et al 2006).

Esto implica la necesidad de aumentar la capacidad de los biodigestores en la producción de biogás en menor tiempo, lo que permita que más personas los adopten contribuyendo a disminuir el consumo de leña, el aprovechamiento de residuos y por consiguiente a la conservación de recursos forestales. De modo que el objetivo de la mayoría de los diseños avanzados es incrementar la retención de sólidos y de microorganismos en el reactor, al tiempo que se reduce el tamaño de éste y las necesidades energéticas del proceso. Por lo cual, el mejor modo de poder valorar el comportamiento biológico de los diferentes reactores es el empleo simultáneo de tres indicadores que están relacionados entre sí: la velocidad de adición de sustrato, la velocidad de formación del producto y el tiempo de retención (Vereda et al 2006).

Con base en lo anterior, se planteó la presente investigación con el objetivo de evaluar mezclas de estiércol bovino con melaza y un inóculo bacteriano para la producción de biogás, en busca de aumentar la eficiencia del biodigestor. La información generada da pautas de la manera en que se puede mejorar la eficiencia del biodigestor con un recurso de fácil acceso, haciendo posible reducir el tiempo de biodigestión.

METODOLOGÍA

El experimento se llevó a cabo en la Universidad Católica del Trópico Seco (UCATSE), situada en el kilómetro 166 ½ carretera norte del departamento de Estelí, Nicaragua; entre las coordenadas de 13° 14'

50" latitud norte y 36° 22' 29" longitud oeste y una altura de 810 metros sobre el nivel del mar. En esta zona existe una precipitación pluvial promedio de 900 mm al año y temperaturas promedio de 25°C. Se tomaron datos para las variables relacionadas con parámetros productivos y de eficiencia como son: tiempo de inicio de producción, periodo de producción, volumen y calidad calórica del biogás. Esta última variable se refiere al aumento de temperatura de un litro de agua con temperatura inicial de 25°C, calentada con las llamas producidas por el biogás durante 5 minutos, considerándose de mejor calidad al biogás que provocó mayor aumento de temperatura en el agua. Se estableció un Diseño Cuadrado Latino (DCL) de 5x5. Se utilizaron los siguientes tratamientos: testigo, 3% melaza, 6% melaza, 9% melaza e inóculo bacteriano en proporción de 10% respecto al volumen de la carga del biodigestor. Cada tratamiento se estableció en un biodigestor de flujo discontinuo tipo "batch" (Figura 1).



Figura 1. Biodigestores de flujo discontinuo tipo "batch" usados en el experimento. Se puede apreciar la bolsa-reservorio para medir la producción de biogás. Fuente: elaboración propia a partir de archivo personal.

Se midió el pH de las mezclas de estiércol bovino antes y después del proceso de fermentación con el objetivo de monitorear los cambios sufridos en el medio por la descomposición de azúcares (Figura 2).

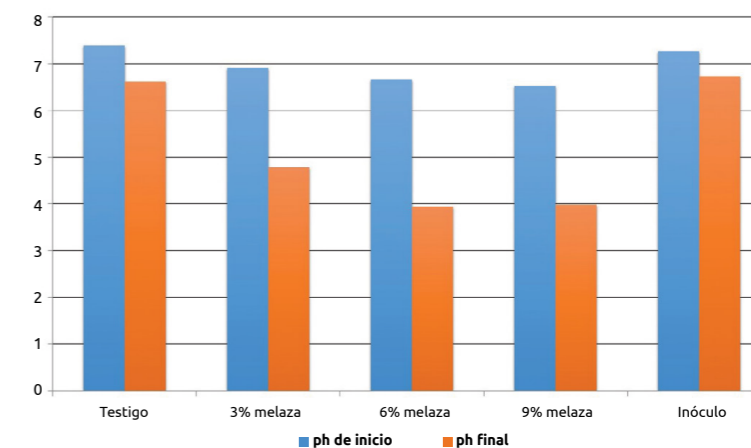


Figura 2. Comportamiento del pH de las mezclas en estudio al inicio y al final del ensayo. Fuente: elaboración propia.

Para la recolección de datos se utilizó como técnica la observación y como instrumento la hoja de campo. El ensayo tuvo una duración total de 150 días. Se diseñó una base de datos en el Paquete Estadístico de las Ciencias Sociales (SPSS por sus siglas en inglés) versión 12. Se realizó el análisis de varianza y la prueba de separación de medias según Duncan para aquellas variables en las cuales se encontraron diferencias entre tratamientos. Se realizó correlación de Pearson de las variables de eficiencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Eficiencia del biodigestor con las mezclas estudiadas

El tiempo de inicio de producción de biogás fue menor en los biodigestores cargados con las mezclas que contenían melaza e inóculo en comparación a aquellos cargados con el testigo (Tabla 1), presentando diferencia entre los tratamientos y distribuyéndose en dos grupos estadísticos ($p < 0.05$). Esto se explica porque al encontrarse las bacterias en un medio rico en azúcares solubles, aceleran su proceso metabólico y reproducción, teniendo lugar la activación del proceso de producción de biogás. Para el caso del inóculo una mayor población bacteriana entró en contacto con la materia orgánica de la mezcla.

Tabla 1. Tiempo de inicio de producción de biogás producido por diferentes mezclas de estiércol bovino con melaza y un inóculo.

Tiempo de inicio de producción de biogás (días)	Testigo	3 % melaza	6 % melaza	9 % melaza	Inóculo
Media	13.40 b	2.40 a	2.20 a	2.20 a	3.20 a

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Fuente: elaboración propia.

El inicio de producción de biogás del testigo es similar a lo que afirman Vallecillo (2004) y Chará y Pedraza (2002) que 10 días después de cargar un biodigestor con estiércol bovino y agua, éste empieza a producir biogás, en un clima cálido, condiciones similares a las del presente estudio.

Por su parte, Lucas Júnior (1994), citado por Teixeira (2004) reportó que el uso de inóculo en biodigestores cargados con residuos del destace de pollos redujo el tiempo de inicio de producción de biogás, lo que concuerda con los resultados del presente estudio utilizando material procedente de biodigestores cargados con estiércol bovino. Por otro lado, Castillo et al (1995), citado por Teixeira (2004) observaron mejor desempeño en biodigestores en los que se utilizó desechos bovinos y porcinos como inóculo.

Garcés et al (2004) afirman que el uso de sustratos como la melaza acelera el proceso de fermentación anaeróbica en el ensilaje de forrajes, el cual es el mismo proceso por medio del cual se obtiene biogás. Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que se redujo el tiempo de inicio

de producción de biogás en aquellos biodigestores en los que se agregó melaza.

En cuanto al periodo de producción de biogás, se encontró que fue mayor para el testigo; en comparación con los demás tratamientos (Tabla 2), presentando diferencia entre los mismos ($p < 0.05$) y concentrándose en tres grupos estadísticos. Esto indica que se produjo el mismo volumen de biogás en menor tiempo con las mezclas en las que se usó melaza e inóculo con relación al testigo y que se produce el mismo efecto utilizando melaza o inóculo.

Tabla 2. Periodo de producción de biogás producido por diferentes mezclas de estiércol bovino-melaza y un inóculo.

Periodo de producción de biogás (días)	Testigo	3 % melaza	6 % melaza	9 % melaza	Inóculo
Media	33.8 c	21.0 b	4.2 a	9.8 ab	13.8 ab

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Fuente: elaboración propia.

Tal como lo afirman Migueli (1989); Lucas Junior (1994), citado por Teixeira (2004) y Garcés et al (2004), que el uso de inóculo en biodigestores aumenta y anticipa la producción de biogás, reduciendo el tiempo de biodigestión del sustrato, debido a que existe mayor población bacteriana, la cual entra en contacto con el sustrato desde el inicio, lo que explica el comportamiento del tratamiento con inóculo en el presente estudio. Esto implica que se puede tratar mayor cantidad de residuos en menor tiempo.

Por otro lado, el uso de melaza provee azúcares que son utilizados como fuente de energía por las bacterias anaeróbicas acelerando de esta manera su metabolismo y reproducción (Garcés et al 2004), explicando de esta manera los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que se redujo el tiempo

necesario para producir determinado volumen de biogás en aquellos biodigestores en los que se agregó melaza.

Para el caso del volumen de biogás, la producción por día fue mayor en los biodigestores cargados con la mezcla que contenía 6 % de melaza en comparación con aquellos cargados con las otras mezclas, presentando diferencia entre los tratamientos ($p < 0.05$), distribuyéndose en tres grupos estadísticos, perteneciendo al mismo grupo el testigo y el inóculo (Tabla 3), los cuales produjeron menor volumen de biogás. Dicha diferencia se debió a la aceleración del proceso de biodigestión y a la mayor disponibilidad de azúcares solubles, lo que se evidencia en los resultados mostrados en las tablas 1 y 2 correspondientes al tiempo de inicio de producción y periodo de producción, respectivamente.

Tabla 3. Volumen de biogás producido por diferentes mezclas de estiércol bovino-melaza y un inóculo.

Volumen de biogás por día	Testigo	3 % melaza	6 % melaza	9 % melaza	Inóculo
Media	461.3 a	1608.8 ab	3644.7 c	2972.8 b	1145.4 a

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Fuente: elaboración propia.

La mezcla que contenía 6 % de melaza produjo mayor volumen de biogás debido a la alta disponibilidad de azúcares solubles, lo que aceleró el desarrollo de la actividad bacteriana y por consiguiente provoca una biodegradación del sustrato en menor tiempo. (Garcés et al 2004).

En el caso de la mezcla con el 9 % de melaza la producción de biogás fue similar a la mezcla con el 3 %, aun teniendo mayor cantidad de azúcares que la mezcla con el 6 % de melaza. Es probable que se debiera la baja actividad de agua, lo que disminuyó la población bacteriana según lo explican Urabe et al (1994), citado por Gutiérrez (1995), quienes evidenciaron el

efecto de la melaza en la supresión del crecimiento de bacterias anaerobias y levaduras en la flora bacteriana de rumiantes con alta inclusión de melaza en la ración.

Finalmente, la calidad calórica del biogás fue superior en los biodigestores cargados con la mezcla de inóculo y con el testigo, encontrándose diferencia entre los tratamientos y distribuyéndose en dos grupos estadísticos ($p < 0.05$). Estos resultados indican que la adición de melaza a las mezclas de estiércol bovino afecta negativamente la calidad del biogás y por tanto, sus propiedades como combustible y que la adición de inóculo beneficia las propiedades inflamables del biogás (Tabla 4).

Tabla 4. Calidad calórica del biogás producido por diferentes mezclas de estiércol bovino con melaza y un inóculo.

Calidad Calórica (°C)	Testigo	3 % melaza	6 % melaza	9 % melaza	Inóculo
Media	2,65 b	0,24 a	0,52 a	0,28 a	3,54 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Fuente: elaboración propia.

Esto se debió a que la fermentación de la melaza en las mezclas que contenían este sustrato, produjo mayores cantidades de ácidos grasos volátiles (Gutiérrez 1995), lo que disminuyó los niveles de pH del medio (Figura 2), afectando así el desarrollo de los microorganismos metanogénicos (Pelczar y Reid 1979), dando como resultado menor producción de me-

tano y por consiguiente menor combustibilidad del biogás. Esto concuerda con lo que afirman Lana et al (1998), citado por Vélez et al (2002) que la producción de metano disminuye cuando se fermentan azúcares fácilmente degradables por las bacterias debido a una disminución del pH. Por su parte, Martí (2002) afirma que la disminución del pH a niveles in-

feriores a 6 en el biodigestor como en el caso de las mezclas con melaza, puede inhibir la metanización, lo cual disminuye las cualidades energéticas del biogás, lo que explica los resultados obtenidos en el presente estudio.

Relaciones entre las variables estudiadas

Existe correlación negativa (r= -0.79) entre el volumen de biogás y el periodo de producción, lo que significa que a medida que aumenta la cantidad de biogás producido por día el

tiempo necesario para producir un determinado volumen del mismo disminuye. De igual manera, el inicio de producción de biogás se correlaciona con las variables estudiadas, negativamente con el volumen de biogás (r= -0.46), es decir, que a medida que tarda más tiempo en iniciar la producción de biogás la cantidad producida por día del mismo disminuye, debido a que el proceso es más lento; y positivamente con calidad calórica (r= 0.43) y periodo de producción (r= 0.49), lo que implica que con un proceso más lento la calidad calórica del biogás se mantiene (Tabla 5).

Tabla 5. Correlaciones entre las variables estudiadas.

	Volumen de biogás	Calidad calórica	Inicio de producción	Periodo de producción
Volumen de biogás	1	-0,31	-0,46 (*)	-0,79 (**)
Calidad calórica	-0,31	1	0,43 (*)	0,03
Inicio de producción	-0,46 (*)	0,43 (*)	1	0,46 (*)
Periodo de producción	-0,79 (**)	0,03	0,46 (*)	1

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral). ** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). Fuente: elaboración propia.

Tal como lo afirma Martí (2002), esto se debe a que los microorganismos metanogénicos (Archaeas) disponen de más tiempo para transformar el acetato e hidrógeno en metano, el cual le da el valor calorífico al biogás.

No obstante, la calidad calórica se correlaciona positivamente con el tiempo necesario para producir determinado volumen de biogás. Esto está relacionado con el tipo de sustrato que se ha empleado en la mezcla, ya que, como se ha mencionado anteriormente, los azúcares aumentan el metabolismo y reproducción de las bacterias (Garcés et al 2004), lo que anticipa el inicio de producción de biogás y a la vez disminuye el periodo de producción de un determinado volumen del mismo, especialmente de metano que le confiere las propiedades inflamables.

En cuanto a la relación entre volumen y periodo de producción, de la Figura 3 se observa que, la mayor parte de la producción de biogás ocurrió en los primeros 9 días a partir de los cuales disminuyó. A medida que el periodo de producción de determinada cantidad de biogás se alarga, el volumen producido por día disminuye. Esto se debió a que al acelerar el proceso de biodigestión y aumentar la población microbiana con las mezclas de melaza y el inóculo, las bacterias degradaron la fuente de alimento en los primeros días cuando se evidenció la mayor producción de biogás, sin embargo, al agotarse el alimento en los días siguientes, disminuyó la actividad microbiana reduciendo así la producción de biogás.

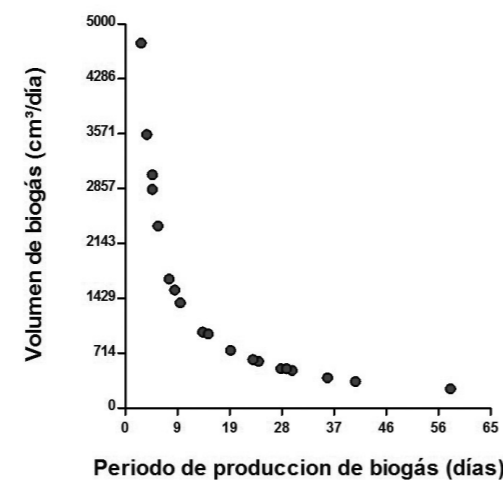


Figura 3. Relación entre el volumen de biogás y el periodo de producción. Fuente: elaboración propia.

Lo anterior coincide con Lehninger (1989), quien describe el crecimiento de las bacterias de manera exponencial; es decir, que la población bacteriana se duplica cada cierto tiempo hasta alcanzar un punto máximo a partir del cual empieza a decaer, esto está en dependencia de la disponibilidad de alimento en el medio. El mismo autor explica que una vez que las bacterias han consumido la fuente de nutrientes, su actividad cesa y decae, ya que, empiezan a morir por inanición. Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio.

CONCLUSIONES

Los tratamientos estudiados, melaza 6% presentó los mejores valores con relación a la producción de biogás, siendo superada por el testigo y el inóculo en cuanto a calidad calórica, por lo cual se puede afirmar que no mejora la eficiencia del biodigestor.

El inóculo adicionado al sustrato anticipa el inicio de producción de biogás, disminuye el periodo de producción de un determinado volumen de gas y mantiene la calidad calórica en comparación con el testigo, mejorando la eficiencia del biodigestor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHARÁ, J.D. Y PEDRAZA, G.X. Instalación de biodigestores plásticos de flujo continuo. In Biodigestores plásticos de flujo continuo: Investigación y transferencia en países tropicales Chará, J. 1ra edición. Cali, Colombia. p. 79-112. 2002.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). Situación general en materia de leña en los países en desarrollo. En: Disponibilidad de la leña en países en desarrollo. En línea. Depósito de documentos de la FAO. Consultado el: 11/05/2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x5329s/x5329s04.htm>. 2017.

GARCÉS MOLINA, A.M. et al. Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. (En Línea). Consultado el: 03/09/2017. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/695/69511010.pdf>. Revista Lasallista de Investigación. Vol. 1. Número 001. CUL. Antioquia, Colombia. pp 66-71. 2004.

GUTIÉRREZ, E. Efecto de los ácidos grasos volátiles, del proceso resumen abomasal (in vitro) y de la melaza; sobre viabilidad de la Salmonella typhimurium. Tecoman, Col. Universidad de COLIMA, Facultad de Ciencias Biológicas Agropecuarias. (En Línea). Consultado el: 03 /09/2017. Disponible en: http://digeset.uco.mx/tesis_posgrado/Pdf/Ernestina%20Gutierrez%20Vazquez.pdf. 1995.

LEHNINGER, A. Bioquímica. Editorial Omega. Barcelona, España 13ª reimpresión. 1095p. 1989.

MARTÍ, N. Phosphorus precipitation in Anaerobic Digestion Process. Boca Raton, Florida. USA. 25 p. (En Línea). Consultado el: 03/09/2017. Disponible en: <http://www.bookpump.com/dps/pdf-b/1123329b.pdf>. 2002.

OMS (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD). Fuel for life: household energy and health. En línea. Consultado el: 11/05/2017. Disponible en: <http://www.who.int/indoorair/publications/fuelforlife.pdf?ua=1>. 2006.

PELCZAR, M.J. Y REID, R.D. Microbiología. 1ª ed. 1973. 1ª reimp. 1979. EPE. La Habana, Cuba. 664 p. 1979.

TEIXEIRA SANTOS, J. H. Avaliação de um sistema de aquecimento do substrato na biodigestão anaeróbica de dejetos de suínos. (En Línea). Consultado el: 03/09/2017. Disponible en: <http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9704/texto%20completo.pdf?sequence=1>. Universidade Federal de Viçosa. Brasil. 57 p. 2004.

VALLECILLO SEVILLA, R.E. El biodigestor: una fábrica casera de gas. Guía técnica. 1ª ed. Enlace. Managua, N. 36 p. 2004.

VEREDA, A. et al. Producción de biogás a partir de residuos vegetales (I) Características, etapas y limitaciones. Dpto. de Ingeniería Química Universidad de Málaga, España. Consultado el: 03/09/2017. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/236590804_Produccion_de_biogas_a_partir_de_residuos_vegetales_I_Caracteristicas_etapas_y_limitaciones. 2006.

Avaliação econômica da geração de energia elétrica a partir do biometano produzido em aterro sanitário no município de Formiga, Minas Gerais, Brasil

ARTÍCULO

Zudivan Peterli / Lays Camila de Sousa / Priscila Carvalho Pupin / André Luiz de Souza / Ana Clara Paz

Instituto de Engenharia Mecânica (IEM), Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída (NEST), Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Av. BPS, n°1303, Itajubá, MG, CEP 37500-903, Brasil.

zpeterli@gmail.com ✉

RESUMO

A produção de energia elétrica leva a impactos ambientais significativos, tornando imperativa a busca por fontes energéticas sustentáveis. Diante do exposto, o presente trabalho avaliou a viabilidade econômica da produção de eletricidade a partir do biometano gerado em aterro sanitário, previamente dimensionado, no município de Formiga, Brasil. Para isso, foi empregado o modelo de produção de biogás em aterro sanitário denominado LandGEM (Landfill Gas Emissions Model). Os resultados mostraram uma quantidade de resíduos sólidos urbanos, ao longo dos 20 anos da vida útil do aterro, de 397.833 toneladas, além da produção acumulada de biometano de 30.512.147Nm³ durante os 25 anos de operação da termoeletrônica. O biometano apresentou um potencial energético de 302.070MWh, sendo produzido 48.848MWh de eletricidade, equivalente a 16,17% do potencial disponível. A avaliação econômica resultou no VPL de R\$ 670.884,51 e TIR de 7,80%, demonstrando que o projeto, com base nas estimativas realizadas e no modelo proposto, não foi viável economicamente, devendo ser avaliado numa próxima pesquisa a parceria entre municípios vizinhos para a implantação de um aterro sanitário de maior porte, venda de créditos de carbono e um novo arranjo da termoeletrônica, incluindo a cogeração a partir dos gases de exaustão e o uso de equipamentos com maior eficiência de conversão.

ABSTRACT

The Brazilian demand for energy grows every day due to the intense dynamization of its economy, which in turn, leads to significant environmental impacts, so the search for energy sources that are sustainable is becoming essential to solve this issue. In view of the exposed scenario, the objective of this work is to evaluate the economic viability of the production of electric energy from the biomethane produced in a sanitary landfill, previously scaled, in the municipality of Formiga, Minas Gerais. For this purpose, the landfill biogas production model named LandGEM was used. The results obtained show a cumulative production of urban solid waste in the 20 years of landfill life of 397,833 tons and accumulated biomethane of 30,512,147m³ during the 25 years of operation, with an energy potential of 302,070 MWh, within which 48,848 MWh, equivalent to 16.17% of the available potential. The economic evaluation resulted in a NPV of R\$ 670.884,51 and IRR of 7.80%, demonstrating that the project, based on the estimates made and the proposed model, was not economically feasible and should be evaluated in a forthcoming research the partnership between neighboring municipalities for the implantation of a larger landfill, sale of carbon credits and a new arrangement of the thermoelectric plant, including cogeneration from the exhaust gases and the use of equipment with higher conversion efficiency.

PALAVRAS-CHAVE:

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO;
ATERRO SANITÁRIO;
BIOMETANO;
RESÍDUOS SÓLIDOS.

KEYWORDS:

ENERGY UTILIZATION;
LANDFILL;
BIOMETHANE;
SOLID WASTE.

INTRODUÇÃO

A progressão da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) tem ocasionado preocupação crescente em relação a sua destinação e possíveis impactos ambientais. A necessidade de uma gestão adequada das áreas de disposição de resíduos é irrefutável no atual século XXI, tornando imperativas as práticas que visem mitigar os impactos nocivos sobre o meio ambiente e a saúde pública nas cidades.

Atualmente, os aterros sanitários constituem na principal alternativa para a disposição final dos RSU, sendo que os mesmos, posterior acondicionamento nas células sanitárias, passam pelo processo de biodigestão anaeróbia pela ação de microorganismos, haja vista que existe uma parcela significativa de matéria orgânica biodegradável (BIDONE, POVINELLI, 1999). Esse processo converte a matéria orgânica em biogás, sendo que o mesmo contém grande parcela de biometano (FARIA, 2010).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define pela Norma Brasileira nº 8.419/1992 (NBR, 1992) o gás bioquímico, gás de aterro ou biogás como uma "mistura de gases produzidos pela ação biológica na matéria orgânica em condições anaeróbias, composta principalmente de dióxido de carbono e metano em composições variáveis".

O aproveitamento energético do biometano se apresenta como proposta para minimizar as emissões dos gases de efeito estufa (GEE), além de contribuir com a matriz energética brasileira. Diante disso, o objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade econômica da implantação de uma usina termoeletrônica para o exclusivo aproveitamento do biometano produzido no aterro sanitário, previamente dimensionado, na cidade de Formiga, Minas Gerais.

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

O estudo teve como base o município de Formiga, localizado no centro oeste do estado de Minas Gerais, dentro da bacia hidrográfica do Rio Grande e em parte na bacia do Rio São Francisco, apresentando a área territorial de 1.501 km² e população aproximada de 65.128 habitantes (IBGE, 2010).

PROJEÇÃO POPULACIONAL NO MUNICÍPIO DE FORMIGA

Os dados populacionais de Formiga foram coletados no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e, a partir dos mesmos, foram realizadas as projeções populacionais para um período de 20 anos.

As projeções populacionais foram modeladas pelo método do crescimento logístico, metodologia semelhante a empregada pelos autores Piñas et al. (2016).

A projeção foi realizada tendo como base o livro "Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade" (BARROS, 2013), onde apresenta as equações expressadas por Qasim, 1985 apud Von Sperling, 2005 (Equações 1, 2, 3 e 4).

$$K_s = \frac{2P_0 P_1^2 - P_1 (P_0 + P_2)}{(P_0 P_2 - P_1^2)} \quad (01)$$

$$a_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \left[\frac{P_0 (K_s - P_1)}{P_1 (K_s - P_0)} \right] \quad (02)$$

$$c = \frac{(K_s - P_0)}{P_0} \quad (03)$$

$$P_t = \frac{K_s}{1 + c - e^{a_1(t-t_0)}} \quad (04)$$

Sendo:

K_s : Corresponde à capacidade de saturação da população (habitantes);
 P_0 : Corresponde a população no ano de 1991 (habitantes);
 P_1 : Corresponde a população no ano de 2000 (habitantes);
 P_2 : Corresponde a população no ano de 2010 (habitantes);
 a_1, c : Coeficientes que controlam a forma (ano-1) e descrevem a localização da curva (adimensional), respectivamente;
 t_1 : Corresponde ao ano 2000 (2000);
 t_2 : Corresponde ao ano 2010 (2010).
 P_t : Refere-se à população estimada do município para os próximos 20 anos, ou seja, "t" corresponde a cada um dos anos em relação ao período de projeção adotado, no caso de 2016 a 2036 (habitantes).

PROGNÓSTICO DA QUANTIDADE TOTAL DE RSU

O dimensionamento do aterro sanitário e do pátio de compostagem foi realizado seguindo a metodologia de Bidone e Povinelli (1999). A tabela 1 apresenta os dados utilizados para o referido dimensionamento.

Tabela 1. Parâmetros previstos para o dimensionamento do aterro sanitário.

DESCRIÇÃO	UNIDADES	VALOR	REFERÊNCIA
Número de habitantes (h)	habitantes	89738	Projeção realizada pelos autores para o ano de 2036 com base na população inicial (P0) em 2016 obtida de IBGE, 2016.
Densidade média do lixo compactado (δ)	t/m ³	0,7	Considerado o valor de 0,7 t/m ³ para cidades acima de 50.000 habitantes, conforme descreve NETO et al. (2011).
Contribuição per capita de lixo (θ)	kg/hab.dia	0,6326	Média da geração per capita, entre os anos de 2016 a 2036, do Município de Formiga, MG.
Vida útil	anos	20	-

Fonte: Produção dos próprios autores.

A partir da equação 5 foi estimada a massa de RSU produzidos ao dia (M) e pela equação 6 seu volume diário.

$$M = h \cdot \theta \quad (05) \quad V = \frac{M}{\delta} \quad (06)$$

Sendo:
M: Massa de RSU (ton/dia);
V: Volume de RSU (m³/dia).

ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOMETANO

A estimativa da produção de biometano foi realizada a partir do modelo denominado LandGEM (Landfill Gas Emissions Model, onde o biometano é estimado por meio de uma equação de decaimento de primeira ordem, conforme apresentada na equação 7. O modelo considera que uma fração constante do material biodegradável se encontra durante todo o tempo no aterro sanitário.

$$Q_{CH_4} = k \times L_0 \times m_i \times e^{-kt_i} \quad (07)$$

Sendo:
Q_{CH₄}: Produção anual de biometano (m³.ano⁻¹);
k: Constante de geração de biometano presente no LandGEM (0,050 ano⁻¹);
L₀: Constante do potencial de geração de biometano presente no LandGEM (170 m³CH₄.ton⁻¹);
m_i: Massa de resíduos sólidos urbanos (ton);
t_i: Vida útil do aterro (anos).

EFICIÊNCIA DE CAPTURA DE BIOMETANO E GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

A partir dos dados da produção de biometano provenientes do landGEM, foi considerado que as emissões não capturadas do aterro sanitário atingem 25% do biometano produzido (BARROS, 2013) e após a captura o mesmo foi bombeado por compressores e armazenado em gasômetros que apresentam a capacidade de armazenar 5% da vazão diária de biogás, tal armazenamento tem a finalidade de regularizar a vazão e pressão a montante das microturbinas a gás (MTG), tais equipamentos são responsáveis pela conversão do biogás em energia elétrica.

Para a combustão do biometano foi considerado um poder calorífico inferior (PCI) de 9,9 kWh.Nm⁻³ (COLDEBELLA, 2006) e a eficiência de conversão da energia térmica em elétrica na MTG, com base em CETESB (2006), de 27% para uma turbina de 50 kW, valor dentro da faixa de 26% a 33% descrita por CAPSTONE (2016) para MTG com potencia elétrica variando entre 30 e 200 kW. Dentro do período de operação anual da termoeletrica, foi considerado que o sistema operou durante 350 dias ao ano, reservando 15 dias para paradas de manutenção. Portanto, a energia produzida ao ano foi estimada a partir da equação 8.

$$E_e = \frac{(Q_{CH_4} \cdot PCI \cdot \eta_{MTG}) \cdot 350}{100} \quad (08)$$

Sendo:
E_e: Energia elétrica produzida pela MTG (kWh/ano);
Q_{CH₄}: Vazão volumétrica de biometano capturado (Nm³/dia),
PCI: Poder calorífico inferior do biometano (kWh/Nm³),
η_{MTG}: Eficiência de conversão da MTG (%).

A energia produzida pela MTG é função direta da potência instantânea de saída pela variação do tempo de operação, conforme ilustra a equação 9. Entretanto, será estimada uma potência média com base num tempo de operação constante para a MTG, conforme expressa a equação 9.1.

$$E = \int_{t_i}^{t_f} P_e dt \quad (09)$$

$$P_e = \frac{E_e}{\Delta t} \quad (09.1)$$

Sendo:
P_e: Potência elétrica produzida na MTG (kW);
E_e: Energia elétrica produzida pela MTG (kWh.ano⁻¹);
Δt: Tempo de operação da microturbina à gás durante um dia (h.ano⁻¹).

CUSTOS E RECEITAS

Para realizar a avaliação da viabilidade econômica da termoeletrica foi considerada a receita obtida pela venda da energia elétrica e os custos de CAPEX (investimento) e OPEX (operação e manutenção) dos seguintes equipamentos: compressores, gasômetros e MTG. Os custos inerentes as tubulações de transporte e combustores de biogás (flare) foram considerados como partes integrantes do custo existente do aterro sanitário, portanto, não modelados na termoeletrica. Também não foi modelada nesta proposta a receita proveniente da obtenção de créditos de carbono ou o aproveitamento dos gases de exaustão das MTG para produzir eletricidade ou calor para outros processos por meio de um sistema de cogeração. O OPEX anual da termoeletrica, incluindo as MTG, gasômetros e compressores, foi considerado como 10% do CAPEX de cada equipamento em operação.

Segundo Silveira et al. (2015), Santos et al. (2016), Sun et al. (2015) e Metcalf, Eddy (2016), os teores de H₂S no biogás proveniente da biodigestão anaeróbia estão na faixa de 1.000-5.000 ppm (partes por milhão). Tais valores são inferiores ao limite tolerável de 70.000 ppm nas MTG projetadas para operar com este tipo de biocombustível de acordo com EPRI (2006), Palacio et al. (2014) e o manual de operação da MTG de modelo C330 da fabricante CAPSTONE (2017), como também inferior ao limite de 10.000 ppm de H₂S relatado por Sun et al. (2015) para MTG operando com biogás. No entanto, as MTG continuam sensíveis ao níveis de siloxanos presentes no biogás, situação que reduz a vida útil dos equipamentos quando não há tratamento dos gases.

Semelhante a metodologia adotada por Santos et al. (2016), neste estudo foi considerado de 10 anos o tempo de vida útil da MTG, após este período não foi considerado valor residual dos equipamentos, compensando, assim, o não tratamento do biogás. A substituição de MTG foi praticada até a 4ª unidade instalada, posteriormente as mesmas foram retiradas de operação à medida que as suas vidas úteis finalizavam ou quando o 25º ano de operação da termoeletrica foi alcançado. Para o conjunto compressor-gasômetro foi considerado a instalação de dois conjuntos, sendo o primeiro no ano zero (2016) com capacidade projetada para o ano de 2023 e o segundo conjunto instalado no ano de 2023 com capacidade projetada para 2031.

AValiação econômica

Para identificar se o investimento foi viável economicamente, foi realizada uma avaliação por meio do Valor Presente Líquido (VPL) presente na equação 10 e da Taxa Interna de Retorno (TIR) estimada na equação 11, ambos para o período de 25 anos de operação da termoeletrica.

$$VPL = C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (10)$$

Sendo:
C₀: Fluxo de caixa líquido no instante inicial (R\$);
t: Período no tempo (anos);
C_t: Fluxo de caixa líquido no período (R\$);
r: Taxa de juros ou taxa de desconto que representa o custo de oportunidade do capital (centesimal).

O VPL representa o valor presente dos fluxos de caixa futuros descontados a uma taxa de juros pré-definida, considerando o desconto do investimento inicial. O projeto indica viabilidade econômica se o VPL for positivo (BREALEY, MYERS, ALEN, 2011).

A taxa de juros foi definida como a taxa do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia do Brasil (SELIC), apresentando o valor de 10,15% ao ano para o período de julho de 2017 (BRASIL, 2017).

$$TIR: VPL = 0 = C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+TIR)^t} \quad (11)$$

Sendo:
TIR: Taxa de juros ou taxa de desconto que representa o custo de oportunidade do capital (Porcentagem!).

A TIR é determinada como a taxa de juros que torna nulo o VPL. Portanto, quando o VPL é positivo e a TIR superior a taxa de juros (SELIC), então o projeto indica viabilidade econômica (PUCCINI, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

PROGNÓSTICO POPULACIONAL E DE RSU

O índice per capita considerado para a cidade de Formiga foi de 0,56579 kg.hab⁻¹.dia⁻¹ (SNIS, 2016) com base nos levantamentos da geração de 2014 e 2015, enquanto a taxa de crescimento per capita considerada a cada ano foi de 1%.

Através da projeção de crescimento logístico foi estimada uma população para o ano de 2036 de 89.738 habitantes e a quantidade acumulada de RSU de 397.833 toneladas ao longo dos 20 anos de operação do aterro sanitário. A projeção de resíduos coletados, assim como sua massa acumulada anualmente, são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2. Prognóstico da quantidade total de resíduos sólidos coletados no município de Formiga.

Tempo (ano)	População ¹	Índice per capita com acréscimo de 1% ao ano (kg/hab.dia)	Quantidade anual coletada (t/ano)	Quantidade acumulada anual (t/ano)
2016	66.966	0,57717	14.107	41.648
2017	67.420	0,58294	14.345	55.993
2018	67.909	0,58877	14.594	70.587
2019	68.437	0,59465	14.854	85.441
2020	69.006	0,60060	15.128	100.569
2021	69.622	0,60661	15.415	115.984
2022	70.287	0,61267	15.718	131.702
2023	71.009	0,61880	16.038	147.740
2024	71.791	0,62499	16.377	164.117
2025	72.641	0,63124	16.737	180.853
2026	73.567	0,63755	17.119	197.973
2027	74.576	0,64393	17.528	215.501
2028	75.679	0,65037	17.965	233.465
2029	76.886	0,65687	18.434	251.899
2030	78.212	0,66344	18.939	270.839
2031	79.671	0,67007	19.486	290.324
2032	81.281	0,67677	20.078	310.403
2033	83.065	0,68354	20.724	331.127
2034	85.047	0,69038	21.431	352.557
2035	87.259	0,69728	22.208	374.765
2036	89.738	0,70425	23.067	397.833

Notas ¹ - Utilizando o crescimento logístico, o qual teve valores mais próximos da realidade.
Notas ² - Considerando 365 dias ao ano.
Fonte: Produção dos próprios autores.

DIMENSIONAMENTO DO ATERRO SANITÁRIO

Diante da projeção de RSU gerados ao longo dos 20 anos, foi previamente dimensionado o aterro sanitário e o pátio de compostagem, conforme é apresentado no Quadro 1.

Quadro 1. Dimensões do aterro sanitário e do pátio de compostagem da cidade de Formiga.

ATERRO SANITÁRIO		PÁTIO DE COMPOSTAGEM	
Parâmetros	Valores	Parâmetros	Valores
Altura útil	5m	Comprimento da leira	80m
Taludes laterais	1:1	Área total ocupada pela leira	100m ²
Largura da base	140m	Área do pátio de compostagem	12.000m ²
Largura útil na superfície	150m	Acréscimo de área circulação	10%
Área da trincheira (Str)	725m ²	Área do pátio de compostagem final	13.200m ²
Comprimento da trincheira (m)	1.087m		

Fonte: Produção dos próprios autores.

GERAÇÃO DE BIOMETANO

A produção de biometano estimada a partir do LandGEM mostrou um valor acumulada de 30.512.147 Nm³ ao longo de 25 anos de operação, período considerado para o aproveitamento energético pela termoeletrônica. O comportamento da produção de biometano em base mássica é apresentada na figura 1, sendo que o ápice na produção ocorre no ano de 2037, atingido o valor de 2.041.183 Nm³.ano⁻¹, decrescendo de forma acentuada nos anos seguintes.

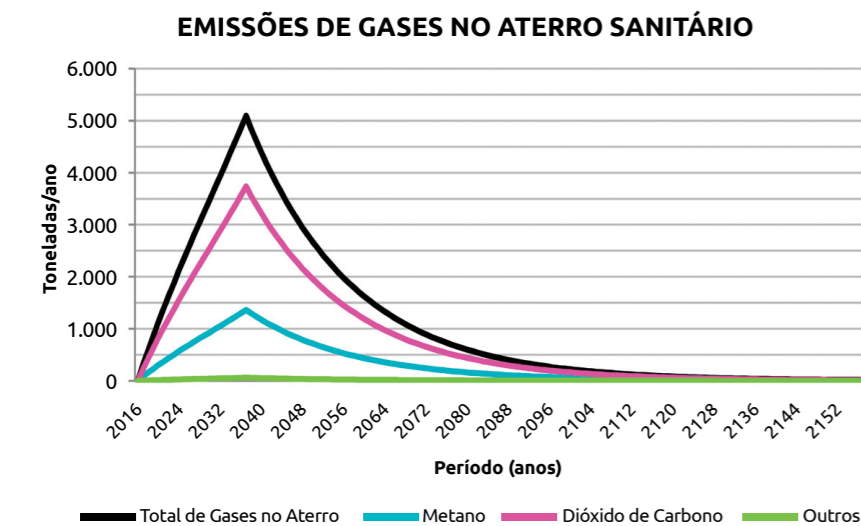


Figura 1. Projeção anual das emissões de gases apenas do aterro sanitário. Fonte: Produção dos próprios autores.

PRODUÇÃO DE ENERGIA E POTENCIA ELÉTRICA

Foi considerado que a instalação da primeira MTG e do conjunto compressor-gasômetro ocorreu no ano de 2016, sendo esse o ano zero da projeção de custos e

receita, ficando para o ano de 2017 o início da operação e venda de energia elétrica para a ANEL. O período considerado de operação da termoeletrônica foi de 25 anos.

Considerando que cada MTG apresentava 50 kW de potência elétrica e as mesmas foram instaladas à medida que a produção de biometano aumentava, foi possível instalar 12 MTG, sendo 4 unidades para substituição de equipamentos no final da vida útil e 8 MTG em plena operação nos anos de 2034 e 2035, período que o aterro iria operar com a máxima capacidade instalada.

Com base no exposto, foi estimada para os anos de máxima capacidade instalada (2034 e 2035) uma potência elétrica média de 400 kW, além da produção de 3.504 kWh ao ano para o referido período, sendo o comportamento da curva de potência e a produção de energia elétrica condizentes com os estudos de Piñaset al. (2016). A figura 2 apresenta as curvas de potência e energia elétrica produzidas na termoeletrônica ao longo dos 25 anos de operação.

PROJEÇÃO DA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE

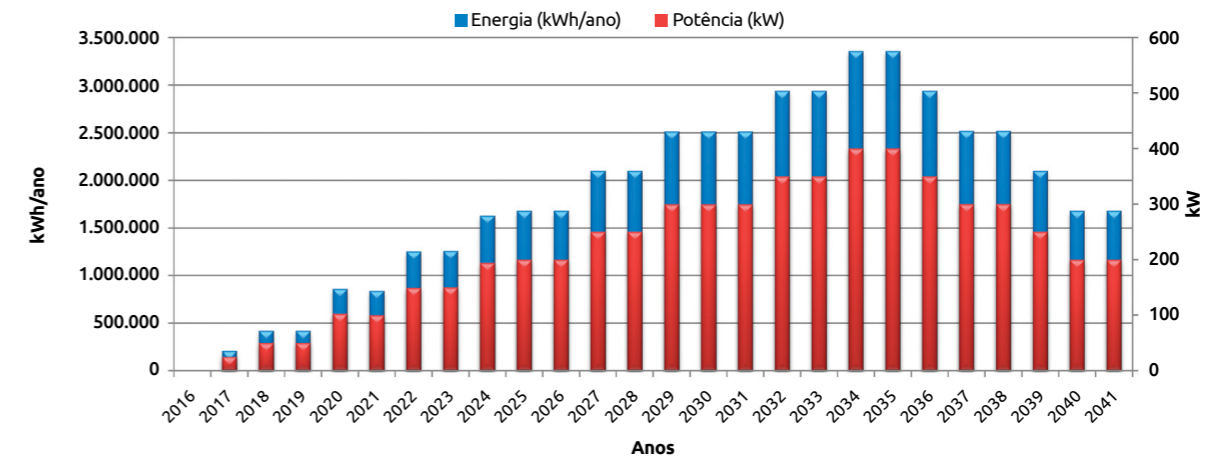


Figura 2. Produção de potência e energia elétrica ao longo dos 25 anos de operação da termoeletrônica. Fonte: Produção dos próprios autores.

A evolução da produção de energia e potência da termoeletrônica atingiu o seu máximo em 2034, entretanto, a máxima produção de biometano no aterro foi alcançada no ano de 2037, formando uma inflexão e passando a decrescer nos anos se-

guintes, conforme é apresentado na figura 3. Diante dos valores decrescentes na produção de biometano, a última MTG instalada foi no ano de 2034, garantindo, assim, que após o ano de 2037 não existiria capacidade ociosa na usina termoeletrônica.

PROJEÇÃO DA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE

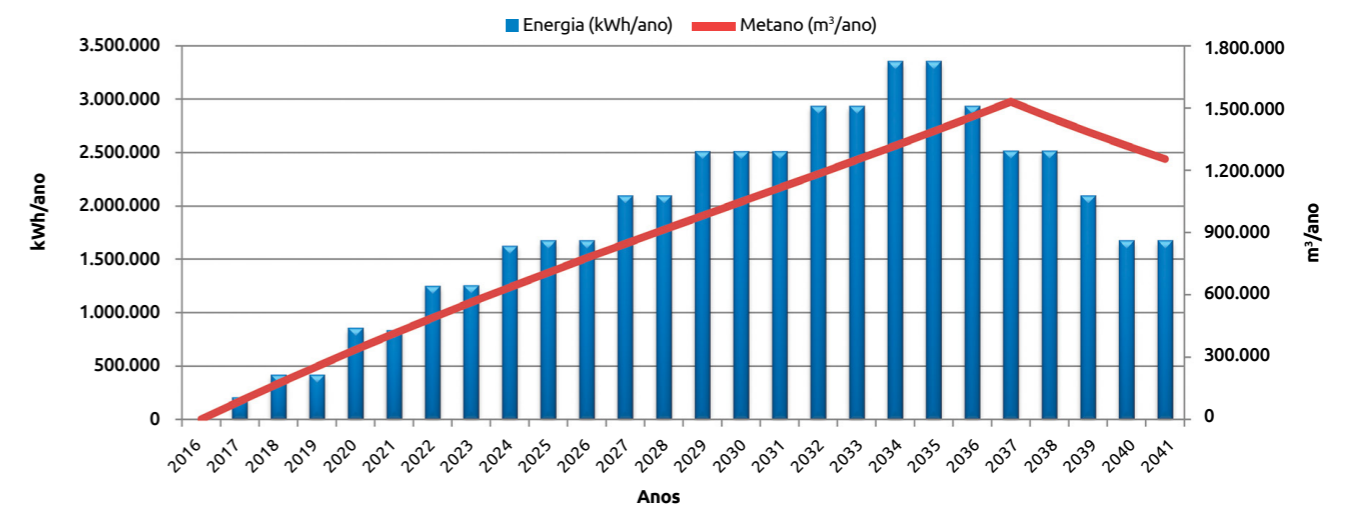


Figura 3. Projeção da receita bruta, OPEX e custo total (CAPEX e OPEX) ao longo dos 25 anos de operação. Fonte: Produção dos próprios autores.

PROJEÇÃO DA RECEITA E CUSTO TOTAL

Para o cálculo da receita pela venda da energia elétrica produzida foi tomado como base a referência de ANEEL (2016), onde relata que no último leilão de energia elétrica a partir de biomassa no ano de 2016 o valor teto foi de R\$251,00 por megaWatt-hora. Enquanto o custo de CAPEX teve como base U\$900 por megaWatt instalado nas MTG (CAPEHART, 2014), além de U\$60 e U\$565 por metro cúbico de biogás,

respectivamente, acumulado no gasômetro e bombeado pelos compressores SANTOS et al. (2016). Foi aplicado a cotação de R\$3,20 para cada dólar americano, considerando a cotação média do mês de julho de 2017. Diante disso, foi possível expressar a receita, OPEX e custo total ao longo dos 25 anos de operação do aterro sanitário na figura 4.

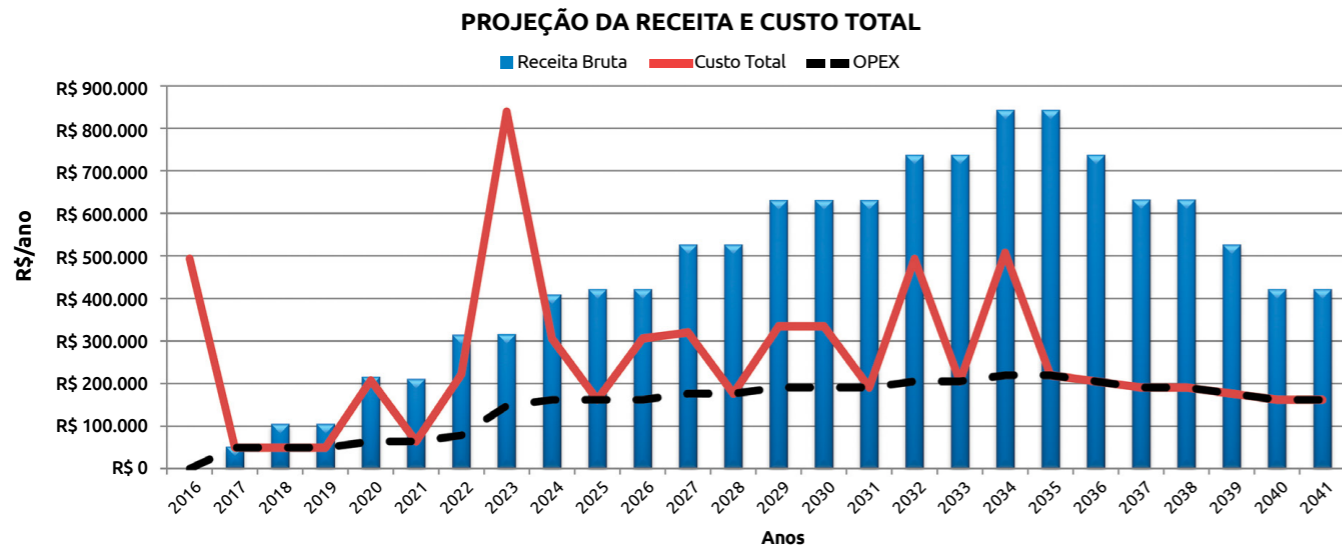


Figura 4. Projeção da receita bruta, OPEX e custo total (CAPEX e OPEX) ao longo dos 25 anos de operação. Fonte: Produção dos próprios autores.

Os custos elevados que ocorreram no ano de 2016 e 2023 são decorrentes da instalação dos conjuntos compressores-gasômetros, enquanto os demais picos são referentes a instalação das unidades de MTG nos anos de 2016, 2020, 2022, 2024, 2027, 2029, 2032 e 2034, além da substituição de equipamentos em final de vida útil nos anos de 2026, 2030, 2032 e 2034.

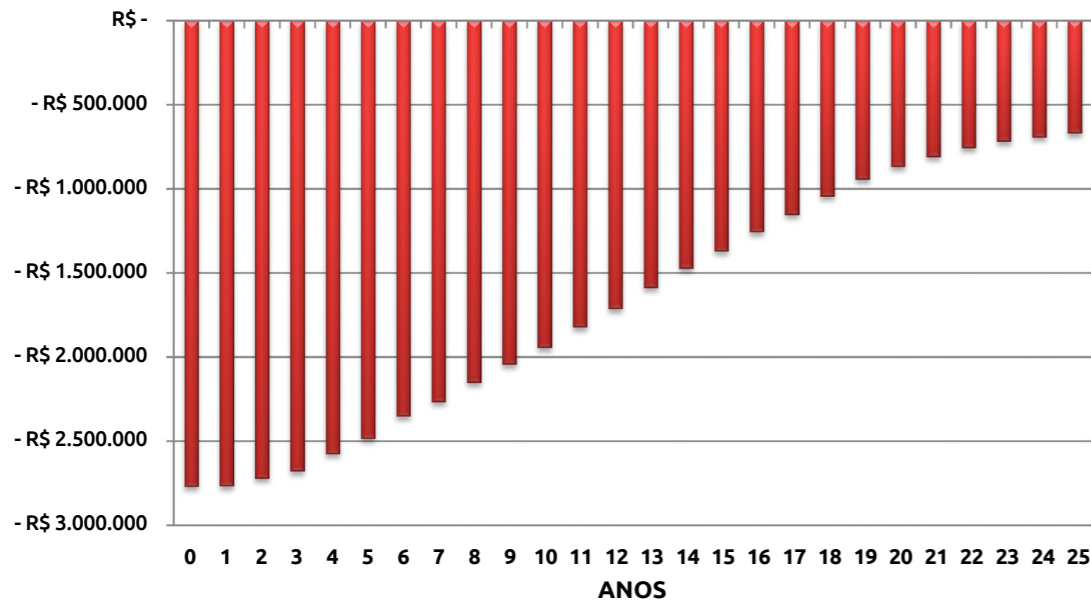
O OPEX apresenta acentuado crescimento à medida que os conjuntos compressores-gasômetros são instalados e posterior ao ano de 2034, quando a última MTG é instalada, apresenta suave decréscimo em virtude do final da vida útil de 4 MTG.

VALIAÇÃO ECONÔMICA

A avaliação econômica foi realizada colocando todo o CAPEX para o ano zero e considerando o valor de venda da energia elétrica fixa ao longo dos 25 anos, além de aplicar uma taxa de desconto de 12,15% (SELIC) sobre o lucro líquido a cada ano. Diante disto, foi obtido um VPL de R\$ 670.884,51 e um TIR de 7,80%, demonstrando que não há viabilidade econômica para o projeto em virtude do VPL negativo e da TIR inferior a taxa de desconto praticada.

Tal conclusão também pode ser obtida ao observar o fluxo de caixa descontado e acumulado ao longo dos 25 anos de operação do empreendimento, conforme mostra a figura 5.

FLUXO DE CAIXA DESCONTANDO ACUMULADO



Cotação média do dólar comercial em-2017 de R\$3,20.

Figura 5. Fluxo de caixa descontado e acumulado ao longo dos 25 anos da produção de energia elétrica.

Fonte: Produção dos próprios autores.

Nos estudos de Barros et al. (2014) e Silva et al. (2016) a produção de energia elétrica em aterros sanitários brasileiros também não se mostraram viáveis para a faixa de população atendida neste trabalho, sendo demonstrado pelos primeiros autores que a viabilidade econômica para a produção de eletricidade surge para populações superiores aos 200.000 habitantes.

CONCLUSÕES

Conclui-se que o projeto, com base nas estimativas realizadas e no modelo proposto, não foi viável economicamente, pois o VPL é negativo e a TIR é menor do que a taxa de desconto. No entanto, para uma conclusão mais sólida da inviabilidade econômica, deve-se realizar uma nova modelagem com dados experimentais do local de estudo e considerar uma termoeletrônica com maior eficiência energética, incluindo para isso um subsistema de cogeração de energia elétrica e calor a partir dos gases de exaustão dos acionadores primário, além da possibilidade de substituir as MTG por motores de combustão interna acoplados a geradores elétricos, pois apresentam maior eficiência durante a conversão do biogás em eletricidade.

Também recomenda-se a formação de consórcios com os municípios circunvizinhos da cidade de Formiga, possibilitando a construção de um aterro sanitário com capacidade para atender populações acima dos 200.000 habitantes, além de incluir na avaliação a venda de créditos de carbono pelos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UNIFEI pelo espaço concedido para o desenvolvimento deste trabalho, além e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL promove primeiro leilão A-5 de 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVZ6/content/id/14921922>. Acessado em: 16 de setembro de 2016.

BARROS, R. M. 2013. Tratado sobre resíduos sólidos: Gestão, uso e sustentabilidade. Rio de Janeiro, Interciência, 374p.

BARROS, R. M.; FILHO, G. L. T.; DA SILVA, T. R. 2014. The electric energy potential of landfill biogas in Brazil. Energy Policy, 65, 150-164.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. (1999). Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos. São Carlos: EESC/USP. 120 p.

BRASIL – Banco Central do Brasil. 2017. Histórico das taxas de juros. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/Pec/Copom/Port/taxaSelic.asp. Acessado em 31 de agosto de 2017.

BREALEY, R. A.; MYERS, S. C.; ALLEN, F. 2011. Principles of Corporate Finance. McGraw Hill/Irwin; 10th edition. 875 p.

CAPEHART, B.L. 2014. Microturbines. College of Engineering, University of Florida. Disponível em: <http://www.wbdg.org/resources/microturbines.php>. Acessado em: 20 de setembro de 2016.

CAPSTONE, Microturbine. 2017. Model 330: System Operation. California. 59 p.

CAPSTONE, Microturbine. 2016. Capstone products. Disponível em: <https://www.capstoneturbine.com/products>. Acessado em: 16 de setembro de 2016.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2006. Biogás: Geração e uso Energético de Efluentes. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancasclimaticas/biogas/Softwares/16Softwares>. Acessado em 16 de setembro de 2016.

COLDEBELLA, A. SOUZA, S. N. M., SOUZA, J. KOHLER, A. C. 2006. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bonivocultura de leite. Energ. Meio Rural, ano 6.

EPRI – Electric Power Research Institute. 2006. Assessment of Fuel Gas Cleanup Systems for Waste Gas Fueled Power Generation. California, USA. 108 p. Disponível em: https://www.epri.com/#/pages/product/00000000001012763/. Acessado em 31 de agosto de 2017.

FARIA, M. Biogás produzido em aterros sanitários – aspectos ambientais e aproveitamento do potencial energético. Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico e Contagem da População: Minas Gerais, Formiga. 2010. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=136&z=cd&o=2&i=P>. Acesso: 28/11/16.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades: Minas Gerais - Formiga. IBGE, 2016. Disponível em: http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=312610&idtema=94&search=minas-gerais%7Cformiga%7Ccenso-demografico-2010%3A-resultados-da-amostra-domicilios-. Acessado em 28 de novembro de 2016.

METCALF, L.; EDDY, H. P. 2016. Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos. 5ª ed. New York: Mcgraw-Hill. 2008 p.

NBR - Norma Brasileira. NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. (1992). Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

NETO, J. C. da S.; DUARTE, P. A.; PFEIFFER, S. C.; COTRIM, S. L. da S. Estimativa dos custos de implantação de aterros sanitários nas bacias dos rios São Francisco e Parnaíba. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre – RS, 2011.

PALACIO, J. C. E. et al. Processos biológicos de conversión. In: MARTÍNEZ, J. M. R.; LORA, E. E. S. (Editores). Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad. Bogotá. Red Iberoamericana de Aprovechamiento de Resíduos Orgánicos em Producción de Energía. 2014. p. 123-164.

PIÑAS, J. A. V. et al. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos Land-GEM (EPA) e Biogás (Cetesb). R. bras. Est. Pop., Rio de Janeiro, v.33, n.1, p.175-188, jan./abr. 2016.

PUCCHINI, E. C. 2011. Matemática financeira e análise de investimentos. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC; [Brasília]: CAPES: UAB. 204p.

SANTOS, I.F.S., BARROS, R.M., TIAGO FILHO, G.L. 2016. Electricity generation from biogas of anaerobic wastewater treatment plants in Brazil: an assessment of feasibility and potential. Journal of Cleaner Production, 126, 504-514. dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.072

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS) – Série Histórica. Disponível em: http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/. Acesso: 28 Nov. 2016.

SILVA, L. O.; LOPES, M. M.; VELA, G. A. L.; MEDEIROS, L. O. C.; SOARES JUNIOR, P. A. 2016. Análise de viabilidade do aproveitamento energético do gás de aterro para a cidade de Cruzeiro [SP]: três diferentes cenários. Labor&Engenh, volume 10, número 1, 07-16.

SILVEIRA, B. et al., 2015. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto. Brasília, DF. Ministério das Cidades. 183 p.

SUN, Q. et al. 2015. Selection of appropriate biogas upgrading technology-a review of biogas cleaning, upgrading and utilisation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, volume 51, 521-532. doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.029.

VON SPERLING, M. (2005). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos(2a ed. rev., vol. 1, p.60). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Estudio de factibilidad de producción de biogás con residuos orgánicos ganaderos para satisfacer la demanda energética del caserío el Tambo

ARTÍCULO

José Armando Gastelo-Roque

Centro de Energías Renovables y Lucha Contra el Cambio Climático.
Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.

jgastel@unprg.edu.pe ✉

RESUMEN

El caserío El Tambo es una comunidad rural conformada por 15 viviendas, ubicado en el departamento de Lambayeque al norte del Perú. Las personas de esta comunidad se dedican a actividades agro-ganaderas para su subsistencia y no cuentan con acceso a la energía eléctrica. En el presente trabajo se estudia la factibilidad de producir energía eléctrica para el caserío el Tambo a partir de una planta de biogás que utilice los residuos orgánicos ganaderos generados en la comunidad. Se pueden producir hasta 38,516 MWh de energía eléctrica anual a partir de 1876 kg excreta diaria producida por alrededor de 200 cabezas de ganado, lo que satisface la demanda de energía eléctrica de la comunidad que asciende a 14,965 MWh anualmente. El análisis de factibilidad arroja resultados positivos se obtuvo un TIR de 9%, superior al costo de oportunidad lo cual le otorga factibilidad al proyecto.

ABSTRACT

The "caserío El Tambo" is a rural community made up of 15 houses located in the district of Motupe, province and department of Lambayeque in the north of Peru. The people of this community are engaged in agricultural and livestock activities for their subsistence and do not have access to electricity. In the present paper a study of the feasibility of electric power production from biogas produced by a bio digester from organic livestock waste for the Tambo is made. 38,516 MWh of annual electric energy can be produced from 1876 kg of excreta produced by 200 head of cattle, which satisfies the demand for electric power in the community, which is 14,965 MWh per year. Feasibility study is positive, is obtained a TIR of 9% higher than opportunity cost (5%), this gives feasibility to the project.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la energía eléctrica se ha vuelto un recurso fundamental en la calidad de vida de las personas y en el desarrollo de las comunidades, la falta de acceso a la energía eléctrica supone una gran desventaja para el desarrollo tanto personal como de la comunidad.

Es por esto que en el Perú se promueve la electrificación en zonas rurales y el acceso a la electricidad para todos los peruanos, pero pese a los esfuerzos combinados de gestión por las autoridades nacionales y locales en mejorar la calidad de vida de las personas que viven en las zonas rurales promoviendo el acceso a la energía eléctrica, existen miles de comunidades rurales que no cuentan con energía eléctrica.

PALABRAS CLAVE:

BIOGÁS
EXCRETA DE GANADO
ENERGÍAS RENOVABLES
GENERACIÓN DE ENERGÍA

KEYWORDS:

BIOGAS
LIVESTOCK WASTE
RENEWABLE ENERGY
ENERGY GENERATION

ca, entre ellas el caserío el Tambo, localidad bajo estudio en este trabajo.

El caserío el Tambo es una comunidad campesina rural del distrito de Motupe, provincia y departamento de Lambayeque al norte del Perú, se dedican principalmente a actividades agrícolas y ganaderas y está compuesta por cerca de 100 pobladores en 15 viviendas, esta comunidad rural presenta un índice de pobreza muy alto y su calidad de vida y desarrollo se ven perjudicados por la falta de acceso a la energía eléctrica y las posibilidades que su acceso conlleva. Como la comunidad cuenta con grandes cantidades de excretas vacunas producto de sus actividades ganaderas surgió la idea de realizar un estudio de factibilidad para producir biogás con estos residuos orgánicos, y usarlo como combustible en el funcionamiento de un grupo electrógeno, que generara la energía necesaria para poder suplir su demanda energética.

La demanda del consumo de energía en la mayoría de zonas de expansión de los centros poblados, pueblos jóvenes, asentamientos humanos, empresas de agroindustria, agricultura y otros, se hace cada vez mayor en el distrito de Motupe, esto lleva a la necesidad de aumentar la capacidad de generación eléctrica en esta zona.

En los últimos años la extensa quema de combustibles fósiles y la gran contaminación de la industrialización han alterado el balance natural de niveles de CO₂ en la atmósfera, produciendo un incremento anormal del efecto invernadero y en consecuencia el calentamiento global. Los dos retos más grandes que encara la humanidad en la actualidad son el incremento global de la demanda de energía y el control del nivel de emisiones de CO₂ para regular el efecto invernadero. Por lo tanto, se debe dar prioridad a la generación eléctrica que utilice de energías renovables y otras tecnologías limpias.

Por esta razón, este trabajo plantea el uso de la biomasa y el biogás los cuales pueden satisfacer la demanda energética sin afectar el medio ambiente como los combustibles fósiles.

METODOLOGÍA

Se pretende implementar una planta de biogás a escala como sistema de generación eléctrica para abastecer de energía al caserío El Tambo, para esto se utilizará como biomasa los desechos del ganado vacuno obtenidos de las actividades ganaderas, se calculará la demanda eléctrica, el tipo de planta a utilizar y su factibilidad.

Localidad bajo estudio

El Caserío el Tambo es una comunidad rural ubicada en el distrito de Motupe (6°09'03"S 79°43'15"O), en el distrito y provincia de Lambayeque al norte del Perú, se dedica a activida-

des agro-ganaderas. La comunidad está compuesta por 15 viviendas (al 2016) y cerca de 100 pobladores, los cuales no tienen acceso a la energía eléctrica lo que impide un desarrollo normal y una buena calidad de vida para los pobladores. La Fig. 1 muestra la ubicación geográfica de la comunidad y la Fig. 2 una fotografía.

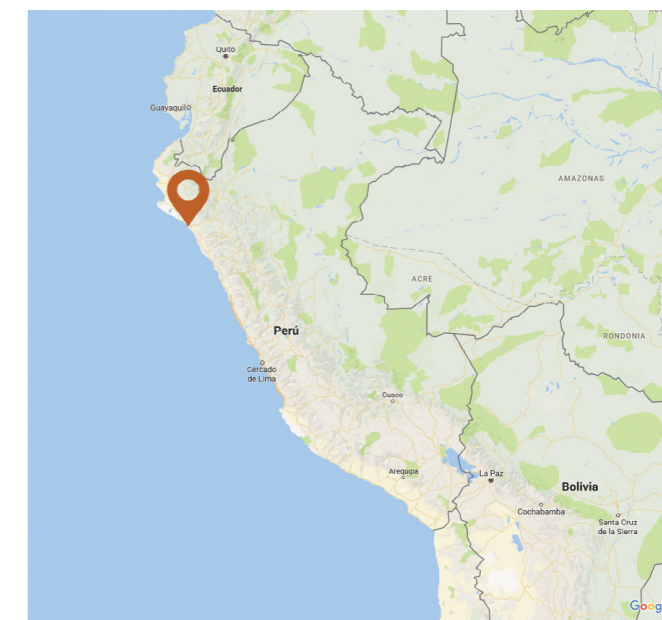


Figura 1. Ubicación geográfica del caserío el Tambo.

Fuente: Google Maps.



Figura 2. Fotografía del caserío.

Calculo de la demanda eléctrica

En el presente trabajo se pretende abastecer demanda eléctrica total del Caserío El Tambo. Para el cálculo de la demanda eléctrica del Caserío El Tambo se utilizan dos criterios: **1)** Diagnostico de la máxima demanda utilizando el Código Nacional de Electricidad de Perú 2006 y **2)** Estimación de la demanda basándose en encuestas a la población y proyecciones.

Código Nacional de Electricidad 2006

Esta estimación se basa en el número de viviendas y en la carga instalada de cada vivienda. El CNE indica que en caso de viviendas unifamiliares o departamentos en edificios de

vivienda de las que no se dispone de información específica sobre las cargas, la demanda máxima total a prever no será inferior a 3000 W, para viviendas de hasta 90 m² (Dirección General de Electricidad - Ministerio de Energía y Minas, 2006).

Utilizando las encuestas y proyecciones

Se realizaron encuestas presenciales a los pobladores del caserío El Tambo, se realizaron preguntas como el número de electrodomésticos, la cantidad de bombillas o fluorescentes, y diferentes aspectos que intervienen en el consumo de electricidad, evaluando las encuestas se puede estimar la demanda eléctrica de la comunidad.

Biomasa disponible

La biomasa a utilizar para generar biogás y posteriormente producir energía eléctrica a partir de él, será la excreta vacuna producto de las actividades ganaderas de la comunidad. Para obtener la cantidad de biomasa disponible es necesario contabilizar el número de cabezas de ganado disponibles, esto se obtuvo realizando una encuesta a cada poblador acerca de la cantidad de ganado que posee cada familia.

Considerando que cada tipo de ganado produce diferente cantidad de excreta y basándonos en el trabajo elaborado por la Agencia Extremeña de Energía (Lopez Rodriguez & Lahoz, 2014) se elaboró la siguiente tabla donde se indica la cantidad de excreta por día generada de acuerdo al tipo de ganado.

Tabla 1. Cantidad de excreta generada por cada tipo de ganado.

Tipo de ganado	Unidad	Cantidad
Grande (Vacas)	Kg	12
Mediano (Toros)	Kg	9
Pequeño (Vaquillonas)	Kg	6
Terneros	Kg	4

Fuente: LOPEZ ET AL., 2014.

Biogás producido

La biomasa recolectada se ingresará a un biodigestor que producirá biogás a partir de ella, la cantidad de biogás producido no solo depende de la cantidad de biomasa ingresada sino de distintos factores como el tipo de excreta, su rendimiento, etc. Además, para poder iniciar la anaerobiosis menatogénica es necesario adicionar una masa equivalente de agua, para algunos autores es preciso adicionar 3 kilogramos por cada kilogramo (Barcelona, 2011). En este trabajo se consideró adicionar solo 2 kilogramos de agua, esto debido a que las excretas de los vacunos del caserío El Tambo presentan en su composición gran porcentaje de agua por el tipo de alimentación que se les suministra. La Tabla 2 muestra la cantidad los valores de la producción promedio de biogás a partir de excretas de vacunos de diferentes tipos (Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2004).

Tabla 2. Valores de la producción de biogás a partir de excretas de vacunos.

Parámetro	Unidad	Grande (Vacas)	Mediano (Toros)	Pequeño (Vaquillonas)	Grande (Vacas)
Cantidad de Excreta por día	Kg	12	9	6	4
Rendimiento de Biogás	Kg	0.04	0.04	0.04	0.04
Producción de Biogás	Kg	0.60	0.40	0.32	0.16
Relación Agua/Excreta		2:1	2:1	2:1	2:1

Fuente: (Facultad de Ingeniería Agrícola-UNPRG, 2000)

Diseño de la planta de biogás

La planta de biogás es la encargada de convertir la biomasa en biogás para su posterior en generación de energía eléctrica. Una planta de biogás esta generalmente conformada por un tanque de mezcla, un biodigestor y un tanque de compensación.

Dimensiones del Biodigestor

Para calcular el volumen del biodigestor utilizaremos la siguiente formula:

$$VB = TR * \left(\frac{EP}{\rho EP} + \frac{RA}{\rho A} \right) \tag{01}$$

Donde:

- VB es el volumen del biodigestor.
- TR es el tiempo de retención.
- EP es el estiércol producido.
- ρEP es la densidad de la excreta, considerada de 993 kg/m³
- RA es la cantidad de agua agregada en la mezcla según la relación excreta-agua.
- ρA es la densidad del agua, equivalente a 1000 kg/m³

Las dimensiones principales del biodigestor se muestran en la Figura 3.

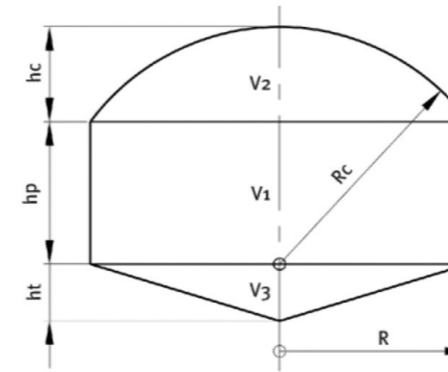


Figura 3. Tipo de Biodigestor a utilizar. Fuente: (KUMAR ET AL, 2015)

Las medidas son las mostradas en la Tabla 3.

Tabla 3. Dimensiones del biodigestor

Medida	Símbolo	Fórmula
Volumen total del biodigestor	VB	$R^3 * \pi * 1,121$
Volumen del segmento cilindro	V1	$R^2 * hp * \pi$
Volumen de la cúpula	V2	$\pi * hc^2 * Rc * (hc / 3)$
Volumen cono base	V3	$R^2 * \pi * ht / 3$
Unidad	U	$R / 4$
Altura de la cúpula	Hc	$2 * U$
Altura de la pared	Hp	$3 * U$
R=Radio básico	R	$\sqrt[3]{(VB / (1.121 * \pi))}$
Radio de la cúpula	Rc	$5 * U$
Diámetro del Cilindro	D	$8 * U$
Altura del cono base	Ht	$0.15 * D$

Fuente: (KUMAR ET AL, 2015)

Dimensiones del tanque de compensación

Para el cálculo del volumen del tanque de compensación se considera que equivale a un tercio del volumen total del biodigestor.

$$V_{comp.} = \frac{1}{3} * VB \tag{02}$$

El radio del tanque de compensación es igual al radio del volumen predefinido (R). Se calcula la altura del tanque de compensación considerando que el tanque es cilíndrico.

$$htc = \frac{1}{\pi * R^2} V_{comp.} \tag{03}$$

Cálculo del tanque de mezcla

El volumen del tanque de mezcla depende del volumen de entrada diario al digestor, la suma del agua y excreta, además, se debe sobredimensionar un valor de 15%.

$$V_{tanq.mezcla} = \frac{V_{agua} (m^3) + V_{excreta} (m^3)}{1000} * 1.5 \tag{04}$$

Finalmente, se calcula el radio del tanque de mezcla, teniendo en cuenta la relación de fórmulas, en función de su altura y volumen:

$$Rtm = \sqrt{\frac{V_{tanq.mezcla}}{htc * \pi}} \tag{05}$$

Generador Eléctrico

Un generador eléctrico es un maquinas que transforma energía mecánica en energía eléctrica. Para el presente trabajo se debe seleccionar un generador de biogás que en realidad es un generador acoplado a un motor de combustión interna, el cual utiliza como combustible biogás.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Demanda Eléctrica

Considerando las recomendaciones del CNE y considerando la existencia de 15 viviendas en el Caserío El Tambo de 50 m² es necesaria una capacidad de generación de mínimo 45 kW para poder suplir la necesidad del Caserío el Tambo, según recomienda el CNE (Dirección General de Electricidad - Ministerio de Energía y Minas, 2006).

analizando los datos de encuestas realizadas a los pobladores se obtuvo la curva de demanda mostrada en la Fig. 4.

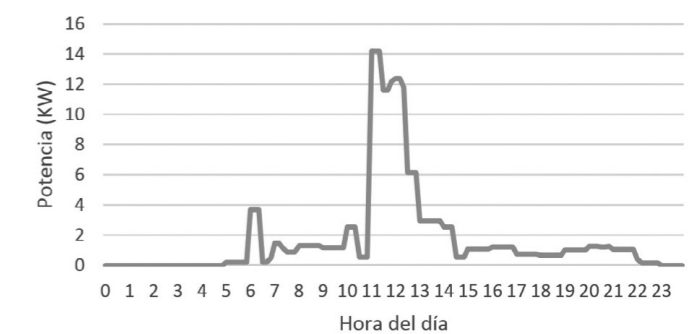


Figura 4. Curva de demanda. Fuente: Elaboración propia.

Según esta curva, la energía eléctrica necesaria para abastecer al caserío es de aproximadamente **41,003 kWh** al día con una demanda máxima real de **14,220 kW**.

La energía eléctrica considerada para el diseño del biodigestor será la obtenida de la curva de la Fig.2. Para la demanda máxima se tendrá en cuenta el aumento de la población en los próximos años por lo que se tomará un valor mayor al obtenido por la curva, puesto que, si bien la energía eléctrica a producir por el sistema se puede aumentar agregando más biomasa o haciendo funcionar el generador más tiempo, la capacidad, instalada la cual depende de la demanda máxima, no se puede modificar una vez adquirido el generador.

$$DM_{(Según encuestas)} = 14,220 \text{ kW}$$

$$DM_{(CNE)} = 45 \text{ kW}$$

El valor medio a considerar será de:

$$DM = 16 \text{ kW}$$

Biomasa disponible

Considerando la Tabla 1 y la cantidad de ganado de cada poblador se obtiene lo siguiente:

Tabla 4. Cantidad de excreta obtenida en el caserío El Tambo.

Tipo de ganado	Cantidad de excreta producida	Número de Animales	Masa excretas por día
Grande (Vacas)	12	114	1368
Mediano (Toros)	9	14	126
Pequeño (Vaquillonas)	6	47	282
Terneros	4	25	100
TOTAL			1876

Fuente: Elaboración propia

Planta de Biogás

Se utilizará una planta de biogás denominada de cúpula fija, en específico el diseño Nicarao (Fixed dome plant Nicarao design) como el mostrado en la figura 5 por criterio técnico (Erick, 2009), este tipo de plantas son ideales para escalas pequeñas y volúmenes menores a 170 m3, están compuestas por un tanque de mezcla, el biodigestor y un tanque compensación.

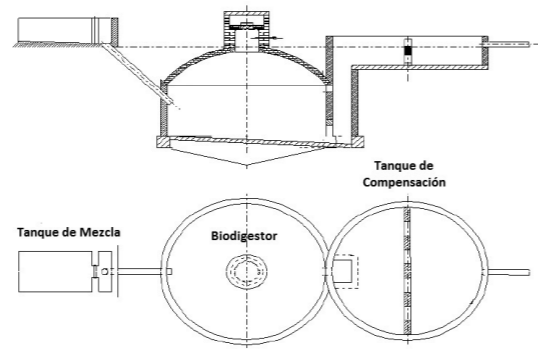


Figura 5. Tipo de planta a utilizar.

Dimensiones obtenidas

Utilizando la Tabla 3 y la formulas 1-5 las dimensiones obtenidas para la planta de biogás son:

Tabla 5. Dimensiones de la planta de biogás a utilizar.

Medida	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen total del biodigestor	VB	m ³	169,23
Volumen del segmento cilindro	V1	m ³	110,075
Volumen de la cúpula	V2	m ³	24,498
Volumen cono base	V3	m ³	40,597
Unidad	U	M	0,908
Altura de la cúpula	Hc	M	1,816
Altura de la pared	Hp	M	2,724
R=Radio básico	R	M	3,635
Radio de la cúpula	Rc	M	4,544
Diámetro del Cilindro	D	M	7,264
Altura del cono base	Ht	M	2,934
Volumen del tanque de compensación	V _{comp}	m ³	60,948
Altura del tanque de compensación	Htc	M	1,668*
Volumen del tanque de mezcla	V _{tanque.mezcla}	m ³	8,442
Radio del tanque de mezcla	Rtm	M	1,043

* Se considera un margen de 20cm en la parte superior del tanque.

	Standby(kVA)	10	16	25
Model		AQL10	AQL16	AQL25
standby power	kVA/kW	10/8.0	16/13.0	25/20
prime power	kVA/kW	9/7.0	15/12.0	22/18
frequency	Hz	60	60	60
rated voltage	V	480	480	480
brand				
Model motor	—	M-F10A	M-4Y	M-Isuzu 4JB1
displacement	L	1.051	2.237	2.771
speed	RPM	3.600	1.800	1.800
starting method	—	electric start	electric start	electric start
cooling method	—	water cooled	water cooled	water cooled
brand alternator	—	Stamford	Leroy Somer	Leroy Somer
model	—	PI 042 D	LSA 40 VS2	LSA 40 M5
phase	—	3 phases, 4 wires	3 phases, 4 wires	3 phases, 4 wires
controller type	—	DS DSE7320	DS DSE7320	DP DSE7320
display	—	LCD	LCD	LCD
fuel	—	biogas	biogas	biogas
gas inlet pressure	kPa	1-5.5kPa	1-5.5kPa	1-5.5kPa
dimension (open type)	mm*mm*mm	—	1400*710*920	1.500*600*980
net weight (open type)	kg	—	480	600
biogas consumption	m ³ /kW.h	0.65	0.65	0.64

Figura 6. Características del generador.

Energía producida

Para tener datos acerca de la cantidad de energía generada con la cantidad de excreta disponible, se debe realizar un balance energético. Para realizar este balance se calculará el volumen de biogás que produce un kilogramo de excreta y luego la cantidad de energía eléctrica que el volumen de biogás determinado.

Volumen de biogás generado: El volumen del biogás generado varía entre el 30% al 50% del volumen del biodigestor, que se calculó anteriormente, por lo que el volumen de Biogás generado será:

$$V_{Biogas} = \frac{30}{100} (169.23) \text{ o } \frac{50}{100} (169.23)$$

$$V_{Biogas} = 50,769 \text{ o } 84,615$$

Tomando el valor promedio, el volumen del biogás será:

$$V_{Biogas} = 67,692 \text{ m}^3$$

Ese valor es el volumen generado por 1876kg de excreta, aplicando un cálculo proporcional, 1kg de excreta produce 0.0360 m³ de biogás.

Considerando la producción del generador: 1kw-h de energía eléctrica es producido por 0,64 m³ de biogás, por lo tanto, 1kg de excreta producirá:

$$e = \frac{0,0360}{0,64}$$

$$e = 0,05625 \text{ kWh}$$

Haciendo la equivalencia para los 1876 kg de excreta diaria, la cantidad de energía eléctrica diaria que se puede producir es:

$$Et = 105,525 \text{ kWh}$$

La demanda energética del caserío se estimó en 41,003 kWh al día, por lo que la cantidad de energía que se puede producir a partir del biogás muy superior a la necesaria.

Factibilidad Económica

Para hacer económicamente factible este proyecto se debe calcular la inversión inicial, posibles fuentes de ingresos a partir de la energía eléctrica generada y el análisis de VAN y TIR. Para ello tendremos en cuenta las siguientes consideraciones:

- El presupuesto es obtenido a partir de precios actuales en el mercado peruano, se consideran solo gastos relacionados con el biodigestor y la generación de energía, la instalación de la red eléctrica y otros aspectos relacionados con la distribución no se toman en cuenta en este trabajo.
- Para obtener ingresos que proporcionen rentabilidad a este proyecto, se contempla la venta de toda la energía eléctrica producida, tanto a los pobladores de la comunidad como a compradores externos, la tarifa correspondiente al cargo por energía activa en la categoría BT5B residencial con simple medición de energía del mercado eléctrico peruano, la cual a agosto del 2017 tiene un valor de 0.17 USD/kWh.
- Otro de los ingresos considerados es por la reducción de emisiones de carbono es decir por la venta de Certificados de Emisiones Reducidas (CER), los cuales a la fecha tienen un valor de cerca de 0.3 USD por tonelada de CO2 equivalente.
- La excreta de ganado será comprada a los pobladores de la comunidad al precio actual en el mercado que es de 4 USD cada tonelada.

Para determinar la factibilidad del proyecto, se procedió a elaborar un presupuesto de cada elemento que conforma el sistema, tal como se muestra en la tabla adjunta, los valores se encuentran en USD.

Tabla 6.
Presupuesto del proyecto.

Descripción	Cantidad	Valor	Total	Garantía (años)
INSTRUMENTACIÓN Y MAQUINARIA				
Gasómetro - Bioreactor	1.0	USD 9 266.00		10
Filtro de H ₂ S	1.0	USD 178.75		1
Generador para Biogas	1.0	USD 9 266.00		5
Otros equipos	1.0	USD 1 599.00	USD 20 309.75	
DISEÑO Y MONTAJE				
Diseño y elaboración de planos	1.0	USD 772.00		
Montaje de estructuras	1.0	USD 833.00	USD 1 605.00	
TOTAL			USD 21 914.75	
Mantenimiento preventivo- 6 meses	2.0	USD 494.00		

En la tabla 7 se indican la inversión, los ingresos y los egresos, así como el flujo de caja durante los 10 primeros años, en los cuales se proyecta tener una rentabilidad, los valores están en USD.

Tabla 7.
Flujos de caja, ingresos y egresos.

INVERSIÓN INICIAL	USD 23.914,75	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
INGRESOS											
Venta de Energía	-	6.547,72	6.547,72	6.547,72	6.547,72	6.547,72	6.547,72	6.547,72	6.547,72	6.547,72	6.547,72
Venta de CER	-	1.158	1.158	1.158	1.158	1.158	1.158	1.158	1.158	1.158	1.158
TOTAL DE INGRESOS	-	988,41	988,41	988,41	988,41	988,41	988,41	988,41	988,41	988,41	988,41
EGRESOS											
Mano de obra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maq. y equipo	21.914,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Depreciación	-	1.015,42	1.015,42	1.015,42	1.015,42	1.015,42	1.015,42	1.015,42	1.015,42	1.015,42	1.015,42
Compra de excreta	2000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
TOTAL DE EGRESOS	23.914,75	4.003,84	4.003,84	4.003,84	4.003,84	4.003,84	4.003,84	4.003,84	4.003,84	4.003,84	4.003,84
FLUJO DE CAJA	-23.914,75	3.701,87	3.701,87	3.701,87	3.701,87	3.701,87	3.701,87	3.701,87	3.701,87	3.701,87	3.701,87

La depreciación se obtuvo considerando 20 años de vida útil para la maquinaria. Se tiene inversión inicial de 23 914.758 USD.

Tabla 8. VAN y TIR.

VAN	4.670,14 USD
Costo de oportunidad (Tk)	5%
TIR	9%

En la tabla 8 se muestran los valores para el VAN y la TIR, los cuales son índices de la factibilidad del proyecto.

CONCLUSIONES

Se planteó el estudio de factibilidad técnico-económica para abastecer de energía eléctrica al caserío El Tambo a partir de biogás obtenido por digestión anaeróbica de excretas producto de la actividad ganadera de la comunidad, El Tambo es una comunidad campesina al norte del Perú que cuenta con 15 viviendas de aproximadamente 50m² cada una, se determinó la demanda de energía eléctrica diaria en 41,003 kWh que representa 14,966 MWh anuales. La demanda máxima se consideró como 16kW.

Utilizando un biodigestor de tipo cilíndrico de cúpula fija con dimensiones de un radio de 2,644 metros con una altura total de 2,844 metros y procesando todo estiércol de ganado vacuno se obtiene cerca de 5.676 m³ de biogás diario, con un generador de biogás modelo HGN T5 BIO y utilizando toda la biomasa disponible (1871 Kg diarios) se puede llegar a producir 105,525 kWh de energía eléctrica diaria, lo que representa 38,516 MWh de energía anuales, suficiente energía para suplir la demanda energética del caserío y vender energía a una posible red eléctrica.

En el aspecto económico del proyecto, se tiene una inversión inicial de 23 914 USD. El VAN obtenido es de 4670.14 USD lo que hace factible la inversión, pues constituye un valor positivo que viabiliza el desarrollo del proyecto. La TIR con un valor del 9 %, superior al 5 % del costo de oportunidad le otorga también factibilidad al proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de los proyectos realizados por el Centro de Energías Renovables y Lucha Contra el Cambio Climático - CERC, semillero de investigación que forma parte de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque-Perú, el cual promueve y ejecuta proyectos de investigación e ingeniería en desarrollo sostenible enfocados hacia comunidades pobres del país.

El autor agradece al Vicerrectorado de Investigación, representados por los profesores: Dr. Ernesto Hashimoto Moncayo y Dr. Isidoro Benites Morales, por su apoyo en el desarrollo de los proyectos presentados por este centro de investigación. Un agradecimiento especial a Juan Diego Palacios Montenegro por su apoyo en el análisis de factibilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albert, L. A. (2002). Curso Básico en Toxicología Ambiental. México: Noriega Editores.

Barcelona, E. T. (2011). Estudio de alternativas y Dimensionamiento de Biodigestores para Aplicaciones Domésticas en la Zona Rural de Nwadjahane en Mozambique. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

Biodisol. (2016 de 07 de 2015). Energías Alternativas, Energías Renovables, Energías Limpias, Bioenergías. Obtenido de Energías Alternativas, Energías Renovables, Energías Limpias, Bioenergías: <http://www.biodisol.com/>

Calvache Wilma, C. M. (2006). Tratamiento de Aguas: Tratamiento Primario y Parámetros Hidráulicos. Quito: Universidad Central.

Castells, X. E. (2005). Tratamiento y Valorización Energética de Residuos. Barcelona: Díaz de Santos.

Castells, X. E. (2012). Biomasa y Bioenergía. Madrid: Energía, Medioambiente, Tratamiento de Residuos.

CIE. (10 de 10 de 2016). Corporación para la Investigación Energética. Obtenido de Corporación para la Investigación Energética: www.energia.org.ec

Desarrollo, P. d. (2014). Manual de Biogás. Santiago de Chile: Global Environment Facility.

Dirección General de Electricidad - Ministerio de Energía y Minas. (2006). CNE Código Nacional de Electricidad Tomo V Sección 050-110 inciso 2. En CNE Código Nacional de Electricidad Tomo V. Perú.

Elena Campos, X. E. (2013). Procesos Biológicos: La Digestión Anaerobia y el Compostaje. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

Energy, T. (2015). Demanda energética.

Erick, M. O. (2009). Estudio de factibilidad de uso racional y eficiente de la materia prima no tradicional del sector avícola para la generación de energía eléctrica.

Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. (2004). Producción de biogás a partir de excreta vacuna en Lambayeque. Lambayeque: UNPRG.

Fernando López Rodríguez, A. L. (2014). Aprovechamiento Energético del Residuo Ganadero. En A. L. Fernando López Rodríguez, Aprovechamiento Energético del Residuo Ganadero. México: Agencia Extremeña de la Energía.

Hernández, F. M. (2015). 10 Casos del Éxito en el Sector Industrial. Nuevo México: Nuevas Ideas.

IDAE. (14 de 10 de 2016). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Obtenido de Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía: <http://www.idae.es>

Ingeniería, E. (24 de 08 de 2013). Tecnología Sustentable. Obtenido de Tecnología Sustentable: <http://www.eg-ingenieria.com.ar/>

Kumar, A., Mandal, B., & Sharma, A. (2015). Advancement in Biogas Digester. New Delhi: Green Energy and Technology.

Liset, R. A. (2014). Generación de energía renovable a partir del desarrollo de actividades en el departamento de Madre de Dios. Iquitos.

Lopez Rodriguez, F., & Lahoz, A. (2014). Aprovechamiento energético del residuo ganadero. España: Agencia Extremeña de Energía. Milton, F. (2006). El pensamiento economico de milton friedman - IESE Business School.

MINEM. (12 de 03 de 2014). Plan Energético Nacional 2014 - 2025. Recuperado el 20 de 10 de 2016, de: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/2reseje-2014-2025%20vf.pdf>

Nagami Balagurusamy, K. C. (2012). Avances Tecnológicos en la Producción de Biogas. Sevilla: Academia Española.

Paz Hernández, O. G. (2012). Evaluación del balance de masa y energía para el diseño de un Biodigestor. En O. G. Paz Hernández, Evaluación del balance de masa y energía para el diseño de un Biodigestor. Mexico: Colima.

Pérez, E. M. (2008). Energías Renvables, Sustentabilidad y Creación de Empleo. Madrid: GALLEGO & PÉREZ - ENCISO.

Perú, P. U. (11 de 11 de 2015). Energías Alternativas. Recuperado el 20 de 10 de 2016

Prutton, M. Y. (2008). Fundamentos de Físicoquímica. Mexico: LIMUSA.

Tecnológicos, C. d. (12 de 05 de 2014). Universidad de Las Tunas, Cuba. Obtenido de Universidad de Las Tunas, Cuba: <http://www.cubasolar.cu>

Vela, J. G. (2009). Energía Renovable. Barcelona: Reverté.

Weto. (sf). Demanda energetica en el mundo.

Centro de Tecnologías Ambientales y Energía Facultad de Ingeniería Olavarría Universidad Nacional del Centro del la Provincia de Buenos Aires / cTAE-FIO

Estela Santalla **Olavarría - Argentina** esantall@fio.unicen.edu.ar

Asistencias técnicas para UNIDO:

Análisis de proyectos de bioenergía en Argentina (2016), para Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación: elaboración del Inventario de Residuos (2012) y acciones de mitigación para Argentina, para BID: estudio de factibilidad para la producción de electricidad a partir del biogás del relleno sanitario San Javier (Salta, 2013), para la empresa Las Camelias: desarrollo del proyecto de reducción de emisiones de GEIs bajo el Protocolo de Kyoto, para la empresa DISA Constructora S.R.L: diseño y puesta en marcha de la planta de captura de biogás en San Javier (Salta, 2010), para la Municipalidad de Olavarría: dirección técnica del proyecto de captura de biogás en el relleno sanitario (2010), para el Banco Mundial: para desarrollar el diagnóstico y acciones para mejorar la gestión de emisiones en la producción bovina, porcina y avícola (2008).

Publicaciones científicas:

Potential methane production of spent sawdust used in the cultivation of *Gymnopilus Pampeanus*. J. of Environmental Chemical Engineering. 4: 4418-4425. 2016.

The Effect of Different Inoculums on Anaerobic Digestion of Swine Wastewater. Journal of Environmental Chemical Engineering. 4 (1), 115-122. 2016. Efecto de la estabilización biológica sobre el potencial de biometano de los residuos sólidos urbanos. AA2017 III Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental. 2017.

Biomethane potential of urban, agroindustrial residues and energy

crops from pampean región. V Simposio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais. 2017. Influence of substrate to inoculum ratio on anaerobic digestion of cheese whey. V Simposio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agrope-

cuários e Agroindustriais. 2017. The Effect of Substrate/Inoculums Ratio on the Kinetics of Methane Production in Swine Wastewater Anaerobic Digestion. SISEBE. 2016. Dirección de becarios de grado y de posgrado en bioenergía, energías renovables, ingeniería química.

Foto 1: En la fila de atrás: MSc. Ing. Gabriel Blanco, Lic. Romina Bladi, MSc. Ing. Estela Santalla, Ing. Guillermo Saitti. En la fila de adelante: Matías Martínez (estudiante de Ingeniería industrial), Luisina Aristarán (Estudiante de Ing Química), María Inés Serrano (estudiante de Ing Industrial) y Dr. Ing. Verónica Córdoba.



Foto 2: Verónica Córdoba, Estela Santalla y Luisina Aristarán.

Grupo de investigación de la Planta Experimental de Biogás

Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Cuyo / FCA-UNCuyo

Andrea Roxana Hidalgo **Mendoza - Argentina** hidalgoandrea9@gmail.com ✉

El grupo de investigación de la Planta Experimental de Biogás de la Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Cuyo, nace con la iniciativa de investigar y capacitar sobre el desempeño de residuos orgánicos de la agroindustria local en procesos de metanización.

En el marco del proyecto "BIOGÁS: una alternativa para el tratamiento de residuos de la industria alimentaria", financiado por la SeCTyP-UNCuyo, se evaluó la capacidad generadora de biogás de residuos de la agroindustria mendocina, a escala de laboratorio y en el biodigestor de la Planta Experimental de Biogás. Resultados de estas investigaciones se

divulgaron en encuentros, congresos, seminarios, simposios y publicaciones de diversa envergadura: locales, provinciales, nacionales e internacionales. Se cruzaron fronteras como las de El Salvador, México, Costa Rica y Chile; favoreciendo el intercambio de experiencias con pares latinoamericanos.

Como parte de la transferencia de resultados, el grupo hoy integra el proyecto "Tratamiento integral de residuos sólidos de mercados de concentración agrícolas de Mendoza" (financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica), buscando aportar soluciones a la problemática relativa a la gestión de los residuos que generan

los mercados agrícolas de Mendoza. Enfocado en dicha línea, además ejecuta el proyecto "Caracterización y valorización de los residuos sólidos en mercados de concentración frutihortícola de la provincia de Mendoza. Su transformación en un recurso reutilizable", financiado por la SeCTyP-UNCuyo, en pos de disminuir el envío de residuos a vertederos a cielo abierto.

En este contexto el grupo aspira a contribuir en la difusión de la biodigestión anaeróbica como parte de los procesos productivos y a una mayor vinculación con el medio; acciones orientadas a cumplir su objeto vital: mejorar la calidad de vida mediante el descenso de la contaminación ambiental que producen aquellos desechos orgánicos que carecen de valor económico.



Clasificación de residuos provenientes de mercados frutihortícolas de Mendoza.



Biodigestor de la Planta Experimental de Biogás de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNCuyo.

GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Grupos de trabajo

Grupo de Trabajo I

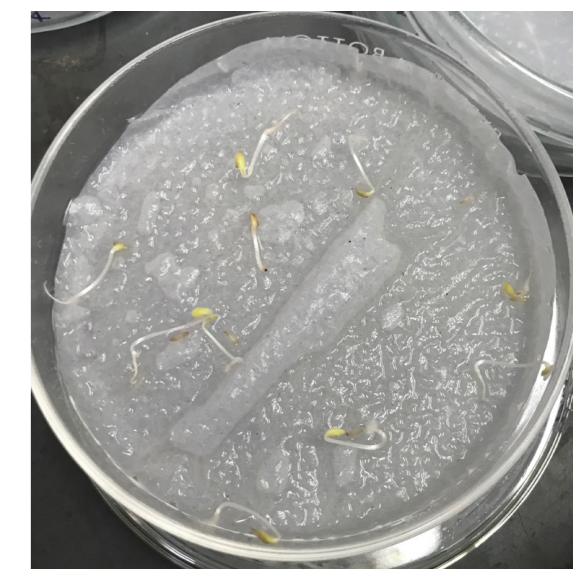
Evaluación de biol de segunda generación (Biol IIG) producido a través de biodigestores alimentados con excretas de vacunos y residuos agrícolas

Lawrence Quipezco, Yuditanduly Acuña; Diana Fajardo, Mauricio Sierra, Víctor Meza, Juan Juscamaita, y Robert Cotrina L.

Este trabajo es una investigación conjunta que está enmarcado dentro del proyecto de mejoramiento de la productividad agrícola y tratamiento de residuos con tecnologías de energía renovable en las comunidades de Barrio Bajo y Barrio Alto, distrito de Matucana, Huarochirí, Región Lima que será desarrollado por el IICA y la UNALM. Se pretende aportar a la solución de esta problemática con la implementación de biodigestores para el

tratamiento de los residuos contaminantes generados por las actividades en la zona y de los cuales se generará el Biol IIG.

En los avances del proyecto se han realizado ensayos preliminares para la generación del fertilizante orgánico mediante un complejo de bacterias llamado BIOLAC, producido a partir de la fermentación homoláctica. Esta metodología proporciona un biol de mayor valor nutricional para los cultivos en general, eliminando además cualquier agente patógeno que pudiera afectar la salud de las personas.



Germinación de semillas Biol IIG

Grupo de Trabajo II

Biodigestión semiseca y uso de hidrolavadoras con motores alimentados con biogás como herramienta para disminuir la huella hídrica y energética en sistemas agropecuarios sostenibles a pequeña y mediana escala

Rebeca García, Alex Gilman, Mabel Quintero, Franklin Patiño, Jaime Martí, Jair Orosco, Lylian Rodríguez, Marco Vega, Arnoldo Ávila, María Gabriela Elizondo y Lucía Descarpontriez.

El objetivo de este grupo es solucionar la problemática que se viene dando en muchos lugares respecto a la disponibilidad de agua, y energía para la producción agropecuaria. El plantearse este problema como una oportunidad

es la estrategia que el grupo quiere probar y poner en marcha; el grupo se encuentra evaluando la eficiencia de biodigestores de bajo costo alimentados con diversos residuos disponibles en el lugar (estiércol animal además de residuos orgánicos producidos a partir de la elaboración de alimentos) y prácticamente nulo aporte de agua, a partir de la recirculación del digestato. Adicionalmente, se busca adaptar y acondicionar hidrolavadoras para su funcionamiento a partir del biogás

generado, ofreciendo la posibilidad de limpiar establos con una menor huella hídrica, pero a su vez, un eficiente sistema que ayuda a evacuar el estiércol hacia su lugar de tratamiento. De esta manera se reemplazan combustibles fósiles, sin dejar de aprovechar las funcionalidades de la hidrolavadora.

Hasta el momento el proyecto ha impulsado varios frentes, ha realizado los análisis de laboratorio necesarios, ha permitido el acercamiento y la

divulgación entre estudiantes y la comunidad, en Colombia y Costa Rica, quienes han podido conocer de cerca el funcionamiento de un biodigestor, y todas las implicancias que esto conlleva. De esta manera se visibiliza y pone en práctica metodologías que muchas personas jamás hubieran imaginado. Hoy las hidrolavadoras se encuentran funcionando a biogás, lo que hace entendible el concepto de huella ecológica

del proyecto, para todos y todas, ya que las personas aportando con materia orgánica han logrado comprender la utilidad que tiene el proyecto, de cerca e involucrados. El hecho de convocar a universidades, la comunidad y las personas desarrollando la tecnología, desde la práctica, ha resultado ser exitoso y muy alentador. Desde el proyecto se está realizando una tesis de grado y propuestas a fondos internacionales.



Intercambio estudiantes de bio-ingeniería universidad El Bosque.



Boquilla tipo Venturi para la adaptación del biogás al motor.



Medición de flujo de biogás.



Medición de flujo de biogás.

Grupo de Trabajo III

Prototipo de biodigestor con aporte solar térmico, para pequeña agricultura en la zona central de Chile y apoyo en la formación de técnicos en Energías Renovables

Andrea Carvajal, Eduardo Giesen, Rodrigo Valdovinos, Claudia Barrera, Mariela Pino.

Este grupo de trabajo quisiera resolver el problema de bajas temperaturas invernales en las latitudes 33° del hemisferio sur, al sur, en donde los promedios de t° mínimas en los meses más crudos rondan el rango de los 2,5°C a 5,2°C por al menos 5 meses del año. La zona central de Chile tiene inviernos con alta radiación solar; en el centro de formación técnica ya se enseñan las materias relacionadas al aprovechamiento de energía solar fotovoltaica y térmica, con la inclusión de un biodi-

gestor de bajo costo con apoyo de un sistema de entrega de calor a partir de un sistema solar térmico, se podría complementar ambas tecnologías para alcanzar el funcionamiento y la producción de biogás y digestato a lo largo de todo el año. El objetivo además se justifica en la alta demanda e interés en ofrecer las carreras de agricultura con un enfoque más orgánico y más cercanos a la permacultura que la agricultura convencional, tan arraigada y masificada en LAC. Los biodigestores han sido señalados como una tecnología que podría tener un gran desarrollo en ese país, lo que se ha evidenciado en algunas iniciativas gubernamenta-

les por darle desarrollo (biogás lechero, y biogás porcícola), por lo tanto se hace necesario contar con los escenarios para crear capacidades y alcanzar desarrollos.

La temática es común para varias zonas frías de la región, y si bien presenta desafíos importantes relacionados al financiamiento, instalación y a la mantención de los sistemas planteados, su combinación representa una oportunidad de generar conocimientos y desarrollos entre estudiantes y docentes. El espacio además contempla la inclusión y participación de pequeños agricultores de la zona. En las primeras activida-

des quedó de manifiesto el interés de los alumnos por aprender sobre la digestión anaeróbica de escala doméstica, la que en estas latitudes es aún poco conocida.



Grupo de Trabajo IV

Difusión de conocimiento en biodigestión, biogás y digestato en América Latina y Caribe

Cursos en la modalidad a distancia y planeamiento de un proyecto de largo plazo

Iara Bethania, Rafael Gonzalez, Leidiane Mariani, Ricardo Steinmetz, Airtun Kunz, André Cestorano, Haroldo Ramires, Marcelo Alves.

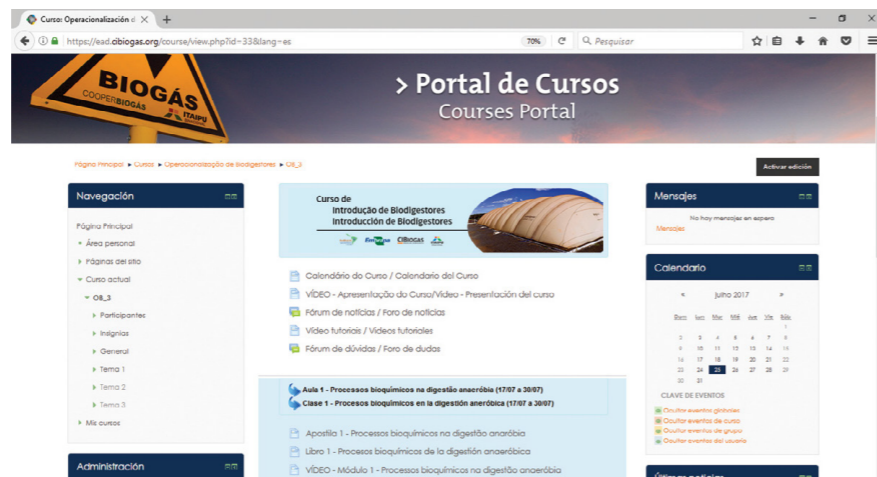
Enfocados en la educación remota, este grupo de trabajo se ha enfocado en el eje estratégico de educación que busca desarrollar la red. Con pleno conocimiento del potencial que brindan los avances tecnológicos hoy en día y con un alto interés observado en la región, el CIBiogas ha iniciado esta colaboración con la red para sacarle máximo provecho a los cursos que ya tenía preparados, y a su vez seguir mejorando y ofreciendo nuevas y más completas temáticas en el futuro.

La modalidad de cursos a la distancia a través de internet resulta ser del interés de muchas personas trabajando en temas relacionados. Hasta el momento hemos logrado la participación de unas 60 personas en los 2 primeros cursos que se tradujeron para la ocasión, los que se conforman por estudiantes de doctorado, técnicos, y estudiantes, además de docentes y personas en cargos públicos y agencias de cooperación. El objetivo de esta primera iniciativa es probar la factibilidad y recibir retroalimentación de los participantes, y que se generen nuevos vínculos entre los 9 países representados. Los contenidos del curso se actualizarán y complementarán para que cubran la vasta variedad de temáticas y realidades de la región, en un trabajo presencial que se realizará durante el 9° Encuentro.

Algunos testimonios de los participantes del curso frente al interés en aprender sobre biogás:

"Hice prácticas profesionales en varias empresas y me pude dar cuenta de lo mal que se hacen las cosas, la gente ha perdido su conexión con el medio que la rodea, las decisiones que se toman ponen a la empresa como algo externo, como si estuviesen separadas del medio ambiente... pero somos uno y lo que hagamos sobre este nos repercute ahora, y nos seguirá repercutiendo en el futuro".

"La niña de la foto es mi sobrina, para mí representa a todos los niños del mundo que desean ser libres y por sobre todo a quienes debemos asegurarles sus derechos; de nosotros depende ofrecerles alimentos sanos y un medio ambiente seguro, además de una educación que esté al servicio de la sociedad".



Portal online CIBiogas.



¡Orgullo latino de llevar tecnología, financiamiento y servicio de clase mundial a tu región!

¡SÚMATE AL RETO!

Soluciones DA de 2-200m³
Uso Doméstico - Productivo
Baños - Agroindustria





ENSPAR Biogas GmbH

¡Dale valor a tus residuos!

ENSPAR Biogas GmbH es una empresa internacional con sede en Renania del Norte-Westfalia, Alemania; líder en soluciones tecnológicas orientadas a la producción de biogás.

Con base en nuestra amplia experiencia, enfoque innovador y capacidad de adaptación; le ofrecemos una solución apropiada para diferentes sectores de la industria. Realizamos un diseño personalizado, a partir de la cantidad y los tipos de residuos orgánicos que se generen; ya sea en el sector agrícola, ganadero, industrial y/o municipal.

Potencial de generación de biogás en América Latina

Debido al constante crecimiento de la demanda de energía, la tecnología de producción de biogás toma un papel importante en la diversificación de la matriz energética. Además, las plantas de biogás ofrecen una excelente oportunidad para el manejo de residuos orgánicos y la reducción de los gases de efecto invernadero.

El proceso de producción de biogás puede incorporarse fácilmente a los diferentes sectores y actividades con el fin de prevenir los daños a los ecosistemas.

Latinoamérica tiene un alto potencial de producción de biogás, debido a la gran cantidad, disponibilidad y variedad de materia de origen vegetal, animal, agroindustrial y doméstico; por ejemplo, estiércol, purín, residuos de matadero, cultivos energéticos, lodos de depuradora, malezas, rastrojo de cosecha, forraje, melazas, residuos de semillas, entre otros.

Usos y beneficios del biogás

Al operar un sistema de biogás usted contribuye significativamente a la transición energética; además de aprovechar el aumento de la rentabilidad de su proceso mediante el uso de energía renovable. Una planta de biogás brinda diversos beneficios; por ejemplo, la disminución de costos en combustibles fósiles, la reducción de emisiones, los malos olores de la materia orgánica en descomposición y la reducción de contaminación del suelo, aire y agua.

El biogás es una fuente versátil para la generación de energía eléctrica y calorífica en zonas urbanas y rurales; ideal para el desarrollo de proyectos energéticos en este último. Al mismo tiempo, el biogás, puede ser convertido en biometano, cuyas características son similares a las del gas natural. Por otro lado, al procesar los residuos orgánicos en la planta de biogás, se obtiene un material con un alto contenido en nutrientes (digestato); el cual, se puede utilizar como fertilizante.

¡ENSPAR Biogas GmbH le ofrece una garantía de ÉXITO en su instalación de biogás!

Texto
Abigail Pérez Ortiz
 Ingeniera de Proyectos – ENSPAR Biogas GmbH
 e-mail: ortiz@enspar.de

Michael Hannes
 CEO – ENSPAR Biogas GmbH
 e-mail: hannes@enspar.de



Planta de biogás en los países bálticos
 Sustrato: Estiércol porcino y residuos de matadero.
 Capacidad eléctrica: 190 kW



Planta de biogás en Asia del Este
 Sustrato: Desechos alimenticios, pasto, cereales, residuos de separadores de grasa. Capacidad eléctrica: 370 kW

Para más información

ENSPAR Biogas GmbH
 Paderborner Str. 44, 33181 Bad Wünnenberg Haaren
 Alemania
 Tel: +49 2957 9842 770 | Fax: +49 2957 984 888
 www.enspar.de | enspar@enspar.de

Consejo directivo RedBioLAC



Mariela Pino
 Chile
 Coordinadora General



Gloria Pedraza
 Colombia



Lylian Rodríguez
 Colombia



Fernando Acosta
 Perú



Guillermo Zinola
 Uruguay



Joaquín Viquez
 Costa Rica



Mariano Butti
 Argentina



Lucas Gallo
 Argentina



Leidiane Mariani
 Brasil



Rafael González
 Brasil

VI OG AZ

INNOVACIÓN
 SOLUCIONES INTEGRALES
 IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL
 ASESORÍA PERSONALIZADA



BIODIGESTOR

+info

info@viogaz.com
 www.viogaz.com

Disponibles en Costa Rica y Nicaragua



HONDURAS 2013



PERÚ 2009

OPORTUNIDADES PARA EL DESARROLLO DE UN SECTOR SOSTENIBLE DE BIODIGESTORES DE PEQUEÑA Y MEDIANA ESCALA EN LAC

Red de Biodigestores para Latinoamérica y el Caribe, RedBioLAC

Jaime Martí Herrero, Mariela Pino Donoso, Lucas Gallo Mendoza, Gloria Ximena Pedraza, Lylian Rodríguez Jiménez y Joaquín Viquez Arias



NICARAGUA 2012



COSTA RICA 2010



2016
www.redbiolac.org



MÉXICO 2011



COLOMBIA 2014



COSTA RICA 2016



CHILE 2015