



REVISTA

RedBioLAC

TERCERA EDICIÓN | 2019

ESTUDIOS DE CASO, ARTÍCULOS
ORIGINALES Y CÁPSULAS EDUCATIVAS
EN TEMAS RELACIONADOS A LA
DIGESTIÓN ANAERÓBICA
EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE



BRAYAN A. PARRA O. | COLOMBIA

"El Encuentro de la RedBioLac para mí, es uno de los **eventos más importantes y el espacio propicio e ideal para conocer trabajos y experiencias** a la vanguardia en el avance tecnológico respecto a la producción y uso del biogás, como también de otros subproductos de valor agregado que se obtienen a partir de la digestión anaeróbica"



ITA PORTO - DIACONIA | BRASIL

O encontro é muito importante justamente pela característica de ser diversificado do ponto de vista do encontro de várias organizações, desde pesquisa até estratégia de negócio, tudo no mesmo lugar e de forma a proporcionar um diálogo de vários atores diferentes, no âmbito de biodigestores de escala doméstica, de médio porte e de grande porte.

Nós percebemos nas duas participações nos Encontros (2017 e 2018) como foi **importante ver pessoas pensando de forma semelhante a nós em vários âmbitos e perceber que não estamos sós e que se pode fortalecer em rede.**

Particularmente é importante estar no encontro pois posso agregar mais conhecimento ao trabalho que executo na Diaconia, sobretudo e mais estratégico ainda, poder traduzir esse conhecimento para quem tem mais interesse, que são as famílias beneficiárias dos projetos que executamos. Essas famílias passam a perceber e entender que, por meio dos biodigestores, além da produção do gás para cozinhar, há a ampliação da fertilidade do solo da propriedade e, especialmente, que isso tem impacto social e ambiental no planeta, por exemplo para as mudanças climáticas.

Espaços como os proporcionados pela RedBioLAC nos dão mecanismos e ferramentas para pensar em maneiras de compartilhar e trocar experiências, com o objetivo de melhorar nosso trabalho e aumentar o alcance e o impacto de nossas ações no Brasil.



JEAN VELÁSQUEZ | PERÚ/BRASIL

El evento de la RedBioLAC puede traer grandes oportunidades profesionales y laborales; particularmente he participado de unas 5 ediciones, en las que he podido ampliar mi red de contactos, establecer colaboraciones con otros profesionales y encontrar socios estratégicos para proyectos relacionados a la digestión anaerobia y afines.

Pienso que la participación en esta XI edición del Encuentro, sin duda traerá **nuevas perspectivas y planteará nuevos desafíos para la integración de la digestión anaeróbica en el ámbito rural y urbano**, proponiendo nuevas soluciones para la mejora de las tecnologías y procesos relacionados al incremento de la producción de biogás.



JIMMY ANDERSON MARTÍNEZ RUANO | COLOMBIA

"Participé en el IX encuentro RedBioLAC en Buenos Aires, Argentina. Fue una experiencia gratificante ya que **regresé a mi país con nuevos conocimientos, nuevas redes de investigación e intercambio de ideas** referentes a la producción de energía renovable en forma de biogás. Invito a participar de los futuros eventos a todos los que nos apasiona el tema de digestión anaeróbica, el aprovechamiento de residuos y la generación de biogás..."



LILIANA DEL PILAR CASTRO MOLANO | COLOMBIA

"Participé de Encuentro RedBioLAC en Argentina 2017 y Brasil 2018. Esos Encuentros son experiencias exitosas, donde se hacen amistades con personas apasionadas por la digestión anaerobia y se aprende de ellas, se crean redes de conocimiento y **se forman grupos de trabajo para investigaciones conjunto.**"

EDITORIAL COMITÉ EDITOR

En esta tercera edición de la revista de la red estamos muy satisfechos de presentar trabajos en torno a temas muy variados, y sin embargo todos muy relevantes para quienes vivimos y trabajamos desarrollando a los biodigestores en América Latina, pues visibilizan una serie de oportunidades y retos. Este año probamos con un llamado único al congreso y a la revista, y hubo una cifra récord de 120 envíos¹; esto demuestra que nuestro alcance crece y que cada vez somos más detrás de un interés común.

Este año les presentamos estudios de caso, artículos y cápsulas, en temáticas que van desde el tratamiento de los residuos de la producción de aceite de oliva en Argentina, pasando por el control de una planta acuática en estado de plaga en Brasil, hasta residuos de la agroindustria en Argentina y Paraguay, donde podemos evidenciar que todos pasan a ser recursos útiles cuando se utiliza la digestión anaeróbica (DA). Esto nos hace comprobar una vez más la versatilidad de los biodigestores y el impacto positivo que ofrecen.

Metodologías de viabilidad de sustratos periurbanos, trabajos sobre monitoreo o pruebas de laboratorio de “bajo costo” representan la demanda por técnicas e instrumentación asequible y de libre uso. Por otro lado, la adaptación de motores convencionales a su uso con biogás viene siendo un tema frecuentemente desarrollado en diversos equipos de trabajo en América Latina. Entendemos por lo tanto que empieza a ser uno de los temas en donde vemos un evidente potencial de intercambio y colaboración, y quienes han estado desarrollándolo podrían llegar a convertirse en un **grupo de trabajo** para liderar esta discusión y sus desarrollos. ¡Quisiéramos que todos entiendan la posibilidad de articularse en grupos de trabajo en temas que tengan en común!

Nos alegra conocer cada vez más sobre Brasil y su contexto específico en la agricultura familiar campesina. El artículo sobre los pequeños porcicultores y el potencial de aprovechamiento que tienen al instalar

un biodigestor familiar; y por otro lado el estudio de caso que nos expone Diaconia en el nordeste brasileño. Con una situación socioambiental de bastantes dificultades en las cuales el biodigestor sertanejo juega un rol fundamental al ofrecer el reciclaje de nutrientes, y la generación de biogás.

Es también muy relevante la experiencia de El Salvador, quienes implementaron un proyecto asociado a la generación de capacidades y la entrega de conocimientos y herramientas a los estudiantes de un instituto rural. Esperamos que cada vez más salvadoreños y en general más centroamericanos se involucren en la red y se sumen a la comunidad de los biodigestores.

Vemos que se abre una puerta a la generación de etanol de 2° generación (a partir de residuos), y en este proceso la DA pasa a ser una parte clave del sistema, ya que disminuye considerablemente su huella ecológica; o bien esta forma de tratamiento de residuos pasa a tener un mejor análisis de ciclo de vida comparativamente (incluimos un artículo al respecto del ACV desde Colombia).

A partir de todas estas experiencias y las cápsulas educativas comprobamos la relevancia de la tecnología y las buenas prácticas asociadas a su implementación, en variadas escalas, para diversos residuos y climas; y cómo el ingenio y el desarrollo local de soluciones podrán brindar soluciones y alternativas a más personas. Resulta fundamental el buscar entonces incorporar estos conocimientos entre estudiantes de zonas rurales, y en profesiones en las que no es tan evidente a primera vista el vínculo a la DA.

La DA de residuos se nos abre hoy no sólo como una posibilidad, sino que más bien como un deber: hacernos cargo de nuestra generación y adecuada disposición de residuos orgánicos; maximizando el reciclaje de nutrientes y materia orgánica y la generación de energía con el objetivo de mitigar el efecto de las prácticas de producción y consumo convencionales.

EDITORES



Yuditanduly Acuña - Colombia



Nicolás Martín - Argentina



Liliana Castro - Colombia



Andrés Donoso - Chile



Leidiane Mariani - Brasil



Gloria Pedraza - Colombia



Mariela Pino - Chile

¹Agradecimientos a todos los académicos y expertos que este año colaboraron en la evaluación de los trabajos recibidos

Al escribir esta editorial evidenciamos como está ardiendo el Amazonas, y somos testigos de una crisis climática, la que desafortunadamente anticipa sequías, cambios en los patrones de clima a los que estábamos acostumbrados, y toda la cadena de efectos que esto traerá consigo para todos los seres vivos y sobre todo el planeta. Es tiempo de que impulsemos las prácticas más sustentables que tengamos a disposición, que vayamos “de-construyendo” ciertas metodologías o formas de hacer las cosas, de producir y consumir. Es urgente que incentivemos y busquemos introducir la DA en todas las escalas, y en todos los sectores en donde es factible utilizarla, de mostrarla como una práctica que trae muchos beneficios a las personas, a las comunidades, a la biodiversidad y al futuro de los jóvenes, niños y niñas de hoy. Masificando su uso y correcto aprovechamiento estaremos trabajando en disminuir nuestra huella ecológica, y más importante que nunca: el impacto de nuestra presencia sobre la tierra hoy, por un mañana.

Todos podemos sumarnos a esta misión, los invitamos a leer y digerir conscientemente los artículos, estudios de caso y cápsulas educativas; pero también los invitamos a sumarse a colaborar en red, para alcanzar mejores resultados y aprovechar de compartir información para su difusión y su utilización; y por supuesto a exigir y demandar productos genuinamente amigables con las personas y el medio ambiente.

¡Esperamos lleven esta revista de regreso a sus países y la compartan con su entorno profesional, social y familiar, que hablen de los temas presentados, y difundan inclusive las descargas en nuestra web!

El comité editor 2019.

Concejo Directivo

Fernando Acosta (Perú)
Yudtanduly Acuña (Colombia)
Mariano Butti (Argentina)
Carolina Hernández (Costa Rica)
Ricardo Steinmetz (Brasil)
Guillermo Zinola (Uruguay)

Concejo Honorario

Alex Eaton (México)
Lucas Gallo (Argentina)
Jaime Martí (Ecuador)
Lylian Rodríguez (Colombia)

Editores tercera edición

Yudtanduly Acuña, Liliana Castro, Andrés Donoso, Nicolás Martín, Leidiane Mariani, Gloria Pedraza, Mariela Pino

Imagen de tapa

Biodigestor Sertanejo, Proyecto Diaconia Semiárido Noreste Brasileño, 2019.

Impresión

Impresos Socias

Equipo Coordinador

Coordinación General

Mariela Pino (Chile)
mariela@redbiolac.org

Coordinación Contenido Técnico

Joaquín Viquez (Costa Rica)
(Hasta julio 2019)

Coordinación Interinstitucional

Gloria Pedraza (Colombia)
gloria@redbiolac.org

Coordinación Comunicaciones

Leidiane Mariani (Brasil)
leidiane@redbiolac.org

www.redbiolac.org

Diseño gráfico

Fabian Donoso
f.donosobarrera@gmail.com

Registro

Referencia: Revista RedBioLAC, Tercera Edición, 2019. Publicación anual. Red de Biodigestores para Latinoamérica y el Caribe
ISSN: 2393-7394 - Formato físico
ISSN: 2393-7408 - Formato digital

Revista de entrega gratuita, prohibida su venta.

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

El espacio publicitario es con fines de financiar la impresión de la Revista y no implica que la RedBioLAC promueva las marcas o tecnologías publicitadas.

El contenido de los trabajos publicados es de responsabilidad de sus autores.

Esta revista ha recibido el apoyo de:



ÍNDICE

- 01 | Editorial
- 03 | Índice
- 04 | La RedBioLAC
- 05 | Novedades
- 06 | Redes Nacionales
- 08 | Anfitrión Encuentro 2019

CÁPSULA EDUCATIVA

- 25 | Expresión de resultados de laboratorio: ¿Cómo medir el volumen de biogás?
- 44 | ¿Qué hacer con los residuos leñosos (lignificados) disponibles en el campo y la ciudad, dado que no son adecuados para el biodigestor?
- 59 | Diseño de calefacción solar pasiva en biodigestores en climas fríos
- 77 | ¿Cómo determinar la calidad de un lodo digerido?

ESTUDIO DE CASO

- 14 | Monitoramento da rede de biodigestores de Diaconia no Semiárido do Brasil com uso de data loggers de baixo custo
- 18 | Experiencia piloto de implementación de biodigestores de pequeña escala, para uso térmico, con fines demostrativos y desarrollo de capacidades técnicas en El Salvador
- 27 | Produção de biogás no âmbito da agricultura familiar no Semiárido brasileiro como proposta de convivência e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas: a experiência da ONG Diaconia
- 31 | Estimación en laboratorio del potencial de digestión de orujo de aceituna en La Rioja, Argentina

ARTÍCULO

- 34 | Análisis de ciclo de vida y evaluación económica de un esquema de aprovechamiento de biomasa residual a través de co-digestión anaerobia
- 39 | Diagnóstico de disponibilidad de biomasa húmeda residual ganadera para biodigestión en el periurbano de Villa María, Córdoba, Argentina
- 48 | Produção de biogás a partir de vinhaças 1g, 2g e licor de pentoses
- 53 | Avaliação da eficiência de um biossistema integrados para pequenos suinocultores no âmbito do tratamento do efluente, produção de biogás e aplicação do biofertilizante no solo
- 62 | Potencial de producción energética a partir del biogás de residuos agroindustriales en Paraguay
- 65 | Evaluación del desempeño de un motor de combustión interna a gasolina convertido a biogás
- 69 | Propuesta de Reactor de Flujo Pistón Automatizado para Digestión Anaerobia
- 73 | Uma solução duplamente vantajosa na produção de biogás a partir da codigestão de dejetos bovinos e macrófita aquática invasora (*Hydrilla verticillata*)



Carolina Hernandez



Fernando Acosta



Guillermo Zinola



Mariano Butti



Ricardo Radis



Yuditanduly Acuña

LOS BIODIGESTORES Y LA ECONOMÍA CIRCULAR

La relevancia de la digestión anaeróbica en todas las escalas, y en todos los diálogos

Mucho se habla hoy en día de la economía circular en América Latina, **y los biodigestores no podrían ser uno de los mejores ejemplos en ofrecer circularidad de los recursos.** Nos hacemos cargo de residuos orgánicos, para su transformación y aprovechamiento a partir de 2 productos: biogás (energía en forma gaseosa) y el efluente del digestor (el que **frecuentemente puede ser aprovechado como abono de suelos y fertilizante de cultivos**). Esto, por supuesto, no podría lograrse sino fuera por la voluntad, el interés y la cabida que tiene esta tecnología en los procesos de la pequeña y mediana industria, las PYMES agropecuarias, las plantas de tratamiento de aguas residuales, los pequeños productores agropecuarios, y la agricultura familiar campesina.

Si bien hay formas de producción y tratamiento de residuos producto de la existencia humana con mayores o menores huellas ecológicas, y por lo tanto diferentes consecuencias desde estas formas de producción y tratamiento (intensiva, extensiva, agroecología, permacultura, agricultura basada en agroquímicos, monocultivos, tratamientos y producción centralizada o descentralizada, agricultura familiar campesina¹, etc) **estamos claros que la introducción de los biodigestores y aprovechamiento de sus 2 productos, bien diseñados y operados, es siempre algo positivo y deseable.** La introducción de un biodigestor mejora los índices de autoabastecimiento y soberanía energética y alimentaria: parámetros de sostenibilidad y eficiencia de la producción de alimentos y bebidas, energías, y de la gestión de manejo de aguas residuales² y residuos de

la alimentación³; y por supuesto mejora los índices de sostenibilidad en todas las escalas y sistemas mencionados, dada la recirculación de nutrientes, y cuidado y mantención de los suelos⁴ sometidos a producción de alimentos.

La práctica de promoción de la implementación y desarrollo de biodigestores en la región ha quedado relegada desde la mayoría de los estados y entidades públicas, a pesar de ser una práctica genuinamente circular, y que a diferencia de otras tecnologías últimamente promovidas (Waste to energy) sus insumos no provienen directamente de los subproductos de combustibles fósiles, y que se hace muy evidente sobre todo como forma de tratamiento de residuos. **Existen muy pocos ejemplos de un mecanismo tan beneficioso para el ser humano; y las formas de vida que necesitamos implementar cuanto antes para enfrentar la crisis climática actual, más allá de contribuir y colaborar a alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible para toda la población.**

En esta segunda década de trabajo de la red, será fundamental trabajar en la incidencia en torno a las políticas públicas que incorporen estas prácticas, y que por lo demás le saquemos el mayor provecho a esta magnífica posibilidad de trabajo en red, de buscar e incentivar la colaboración, la articulación, el diálogo y el intercambio de conocimientos entre quienes deseamos un **futuro que tendrá que enfrentar cada vez mayores desafíos.** Quienes nos dedicamos a ello en nuestro diario vivir tenemos una responsabilidad y una gran oportunidad: desarrollar e incentivar su uso, su visibilización, y su impacto frente a muchas otras prácticas, y alzar nuestras voces y sueños en torno a formas de vida cada vez más

¹En la AFC la incorporación de un biodigestor que utilice estiércol de animales de traspatio, reduce hasta 6 ton CO2 equivalentes al año, por reemplazo de combustibles convencionales y manejo de estiércoles

²El tratamiento de aguas residuales que incorpora la DA disminuye de 26 a 94 veces el costo de operación comparado al tratamiento aeróbico

³El tratamiento de materia orgánica domiciliar segregada podría disminuir el 50% o más de los residuos urbanos municipales yendo a rellenos sanitarios en América Latina, y los costos asociados a ello (GEI, transporte, pérdida de materia orgánica, etc)

⁴Mejora la disponibilidad de nutrientes y materia orgánica, micro y macronutrientes, fitohormonas, mantener humedad, disminuir viabilidad de semillas de malezas, y patógenos, hongos y bacterias, y disponibilidad de nutrientes desde estiércoles.

respetuosas de la salud del ser humano, de nuestros suelos, el aire que respiramos, los ríos, el bienestar animal, y en general el desarrollo armónico en ciudades, campos y comunidades.

Desde el concejo directivo y honorario, el equipo coordinador y nuestros socios, los dejamos invitados a participar del espacio de creación de grupos de trabajo para fortalecer el trabajo que venimos empujando, en el XI congreso en Varadero, y por supuesto a lo largo del año, a sumarse a nuestras posibilidades virtuales de apoyo y colaboración.

Consejo directivo RedBioLAC 2019

NOVEDADES DE LA redBioLAC

Mucho ha pasado desde que nos reunimos en Brasil el año pasado, por un lado, la red peruana de biodigestores ha seguido alcanzando nuevos hitos y actividades, desde su anuncio en Foz de Iguazú; y por otros lados internamente también hemos hecho algunas modificaciones...les contamos que hemos hecho este año:

-Desde inicios de este año ya estamos trabajando en un **equipo coordinador**, el que se divide las tareas en 4 grandes coordinaciones: general, de contenido técnico, interinstitucional y de comunicaciones. El objetivo es incrementar la participación de personas que puedan aportar desde sus diversos puntos geográficos, y así darle mayor visibilidad a la red.

-Anunciamos y compartimos las **formas de colaboración a partir de grupos de trabajo** para sumarse como miembros de la red, y ya hemos firmado varios convenios de colaboración. Así todos quienes quieran contribuir pueden comenzar haciéndolo con pequeñas contribuciones, y en la medida de lo posible ir gradualmente aportando a la actividad de toda la región latinoamericana. La invitación es a integrarse al trabajo en red y aprovechar esta gran plataforma que hemos creado, para darle la forma que veamos es provechosa y ajustada a nuestras necesidades, y así lograr nuestros objetivos¹ y lograr nuestra visión.

-En cuanto a comunicaciones hemos tenido un fuerte progreso en redes sociales y medios digitales. La página web y su biblioteca estarán modificándose y esperamos crear un **espacio digital de autoría colaborativa** para el intercambio de conocimientos entre los profesionales de la región. ¡Te invitamos a sumarte!

-Otra de nuestras proyecciones tiene que ver con la realización de más cursos presenciales a nivel latinoamericano, junto a un curso introductorio en línea en cooperación con CIBiogás (**cursos duales**), para maximizar nuestro impacto y generar capacidades aprovechando a los miembros de la red y las herramientas digitales.

-Continuamos brindando webinars (**seminarios web**) regularmente junto a IICA y ProCitrópicos, por lo que hemos confirmado el gran interés que siguen presentando los títulos

técnicos entre el amplio abanico de temáticas en el mundo de la digestión anaeróbica

-El **“Primer Seminario peruano de biodigestores de pequeña y mediana escala para el aprovechamiento de residuos orgánicos”** contó con la presencia de diferentes miembros del concejo directivo de la RedBioLAC, quienes asistieron para colaborar con la Red peruana, y se organizó junto a la Perú BioRed, la UNALM y CIDELSA, y contó con el apoyo del Círculo de Investigación: Biogás & Biometano de la UNALM y TERE Solutions.

-En julio nos reunimos internamente en Lima para nuestra II Reunión Estratégica, en el marco del 1º Seminario Peruano de Biodigestores. Fue muy relevante reunirnos fuera del Encuentro para intercambiar y delinear nuestros próximos pasos y comprometernos a desarrollar a la red en los próximos años, cómo también aprender metodologías y herramientas que nos permitan mejorar nuestras propuestas de proyectos. En particular nos hace falta trabajar en incidencia y políticas públicas, y continuar articulando a quienes deseen y puedan agruparse en temáticas específicas, para desarrollarlas (Grupos de trabajo).

Este evento tuvo entre sus objetivos dar a conocer los principales avances realizados en torno a los biodigestores en el Perú y países latinoamericanos, el fortalecimiento de la red peruana de biodigestores y el fomento de la vinculación de expertos nacionales como extranjeros en la formulación de nuevos proyectos de investigación e intercambio de conocimientos. A este evento asistieron 57 profesionales de diversas instituciones del estado, academia y ONGs procedentes de diferentes partes de Perú y algunos del extranjero.

Este es un resumen de los grandes temas que venimos desarrollando, y los que no serían posibles sin tener a un gran grupo de personas de toda América Latina, involucradas en la red, y comprometidas a intercambiar conocimientos, implementar nuevas modalidades de colaboración y articulación.

Tenemos un objetivo, y es el de fortalecer el trabajo que realiza la red, y que esta segunda década de actividades sea de provecho de todos quienes trabajamos en el tema, y más allá, para que los beneficios y el impacto positivo de la DA logre llevarse a cabo, para ello el llamado es a involucrarse para lograr la anhelada implementación (en esas industrias que aún no la conocen); capacitación para la instalación, puesta en marcha y operación de biodigestores, de todas las escalas, y todos los modelos, y en todos los climas; y que involucremos a las personas que están en el campo, en la industria y en la ciudad enfrentando hoy la problemática del tratamiento de residuos orgánicos, pero también a quienes desarrollan investigación en los laboratorios y en las universidades, y por supuesto a los tomadores de decisión en este flujo de información y de difusión.

¹ En nuestra página web pueden leer más sobre nuestra visión, misión, y los valores que compartimos todos quienes aportamos a la red.

REDES NACIONALES

Colombia

La Red Colombiana de Energía de la Biomasa RedBioCol, inicia en 2012 con la reunión de diversos actores interesados en promover la soberanía alimentaria y energética, en la Finca Ecológica TOSOLY, sede de la Fundación UTA en Guapotá, Santander, Colombia. Hoy se conforma de 65 organizaciones (organizaciones sin ánimo de lucro, fundaciones, universidades, centros de investigación, asociaciones, grupos de bases y ONGs). Actualmente se organiza por nodos regionales, territorialmente cercanos o con experiencias en temas de trabajo similares. Contamos con 5 nodos: **Nodo Santander, Nodo Antioquia, Nodo Meta, Nodo Valle del Cauca y Nodo Jóvenes por la Tierra.**

Ejemplos del impacto de los biodigestores como elemento de fortalecimiento a nivel personal, familiar y de la comunidad y del trabajo en RedBioCOL:

-Destacan los encuentros preparatorios al III Encuentro Nacional programado del 8 al 10 de noviembre en Pasto - Nariño, de los cuales ya se realizaron los de los **Nodos Santander y Jóvenes por la Tierra** de la RedBioCol.

-Granja porcícola Porcivel, un emprendimiento familiar liderado por el joven Rubén Hernández, en municipio de Vélez, Santander. Rubén se capacitó en la Fundación UTA sobre la instalación de biodigestores plásticos de flujo continuo y conceptos agroecológicos, ello con el objetivo de implementar estos saberes en su granja. Como producto del trabajo recibió hace cuatro años el apoyo del SENA regional Vélez por medio del programa SENA Emprende Rural. El proyecto se enfocó en el establecimiento y mejoramiento de la granja familiar mediante la instalación de un biodigestor como eje fundamental de su propuesta ambiental.

www.redbiocol.org



Ecuador

En el último año, la Red de Biodigestores de Ecuador (RedBioEc) junto con organizaciones de Íntag (norte del país) ha seguido impulsando la democratización del conocimiento técnico y práctico sobre digestores, a través de procesos de capacitación teórico/práctico realizados entre marzo y agosto. Se formó promotores y financió réplicas de la tecnología en la costa, sierra y oriente ecuatoriano, logrando captar el interés y apoyo del PNUD para algunas de estas actividades como aspecto integral del trabajo en paisajes productivos. Se nota un impacto de la multiplicación tecnológica; sin embargo, existe gran demanda por capacitación práctica en el país, y la RedBioEc ve en la democratización del conocimiento una estrategia eficaz para lograr la integración global de digestores al contexto nacional.

Diana Dominguez, Robinson Guachagmira, Sam Schlesinger (redbioec@gmail.com)



Asobiogás promueve el biogás en Costa Rica

En la Asociación Costarricense de Biogás queremos llegar a ser parte del motor que impulsa el desarrollo sostenible en el país y ser el referente técnico costarricense en el uso de la tecnología de la biodigestión anaerobia y sus productos para el sector público, privado, organizaciones no gubernamentales y la cooperación internacional. Luego de poco más de 4 años de gestión, seguimos trabajando e impulsando:

- El primer borrador de la Norma Voluntaria para la instalación de Plantas de Biogás
- Diálogos con el gobierno para operativizar la Hoja de Ruta de Tecnologías con base en Residuos de Biomasa.
- Diálogos con diferentes Ministerios del Gobierno Central para promover política pública que impulse e incentive el sector.
- La ejecución de un estudio para lograr la consolidación del mercado de la tecnología de biodigestión de pequeña y mediana escala en Costa Rica.
- Participación en las siguientes mesas de diálogo: elaboración de la Estrategia Nacional de Bioeconomía, NAMA Residuos, entre otros.

Adrián Sandí (info@asobiogas.org)



Red Peruana de Biodigestores

La Red Peruana de Biodigestores (PerúBioRed) se fundó oficialmente el 11 de octubre del 2018 en la ciudad de Lima. Esta red nace por la necesidad de contar con una plataforma de intercambio conocimientos, en donde se puedan compartir las experiencias, publicaciones, avances y problemas, cómo también identificar necesidades, entre otros intereses, de los miembros. Los objetivos de la red peruana son crear un banco de información nacional sobre biogás, digestión anaerobia y biodigestores; generar un espacio de dialogo e intercambio de experiencias entre expertos en temas de biodigestores en el país, y promover cursos y talleres de capacitación.

La red está formada por diferentes instituciones académicas, de la sociedad civil y el sector privado. En la actualidad la red está en un proceso de consolidación, por lo tanto, se ha conformado temporalmente una estructura de coordinación conformada por 5 miembros, que tienen entre otras, las funciones de coordinación general, secretaria y comunicaciones.

Fernando Acosta (perubioired@gmail.com)



EL FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS EN CUBA: EL PAPEL DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE PASTOS Y FORRAJES INDIO HATUEY

ANFITRIÓN ENCUENTRO 2019

M.Sc. Luis Cepero Casas, Dr.C. Jesús Suárez Hernández, Dr.C. Giraldo J. Martín Martín, Anobel Aguilar Hernández.
Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey,
Universidad de Matanzas, Cuba.
E-mail: cepero@ihatuey.cu

Desde 2009 la Estación Experimental de Indio Hatuey promueve la producción y utilización del biogás en el sector agropecuario cubano, con el apoyo de proyectos internacionales y en el marco de redes multi-institucionales. Ello posibilitó la construcción de 176 biodigestores con diferentes tecnologías en 22 municipios, a lo que contribuyó la formulación e implementación de estrategias locales de producción integrada de alimentos y bioenergía, con un uso diversificado del biogás, el aprovechamiento de los efluentes y el bioabono sólido en la mejora de suelos, y la creación de redes de suministro de biogás. De esta experiencia se extrajeron varias lecciones aprendidas, que incluyen el enfoque de producción integrada, el trabajo en red y en sinergias con actores, los procesos de innovación agrícola y estrategias locales, la incidencia en políticas, la incubación de nuevos proyectos, las alianzas con empresas industriales y otros proyectos, así como la sistematización y socialización de resultados.

Visión: Contribuir mediante la actividad científica y la innovación al desarrollo local sostenible a través de modelos agroecológicos que integren la producción de alimentos y energía, dirigido a fomentar el desarrollo económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar humano

Contextualización del país, y el rol de la Estación Experimental de Indio Hatuey

En Cuba, a principios de los años ochenta del siglo XX, la introducción de esta tecnología se enfocó principalmente a solucionar el impacto ambiental generado por destilerías y grandes centros porcinos y de engorde bovino, pero cobró gran auge entre las entidades productivas, sobre todo en vaquerías e instalaciones porcinas. Luego, con el paso del tiempo, un elevado número de estos sistemas fueron desatendidos, hasta que dejaron de funcionar la mayoría de las plantas instaladas, lo que se debió, principalmente, a los bajos precios de la corriente eléctrica en ese momento y a la poca motivación de las entidades hacia la utilización de las fuentes renovables de energía (Blanco et al., 2012; Sosa et al., 2014; Pérez et al., 2016), acompañado de la

baja exigencia de los órganos reguladores del cumplimiento de las normas cubanas de vertimientos y tratamientos de residuales.

Según estimaciones del Grupo Porcino (GRUPOR), existen 14.000 productores o campesinos asociados por convenios. La cantidad de cerdos varía entre 30 y 2.000 en cada uno de estos, pero el rango más común es 100-120 animales. Sin embargo, sólo el 5,5 % de los convenios poseen biodigestores como sistemas de tratamiento, un ínfimo valor que evidencia el enorme potencial existente, sobre todo considerando que no se incluye al sector estatal, donde la concentración animal de los productores es muy superior.

Recientemente, se presentó el Atlas Nacional de Bioenergía, en el marco del proyecto GEF-PNUD Bioenergía, liderado por la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (EEPFIH) y que es el resultado del trabajo conjunto entre varias instituciones científicas y grupos empresariales del Ministerio de Agricultura. El Atlas incluye las estimaciones de los potenciales de biogás en las condiciones de Cuba, los sistemas de alimentación más utilizados y sus tecnologías de manejo y crianza, en cada una de las provincias y las diferentes formas de propiedad del ganado porcino, vacuno y avícola (Curbelo et al., 2018). El potencial nacional de producción de biogás identificado es de 144 millones m³/año en la ganadería cubana (datos de 2017), lo que representa 79.504 toneladas equivalentes de petróleo anuales, con un potencial de generación de electricidad a partir del biogás en el sector ganadero cubano de 244.159 MWh/año.

En la última década, el Estado cubano le ha concebido una prioridad al desarrollo de las FRE y en lo relacionado a políticas, el tema biogás se aborda en los principales documentos estratégicos del país, tales como los *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución*, aprobados en el VI Congreso del Partido Comunista de Cuba (PCC, 2011), en la *Conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista*, en el *Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta 2030*, suscritos en el VII Congreso (PCC, 2016), así como la aprobación del Decreto-Ley 345, asociado al desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía (Consejo de Estado, 2017).

En todo este proceso de desarrollo de las FRE, con énfasis en la bioenergía, la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, centro de investigación adscrito a la Universidad de Matanzas, en Cuba, perteneciente

al Ministerio de Educación Superior (MES), ha jugado un papel importante desde el año 2009, pues como parte de la transformación de los sistemas integrados en el medio rural cubano, comienza a trabajar en la transformación de la biomasa para el saneamiento ambiental y la producción de energía, en las línea de biodigestión anaeróbica, gasificación de biomasa y producción de biodiesel incursionando en varios proyectos internacionales en temas relacionados con la capacitación, evaluación y transferencia de tecnologías.

Proyectos relacionados a las energías renovables de la biomasa

El fomento de experiencias, asociadas tanto al biogás como al biodiesel a partir de *Jatropha curcas* y a la gasificación de biomasa, se llevó a cabo de forma indirecta, en temas de capacitación en las 14 provincias que componen el país y con un trabajo más directo en la transferencia de tecnología sólo en nueve de estas, sobre todo formando parte de los escenarios de los proyectos internacionales que coordina la EEPFIH como son: BIOMAS-CUBA, Agroenergía y Bioenergía, proyectos financiados por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), la Unión Europea (UE) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) y que accionan en las provincias de: (Guantánamo, Santiago de Cuba, Holguín, Granma, Las Tunas, Sancti Spíritus y Matanzas), (Matanzas) y (Santiago de Cuba, Las Tunas, Santi Spíritus, Villa Clara, Matanzas y la Habana), respectivamente (Figura 1).



FIGURA 1 | Provincias de Cuba donde trabaja la EEPFIH.

Desarrollos en torno a los biodigestores, el biogás y el abono

La Estación Experimental Indio Hatuey inicia el fomento de la producción y utilización del biogás en el sector agropecuario cubano a partir de las experiencias resultantes de los proyectos Biomasa Cuba y Agroenergía, proyectos que en sus inicios demostraron a través de innovadoras experiencias piloto que eran posibles aplicar alternativas tecnológicas locales para la transformación de la biomasa residual de forma tal que sean económica, social y ambientalmente sostenibles, teniendo en cuenta los contextos locales, para mejorar las condiciones de vida de mujeres y hombres en zonas rurales del país, siendo su uso fundamentalmente la cocción de alimentos, la

producción de electricidad, el alumbrado, los efluentes y bioabonos sólidos para el mejoramiento de suelos en las fincas agropecuarias (Fig. 2).



FIGURA 2 | Utilización de los efluentes del digestor en cultivos agrícolas.

En este proceso se desarrolló el concepto de la finca agroenergética, concebida como: “la explotación productiva donde se desarrollan, mejoran y evalúan tecnologías e innovaciones para producir de forma integrada, alimentos y energía, donde la energía producida endógenamente se utiliza como insumo para producir más alimentos en la propia finca, con el propósito de mejorar la calidad de vida rural y proteger el ambiente” (Suárez et al., 2011).

Etapa 2009-2012

Las tecnologías seleccionadas inicialmente para la construcción de biodigestores según el contexto y las posibilidades de utilizar recursos locales fueron: 1) la cúpula fija (modelo chino), 2) el tubular plástico o de manga de polietileno con flujo continuo (Figura 3), y 3) la laguna anaeróbica cubierta con una geomembrana de polietileno de alta densidad (PEAD), modelo Vietnam (CTBH, 2011). Se construyeron 69 biodigestores, de ellos nueve tubulares plásticos (Figura 3), uno de lagunas anaeróbicas cubiertas, de 300 m³, y los restantes 59 restantes de cúpula fija (Figura 4) (Cepero et al., 2011), y se repararon varios de este último modelo y uno de cúpula flotante (hindú) (Figura 5), que estaban inoperativos.



FIGURA 3 | Biodigestor tubular plástico.



FIGURA 4 | Biodigestor de cúpula fija.



FIGURA 5 | Biodigestor de cúpula móvil.

Estos 69 biodigestores, entre 2009-2011, abarcaron una capacidad total de digestión de 1.665 m³ y generaron producciones de 600.060 m³ de biogás, que se utilizaron en la cocción de alimento humano (lo utilizaron 1.258 personas que sustituyeron gas licuado del petróleo) y

animal, en alumbrado, la refrigeración, en la generación de electricidad y en la cocción de ladrillos; así como de 2.601 t de bioabonos que se utilizaron en la mejora de la fertilidad de 1.830 hectáreas de suelos.

El biogás producido fue equivalente a 1.812 barriles de petróleo y el bioabono a 348 t de fertilizante completo NPK (12-10-10%) (Cepero et al., 2012). Los biodigestores, además de producir biogás, permitieron reducir la emisión de metano, proveniente de la ganadería y el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera –ambos GEI–, proveniente del uso de combustibles fósiles; la emisión de óxido nitroso y amoníaco al aplicar como bioabono los efluentes del biodigestor, y algunos patógenos presentes en los estiércoles. Asimismo, cada 380 L de metano (CH₄), formados en un digestor de biogás a presión de una atmósfera y 25°C de temperatura, redujeron la carga contaminante en 1 kg de DQO (Cepero et al., 2012). Todo ello, de forma general permitió eliminar, mediante la construcción de estos biodigestores, la contaminación generada por excretas vacuna y porcina en 67 escenarios productivos, lo cual generó un impacto ambiental positivo, incrementado con la utilización de sus efluentes como bioabonos.

- En esta etapa se elaboró un software soportado en LabVIEW 7.1, desarrollado por especialistas del CITMA de Las Tunas y un manual para diseñar biodigestores, lo cual posibilitó el diseño pertinente de biodigestores, con mayor eficiencia y menor gasto de materiales.
- Se instalaron 52 plantas de producción de bioproductos a partir de efluentes de biodigestores y otros residuos, enriquecidos con microorganismos nativos, los cuales se utilizan en la sanidad animal y vegetal, la nutrición de cultivos, la eliminación de malos olores en instalaciones pecuarias y la biorremediación de lagunas contaminadas con residuales orgánicos, así como en filtros de biocerámicas.

Capacitación y generación de capacidades

Este proceso de difusión del biogás fue acompañado de una intensa capacitación a actores locales, en la que destacó la organización de dos cursos sobre biodigestores de laguna anaeróbica cubierta. El primero abordó la tecnología de cobertura con polietileno de alta densidad, desarrollada por el Centro de Tecnología de Biogás de Hanói; mientras que el segundo se organizó con la empresa alemana AquaLimpia® y versó sobre el dimensionamiento, diseño y construcción de lagunas anaeróbicas cubiertas con geomembrana AQFlex®, para capacidades de digestión superiores a 300 m³ y generación de electricidad a partir del biogás (Moncayo, 2011). Asimismo, como parte del proceso de capacitación a los productores y especialistas para favorecer el proceso de difusión y adopción de los biodigestores anaeróbicos, tanto plásticos y de geomembranas, como de cúpula fija, se elaboraron dos manuales para su diseño, montaje y operación (Blanco et al., 2011; 2012).

Estrategia de masificación

Causa principal del éxito que facilitó la adopción de estas tecnologías fue la materialización a través de diversas redes Locales, Nacionales y el Movimiento de Usuarios del Biogás; con recursos y actores a escala local, territorial

y nacional. Estas redes contribuyeron a implementar un modelo de innovación orientado hacia el logro de resultados prácticos que promovió la vinculación entre el sector académico y los productores, la implantación del concepto de finca agroenergética, y el fomento de procesos de innovación agrícola local. En el cual se desarrollan y mejoran tecnologías e innovaciones con una amplia participación del beneficiario –lo que genera mejoras y la sostenibilidad– y se potencia la participación y el papel protagónico de los productores/as y sus familias.

Etapa 2013-2018: desarrollo e implementación municipal

En esta segunda etapa la EEPFIH trabaja en el tránsito desde el sistema productivo hacia el municipio, como un todo, y se concentró en la formulación e implementación de estrategias locales de producción integrada de alimentos y energía (ELPIAE) a partir de fuentes renovables en seis municipios, en conjunto a los gobiernos y otros actores locales (Suárez, 2019). Dichas estrategias se integran a los programas de desarrollo municipal y permiten fomentar procesos de innovación y crear capacidades y habilidades técnicas y sociales para fomentar el desarrollo local.

Asimismo, contribuyó a crear capacidades para la producción y utilización de la bioenergía, a partir del biogás, el biodiesel y la gasificación de biomasa, en 22 municipios, de producción de alimentos sobre bases agroecológicas, como a introducir acciones de mejora ambiental, con diferentes niveles de escala territorial y de incidencia. Se destaca en esta etapa la incidencia en el municipio Martí, provincia de Matanzas, del proyecto Agroenergía, dirigido técnicamente por la estación, que promovió la construcción de 28 biodigestores de cúpula fija en fincas campesinas, la formación de personal técnico capaz de evaluar el potencial residual, diseñar y construir los biodigestores para transformar de forma endógena sus residuales.

En el caso del biogás, en esta fase se continuaron construyendo biodigestores, principalmente de cúpula fija, llegando a la cifra de 176 en operación para tratar los residuales de la producción animal, generando anualmente 1.145.317 m³ de biogás y 12.000 t de bioabonos, así como posibilitando el ahorro de 388.800 kWh/año de electricidad por el uso del biogás en las fincas campesinas, además de evitar emisiones de metano, la contaminación de cuencas hídricas y la tala de árboles para utilizar su leña como combustible doméstico. Por otra parte, se mejoraron 3.874 ha de suelos con bioabonos producidos con efluentes de biodigestores y prácticas agroecológicas.

Se destaca en este período la construcción de un biodigestor de laguna cubierta de grandes dimensiones (4.000 m³ de capacidad de digestión), modelo Aqualimpia K.E, en un centro de producción porcina para la generación de electricidad a la red nacional (Figura 6).



FIGURA 6 | Biodigestor de Laguna cubierta.

Se realiza la instalación de múltiples redes de distribución de biogás, siendo las más significativas por su alcance las cuatro redes de suministro que benefician a 53 viviendas y 272 personas que habitan en comunidades rurales en el municipio Cabaiguán, provincia de Sancti Spiritus. En esta red de abasto de biogás su uso fundamental es la cocción de alimentos; no fue posible generalizar otras aplicaciones en las mismas ya que no existen de forma general en Cuba otros aplicativos disponibles para el usuario final del biogás, esta red impactó con un ahorro de 77,2 MWh/año (López y Suárez, 2018). Resultados que fueron merecedores de dos premios internacionales en 2017: el Premio *Innovators Under 35 Latin-America* y Premio *Latinoamérica Verde*.

En esta etapa, además, se beneficiaron del biogás 3.220 personas en cuanto a la cocción, refrigeración, alumbrado y actividades productivas, lo cual fue apoyado por la entrega a los campesinos en 10 municipios de aplicativos a biogás como: cocinas, ollas arroceras, lámparas, refrigeradores, y calentadores de aguas, lo que permitió mejorar la calidad de vida y reducir el consumo doméstico de electricidad entre el 40 y el 80 % en cada vivienda donde se usos el biogás como fuente energética. Al mismo tiempo 5.855 productores y especialistas (46% mujeres) recibieron capacitación, en charlas técnicas, talleres, cursos y días de campo, y se elaboraron numerosos materiales de capacitación, comunicación y socialización, con enfoque de género, para fortalecer sus habilidades.

Como otro de los aspectos de relevancia a nivel nacional se tiene que estos proyectos propiciaron de forma directa la implementación y el montaje de una pequeña fábrica de biodigestores tubulares de PVC, con equipos por termofusión, lo que posibilita una solución viable para el tratamiento de los residuales de los pequeños productores ganaderos que hoy en el país son la mayoría. Además, mediante el proyecto GEF-PNUD (Bioenergía), está concebido el desarrollo y fabricación con la industria cubana de equipos, insumos y componentes para la construcción de lagunas tapada para el tratamiento de grandes concentraciones de residuos orgánicos y de otros equipos domésticos que funcionen con biogás como: cocinas, refrigeradores, calentadores, ollas, lámparas.

De forma general, mediante la implementación de los sistemas integrados, relacionados con fuentes renovables

de energía en los diferentes escenarios se posibilitó cerrar ciclos productivos, ambientales y económicos en el medio rural, como una alternativa de sostenibilidad introduciendo el tema de la biodigestión anaeróbica como tratamiento ambiental. Por otra parte, permitió diseñar un modelo agroenergético para fincas campesinas donde estas fincas logran cerrar el ciclo de energía y producción de alimento y aportan al saneamiento ambiental con el tratamiento de sus propios residuos, además de producir bioabonos para mejorar las condiciones del suelo y por ende alimentos sanos, por lo que tiene un gran componente agroecológico.

Conclusiones y lecciones aprendidas

Mediante la ejecución por parte de la EEPFIH de acciones encaminadas a la implementación de fuentes renovables de energía en los diferentes escenarios se logra: la construcción de 176 biodigestores con diferentes tecnologías en 22 municipios de Cuba, la formulación e implementación de estrategias locales de producción integrada de alimentos y bioenergía, con un uso diversificado del biogás, el aprovechamiento de los efluentes y el bioabono sólido en la mejora de suelos y la creación de redes de suministro de biogás en el medio rural.

Las acciones que nos gustaría sugerir a otros países son las siguientes:

- El enfoque temático centrado en la producción integrada de alimentos y energía, sobre bases agroecológicas y la aplicación del concepto de finca agroenergética.
- La integración con los Consejos de Administración Municipal, otros actores locales, así como con los Ministerios de Energía y Minas, de la Agricultura y de Industrias.
- Un amplio trabajo en red entre todos los actores, así como sinergias a escala local, territorial y nacional, apoyado en la creación de plataformas multi-institucionales y multi-actorales.
- Vinculación entre el sector académico, los productores y tomadores de decisión
- Intensos procesos de innovación agrícola local, en el marco de un modelo de innovación abierta orientado a resultados prácticos, donde se desarrollan y mejoran tecnologías e innovaciones con amplia participación del beneficiario, para la sostenibilidad de las acciones.
- Vínculos directos con los productores y sus familias, lo que ha permitido acompañarlos en el desarrollo de procesos de producción sostenible, con el consecuente incremento de la participación comunitaria, a partir del papel protagónico de los productores y sus familias.
- La formulación participativa de una estrategia local para la producción integrada de alimentos y energía en seis municipios, que contribuye a la implementación de las estrategias de desarrollo local en Cuba.

- La incidencia en políticas públicas nacionales, sectoriales y locales.
- La “incubación” de nuevos proyectos nacionales e internacionales para lograr sinergias y sostenibilidad de las acciones.
- La creación de alianzas con grupos empresariales cubanos del Ministerio de Industrias para el desarrollo y la producción de equipamiento e insumos para el fomento de la agroenergía.
- El fomento de sinergias con otros proyectos internacionales e instituciones (ministerios, gobiernos locales, empresas, organizaciones técnicas y de productores y campesinos).
- La concepción y aplicación de un sistema de monitoreo y evaluación del proyecto orientado a sus efectos e impacto (SMEEI), así como a brindar información clave a gestores y decisores locales, ministeriales y nacionales.
- El permanente proceso de sistematización y socialización de resultados, experiencias, buenas prácticas, tecnologías y diseños, etc., dirigido a beneficiarios directos y gestores del proyecto, decisores de políticas y al sector científico y académico, a escala local, provincial y nacional.
- La implementación de acciones de reducción de vulnerabilidades al cambio climático, mediante la adaptación y mitigación.

Agradecimientos

A la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, la Unión Europea y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial, por su apoyo en el financiamiento de proyectos internacionales para fomentar la producción y utilización del biogás en Cuba.

A la ONG portuguesa Oikos y al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, por su apoyo en la implementación de estos proyectos.

A la Gerencia general de la Empresa Alemana Aqualimpia K.E.

A los Ministerios de Energía y Minas, de la Agricultura, de Economía y Planificación, de Educación Superior y de Industria, por su papel en el desarrollo del biogás.

A todos los directivos, especialistas, investigadores, profesores, agricultores, campesinos y sus familias, que han sido claves en este empeño.

Referencias bibliográficas

Blanco, D.; Cepero, L.; Suárez, J.; Savran, Valentina; Díaz, M. & Martín, G. J. 2011. *Manual para el diseño, montaje y operación de digestores de cúpula fija. Una alternativa para Cuba. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Matanzas, Cuba, 35 p.*

Blanco, D.; Cepero, L.; Suárez, J.; Savran, Valentina; Díaz, M. & Martín, G. J. 2012. *Manual para el diseño, montaje y operación de digestores plásticos de bajo costo. Una alternativa para Cuba. Estación Experimental Indio Hatuey, Matanzas, Cuba, 36 p.*

Cepero, L.; Blanco, D. & Savran, Valentina. 2011. *Experiencias y resultados de BIOMAS-CUBA en la producción de biogás y de bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. I Conferencia Científica Internacional de la UNISS “Yayabociencia 2011”, 23-26 noviembre, Universidad de Sancti Spiritus, Cuba. 8 p.*

Cepero, L.; Savran, Valentina; Blanco, D.; Díaz Piñón, M.; Suárez, J. & Palacios, A. 2012. *Producción de biogás y de bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. En Suárez, J. & Martín, Consejo de Estado. 2017. Decreto-Ley No. 345 Del Desarrollo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía, 23 marzo. Consejo de Estado de la República de Cuba, La Habana, 11 p.*

CTBH. 2011. *Entrenamiento de la tecnología del biogás a gran escala para especialistas cubanos. Centro de Tecnología del Biogás de Hanói, Vietnam.*

Curbelo, A.; Suárez, J., Sosa, R. & Saucedo, Milagros. 2018. *Atlas Nacional de Bioenergía. ONEI, Cubaenergía, Estación Experimental Indio Hatuey y GEGAN, La Habana, 50 p.*

G.J. (Eds.): *La biomasa como fuente renovable de energía en el medio rural. Estación Experimental Indio Hatuey, Matanzas, Cuba, p. 131-142.*

López, A. & Suárez, J. 2018. *Experiencia de suministro de biogás en una comunidad rural, en Cuba. Pastos y Forrajes, 41 (1): 73-79.*

Moncayo, G. 2011. *Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás. AquaLimpia Beratende Ingenieure, Uelzen, Alemania, 43 p.*

PCC. 2011. *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. Documento del VI Congreso del Partido Comunista de Cuba. Comité Central del PCC, Habana, Cuba, 41 p.*

PCC. 2016. *Conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista, y el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta 2030. Documentos aprobados en el VII Congreso del Partido Comunista de Cuba. Comité Central del PCC, Habana, Cuba, 32 p.*

Sosa, R.; Díaz, Y.; Cruz, T. & de la Fuente, J. L. 2014. *Diversification and overviews of anaerobic digestion of Cuban pig breeding. Cuban J. of Agr. Sci., 48 (1): 67-72.*

Suárez, J. 2019. *Producción integrada de alimentos y energía. La experiencia del proyecto internacional Biomasa-Cuba. Estación Experimental Indio Hatuey, Matanzas, Cuba, 455 p.*

Suárez, J.; Martín, G. J.; Sotolongo, J. A.; Rodríguez, E.; Savran, V.; Cepero, L.; Funes-Monzote, F.; Rivero, L. J.; Blanco, D.; Machado, R.; Martín, C. y García, A. 2011. *Experiences of the Biomasa-Cuba project. Energy alternatives from biomass in Cuban rural areas. Pastos y Forrajes, 34 (4): 473-496.*

MONITORAMENTO DA REDE DE BIODIGESTORES DE DIACONIA NO SEMIÁRIDO DO BRASIL COM USO DE DATA LOGGERS DE BAIXO CUSTO

ESTUDIO DE CASO

Alexandre Nunes da Silva¹, Avelino Heitor Cardoso de Melo¹, Ita Porto de Oliveira², Jucier Jorge de Lima Silva², Afonso Fernandes Cavalcanti², Sérgio Peres Ramos da Silva¹

¹Policom - UPE, ²Diaconia

E-mail: alexandrensilva@gmail.com

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo de caso da cooperação técnica entre o Policom-UPE e a Diaconia onde é proposto um sistema de monitoramento de uma rede de biodigestores na região do semiárido do Brasil através de data loggers de baixo custo projetados com componentes de fácil aquisição permitindo sua replicabilidade.

1 | Introdução

A partir da cooperação técnica entre o Laboratório de Combustíveis e Energia da Universidade de Pernambuco (POLICOM) e a Diaconia, iniciou-se uma pesquisa acerca do impacto ambiental e de variáveis de funcionamento dos biodigestores implementados na região do Semiárido Brasileiro. O objetivo era avaliar o desempenho e construir embasamento teórico na execução de possíveis melhorias construtivas e operacionais em reatores futuros, bem como na execução de adequações referentes à arquitetura dos biodigestores já existentes e seu uso.

A obtenção de tais dados, de uma maneira representativa na rede de biodigestores, com um número de biodigestores distribuídos em localidades diversas, inviabilizaria a coleta de dados manual pela complexa e dispendiosa logística envolvida e pelos altos custos das tecnologias disponíveis comercialmente para um monitoramento automatizado. Assim para atender à demanda de dados de uma forma eficiente e dentro da realidade financeira das instituições participantes deste projeto de cooperação técnica foi proposto um sistema de monitoramento de baixo custo, mas com alta capacidade de replicabilidade para complementar os dados adquiridos manualmente.

2 | Descrição do caso

Coletou-se dados dos biodigestores in loco, no Sertão do Pajeú do Estado de Pernambuco, nordeste do Brasil, por equipe treinada. Os principais dados coletados foram: frequência e volume de alimentação do equipamento, vazão e qualidade do biogás gerado, no intuito de levantar dados referentes ao funcionamento do sistema e variáveis

ambientais como temperatura do mosto e variações de condições climáticas das quais os biodigestores estão submetidos.

Para a coleta automatizada foram idealizados equipamentos de aquisição e armazenamento de dados, baseados em plataformas de desenvolvimento de IoT² open source como a Nodemcu e Wemos D1 mini, que tem como base o microcontrolador ESP8266, com capacidade de conexão à redes wi-fi através de protocolo TCP/IP. Isso torna possível o monitoramento remoto em tempo real nas localidades onde existe a disponibilidade dessa modalidade de acesso à internet. Além disso, há a opção de armazenamento dos dados coletados em um cartão de memória para posterior retirada e análise de dados offline, ficando o sistema limitado apenas pelo tempo de carga das baterias que alimentam o data logger.

Os testes foram realizados com plataformas NodeMCU e Wemon D1 mini com valores em mercado local abaixo de US\$ 6,00, shield de gravação para cartão micro SD encontrado por US\$ 2,50, sensor de temperatura e umidade ambiente DHT22 por US\$ 6,00 e sensor de temperatura digital à prova d'água DS18B20 no valor de US\$ 4,00. Para a alimentação dos data loggers foram usados carregadores portáteis para celulares facilmente encontrados por US\$ 3,50 em lojas de eletrônicos locais. Foram projetadas caixas específicas para acomodar os equipamentos através de software CAD e impressas em plástico ABS com o uso de impressoras 3d ao custo de US\$ 5,00 por unidade. O custo do equipamento montado (figura 1) totalizou US\$ 27,00. No mercado local, um termo-higrômetro laboratorial com capacidade de conexão com a internet e registro interno de dados apresenta preço superior a US\$ 100,00.



FIGURA 1 | Disposição final do equipamento proposto.

¹ Equipamento eletrônico capaz de registrar em sua memória informações coletadas através de sensores internos ou externos conectados a ele.

² IoT, Internet of Things ou Internet das coisas, conceito que define a comunicação entre objetos e a conexão com a internet permitindo controle e monitoramento destes objetos.

Para uma primeira rodada de testes do sistema, foi feita uma coleta de dados da temperatura interna de um biodigestor (Biodigestor 01), temperatura e umidade ambiente, no período de 5 dias, com intervalo de 10 minutos entre medições. Nesse caso, o *data logger* desenvolvido provou estar apto para executar a função designada, mantendo o custo de confecção abaixo dos US\$30,00, podendo ter este valor reduzido com a produção em maior escala. Este experimento foi reproduzido em dois outros biodigestores localizados a uma distância de 12 km (Biodigestor 02) e 1 km (Biodigestor 03) do Biodigestor 01.

Para o Biodigestor 02, localizado na região mais afastada do primeiro teste foi usado o sistema de registro em cartão de memória interno. Foram coletados dados de temperatura ambiente, umidade relativa do ar ambiente, sensação térmica local e a temperatura de uma sonda inserida no interior do biodigestor a aproximadamente 1,8 m de profundidade com intervalo de 10 minutos entre medições. Na figura 02 pode ser observada a inserção da sonda de temperatura interna do biodigestor.



FIGURA 2 | Instalação da sonda de medição de temperatura interna.

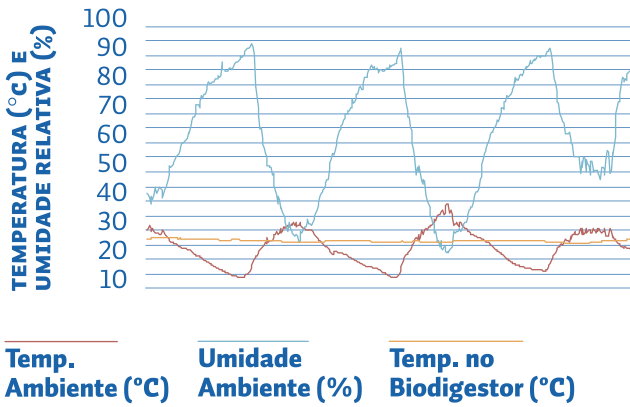
No Biodigestor 03, foi testado um sistema online com conexão via rede 4G de telefonia utilizando-se um smartfone para gerar uma rede wi-fi utilizada pelo *data logger* para enviar os dados a um servidor na nuvem. Este sistema permite um acompanhamento em tempo real dos parâmetros lidos, que no caso do estudo eram: temperatura ambiente, umidade relativa do ar ambiente, sensação térmica local e a temperatura de uma sonda inserida no interior do biodigestor a aproximadamente 0,5m de profundidade. Neste sistema em particular foi montado um banco de baterias com dois carregadores portáteis de telefones celulares (*power banks*) com painéis solares para manutenção da carga. Com o intuito de manter o baixo custo e capacidade de replicação do sistema foram usados carregadores disponíveis no mercado local ao custo de US\$ 10,00 cada. Infelizmente o sistema se mostrou instável ao trabalhar fornecendo energia para dois equipamentos ao mesmo tempo, celular e *data logger*, o que causou um fim prematuro do experimento com apenas 16h30 de monitoramento com intervalo de 10 minutos entre medições.

3 | Resultados e lições aprendidas

Com estes testes preliminares foi possível notar a baixa variação de temperatura interna dos biodigestores, abaixo dos 4°C, mesmo com uma amplitude térmica do ambiente superior aos 20°C. Isso denota a alta inércia térmica do modelo de biodigestor adotado, garantindo perfeitas condições de estabilidade térmica para as bactérias anaeróbias necessárias ao processo mesofílico de biodigestão.

Nas figuras 3 e 4 podem ser observados os gráficos gerados através dos dados coletados pelos *data loggers* com armazenamento interno demonstrando a estabilidade da temperatura interna dos biodigestores estudados. No biodigestor 01, figura 02, foi apresentado no período de estudo (3 dias) a temperatura máxima de 27,62°C e mínima de 25,44°C, com amplitude total de 2,18°C. No biodigestor 02, figura 03, a temperatura máxima de 24,87°C e mínima de 24,81°C, com variação de temperatura interna desprezível.

BIODIGESTOR 01



BIODIGESTOR 02

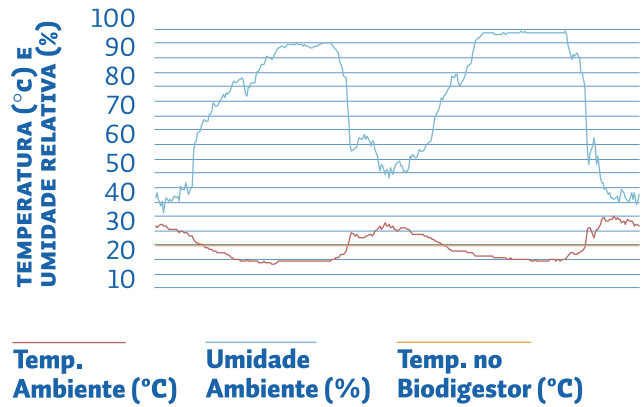


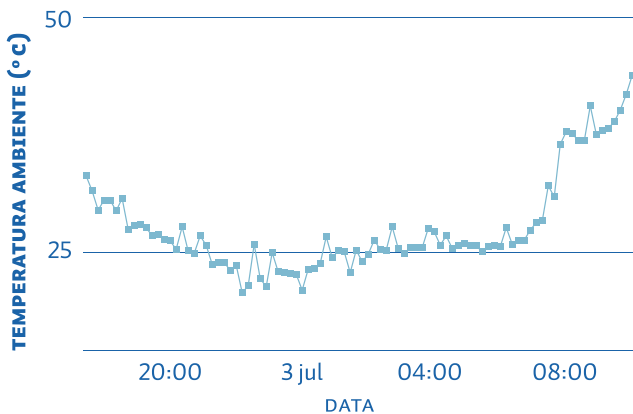
FIGURA 3 | Gráfico gerado a partir dos dados coletados no Biodigestor 01

FIGURA 4 | Gráfico gerado a partir dos dados coletados no Biodigestor 02.

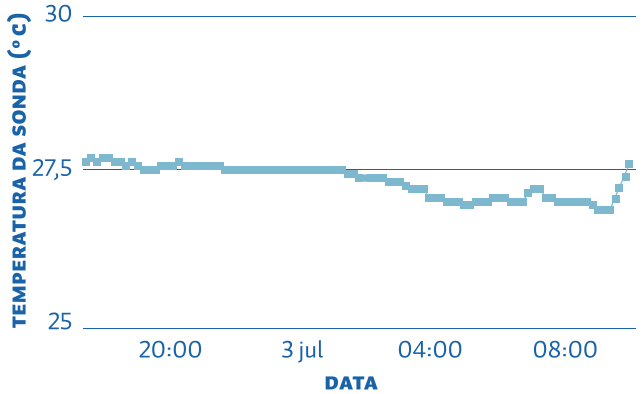
No experimento de monitoramento em tempo real, Biodigestor 03, embora com tempo de coleta de dados reduzido, fica clara a tendência de manutenção do padrão de comportamento da temperatura interna do biodigestor que apresentou, durante o período de monitoramento,

temperaturas máxima de 27,69°C e mínima de 26,87°C com amplitude total de apenas 0,82°C como pode ser visto na figura 5 e no endereço <https://thingspeak.com/channels/814617>.

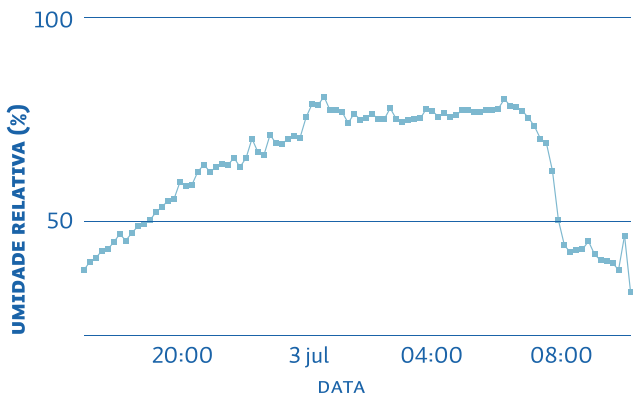
AFOGADOS



AFOGADOS



AFOGADOS



AFOGADOS

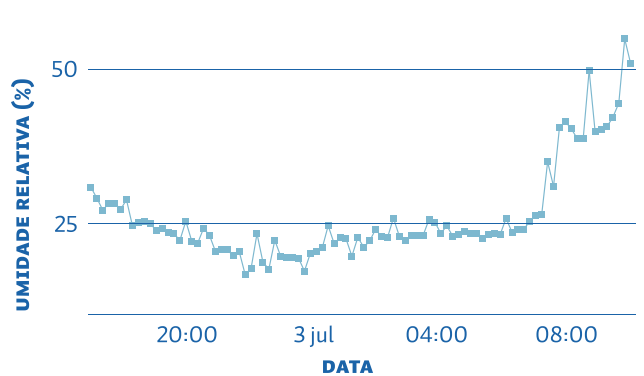


FIGURA 5 | Gráficos gerados pelo site thingspeak a partir do monitoramento do Biodigestor 03.

4 | Conclusões e recomendações

O projeto continua em expansão, com possibilidades de ampliação das medições a partir de um número maior de biodigestores monitorados e da diversidade de variáveis a serem monitoradas como pH do mosto, vazão e qualidade do biogás gerado.

O estudo mostrou êxito ao que se propôs, uma vez que os equipamentos projetados cumpriram suas tarefas de efetuar o monitoramento eficiente com um custo inferior aos equipamentos industriais e laboratoriais atualmente encontrados no mercado.

5 | Agradecimentos

Agradecimentos à Diaconia pelo custeio de todos os experimentos, apoio logístico e envolvimento da equipe técnica, bem como às famílias agricultoras que compõe a ampla rede de biodigestores implementados no âmbito das ações e desenvolvimento territorial em bases agroecológicas, e ao POLICOM – Laboratório de Combustíveis da Universidade de Pernambuco por disponibilizar toda estrutura e equipamentos analíticos necessários ao estudos.

6 | Referências bibliográficas

VAN LIER, J.B.; HULSBEEK, J., STAMS, A.J.M., LETTINGA, G. *Temperature susceptibility of thermophilic methanogenic sludge: Implications for reactor start-up and operation. Bioresource Technology*, v.43,n.3 p.227-235,1993.

SOUZA, M. E., FUZARO, G. & POLEGATO, A. R. *Thermopile Anaerobic Digestion of Vinasse in Pilot Plant UASB Reactor. Water Science and Technology*, vol. 25 n.º 7, p.p. 212-223, 1992.

BRUNETTI, D.P., 2013. *Monitoraggio di digestori anaerobici semplificati alimentati con reflui zootecnici in Perù. Politecnico di Milano.*

³ <https://thingspeak.com/channels/814617>

EXPERIENCIA PILOTO DE IMPLEMENTACIÓN DE BIODIGESTORES DE PEQUEÑA ESCALA, PARA USO TÉRMICO, CON FINES DESMOSTRATIVOS Y DESARROLLO DE CAPACIDADES TÉCNICAS EN EL SALVADOR

ESTUDIO DE CASO

Rocio Aquino y Edwin Alvarado
Dirección de Combustibles, Consejo Nacional de Energía
de El Salvador (CNE)
E-mail: raquino@cne.gob.sv

Resumen

En El Salvador el uso de biodigestores se enfocó inicialmente en proyectos de gran escala para la generación de energía eléctrica, posteriormente se buscó replicarlos en pequeña escala para uso térmicos, específicamente para la cocción de alimentos. En 2018, se desarrolló en el Departamento de Chalatenango en El Salvador el Proyecto Piloto de biodigestor en la granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez (INFRAMS), con el objetivo de generar biogás a partir de purines. El biodigestor es de 55 m³ de estos 15 m³ de almacenamiento (tipo gasómetro), se producen hasta un aproximado de 470 m³ al año, el biogás producido es utilizado en la planta agroindustrial del instituto, sustituyendo el consumo de leña y Gas Licuado de Petróleo (GLP). Dentro de los beneficios de la implementación del proyecto se encuentra la gestión sostenible de 350 Kg de purines diarios que se producen en la granja, la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, la obtención de abono orgánico, el desarrollo de capacidades técnicas de los alumnos y el establecimiento de un plan de negocios para garantizar la sostenibilidad del proyecto.

1 | Introducción

El biodigestor constituye un papel importante en el desarrollo energético sustentable debido a que las tecnologías brinda un tratamiento de desechos orgánicos que impactan positivamente en el medio ambiente y además de aporta a la matriz de generación de energía con recursos renovables (biomasa).

En la última década en el país, el uso del biogás (metano) se enfocó en la generación de energía eléctrica a gran escala, resaltando las siguientes experiencias: a) En 2011 inició operaciones la planta AES Nejapa que genera energía eléctrica a partir de gases producidos en el relleno sanitario proveniente de los desechos recolectados en el área metropolitana de San Salvador; dicha planta tiene una capacidad de 6 MW, con capacidad de alcanzar hasta los 25 MW; b) En 2013, bajo el proceso un proceso de licitación se adjudicaron dos proyectos que utilizan desechos de animales de granja en biodigestores anaeróbicos para proveer energía, actualmente ambos proyectos están en operación y una capacidad total de 450 kW.

Por otra parte, de acuerdo al Primer Informe Bienal de Actualización El Salvador año 2018, GEF, PNUD y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en el 2014 el sector agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra contribuyeron con el 47,3% en las emisiones de CH₄ lo cual representa el 7,5 % de emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero (GEI). En este contexto, el CNE consideró importante conocer las experiencias en el uso de biodigestores a escalas menores y con un enfoque térmico (aprovechamiento de calor para cocción de alimentos), de esta manera aportar a los mecanismos alternativos para diversificar la matriz energética y plantear tecnologías energéticas accesibles que permitan su replicación en comunidades, centros educativos o asociaciones.

Para ello, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) apoyó la realización de una consultoría para evaluar e identificar el potencial de instalación de biodigestores a partir de desechos animales y/o residuos agrícolas en comunidades y centros educativos, y utilizar el biogás para la cocción de alimentos. En este proceso, el CNE se apoyó del Fondo de Inversión para el Desarrollo Local (FISDL) y Ministerio de Educación (MINED), evaluándose 20 comunidades y 8 escuelas, lográndose identificar tres proyectos con mayor potencial. Para estos tres proyectos se diseñaron términos de referencia para la construcción de biodigestores acordes a las realidades de cada uno y modelos de negocio que permitieran su sostenibilidad en el tiempo. En el 2018 el CNE y la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) realizaron visitas de campo a los tres proyectos con el fin de seleccionar el primer proyecto piloto a ejecutar, resultando favorecido el INFRAMS.

2 | Descripción del caso

El INFRAMS¹ cuenta con 1.485 estudiantes matriculados de los cuales 174 pertenecen a los bachilleratos Agrícola y Agroindustrial (61 mujeres y 113 hombres), quienes tienen una participación directa en las actividades de la granja². Previo a completar el diseño final y construcción del biodigestor se corroboró la evaluación teórica sobre el potencial de producción de biogás en la granja, el cual se detalla en la Tabla 1.

¹ Coordenadas geográficas del INFRAMS : 14°02'37.18"N 88°55'49.21"O

² Coordenadas geográficas de la granja: 14°02'30.09"N 88°58'03.03"O

DATOS CORROBORADOS

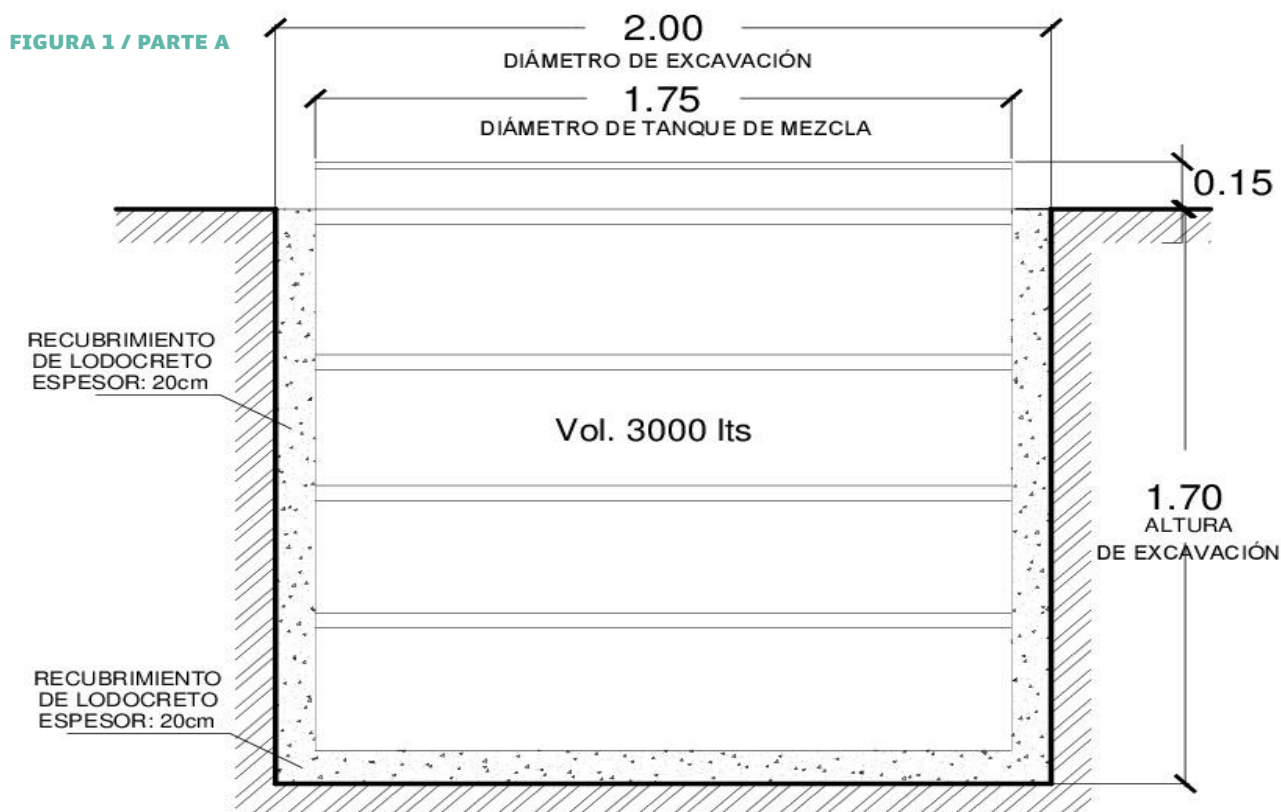
ANIMALES	PESO ADULTOS (KG)	TOTAL DE ANIMALES	ESTIÉRCOL PRODUCIDO (KG/DÍA/ANIMAL)	RECOLECTABLE (KG/DÍA/ANIMAL)	TOTAL RECOLECTABLE TEÓRICO (KG/DÍA)	TEÓRICO(%)		BASE MÁX. TEÓRICO (KG)	
						MS	MV	MS	MV
Vacunos	364	26	22	12	312	8-10%	90-95%	31,2	29,64
Cerdos	125-160	8	4	4	32	4-6%	90-95%	1,92	1,824
Gallinas ponedoras en piso	2	1000	cada 4 meses	227,5	1,90	30%	65-70%	0,57	0,40
Pollos	2	1000	cada 6 semanas	55	1,5	8,75%	80%	1,305	1,083
Conejos	3	25	0,35	0,35	8,7	28-50%	65-85%	4,375	3,718
TOTAL MÁXIMO DE RESIDUOS APROVECHABLE / DÍA					*356,00 (kg/día)			39,37 (ms)	36,67 (ms)

MS: Contenido de masa seca, valor para el caculo de la cantidad de agua a adicionarse a la biomasa previa alimentación al biodigestor
 MV: Contenido de masa volátil, contenido real de masa orgánica de la biomasa y que básicamente produce el biogás.

*: Equivale a un aproximado de 5 carretillas diarias de purines.

TABLA 1 | Estiércoles disponibles teórico (%) | Fuente: Elaboración propia con datos de la granja del INFRAMS y AQL-LA.

Conforme a lo planteado en la Tabla 1 y el perfil social-demográfico, se realizó el diseño final considerando un máximo de 350 kg de estiércol a tratar, con capacidad de producir hasta 25 m³ de biogás al día; el diseño original se detalla en la figura 1.



DETALLE TANQUE DE MEZCLA
Sin Escala

FIGURA 1 / PARTE B

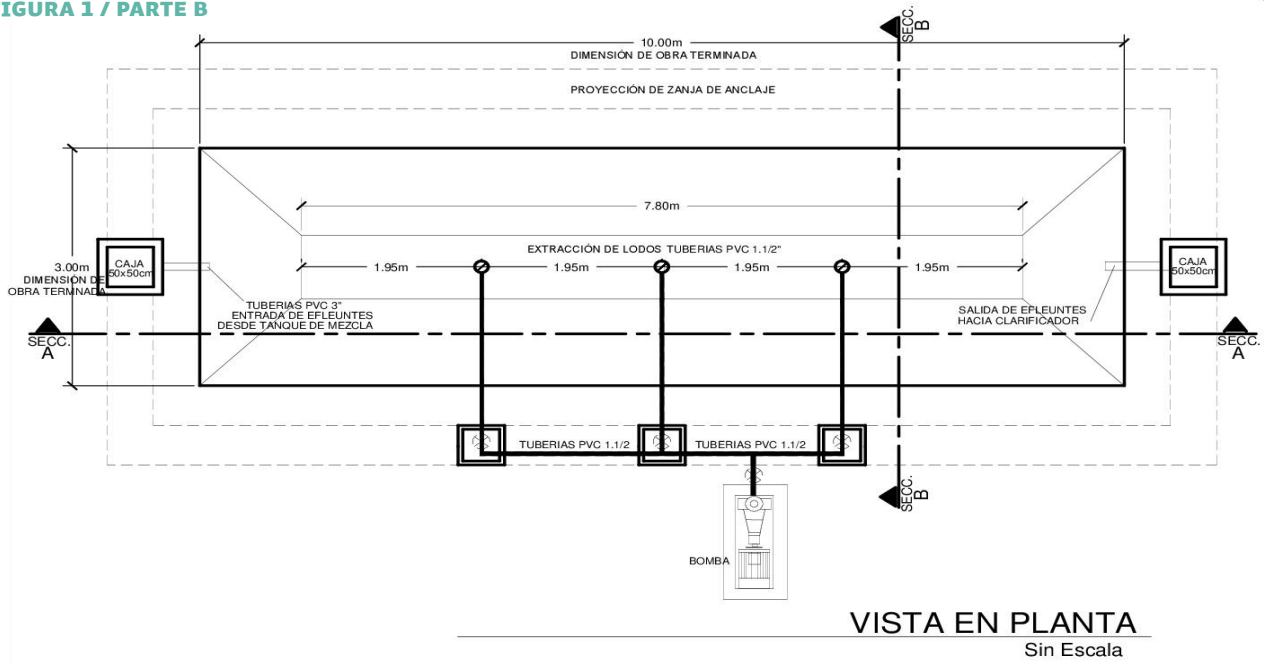


FIGURA 1 / PARTE C

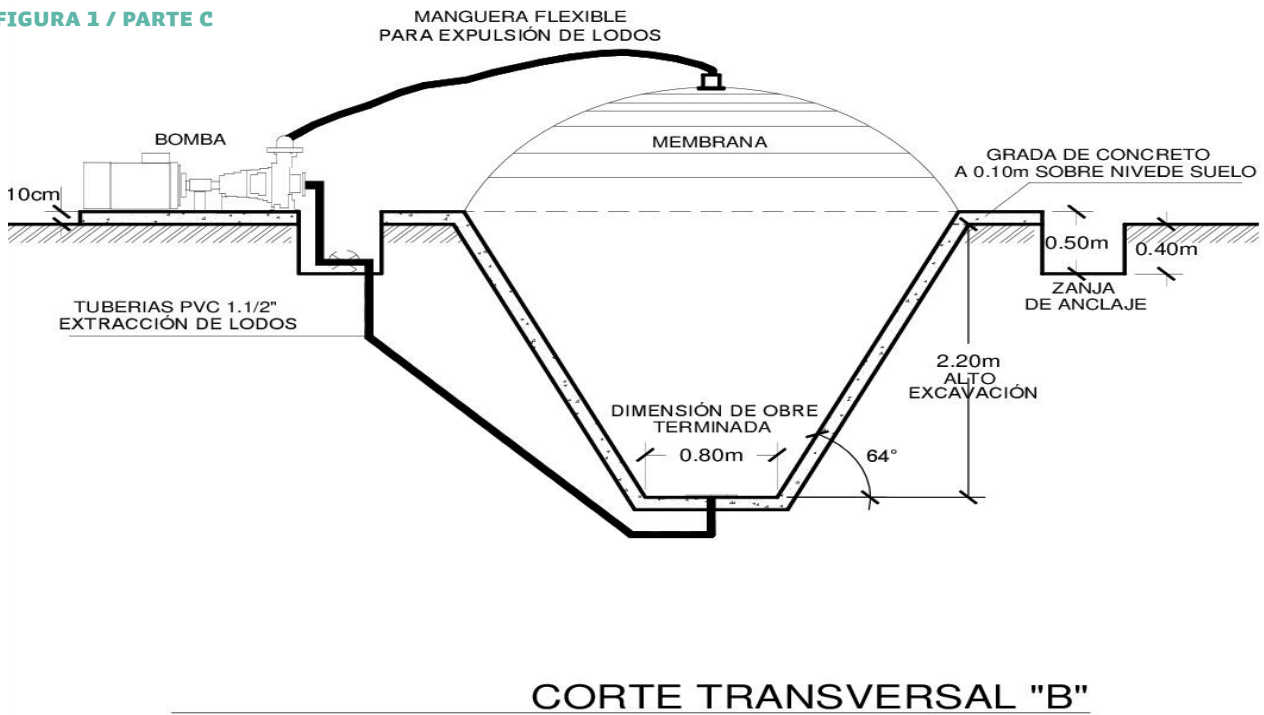


FIGURA 1 / PARTE D

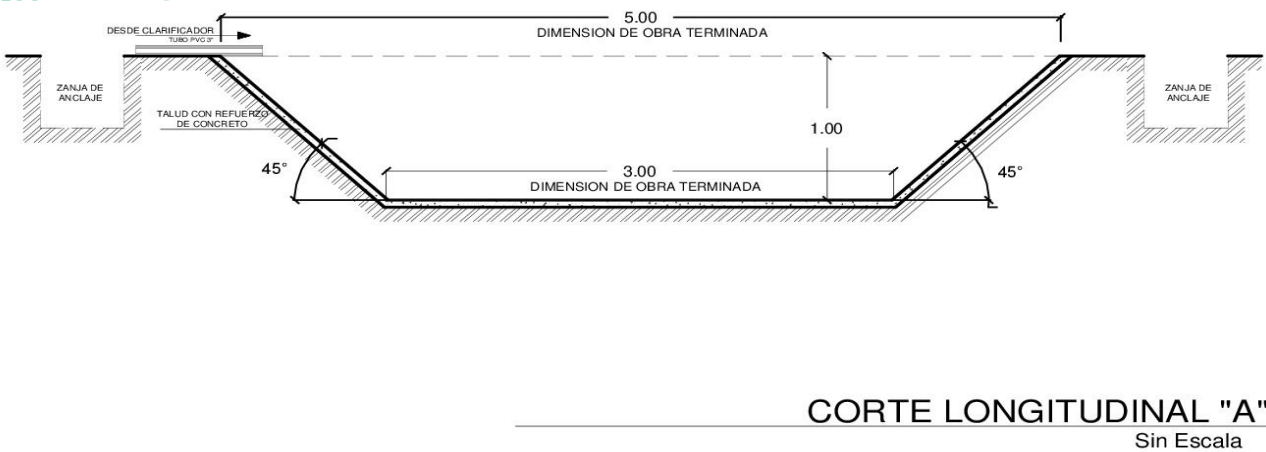
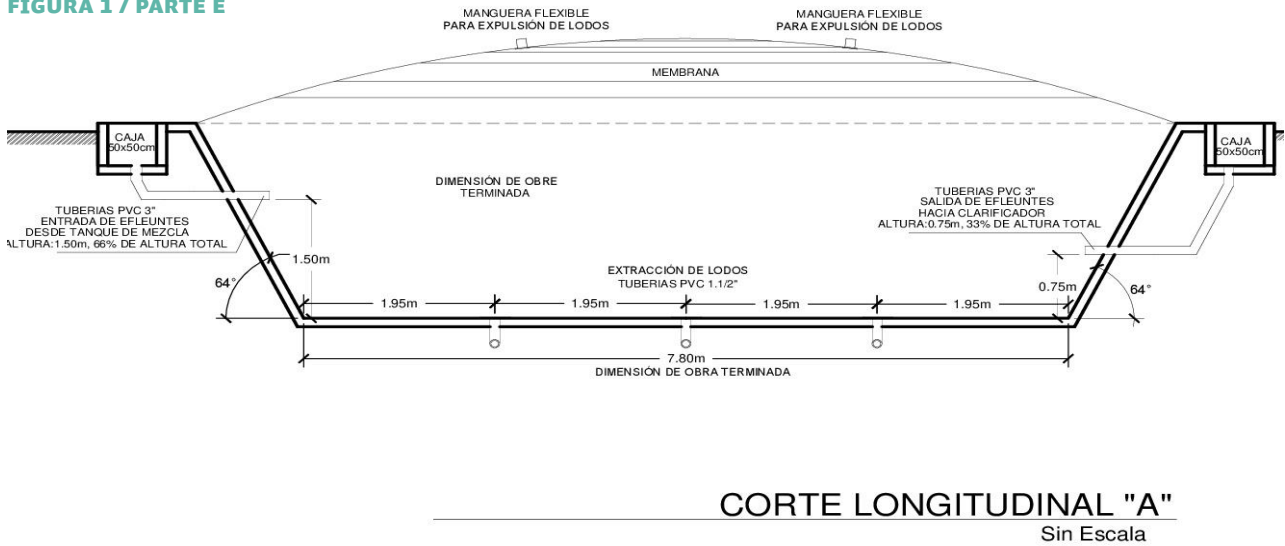
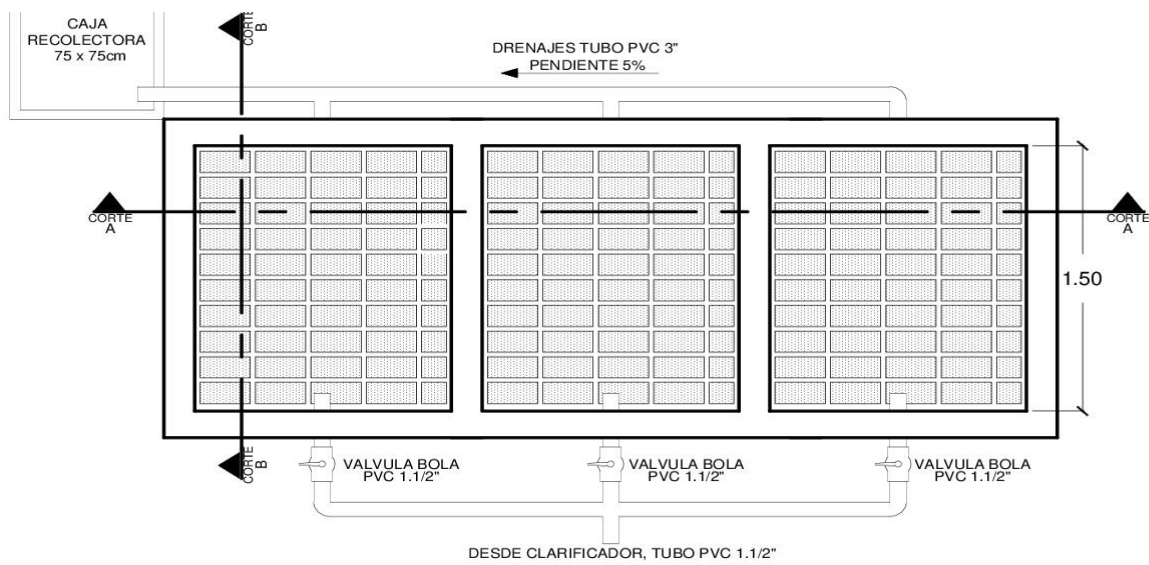


FIGURA 1 / PARTE E



CORTE LONGITUDINAL "A"
Sin Escala

FIGURA 1 / PARTE F



VISTA EN PLANTA
Sin Escala

FIGURA 1 | Diseño del Sistema de biodigestión

Con este diseño, la CCAD inició el proceso de licitación para la construcción del biodigestor, donde se adjudicó a la empresa AQL-LA de El Salvador, quien inició la construcción en julio de 2018.



FIGURA 2 / PRIMERA PARTE | Detalle del proceso de construcción del biodigestor.



FIGURA 2 / SEGUNDA PARTE | Detalle del proceso de construcción del biodigestor.

En la figura 2 se puede visualizar el proceso de construcción del biodigestor, en la primera fila se muestra el terreno previo a la instalación del biodigestor; en la segunda fila el proceso de construcción y finalmente el resultado final en la tercera y cuarta fila donde se muestra el biodigestor, la laguna de descarga y el patio de secados de lodos.

El biodigestor de flujo continuo (disponibilidad 365 días del año) con un diseño funcional que permite la extracción, recirculación de lodo y agua, evita la acumulación excesiva de lodos, rompe costras superficiales (recirculación) y la conducción de lodos hacia patios de secado. El sistema no utiliza agua fresca, sólo agua de proceso. Los componentes del biodigestor son los siguientes:

A	Tanque de mezcla de HDPE con bomba trituradora para crear una mezcla homogénea y luego enviarla al biodigestor.	E	Clarificador, tanque de polietileno de alta densidad con una capacidad de 300 litros.
B	Biodigestor de geomembrana, de tipo flujo continuo, con un volumen total de 54,7 m ³ y almacenamiento del tipo gasómetro inflable de 14,7 m ³ de biogás.	F	Laguna de descarga con recubrimiento de geomembrana con bomba sumergible de 0,50 HP.
C	Sistemas de tuberías de extracción, recirculación de lodo y agua, y una bomba extractora de lodos.	G	Patio de secado de lodos: 3 cámaras con tubería perforada al que permite recolectar el lixiviado y trasladarlo a una caja recolectora, esto permite la separación de fracción acuosa y sólida de los lodos.
D	Sistemas de filtros para humedad (sigicagel) y H ₂ S (Pelet de óxido de hierro).	H	Sistema de seguridad compuesto por antorcha en acero inoxidable, arresta llama (filtro de carbón) y sello hidráulico.

Para arrancar el biodigestor se inoculó por dos semanas, alimentándolo diariamente con estiércol (90% ganado y 10% cerdo). Actualmente, el biodigestor se alimenta diariamente con 356 Kg de estiércol (87% ganado, 9% cerdo, 0.56% gallinaza, 0.56% pollo, 2.52% conejo), para producir un aproximado de 25 m³ de biogás. El biodigestor brindada beneficios para estudiantes, docentes y trabajadores de la granja del INFRAMS, entre los que se pueden mencionar los siguientes:

- Suministrar biofertilizantes sólidos y líquidos, para abono de los cultivos y hortalizas, cuyo excedente podría generar ingresos adicionales de un estimado de USD \$1.760 anuales, bajo los supuestos de venta siguientes: a) 320 bolsas de fertilizantes solidos (25 libras c/u) con precio unitario de USD\$3.00; b) 200 litros de fertilizante líquido a un precio de USD\$4.00 cada litro.
- Manejo y tratamiento de 70 toneladas anuales de estiércoles/purines mejorando las condiciones sanitarias de la granja, reduciendo la proliferación de insectos, olores y contaminación de mantos acuíferos. Asimismo, reduce la emisión de aproximadamente 3,657 kg de metano (con una densidad a NTP de 25°C y 1 atm de 0.668 Kg/m³, 60% de CH₄).
- Reducción del consumo de leña que anteriormente era utilizada para el proceso de cocción.
- Educación y concientización de biocombustibles: los estudiantes, profesores y otros visitantes a la granja pueden conocer la oportunidad de producción de biogás y otros usos alternativos.
- El establecimiento de un modelo de negocio que permite la venta de productos elaborados con el biogás que antes se producían con GLP o Leña, y el potencial de generar

ingresos adicionales por ventas de fertilizantes orgánicos y por la sustitución en el uso de GLP.

- Investigación: la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” actualmente realiza tres tesis de pregrado sobre el biodigestor, enfocadas en el almacenamiento y transporte de metano, la caracterización de los afluentes y efluentes del biodigestor y un modelo de una cocina eficiente, con lo que con este biodigestor no solo se ha impactado en el nivel educativo medio, sino se ha trascendido a niveles educativos superiores generando investigaciones para aprovechar la producción de biogás en proyectos de pequeña escala.

3 | Resultados y lecciones aprendidas

Para este proyecto, la Dirección de Combustibles del CNE, como contraparte y supervisor del proyecto, realiza visitas constantes para garantizar su buen funcionamiento, solventando dudas o consultas del operador cuando sean necesario. En esta etapa también se cuenta con el apoyo de la CCAD como garante del contrato de construcción y que recientemente brindó el apoyo para la realización de estudios de laboratorios para el análisis de efluentes y materia orgánica.

Desde que se puso en marcha el biodigestor, básicamente las condiciones de operación, alimentación y producción se han mantenido constantes, ya que el sustrato se mantiene sin cambios apreciables, 356 kg de alimentación, en este sentido, la productividad es de alrededor de los 25 m³ diarios, con una concentración de metano que ronda entre 56 a los 60% vol y un 25 al 30% vol de CO₂ con un aproximado de 500 a 800 ppm de H₂S, el PH dentro del biodigestor oscila entre 6.5 a 7,3 y la temperatura del biogás ronda entre los 35 a 40°C.

En los primeros seis meses de operación, el biodigestor ha funcionado a plena capacidad y durante este tiempo se han podido identificar las siguientes lecciones aprendidas para retomarlas en futuros proyectos de pequeña escala.

Mejoras en el diseño del sistema de transporte de sustratos y digestados: Es importante reducir al mínimo el uso de componentes que provocan pérdidas del sistema de transporte de fluido, específicamente codos de 90°; para que funcione eficientemente debe utilizarse uniones de 45° para conectar tramos de tuberías, o buscar giros circulares. Para efectos de referencia, para aprovechar la gravedad se procuró una pendiente estimada de 3%. El sistema ha sido modificado en relación al diseño original y en su lugar han sido colocadas cajas de conexión, esto ha reducido la probabilidad de obstrucción en las tuberías y que el sistema funcione de manera eficiente.

Caracterización: Es importante realizar la caracterización de los sustratos de ingreso y efluentes de salida del biodigestor, antes de su tratamiento, durante la operación del biodigestor y después de algún tiempo de operación (maduración del biodigestor); esto permite conocer el rendimiento del biodigestor que se está operando y perfilar el tratamiento de los desechos. Adicionalmente facilita la operación del biodigestor, en función de la caracterización de las corrientes de entrada y salida, lo que permite hacer ajustes eficientes en la operación y mejorar la productividad del biogás.

Proyección educativa y de generación de capacidades locales: el proyecto permite que el INFRAMS sea un ejemplo de gestión y que los alumnos desde bachillerato sienten las bases para el manejo de recursos energéticos renovables; lo anterior se evidencia en visitas técnicas de institutos educativos nacionales y embajadas, entre otros, quienes son recibidos por los propios alumnos quienes explican el proceso de producción de biogás y sus beneficios.

4 | Conclusiones y recomendaciones

Un biodigestor a pequeña escala es factible y viable, siempre y cuando se le brinde seguimiento y acompañamiento a manera de solventar en la marcha los incidentes que puedan afectar su operación y funcionabilidad. Además de la inclusión de un proceso de enseñanza y aprendizaje de los futuros operadores del biodigestor.

Este proyecto permite motivar a otros proyectos similares en pequeña escala, de manera de visualizar el beneficio que se obtiene para la producción de biogás, al mismo tiempo de obtención de biofertilizantes bajo el manejo de la materia orgánica que se produce en la granja del INFRAMS. A partir de este proyecto, se buscará el mecanismo de replicar a nivel nacional la experiencia, ampliándolo no solo para los institutos nacionales, sino también para comunidades, asociaciones ganaderas, o zonas turísticas que cuenten con el potencial para que sean utilizadas en sus procesos productivos. Así mismo, se evaluarán los mecanismos para la obtención de metano a partir de los

desechos orgánicos urbanos recolectados en el país. Se espera en un futuro cercano contar con un Fondo Nacional para la realización de Proyectos Renovables en pequeña escala.

5 | Agradecimientos

El Consejo Nacional de Energía agradece a la a los siguientes actores involucrados que hicieron posible la puesta en marcha del primer Proyecto Piloto de Biodigestor: a) Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) quienes financiaron el proyecto y acompañan el proceso de implementación) Instituto Nacional “Dr. Francisco Martínez Suarez” por permitir desarrollar el primer proyecto piloto de biodigestor en sus instalaciones) Empresa AQL-LA, ejecutores del proyecto por el continuo apoyo tanto en el proceso investigativo como en el funcionamiento y aceptabilidad del biodigestor) Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), específicamente a la Unidad de Energía y Recursos Naturales de la Sede Subregional México por financiar el estudio la prefactibilidad de este proyecto) A todas las demás instituciones públicas y privadas que actualmente están apoyando el proyecto.

6 | Referencias

Varnero Moreno M. T. *Manual de Biogás*. MINENERGIAPNUD/FAO/GEF, Santiago de Chile, 2011.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), a través de la agencia implementadora del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), *El Salvador Primer Informe Bienal de Actualización El Salvador 2018*, pg. 54 y 55.

EXPRESIÓN DE RESULTADOS DE LABORATORIO: ¿CÓMO MEDIR EL VOLUMEN DE BIOGÁS?

CÁPSULA EDUCATIVA

Ricardo Luis Radis Steinmetz
Embrapa Suínos e Aves, Brasil
ricardo.steinmetz@embrapa.br

Las mediciones de volumen de biogás, tanto en el laboratorio como en el campo, siempre son un desafío. Las diferentes formas de realizar mediciones (volumétricas, de presión o de masa) pueden dar como resultado valores expresados con diferentes unidades de medición y están sujetas a incertidumbres variables de medición. Cuando no conocemos los principios físicos involucrados en cada método de medición no identificamos posibles fuentes de error o, por otro lado, exageramos los controles durante la medición de volumen de biogás. En el laboratorio, por ejemplo, es necesario realizar mediciones diarias del volumen de biogás producido para intentar obtener el potencial bioquímico del biogás (PBB) y/o el potencial bioquímico del metano (PBM).

Estos resultados se utilizan para diseñar biodigestores y plantas de biogás en gran escala. Por supuesto, es muy importante que las mediciones de volumen sean lo más precisas posible para garantizar seguridad en las estimaciones. Otro ejemplo es cuando queremos verificar si un biodigestor tiene una eficiencia satisfactoria. O identificar si hay algún problema operacional que impida la producción de biogás. Para todo eso, necesitamos de medición confiable del volumen de biogás.

¿Qué influye en el volumen de biogás? Digamos que dos laboratorios, uno en Costa Rica y otro en el sur de Chile, digieren la misma muestra. ¿Qué laboratorio obtendrá la mayor cantidad de biogás? ¿Ambos deben obtener los mismos resultados y trabajar en las mismas condiciones! El volumen de un gas depende de la presión y la temperatura del gas. La Tabla 1 muestra la variación estimada en el volumen de un litro de biogás a diferentes temperaturas y presiones. Por lo tanto, es esencial conocer la temperatura y la presión del biogás en el momento de la medición y, por lo tanto, “normalizar” el volumen medido corrigiendo y permitiendo comparaciones entre volúmenes.

PRESIÓN (ATM)	T° (°C)	VOLUMEN MEDIDO (ML)	VOLUMEN NORMALIZADO (ML _N)
1	10	1000	1131
1	15	1000	1106
1	20	1000	1080
1	25	1000	1053
0,90	25	1000	945
0,95	25	1000	999
1,05	25	1000	1107

TABLA 1 | Simulación de variaciones del volumen normalizado.

¿Cómo normalizar el volumen de biogás? La normalización es una conversión del volumen medido a 273 K (0 °C) de temperatura y 1013 hPa (1 atm) de presión aplicando la ecuación 1:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (1)$$

- P₁** = 1013 hPa
- T₁** = 273 K
- V₁** = volumen de biogás normalizado que se busca (mL, L o m³)
- P₂** = presión del biogás en el momento de medida (hPa)
- T₂** = temperatura del biogás en el momento de medida (K)
- V₂** = volumen del biogás medido (mL, L o m³)

En el laboratorio es importante tener el control de la temperatura ambiente (ej. aire acondicionado). Por lo tanto, si la temperatura del biogás está en equilibrio con la temperatura ambiente y la temperatura ambiente es homogénea (o sea, sin corrientes de aire o fuentes de calor puntuales) es posible obtener T₂ solo usando un termómetro para monitoreo de la temperatura interna del laboratorio. Por lo general, es recomendable que la temperatura control en laboratorio sea entre 18 y 22 °C para minimizar errores.

La presión de biogás (P₂) también debe medirse y dependerá del instrumento y método de medición del volumen utilizado. Por ejemplo, para mediciones con tubos eudiómetros graduados, es suficiente igualar la presión interna con la presión ambiental, leyendo el volumen igualando el nivel interno y externo del sellador (ver foto a continuación).



FIGURA 1 | Ecuilibración del nivel (y presión) para lectura del volumen de biogás en eudiómetros.



FIGURA 2 | Monitoreo de temperatura y presión ambiente del laboratorio.

¿Y qué otro factor es importante? Otro factor importante es descontar la humedad presente en el biogás y expresar el volumen de biogás seco. Hacer esto es bastante sencillo, sólo se necesita conocer la temperatura del biogás (medida en T_2) y descontar la presión de vapor de saturación del agua a esta temperatura. Básicamente es usar la Ecuación 1, adaptada para este caso (ver Ecuación 2). Otras maneras de hacer secado del biogás es sacar el máximo del agua utilizando un filtro relleno con una sal muy higroscópica o enfriar a cerca de 0 °C el biogás para bajar la presión parcial del agua (por proceso de condensación – ver Tabla 2).

- P_1 = 1013 hPa
- T_1 = 273 K
- V_1 = volumen de biogás normalizado que se busca (mL, L o m^3)
- P_2 = presión del biogás en el momento de medida (hPa)
- P_w = presión parcial del vapor de agua en función de la T_2 (hPa)
- T_2 = temperatura del biogás en el momento de medida (K)
- V_2 = volumen del biogás medido (mL, L o m^3)

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{(P_2 - P_w) V_2}{T_2} \quad (2)$$

$T(^{\circ}C)$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
PW(HPA)	6	12	23	43	77	125	200	321	475	700	1013

TABLA 2 | Variación de la presión parcial del vapor de agua (P_w) por la temperatura (T_2).

PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO ÂMBITO DA AGRICULTURA FAMILIAR NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO COMO PROPOSTA DE CONVIVÊNCIA E MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: A EXPERIÊNCIA DA ONG DIACONIA

ESTUDIO DE CASO

Ita Porto de Oliveira, Adilson Alves Viana, Afonso Fernandes Cavalcanti, José Edson da Silva, Jucier Jorge de Lima Silva.
Diaconia
E-mail: itaporto@diaconia.org.br

Resumo:

As mudanças climáticas e a desertificação vêm se tornando mais ameaçadoras para a permanência das famílias agricultoras no Semiárido do Brasil. O uso do carvão e da lenha representam cerca de 30% da matriz energética no Nordeste do país, chegando a 80% das demandas de energia da agricultura familiar na região que ainda sofre com os efeitos dos últimos anos de seca. A Diaconia criou o modelo do Biodigestor Sertanejo, de escala doméstica, que produz de 15 a 25 m³ de biogás por mês, a partir do uso de esterco animal. Esse modelo é construído com materiais facilmente encontrados no mercado local, facilitando sua replicação. Como resultado, temos a redução de emissões de GEE e a diminuição do desmatamento. Além disso, há impactos a partir da melhoria do manejo dos solos, bem como a produção de biogás e o uso de biofertilizantes. A melhoria da qualidade de vida das mulheres é significativa, bem como a garantia da permanência das famílias rurais na região.

1 | Introdução

As mudanças climáticas juntamente com os processos de desertificação ocorridos na região do Semiárido brasileiro, vêm se tornando cada vez mais ameaçadores para a permanência das famílias agricultoras nas regiões rurais. Conforme definição da Convenção das Nações Unidas para o combate à desertificação (UNCCD), a desertificação é um fenômeno no qual as terras de regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas perdem sua capacidade produtiva em decorrência, principalmente, da ação humana, mas também devido a influências das mudanças do clima, especialmente o aumento das secas e das temperaturas. No Brasil, a retirada da vegetação nativa do Bioma Caatinga tem sido uma das causas do aumento da desertificação e contribuição para os efeitos das mudanças climáticas. A Caatinga ocupa uma área de cerca de 844.453 quilômetros quadrados, o equivalente a 11% do território nacional. Engloba os estados Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí, Sergipe e o norte de Minas Gerais. Rica em biodiversidade, cerca de 27 milhões de pessoas vivem na região, a maioria carente e dependente dos recursos do bioma para sobreviver (MMA, 2019).

De acordo com o último Censo Agropecuário (IBGE, 2006), a agricultura familiar é a base da economia de 90% dos municípios brasileiros com até 20 mil habitantes. Além disso, é responsável pela renda de 40% da população economicamente ativa do país e por mais de 70% dos brasileiros ocupados no campo.

Embora muitas famílias rurais já possuam o fogão que utiliza o botijão de gás butano, ainda é comum o uso da lenha e do carvão para cozinhar no Nordeste brasileiro. Essa prática intensifica o processo de degradação do meio ambiente, por meio do desmatamento, provocado pela extração e queima da lenha, e também pela queima do carvão. Além disso, o uso desses combustíveis prejudica a saúde das pessoas, principalmente de mulheres, crianças e idosos, que permanecem mais tempo em casa e sofrem com a fumaça produzida. O custo do botijão de gás é o principal fator para que as famílias recorram a esta prática predatória do Bioma Caatinga para cozinhar os alimentos.

A Diaconia é uma organização cristã, formada por 11 igrejas protestantes que atua, há 52 anos, na promoção e defesa de direitos humanos na região Nordeste do Brasil. A busca por alternativas que facilitassem o cotidiano das famílias de pequenas propriedades rurais do Semiárido fez com que a Diaconia desenvolvesse, em parceria com o Projeto Dom Hélder Câmara, em 2008, uma pesquisa para criação de uma tecnologia que produzisse energia renovável, a partir da produção de biogás, que pudesse ser construída de maneira simples, com baixo custo e tivesse um fácil manejo através de uma abordagem agroecológica. O biodigestor sertanejo surge como uma ferramenta para colaborar com a soberania energética das famílias agricultoras a partir do fortalecimento de seus sistemas agroecológicos.

2 | Descrição do caso

Nos últimos 10 anos, a Diaconia implementou cerca de 700 unidades de biodigestores sertanejos, em escala doméstica, nas áreas rurais do Brasil, especialmente na região do Semiárido brasileiro. Essa tecnologia também vem sendo adotada por outras organizações no âmbito da Articulação do Semiárido Brasileiro (ASA Brasil) e do universo das organizações que atuam na assessoria técnica e extensão rural no país (Imagem 01).



FIGURA 1 | Família agricultora da Comunidade Rural Jatobá, município de Carnaíba, no Sertão do Pajeú, em Pernambuco - Brasil. Imagem: Acervo Diaconia

Em 2009, com o apoio da Norwegian Church Aid, a tecnologia passou a fazer parte da estratégia de convivência com o Semiárido, beneficiando cerca de 250 famílias agricultoras, nas áreas de atuação da Diaconia, nas regiões semiáridas de Pernambuco e Rio Grande do Norte. Em 2012, a Diaconia recebeu o Prêmio Caixa Melhores Práticas em Gestão Local, incluindo o Biodigestor Sertanejo no Banco de Dados da ONU/Habitat para Melhores Práticas. A tecnologia social ficou entre as oito melhores práticas do Brasil e entre as 48 do mundo, pelos impactos socioambientais a partir da implementação de

biodigestores em escala doméstica.

Em 2015, a Diaconia construiu 395 biodigestores, em 06 Estados do Brasil (Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), por meio do projeto “Biodigestores: Uma Tecnologia Social no Programa Nacional de Habitação Rural”. O projeto teve o apoio do Fundo Socioambiental CAIXA, numa proposta de integração desta tecnologia ao Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR) do Governo Federal (Figura 2).

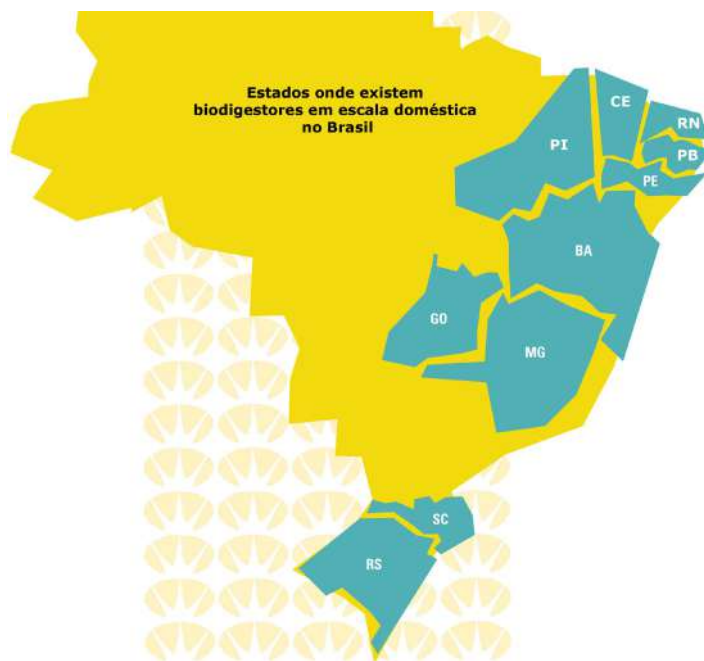


FIGURA 2 | Estados onde existem unidades construídas do modelo Biodigestor Sertanejo no Brasil. Imagem: Acervo Diaconia.

O Biodigestor Sertanejo é uma tecnologia que produz o biogás a partir do esterco de animais. Ele é composto por três partes: Caixa de Carga, Tanque de Fermentação, onde também fica a Câmara de Armazenamento de Biogás e a Caixa de Descarga (Figura 3).

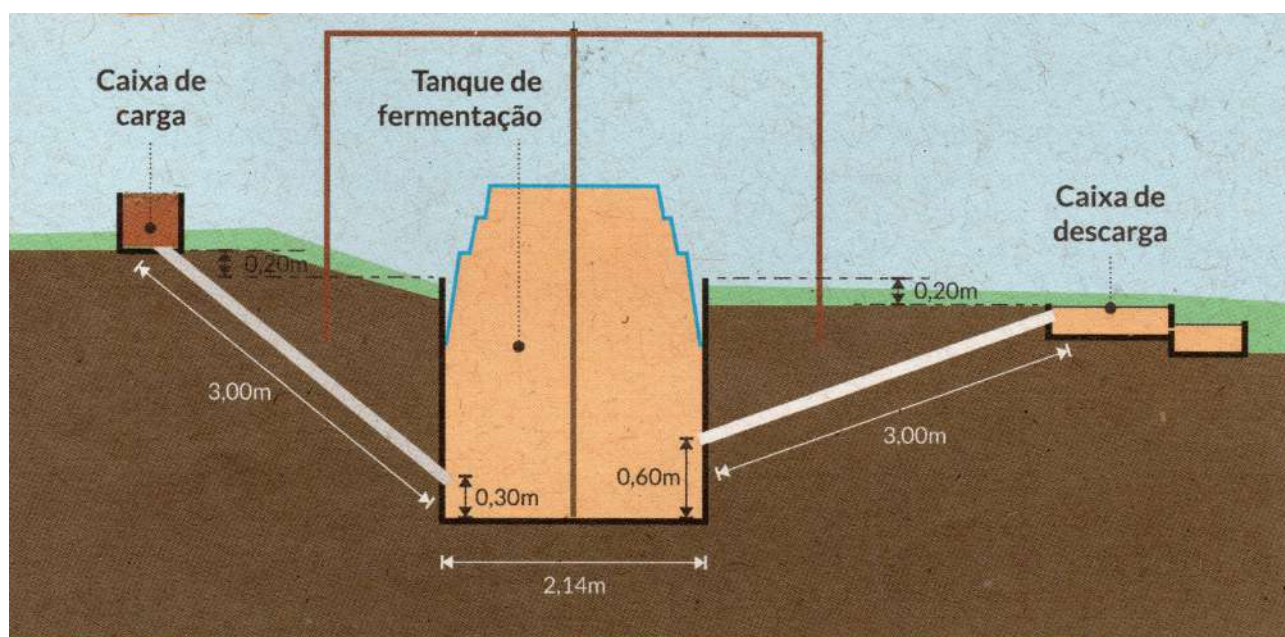


FIGURA 3 | Esquema das partes do modelo do Biodigestor Sertanejo. Imagem: Acervo Diaconia.

Na Caixa de Carga são colocados os excrementos de bovinos, suínos, caprinos e/ou aves misturados com água, na proporção 1:1 (para cada 01 litro de esterco, acrescenta-se 01 litro de água), os quais abastecem o Tanque de Fermentação onde é produzido e armazenado o biogás. O Tanque de Fermentação tem capacidade para 6.500 litros de substrato. Já na Caixa de Descarga é eliminado um produto líquido que é o biofertilizante, que misturado a água pode ser usado na plantação como adubação foliar. Também se produz o adubo sólido, ou esterco curtido, que pode ser colocado no solo para melhorar a sua fertilidade.

3 | Resultados e lições aprendidas

A implantação dos biodigestores colabora para a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. O uso do biodigestor contribuiu para a diminuição do desmatamento e do efeito estufa. As famílias não necessitam mais retirar a lenha da mata para cozinhar e o gás metano, liberado pelo esterco animal, não está sendo lançado na atmosfera. As famílias aprenderam a manejar o biodigestor, considerando seus benefícios integrados ao manejo da propriedade rural como um todo.

O biodigestor impactou positivamente a qualidade de vida das famílias agricultoras que passaram a ter mais saúde pelo uso do biodigestor, evitando inalarem a fumaça (fuligem) que era produzida a partir do uso da lenha e do carvão, causando problemas respiratórios, principalmente em mulheres, crianças e idosos. O uso do biodigestor colabora para sanidade animal a partir da limpeza dos currais e chiqueiros. Essa prática garante animais mais saudáveis, com a diminuição significativa de verminoses e moscas-do-chifre.

Tradicionalmente, cada família gasta, mensalmente, cerca de 10% de um salário mínimo com a compra de gás butano (o que é um valor muito alto para uma família agricultora pobre) ou então coleta cerca de 21 kg de lenha para preparar a sua alimentação. Neste período, proporcionalmente ao que é utilizado num biodigestor, 300 kg de esterco animal ficam expostos no meio ambiente emitindo gás metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂) na atmosfera. Com o modelo do biodigestor sertanejo as famílias passaram a produzir uma média mensal de 15,73 m³ de biogás, o equivalente a 96,08 kg de lenha para cocção ao mês, evitando o uso de 1.152 kg da mesma lenha ao ano. A utilização do biodigestor vem gerando uma economia real mensal de cerca de R\$ 82,50 (20,7 US\$) por família, considerando que cada uma gasta, em média, um botijão e meio de gás butano por mês. Ao ano a família economiza cerca de R\$ 990,00 (US\$ 248,00).

4 | Conclusões e recomendações

Além dos impactos ambientais positivos, a implantação dos biodigestores beneficia famílias agricultoras como um todo, em especial, significativamente a qualidade de vida das mulheres, pois, em geral, são elas as responsáveis pela busca de lenha nas matas e pelo preparo dos alimentos. Com a produção de gás próximo de casa, o tempo de trabalho das mulheres está sendo melhor aproveitado,

dando oportunidade de se envolverem em outras atividades sociais de benefício próprio e da família.

A metodologia de mobilização das famílias agricultoras e de parcerias institucionais, também é eficaz para a adesão à tecnologia, bem como para o fortalecimento da organização social e o estímulo à participação em espaços de decisão política.

Dessa forma, conclui-se que é necessário desenvolver mecanismos que garantam o mapeamento do potencial produtor de energia renovável a partir da produção de biogás em escala doméstica, no âmbito da agricultura familiar, bem como o acesso a essa tecnologia a partir de políticas públicas de desenvolvimento rural sustentável, inseridas na política energética do Brasil, como estratégia de convivência com o Semiárido.

5 | Referências bibliográficas

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. ISSN 0103-6157 Censo agropec., Rio de Janeiro, p.1-777, 2006
Bioma Caatinga – site do Ministério do Meio Ambiente: <https://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>

Censo Agropecuário 2006. Agricultura Familiar: primeiros resultados. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. ISSN 0103-6157 Censo agropec., Rio de Janeiro, p.1-267, 2006.

Manual do Biodigestor - Cartilha Reaplicando o Biodigestor a partir da mobilização social. Diaconia e Fundosocioambiental CAIXA, Novembro de 2016.

Manual do Biodigestor – 12 passos para construir um biodigestor. Diaconia e Fundosocioambiental CAIXA, Novembro de 2016.

Manual do biodigestor sertanejo / Luis Cláudio Mattos, Mário Farias Júnior. – Recife: Projeto Dom Helder Camara, 2011.

Ministério do Meio Ambiente: Caatinga. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/biomas/caatinga> Acesso em: 28 de agosto de 2019.

Queima de lenha e carvão em ambientes fechados – poluição do ar e riscos a saúde. Sindigás – Março 2017.

UNCCD – CONVENÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A LUTA CONTRA A DESERTIFICAÇÃO. Disponível em: <https://www.unccd.int/official-documents> Acesso em: 20 de julho de 2019.

ESTIMACIÓN EN LABORATORIO DEL POTENCIAL DE DIGESTIÓN DE ORUJO DE ACEITUNA EN LA RIOJA, ARGENTINA

ESTUDIO DE CASO

Rodolfo Abel Dematte¹

¹ Instituto de Energías Naturales Renovables. Centro de Investigación e Innovación Tecnológica. Universidad Nacional de La Rioja
Email: rdematte@gmail.com

Resumen

Se realizaron estudios exploratorios de laboratorio en residuos relacionados a las actividades productivas agroindustriales de la Provincia de La Rioja, Argentina. Existe un gran potencial de producción en función de sustratos o materias orgánicas derivados de las producciones agrícolas en distintas escalas. En este caso en particular el estudio de la producción de biogás en orujo de aceituna, residuo de la industria extractiva del aceite de oliva. Actualmente no se aprovecha el potencial energético del mismo para la combustión directa ni para la cogeneración de energía. La digestión anaeróbica es un método de posible aplicación teniendo en cuenta que se produce biogás y a su vez los otros sub-productos, el biol y el sólido residual obtenido, se pueden utilizar para la fertilización de suelos. Según los ensayos efectuados es necesaria la aplicación de inóculos que aceleren la producción del biogás.

1 | Introducción

En Argentina, el cultivo del olivo se extiende en la región de Cuyo: La Rioja, Catamarca, San Juan y Mendoza, estas provincias concentran el 82% de la superficie implantada y el resto se concentra en pequeños polos productivos distribuidos en todo el país. (Cámara Olivícola San Juan, 2018). La Rioja es la principal productora de aceitunas y cuenta con una superficie de 26.000 hectáreas, un 28% de la superficie cultivada del país.

La producción total en Argentina es 356 Millones de Tn de aceitunas (Ministerio de Hacienda, 2018), el 75 % se destina a la producción de aceite, lo que genera una cantidad de biomasa de 210 millones de Tn anuales de orujo producido. La generación del orujo es estacional entre los meses de febrero y agosto, pero se puede acumular y está disponible durante todo el año.

El orujo es un subproducto resultante de la extracción de aceite de la aceituna, está conformado por pulpa, piel y hueso. Su contenido de humedad a la salida del proceso varía entre 49 y 62%, con un contenido residual de materia grasa promedio de 2.3% y un contenido de materia seca



FIGURA 1 | Biodigestor tipo batch a escala de laboratorio. Capacidad 25 litros.

entre 37% y 43% dependiendo del sistema de extracción de aceite (Civantos, 1999).

El orujo se acumula en áreas de secado, ya que su transporte tal como sale de fábrica se encarece (Civantos, 1999). En las áreas de acopio se origina la lixiviación del agua y del aceite contenido inutilizando el suelo, paralelamente se produce el secado por contacto con el aire y pierde gran parte de la humedad inicial. La disposición final genera un impacto negativo en el ambiente contribuyendo a la contaminación del suelo y a problemas de seguridad, ya que es un potencial foco de incendio debido a que la acumulación en montículos produce reacciones exotérmicas internas y en estas condiciones comienza la auto-ignición del orujo.

La digestión anaeróbica es una forma alternativa para el tratamiento de los residuos agroindustriales de la industria olivícola, existe un gran potencial ya que el sustrato es de bajo costo, y la generación de biogás está poco desarrollada en la provincia de La Rioja.

2 | Descripción del caso

Las muestras son representativas de la campaña 2017 proveniente de la Fábrica de aceite de Oliva SOLaR de la Universidad Nacional de La Rioja. La extracción de aceite se realiza por el sistema de tres fases: aceite, orujo y alpechín. Se diseñó un reactor para biogás en escala laboratorio tipo batch, de estructura metálica inoxidable, con cierre antifugas (Figura 1). Es un digestor que opera a régimen estacionario o “discontinuo”, el tiempo de retención es el que transcurre entre la carga del sistema y su descarga. Tiene incorporado termómetro, medidor de presión y llaves esféricas para salida de gas y biol.

Las pruebas se realizaron con 3 kg de orujo seco, se lo hidrató hasta llevarlo a 65 % de humedad, y con sólidos totales digeribles al 10 %. El ensayo se realizó a temperatura constante de 25° C. El tiempo de retención hidráulica del sustrato fue de 20 semanas con medición semanal del gas producido.

La primera prueba consistió en una evaluación inicial del sustrato y la segunda prueba se realizó ensayo testigo versus ensayo con adición de inóculo. El inóculo utilizado fue 10 gr. de aditivo comercial marca BIOCLIN (producto de uso domiciliario sanitario a base de microorganismos y enzimas para pozos ciegos).

Los análisis realizados en el sustrato fueron: Humedad (H), sólidos totales (ST), y % pulpa/hueso (por gravimetría) y pH (con pHmetro). La medición del volumen de gas producido se midió mediante el desplazamiento de agua en una probeta graduada invertida, el periodo de medición se realizó semanalmente. La eficiencia de la producción de biogás se determinó expresando el volumen de biogás producido por unidad de peso de MS digerible (FAO; 2011). La concentración de MS en el reactor es del 10% de sólidos digeribles (pulpa), y el 21.8% restante corresponde a hueso que no reacciona ya que es lignina (por dificultades técnicas no se separó).

3 | Producción de biogás:

- **Prueba 1:** inició con pequeñas producciones de biogás constantes y continuas desde la semana 6 hasta la semana 17, cuando el sustrato no generó más biogás. En un lapso de 12 semanas, se obtuvo una producción de gas de 471 ml/kg de sustrato en CNPT con un rendimiento por batch de 47.1% (v/p).

- **Prueba 2:** Ensayo testigo vs Inóculo: la producción de biogás inició a partir de la semana 2 y finalizó en la semana 7, se presume que todo el sustrato digerible se consumió, se obtuvo un rendimiento global de 240% (v/p). En cambio, la muestra sin agregado de inóculo en la semana 6 inició la producción extendiéndose hasta la semana 17, periodo que cesó por completo con un rendimiento global de 57% (v/p). La producción de gas en el ensayo con inóculo fue de 2400 ml y en el ensayo sin inóculo fue de 570 ml. (Figura 2).

4 | Resultados y lecciones aprendidas

Se presentan los resultados obtenidos (Tabla 1) caracterizando el sustrato digerible utilizado en la ejecución de las pruebas.

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Sólidos Totales (ST)	%	31.8
Humedad (H)	%	68.1
Hueso	%	21.2
Pulpa (p)	%	10.6
pH	-	6.78

TABLA 1 | Sustrato utilizado en los experimentos después de hidratarlo | Fuente: *Elaboración propia*.

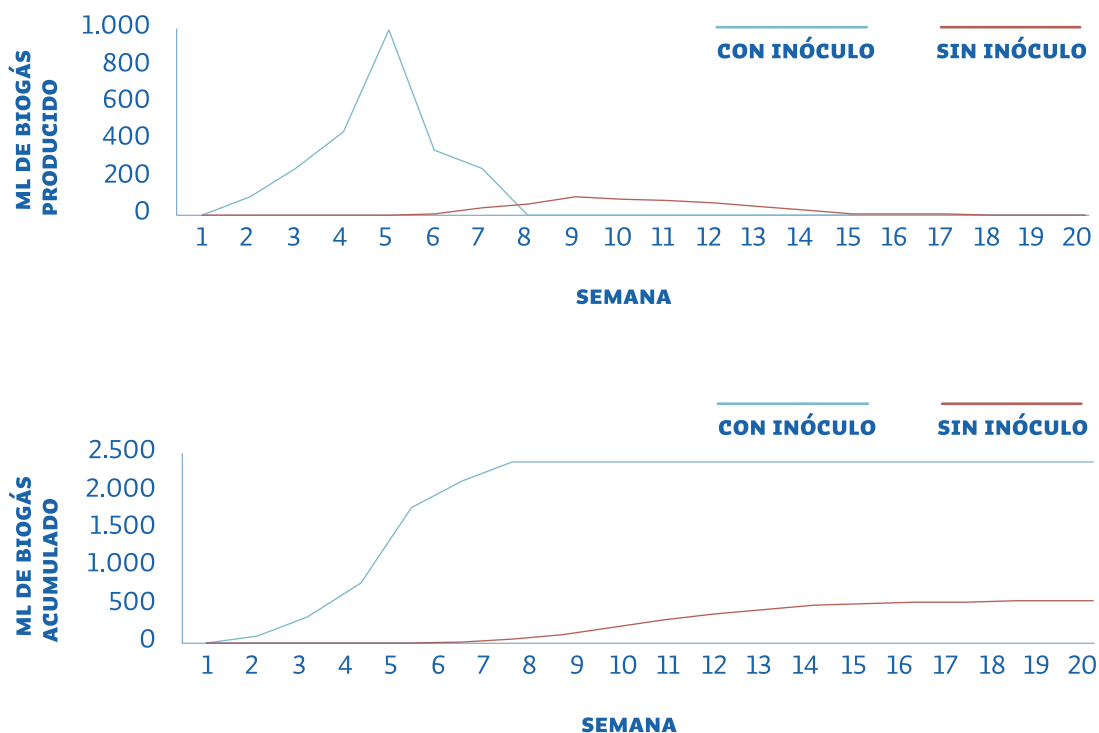


FIGURA 2 | Producción de Biogás por semana. (a) producción semanal (b) total acumulado | Fuente: en base a datos propios.

En ensayos no inoculados con bacterias demoran en iniciar la producción de biogás, en cambio los que tienen inóculo de bacterias hace que la producción sea mayor en menor periodo de tiempo y con mejor rendimiento. El uso de inoculantes microbianos en el proceso de digestión metanogénica, permite que los períodos de obtención de metano sean menores, optimizando así el proceso e incrementando la producción de metano (Varnero, 2014).

5 | Conclusiones y recomendaciones

La olivicultura se trata de un negocio a largo plazo. El sector olivícola es el primer interesado en contar con políticas de mediano y largo plazo que le permitan planificar sus futuras y constantes inversiones. Hay un potencial enorme en el país ya que su matriz de producción primaria es muy amplia y variada.

Los resultados obtenidos servirán de base en futuras investigaciones sobre la generación de biogás utilizando este tipo de biomasa. En las zonas donde se extrae el aceite de oliva hay elevadas cantidades de biomasa que apropiadamente tratada permitirá la generación de biogás. Es recomendable la separación pulpa/hueso, ya que al separar el hueso se eficientiza el uso del reactor y además el hueso puede usarse como material para la elaboración de briquetas o pellets destinados a la combustión.

En cuanto a la estacionalidad, se demostró que es posible la producción de biogás a partir del orujo desecado, por lo tanto se lo puede utilizar durante todo el año aunque pierda su contenido de humedad inicial.

6 | Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de La Rioja, por financiar el proyecto 27/A578.

7 | Referencias bibliográficas

CÁMARA OLÍVICOLA SAN JUAN (2018) Informe olivícola nacional 2017 Olivicultura argentina <http://camaraolivicola.com.ar/wp-content/uploads/2018/09/Informe-Oliv%C3%ADcola-5-de-septiembre-de-2018.pdf>

CIVANTOS, L. (1999) Obtención del Aceite de oliva Virgen. 2da. Edición. Editorial Agrícola Española S.A. España.

FAO / MINENERGIA / PNUD / GEF (2011) Manual del Biogas. ISBN 978-95-306892-0 Disponible en: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

MINISTERIO DE HACIENDA. (2018) Subsecretaría de políticas económicas. Informes de cadena de valor. Olivícola. Marzo 2018. Año 3. N°34 ISSN 2525-0221. Disponible en: http://www.economia.gob.ar/peconomica/docs/2018/SSPMicro.Cadenas.de_valor.Olivicola.pdf

VARNERO, M. T., GALLEGUILLOS, K., GUERRERO, D., & SUÁREZ, J. (2014). Producción de Biogás y Enmiendas Orgánicas a Partir del Residuo Olivícola (Alperujo). *Información Tecnológica*, 25(5), 73–78. doi:10.4067/s0718-07642014000500011

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN ESQUEMA DE APROVECHAMIENTO DE BIOMASA RESIDUAL A TRAVÉS DE CO-DIGESTIÓN ANAEROBIA

ARTÍCULO

Jhessica Mosquera¹, Carol Rangel², Iván Cabeza^{1,3}, Paola Acevedo^{1,4}

¹Universidad Santo Tomas, ²Universidad EAN, ³Politécnico Gran-colombiano, ⁴Universidad Cooperativa de Colombia
E-mail: jhessica.mosquera@usantotomas.edu.co

Resumen

El presente trabajo evaluó el desempeño técnico, ambiental y económico para la implementación de una planta de co-digestión anaerobia (DA) operada en régimen semicontinuo, en la cual se valorizaron los residuos agroindustriales derivados de procesos productivos de Cundinamarca, Colombia, como lo son la industria de bebidas embotelladas de frutas, la industria cacaotera, el sector pecuario, entre otros. El análisis de ciclo de vida (ACV) siguió los parámetros de la ISO 14040 - software Simapro-. Se estimó una producción de potencia de 369,695 kwh, para una capacidad instalada de planta de 931,165 t/año. Los impactos ambientales que se generan al poner en funcionamiento una planta de producción de metano se deben, principalmente, al transporte de sustratos, uso de energía eléctrica del sistema interconectado y al vertimiento de agua proveniente de la etapa de deshidratación del digestato. Los resultados de la evaluación económica arrojaron un valor presente neto (VPN) para 2028 de \$42.415.000.000. y una tasa interna de retorno TIR de 0,32.

1 | Introducción

La diversificación energética para el desarrollo sostenible constituye una de las políticas del gobierno colombiano que incentiva el desarrollo e implementación de tecnologías renovables para la producción de energía (Congreso de la República de Colombia, 2017). La transformación de biomasa residual y la co-generación cuentan con uno de los potenciales energéticos más altos, debido a la actividad agrícola que se concentra en el territorio Colombiano (Escalante, 2011). En consecuencia, es propicio el desarrollo de estudios para la implementación de tecnologías de producción de biocombustibles de segunda generación, que permitan la transformación de la biomasa residual disponible. La DA se considera una alternativa sostenible, que favorece la conversión bioquímica de biomasa en biogás; sin embargo, existen pocos estudios que evalúen el desempeño ambiental de plantas de aprovechamiento de residuos agroindustriales, a través del método de análisis de ciclo de vida (ACV). El ACV, es una metodología estandarizada y altamente utilizada puesto que permite la evaluación del impacto ambiental de un producto, proceso o actividad (Mayer, Bhandari,

& Gäth, 2019). Consecuentemente, el objetivo del presente documento es analizar el desempeño ambiental y la viabilidad económica de la puesta en marcha de una planta de producción de biogás para el aprovechamiento de la biomasa residual disponible en el departamento de Cundinamarca, Colombia; la presente evaluación se llevó a cabo teniendo en cuenta los lineamientos de la norma ISO 14040 utilizando el software SimaPro (International Standard Organization, 2006).

2 | Metodología

2.1 | Estudio técnico

Estudios previos sobre valorización de residuos agroindustriales fueron el punto de partida para el ACV, permitiendo conocer las mejores condiciones para la operación de una planta de producción de biogás (Mosquera et al., 2019). La construcción de los balances de masa y energía se fundamentaron en el estudio de mercado realizado por Piñeros et al. (2018). Para el cálculo de la capacidad a instalar de la planta de DA, se tuvo en cuenta la disponibilidad anual de los residuos, los porcentajes de cada residuo en la mezcla y un porcentaje de utilización promedio de la planta del 80%. A partir de esta información, se dimensionó el reactor y la producción de biogás. Se estimó una operación continua de 330 días al año, dejando 15 días para labores de mantenimiento y 20 para la estabilización inicial. Se calcularon los flujos de referencia del reactor para la construcción de un diagrama de bloques con las operaciones necesarias para la alimentación continua del reactor, la purificación del biogás y el tratamiento del digestato.

2.2 | Análisis de ciclo de vida

El primer paso para su desarrollo fue definir el objetivo y alcance del estudio; seguido a esto, se realizó el análisis de inventario y se seleccionaron las categorías de impacto a evaluar. La evaluación del impacto ambiental potencial del proceso fue calculada con el software SimaPro de acuerdo a los estándares de la ISO 14040. Se definieron dos unidades funcionales para cuantificación del impacto, toneladas (t) para el consumo de sustratos, agua y otros recursos, y kilovatio hora (kwh) para el consumo de energía eléctrica.

2.3 | Evaluación Económica

El análisis económico de la planta tuvo en cuenta las utilidades proyectadas a 10 años para lo cual se realizaron los siguientes análisis: i) estimación de la inversión inicial de equipos, laboratorios y recursos físicos necesarios para la planta; incluyendo, los precios correspondientes a oficina

y nómina basadas en la consulta de facturación actual de precios para el sector industrial. ii) análisis de ingresos y egresos, donde se contempló como variables relevantes para el cálculo las utilidades netas, la depreciación del 10%, impuesto a utilidades, patrimonio e inflación. iii) cálculo del valor presente neto (VPN) y el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR).

3 | Resultados y discusión

3.1 | Estudio técnico

Piñeros et al. (2018) reportaron la disponibilidad de la biomasa residual en el departamento de Cundinamarca; a su vez, (Mosquera et al., 2019) encontraron que la mejor mezcla tendría una producción de 2200,15 mL CH₄/d. Se determinó que la capacidad instalada de la planta sería de 931,165 t/año, lo que corresponde a un volumen del reactor de 394,886 m³, una producción diaria de biogás de 232,148 m³/d y una producción de potencia de 369,695 kwh.

Una vez que se dimensionaron los reactores, se procedió a construir el diagrama de bloques del proceso. El diagrama se compuso de las siguientes operaciones: almacenamiento de los residuos agroindustriales (materia prima), donde adicionalmente se calculó el transporte de estas, con una distancia aproximada de 320 km, se determinó que el proceso de recolección se realizaría cada tres días. Los procesos de trituración y transporte de la mezcla se llevarán a cabo por lotes se seleccionaron equipos que tuviera la capacidad para triturar y cargar todos los residuos necesarios para un día en menos de dos horas al día. Mezcla, en esta etapa se agrega el agua necesaria y se homogeniza la mezcla para alimentar el reactor CSTR. A diario se registran dos corrientes de salida del reactor, una de biogás y otra de digestato. El biogás generado requiere un acondicionamiento necesario para poder quemar el biogás bajo estándares técnicos y ambientales que garanticen la durabilidad del motor generador. De igual manera, para la valorización de la corriente del digestato, se requiere retirar su humedad para su comercialización. La Figura 1. presenta el diagrama de bloques elaborado con las corrientes energéticas y másicas calculadas por día.

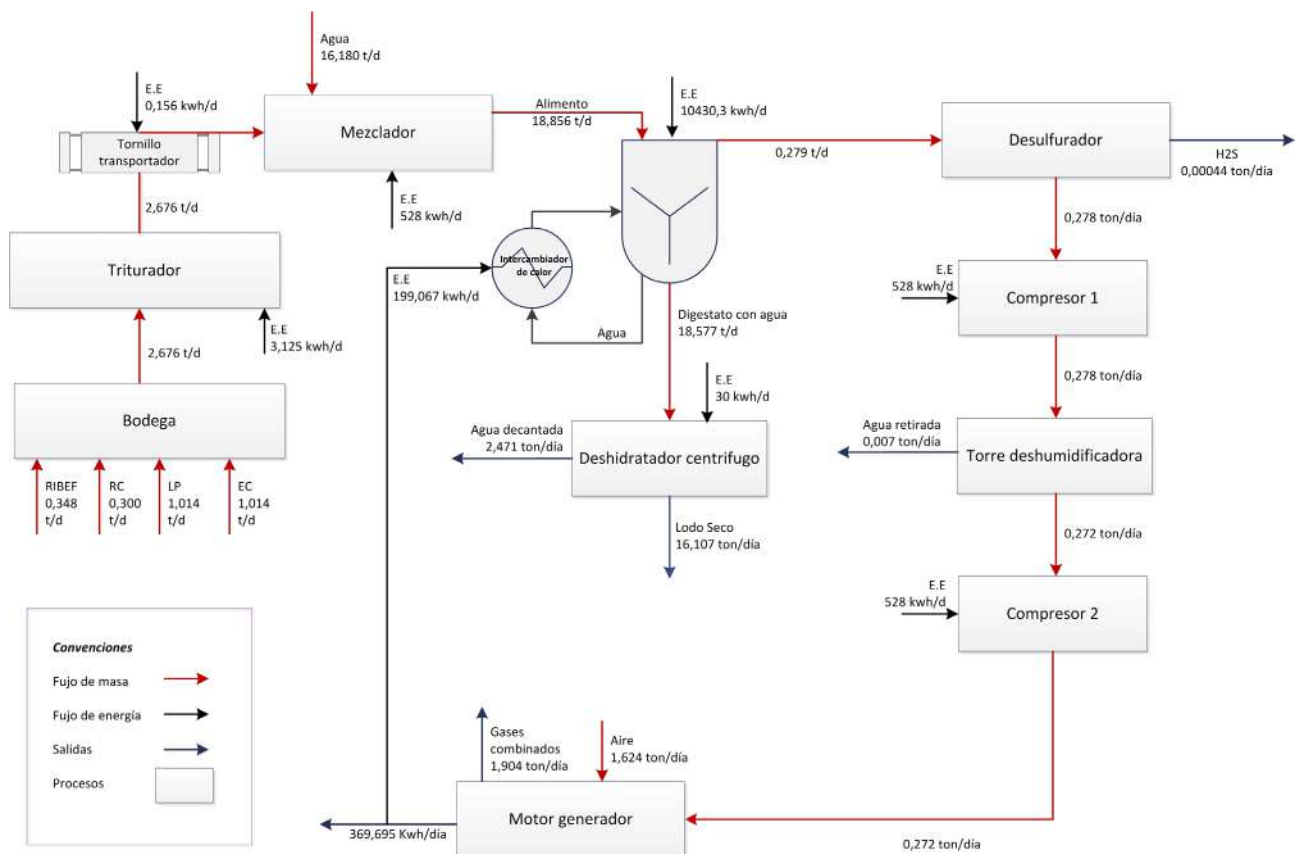


FIGURA 1 | Diagrama de flujo de proceso

3.2 | Análisis de ciclo de vida

El objetivo del ACV fue evaluar los impactos ambientales potenciales que se generan al producir 1 kWh de energía eléctrica mediante la transformación de la biomasa. El análisis inició con el transporte de los residuos orgánicos utilizados como sustratos, y finalizó con la etapa de producción de energía eléctrica en un motor generador. Como co-producto del proceso se tiene digestato seco y estabilizado. La asignación usada para el análisis es másica. Una vez definidos el objetivo y alcance del estudio, se procedió al análisis de inventario del ACV en donde se identificaron y cuantificaron las entradas y las salidas del proceso de DA. En este punto se evaluó el transporte y consumo de materias primas, de energía y las corrientes de producto y co-producto (digestato), asimismo se determinó qué etapas del proceso tenían emisiones o vertimientos. Se identificaron vertimientos en el deshidratador centrifugo y en el deshidratador de biogás. En el motor generador se presentan emisiones al aire que fueron calculadas con el

flujo de biogás que se quema y la caracterización de gases de combustión presentada en (Blanco, Santalla, Córdoba, & Levy, 2017). Las emisiones en el motor generador se presentan en la Tabla 1.

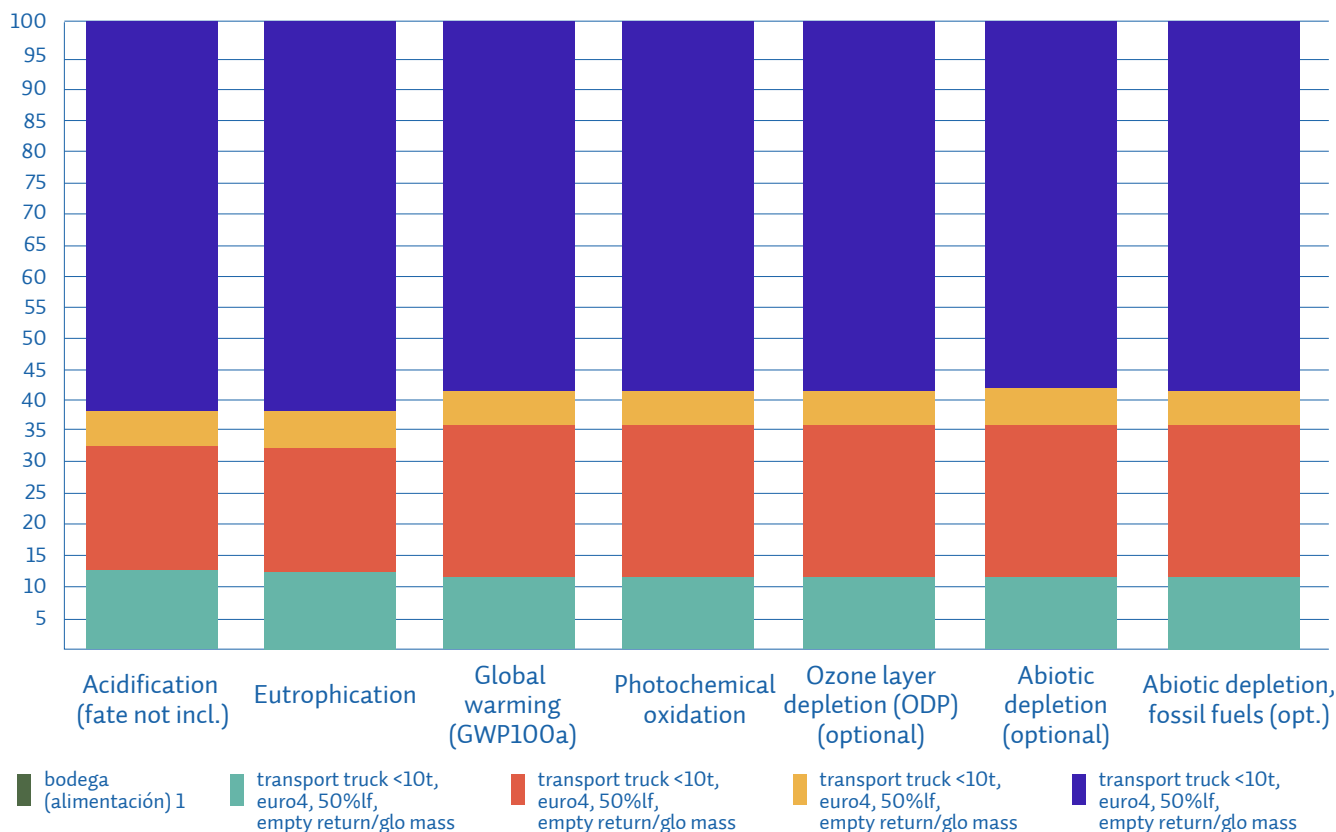
COMPONENTE	EMISIONES mg/d
Benceno	52.673,34
Cloroformo	3.292,08
Tolueno	324.270,23
Xileno	228.799,81
Diclorodifluorometano	799.976,31
Etanol	2.386.760,60
Propano	1.037.006,33
Butano	1.030.422,16
Disulfuro de carbono	36.212,92
Sulfuro de hidrógeno	45.266,15

TABLA 1 | Emisiones a la atmósfera del proceso

El análisis de inventario permitió establecer que los aspectos ambientales más relevantes están asociados al consumo de energía de fuentes no renovables, consumo de agua y las emisiones atmosféricas que se generan en la

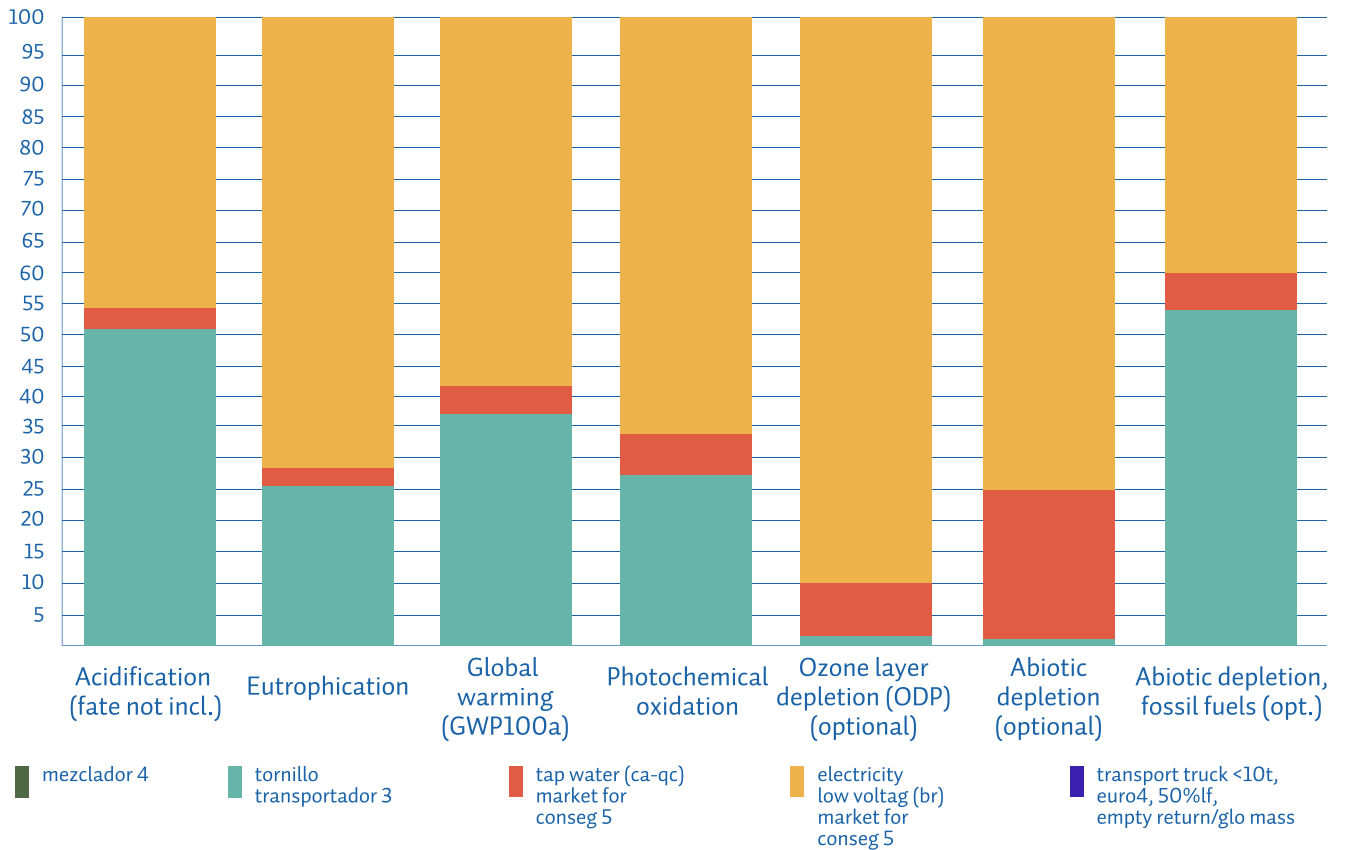
combustión de biogás y los vertimientos del agua residual del proceso. En la evaluación del impacto se construyó el perfil de impacto ambiental del proceso, Figura 2 (a-c).

FIGURA 2A



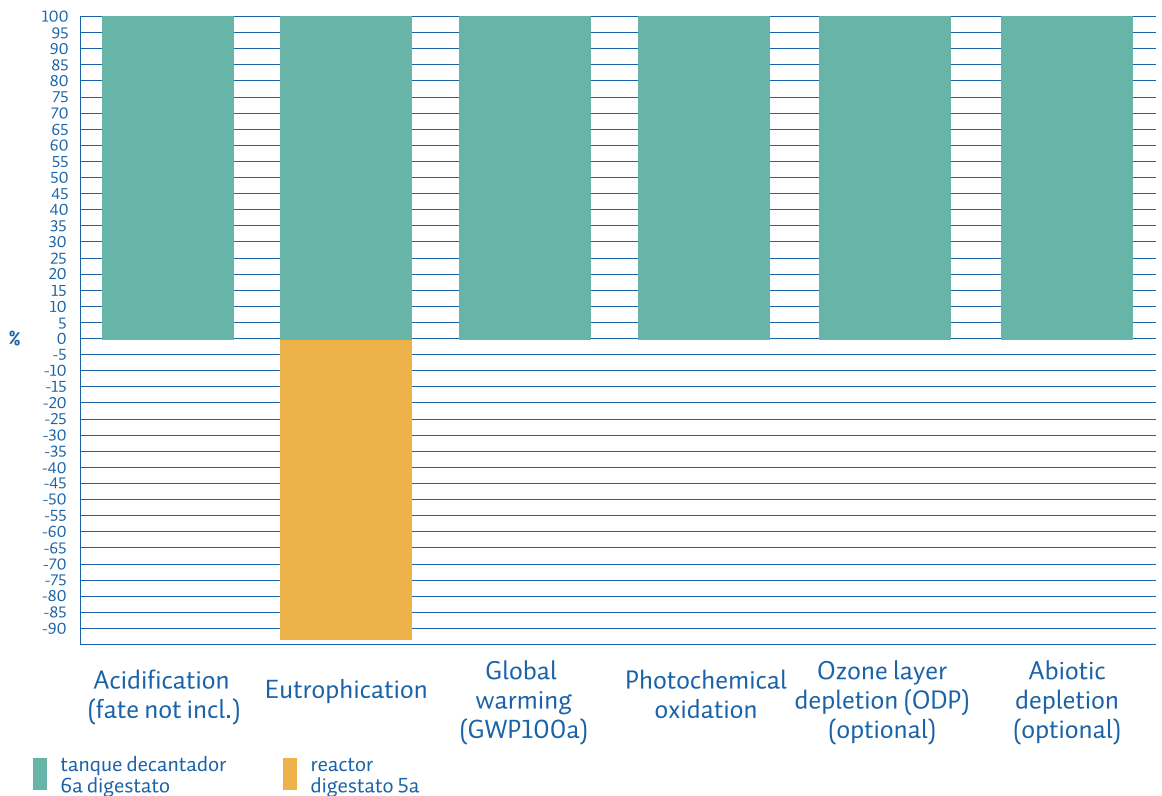
Analizando 1 ton bodega (alimentación) 1; método epd (2013) v1.03/caracterización

FIGURA 2B



Analizando 1 ton mezclador 4; método epd (2013), v1.03/caracterización

FIGURA 2C



Analizando 1 ton tanque decantador 6a digestato; método epd (2013), v1.03/caracterización

FIGURA 2 | Perfil ambiental del proceso, impacto para la digestión de 1ton de biomasa residual. (a) impactos asociados al consumo de energía de fuentes no renovables. (b) impacto asociado al consumo de agua. (c) perfil ambiental general del proceso.

Analizando la figura obtenida se observó que los impactos ambientales que se generan en el proceso se deben principalmente al transporte de sustratos, al uso de energía eléctrica del sistema interconectado y al vertimiento de agua que proviene de la etapa de deshidratación del digestato. Las emisiones por categoría de impacto generadas de manera global en el proceso se presentan en la Tabla 2.

NOMBRE DE LA CATEGORÍA DE IMPACTO POTENCIAL	UNIDAD EQUIVALENTE
Acidificación	1,0307 Kg SO ₂ eq
Eutrofización	-0,0442 Kg PO ₄ eq
Cambio Climático	42,2946 Kg CO ₂ eq
Oxidación Fotoquímica	0,0085 Kg C ₂ H ₄ eq
Deterioro de la capa de ozono	0,0022 Kg CFC-11 eq
Deterioro Abiótico	0,0000 Kg Sb eq

TABLA 2 | Emisiones totales del proceso evaluadas en SimaPro por kWh de energía eléctrica producida.

El uso de biomasa residual tiene un comportamiento ambiental positivo en comparación a cultivos energéticos y la transformación de combustibles fósiles, esto en términos de su impacto potencial sobre el calentamiento global (Salvador et al., 2019). Es importante resaltar, que los impactos asociados a la producción de bioenergía derivada del biogás estarán estrechamente asociados a la materia prima seleccionada y las limitaciones del proceso diseñado (Morero, Vicentin, & Campanella, 2017), el proceso planteado en el presente documento cuenta con las eficiencias reales de producción de biogás de la co-digestión de la biomasa seleccionada, lo cual genera un escenario claro para la implementación del mismo.

3.3 | Evaluación Económica

La tabla 3 muestra los resultados de la evaluación económica.

	COP\$/AÑO
Inversión inicial	\$1.846.900
Total ingresos anuales	\$2.827.172
Total ingresos anuales digestato	\$2.704.717
Total ingresos anuales EE	\$122.752
Utilidades a 2020	\$1.415.503
VPN	\$12.605.199
TIR	0,32

TABLA 3 | Resultados de la evaluación económica.

4 | Conclusiones

El ACV de la puesta en marcha de una planta de producción de metano, constató que el mayor impacto está relacionado al consumo del recurso hídrico. Sin embargo, esto puede ser mitigado al evaluar otros escenarios donde se busque el aprovechamiento del efluente y la disminución de la carga. A su vez, se determinó que la viabilidad del

proyecto dependerá de la venta del digestato seco, por lo cual, se debe prestar atención a la composición y calidad del digestato como producto; además de la generación de energía eléctrica como producto secundario.

5 | Agradecimientos

Agradecemos la financiación de Colciencias (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación Colciencias). Número del proyecto FP 279-2015.

Referencias bibliográficas

Blanco, G., Santalla, E., Córdoba, V., & Levy, A. (2017). *Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico*

International Standard Organization. (2006). *ISO (international standard organization) environmental management - life cycle assessment - principles and framework*. Geneva, Switzerland: International Standard ISO 14040.

Mayer, F., Bhandari, R., & Gäth, S. (2019). *Critical review on life cycle assessment of conventional and innovative waste-to-energy technologies* doi://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.449

Morero, B., Vicentin, R., & Campanella, E. A. (2017). *Assessment of biogas production in argentina from co-digestion of sludge and municipal solid waste* doi://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.033

Mosquera, J., Beltran, w., Alvarez, N., Nova, S., Santis, A., Acevedo, P., et al. *Biogas production assessment for a semi-continuous anaerobic co-digestion pilot plant*. 7th International Conference on Sustainable Solid Waste Management, Piñeros, V., Melo, K., Mosquera, J., Santis, A., Hernandez, M., Cabeza, I., et al. *Economic feasibility and environmental impact assessment of anaerobic co-digestion processes in colombia*.

2nd International Conference on Bioresource Technology for Bioenergy, Bioproducts & Environmental Sustainability, Salvador, R., Barros, M. V., Rosário, J. G. D. P. D., Piekarski, C. M., da Luz, L. M., & de Francisco, A. C. (2019). *Life cycle assessment of electricity from biogas: A systematic literature review*. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 38(4) doi:10.1002/ep.13133

DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD DE BIOMASA HÚMEDA RESIDUAL GANADERA PARA BIODIGESTIÓN EN EL PERIURBANO DE VILLA MARÍA, CÓRDOBA, ARGENTINA

ARTÍCULO

Oviedo Julieta¹, María José Galván², Leticia Ana Guzmán³

¹ Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Básicas y Aplicadas (I.A.P.C.B.A), Universidad Nacional de Villa María (UNVM), Córdoba, Argentina, 2CIT CONICET- Villa María, UNVM, 3 I.A.P.C.B.A, UNVM, Córdoba, Argentina.
E-mail: juli-oviedo@hotmail.com

Resumen:

La particularidad de los espacios periurbanos, lleva a repensar el territorio como poseedor de recursos energéticos y al mismo tiempo como enclaves de localización de residuos. Por ello, es necesario la realización de estudios espaciales para conocer entre otras exigencias: la disponibilidad y calidad de potenciales energéticos; limitaciones territoriales, posibilidades técnicas y económicas. El objetivo del presente trabajo es generar un diagnóstico de las potenciales fuentes de biomasa húmeda residual con fines energéticos en el sector productivo periurbano de Villa María, Córdoba, diferenciando la biomasa potencial de la disponible. Para ello se identificaron las fuentes generadoras de biomasa residual ganadera, se calcularon los potenciales teóricos de generación de biogás, se generó un Índice de Disponibilidad y finalmente se confeccionó una cartografía temática. Se identificaron 10 establecimientos en los cuales predomina el sustrato proveniente de tambos, solo 2 establecimientos presentan un IDI superior al 80% y 7 de 10 obtuvo una generación teórica de biogás menor a 10m³ día.

1 | Introducción

La incorporación de tecnologías renovables, en cualquiera de los modos en que se aplique, requiere la realización de estudios espaciales (Gámez, Pérez & Arauz, 2017); esto permite, entre otras cosas, valorar los recursos energéticos renovables potenciales, analizar impactos ambientales, identificar las prioridades y orientar la planificación a corto y largo plazo de las cuestiones energéticas (Belmonte et al., 2009). La evaluación del potencial de bioenergía se basa en la identificación y el cálculo de biomasa como suministro para la generación de energía, dentro de los cuales se encuentran residuos agrícolas, forestales, residuos de hortalizas, plantaciones y estiércol de ganado (Ramachandra & Shruthi, 2005).

En Argentina, la producción ganadera se ha incrementado en los últimos años; el alto costo de la tierra en espacios de transición urbano-rural o periurbanos, incrementa la competencia de usos, lo que ha determinado que la actividad se haya visto en la necesidad de intensificar todas o algunas de sus etapas productivas con el objetivo

de mantener competitividad frente a la actividad agrícola. Parte de las explotaciones han pasado a ser intensivas, con lo que se produce la concentración de residuos en zonas específicas (Errasquin et. Al, s.f). El manejo adecuado de residuos orgánicos rurales puede contribuir significativamente a la producción y conversión de residuos animales y vegetales (biomasa) en distintas formas de energía. Una de las maneras de lograrlo es a través de la digestión anaeróbica de la biomasa.

Con base en los antecedentes, se propuso desarrollar un diagnóstico en relación a las potenciales fuentes de biomasa húmeda ganadera que podrían ser manejadas con fines energéticos en el periurbano de Villa María, Córdoba.

2 | Metodología

La metodología implementada fue con base en la propuesta por Manrique et al. (2011), quienes realizan una primera aproximación al estudio de la biomasa a través de un esquema que evalúa 3 categorías, las cuales son definidas por Puigdevall & Galindo (2007) como biomasa potencial, es la biomasa total generada en el área de estudio; biomasa disponible, resultante de extraer del recurso potencial total identificado, las partes correspondientes a usos ya establecidos del recurso, y aquellos que por diversas razones, como la propiedad particular o los criterios medioambientales, no pueden ser utilizados; y biomasa utilizable, son los recursos disponibles que pueden ser recolectados, ya que pueden existir barreras técnicas o económicas que no permitan acceder a ellos. El presente trabajo se basó en la identificación de la biomasa húmeda, (humedad mayor al 60%), secundaria (la obtenida como residuo o subproducto de la actividad humana), puntualmente la procedente de la actividad pecuaria. Dentro de esta clasificación, además se distinguió la biomasa potencial y disponible en el área periurbana de Villa María.

Para la identificación de la Biomasa Potencial, se adaptó la metodología implementada por Guzmán et al (2017), quienes dividen el territorio periurbano en parches (unidades homogéneas) en función de los usos del suelo. Se seleccionaron las unidades productivas ganaderas como los potenciales para la producción de biogás. Para conocer el estado de gestión actual de la biomasa húmeda, se relevaron los establecimientos identificados en dichos parches, se tomaron los datos de geoposicionamiento y se realizaron las encuestas a los dueños, representantes y encargados de cada lugar. Las encuestas incluyeron consignas tendientes a identificar la biomasa disponible, para ello se utilizó y adaptó la metodología propuesta por Manrique et al, (2011), la cual brinda 8 criterios (Tabla N°1).

Vacunos

CRITERIOS	DEFINICIÓN
E1 Existencia	Cantidad, en peso o volumen de recurso.
E2 Equilibrio	Periodicidad, Frecuencia o Tasa de generación del recurso, por día, mes, año, o ciclo de producción.
E3 Esparcimiento	Dispersión o concentración del recurso. Fuentes puntuales de generación.
E4 Efectos	Impacto local visible. Desde el punto de vista de la contaminación, (emisiones, disposición de residuos, u otros), aspectos sociales u otros.
E5 Experiencia	Usos actuales. Usos establecidos del recurso como por ejemplo abono, forraje, artesanías, etc.
E6 Exigencia	Accesibilidad legal y física. Incluye Propiedad particular, restricciones legales de áreas protegidas u otras. También considera Orografía, situaciones de terreno dificultosas
E7 Estimación	Percepción sobre el recurso y su interés de uso o aceptación social (apropiable).
E8 Expectativa	Perspectiva de existencia futura del recurso en calidad y cantidad. Probabilidad de que continúe existiendo la fuente de generación del recurso.

TABLA 1 | Criterios para identificar la biomasa secundaria potencial. | Fuente: MANRIQUE et al, (2011)

Posterior al relevamiento a campo, se ejecutó un análisis en gabinete, donde la información obtenida se procesó mediante procesos estadísticos simples. Siguiendo la metodología de Manrique et al, (2011), se consideró que cada criterio podría obtener un valor alto, medio y que esta escala cualitativa podía ser analizada de manera cuantitativa si se normaliza considerando un puntaje numérico (0, 5 y 10 respectivamente). De esta manera, el

puntaje máximo que podía obtener cada establecimiento es de 80 puntos. Para el criterio E1, las categorías fueron distribuidas de acuerdo al tamaño de los establecimientos analizados en función de la cantidad de animales, utilizando diferentes referencias bibliográficas (Tabla N° 2). Para los criterios restantes, como puede observarse en la Tabla N°3, se adecuaron al caso de estudio los parámetros de Manrique et al (2011).

Datos Corroborados

TIPO DE ANIMAL	ALTO	MEDIO	BAJO	FUENTE
Porcino (madres)	+ 100	11-100	Hasta 10	Brunori, J., Fazzoni, R., & Figueroa, M. E. (2012). Buenas prácticas pecuarias para la producción y comercialización porcina familiar (No. QO2/4). Ministerio de Agricultura de la República Argentina, Buenos Aires (Argentina) FAOINTA.
Bovino de engorde (cabezas)	+ 500	100-500	Hasta 100	Latimori, N. J., & Dana, G. (2018). Existencias de bovinos para carne en la provincia de Córdoba (Actualización 2017).
Tambos (cabezas)	+ 500	100-500	Hasta 100	Sánchez, C., Suero, M., Castignani, H., Terán, J., & Marino, M. (2012). La lechería argentina: estado actual y su evolución. Asociación Argentina de economía agraria.
Aves	+ 500	56-500	Hasta 55	Ley 9.306 Regulación de los Sistemas Intensivos y Concentrados de Producción Animal (SICPA). Boletín Oficial de la Provincia de Córdoba, 25 de agosto de 2006.
Conejos	+ 500	81-500	Hasta 80	Ley 9.306 Regulación de los Sistemas Intensivos y Concentrados de Producción Animal (SICPA). Boletín Oficial de la Provincia de Córdoba, 25 de agosto de 2006. // Balussi K. Entrevista con Claudio Fernández. Recuperado de: http://www.agrobit.com/Entrevistas/EN000013en.htm .
Ovejas Cabras	+ 100	21-100	Hasta 20	Ley 9.306 Regulación de los Sistemas Intensivos y Concentrados de Producción Animal (SICPA). Boletín Oficial de la Provincia de Córdoba, 25 de agosto de 2006. //Mueller, J. P. (2013). La Producción Ovina en la Argentina1. In Primer Congreso Panamericano de Ovinocultura, Querétaro, México. Recuperado de http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-produccion_ovina_en_argentina.pdf .

TABLA 2 | Ponderación del criterio E1 – Existencias

CRITERIOS	ALTO (10)	MEDIO (5)	BAJO (0)
E2	Frecuencia diaria o semanal	Frecuencia Mensual Trimestral Cuatrimestral	Anual- Bidual
E3	Concentrado en un punto	Concentrado en varios puntos	Disperso a campo
E4	Implica un impacto social y ambiental visible por el productor y/o encargado del establecimiento	Implica un impacto social y ambiental parcialmente visible por el productor y/o encargado del establecimiento	No hay impacto social y ambiental visible por el productor y/o encargado del establecimiento
E5	No existen otros usos del recurso	El recurso tiene un uso dentro del establecimiento	El recurso tiene más de un uso dentro del establecimiento
E6	No se detectan restricciones para su uso	Se detecta una restricción (técnica, legal, económica, etc.) que impediría o dificultaría una revalorización	Se detecta más de una restricción (técnica, legal, económica, etc.) que impediría o dificultaría una revalorización.
E7	Consideran al recurso como tal, sus impactos y posibilidades	Tienen un vago conocimiento sobre el recurso como tal, o potencial fuente de energía	No consideran al recurso como tal, sus impactos y/o posibilidades
E8	Alta probabilidad de que el recurso continúe generándose	Hay incertidumbre en la posibilidad de generación del recurso en el futuro	No existe la probabilidad de que el recurso continúe generándose

TABLA 3 | Ponderación de criterios E2 a E8. | Fuente: adaptado de MANRIQUE et al, (2011)

Los valores obtenidos se ponderaron en función del máximo (80 puntos), expresando los valores en porcentaje y obteniendo un Índice de Disponibilidad (IDI). Luego del proceso de asignación de valores, se realizó una subdivisión de acuerdo con la siguiente escala:

- Óptimo: cuando el recurso muestra un IDI o disponibilidad de 81 a 100%.
- Estable: cuando el recurso muestra un IDI o disponibilidad de entre 61 a 80%.
- Inestable: cuando el recurso muestra un IDI o disponibilidad entre 41 a 60%.
- Crítico: cuando el recurso muestra un IDI o disponibilidad de entre 21 a 40%.
- Colapso: cuando el recurso muestra un IDI o disponibilidad de entre 0 a 20%.

Por otra parte, se realizó el muestreo de efluentes de los diferentes establecimientos relevados, a los cuales se les realizó análisis de caracterización: Sólidos Totales (APHA 2540-B), Sólidos Totales Volátiles (APHA 2540-E), Demanda Química de Oxígeno (APHA 5220-RQO-D), Demanda Bioquímica de Oxígeno (APHA 5210-RBO-B). Además, se realizó el proceso de digestión anaerobia con alimentación discontinua, caracterizado por una carga y

vaciado total de la cámara de digestión (Hilbert, 2011). Para realizar estos ensayos se respetó el lineamiento establecido por la norma VDI 4630:2016, se registró el desplazamiento diario de volumen y se corrigió a CNPyT utilizando las recomendaciones de Strömberg et al, 2014. Con los datos obtenidos, se procedió a calcular el Potencial de Producción de Biogás (PPB). Luego se calculó la generación de excretas de cada establecimiento, tomando los parámetros de generación diaria de estiércol según el tipo de animal, para lo cual se utilizaron los valores establecidos por la Red de Compostaje Española (2016).

Finalmente, se procedió a construir las cartografías por medio de la herramienta de geoprocursos Quantum GIS (QGIS) 2.18.4 y Google Earth Pro.

3 | Resultados y discusión

Dentro del área periurbana de Villa María, se identificaron 10 establecimientos potenciales de generación de biomasa residual húmeda ganadera, encontrándose principalmente tambos y en menor proporción establecimientos con ganado porcinos, avícolas, cunícolas, ovino y caprino.

En la Tabla N° 4 puede observarse la cantidad de animales, generación teórica de biogás y los IDI por establecimiento.

ESTABL.	1	2	4	5	6	7	8	14	17	18
ANIMAL	P	A	O	T	T	T	T	P	P	P
CANTIDAD	100	56.000	9	300	280	260	240	15	30	10
ANIMAL			A					O	T	Ca
CANTIDAD			10					5	100	30
ANIMAL			A ₂							O
CANTIDAD			50							118
ANIMAL			Co							
CANTIDAD			40							
OTRA BIOMASA RESIDUAL		CÁSCARA DE ARROZ								
M³ BIOGÁS/DÍA	20.55	17.205,5*	1.64	0,88	0,83	0,77	0,7	3,54	6,45	15,91
IDI	93.75	75	68.75	62.5	62.5	62.5	87.5	25	43.75	56,25

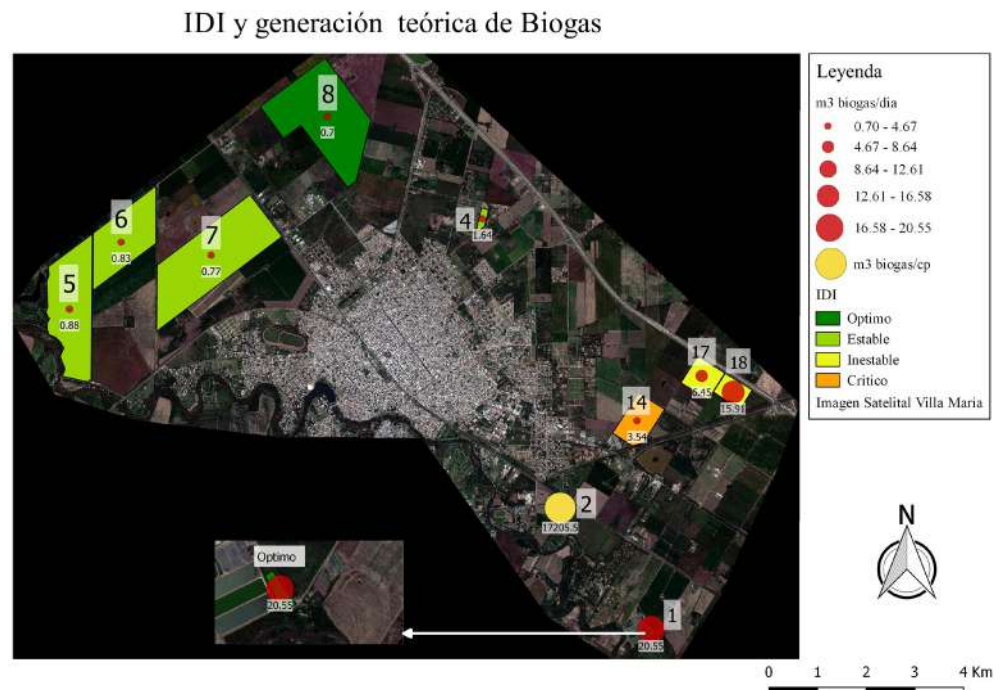
TABLA 4 | Generación de biogás diaria por el establecimiento . (*) Generación de biogás por ciclo productivo (45 días)

REFERENCIAS		RANGOS IDI	
A	Aves - Pollo de engorde	ÓPTIMO	81-100
A₂	Aves - Ponedora	ESTABLE	61-80
P	Porcinos	INESTABLE	41-60
T	Tambos	CRÍTICO	21-40
O	Ovejas	COLAPSO	0-20
CA	Cabras		
CO	Conejos		

La espacialidad de los datos relevados y procesados se permiten visualizar en mapas, dentro de ellos la Figura N°1 revela la superposición de las diferentes capas de datos, mostrando los establecimientos encuestados diferenciados por su IDI y los establecimientos categorizados en un gradiente, el cual varía

en función de la generación teórica de biogás. La Tabla N°4 y la Figura N°1, muestran la diferencia entre el IDI y la generación de biogás, siendo en algunos casos la generación de biogás baja, pero un IDI optimo o estable.

FIGURA 1 | Mapa de establecimientos diferenciados por IDI y generación de biogás



4 | Conclusiones

La superposición espacial de las metodologías expone la realidad de establecimientos que, sin necesidad de ser establecimientos empresariales o intensivos, presentan características óptimas para la revalorización energética. De esta manera, se identifican establecimientos que pueden realizar una revalorización energética a pequeña, mediana y gran escala. Así mismo, se puede identificar cuáles serían los impedimentos principales para la revalorización, como son el grado de dispersión del sustrato en el medio, las dificultades técnicas para su recolección y el interés de los productores para realizar una revalorización energética. La complementariedad de ambas metodologías, permite dar cuenta de la diferencia entre la biomasa potencial y la biomasa disponible. Si bien el recurso potencialmente existe en cantidades tales que podrían producir biogás, por diversas razones, presentan limitaciones para su revalorización, encontrándonos con una biomasa disponible diferente.

5 | Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Nacional de Villa María, al grupo de investigación del proyecto “Revalorización energética de residuos orgánicos para la producción de biogás y bioabono” y al Ministerio de Ciencia y Tecnología de la provincia de Córdoba. Sin su colaboración y/o financiamiento el trabajo realizado no habría sido posible.

6 | Referencias bibliográficas

APHA, AWWA y WCF. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 20th edition. American Public Health Association 1015, 1998.

DE COMPOSTAJE, Red Española. *Residuos ganaderos I*. 2. Ediciones Paraninfo, SA, 2016.

ERRASQUIN, Lisandro, et al. *Efecto del aporte de nutrientes a través de la aplicación de efluentes sólidos de feedlot sobre el rendimiento del cultivo de maíz*. Informe de actualización técnica. EEA Marcos Juárez, no 27.

GÁMEZ, María Rodríguez; PÉREZ, Antonio Vázquez; ARAUZ, Manuel Saltos. EJE 06-06 *La ordenación territorial y las fuentes renovables de energía*. Memorias Universidad del Azuay, 2017, no XVI, p. 287-292.

GUZMÁN L., BECKER A., RODRÍGUEZ, M. J. & GRUMELLI M. *Análisis de los parches de uso del suelo en el periurbano de Villa María, Córdoba como herramienta para la planificación urbana*. XX Congreso Geológico Argentino. 7-11 Agosto. San Miguel de Tucumán. Argentina. pp.55-63, 2017

HILBERT, Jorge. *Manual para la producción de biogás*. Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar, Morón, Argentina, 2003.
MANRIQUE S., FRANCO J., NUÑEZ V. & SEGEZZO L. *Propuesta metodológica para la toma de decisiones sobre bioenergía en un contexto complejo y diverso*. Vol. 15, 2011. ISSN 0329-5184, 2011.

STRÖMBERG, Sten; NISTOR, Mihaela; LIU, Jing. *Towards eliminating systematic errors caused by the experimental conditions in Biochemical Methane Potential (BMP) tests*. Waste Management, 2014, vol. 34, no 11, p. 1939-1948.

VARNERO, M. T. (2011). *Manual de biogás*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [disponible en línea]. <http://www.rlc.fao.org/es/publicaciones/manual-biogas>.

¿QUÉ HACER CON LOS RESIDUOS LEÑOSOS (LIGNIFICADOS) DISPONIBLES EN EL CAMPO Y LA CIUDAD, DADO QUE NO SON ADECUADOS PARA EL BIODIGESTOR?

CÁPSULA EDUCATIVA

Kevin Camilo Gutierrez Gaitan¹, Diana Astrid Fajardo Sua¹, Juan Jose Carrillo Castellanos¹, Lylian Rodriguez², Yudtanduly Acuña Monsalve¹, ¹ Universidad El Bosque, ² Fundación UTA Colombia.
Email: kgutierrezg@unbosque.edu.co

Cuando hablamos de digestión anaeróbica, o biodigestores, mucha gente piensa que absolutamente todos los residuos orgánicos pueden ser tratados en ellos; sin embargo, esto no es así. En particular los residuos de poda, y de procesos de la agroindustria, generan residuos que son más convenientes de valorizarse a través de otras tecnologías renovables, en donde encontrarán mayor eficiencia y desempeño. Esta cápsula pretende ilustrar una alternativa a los biodigestores para dar a conocer un método de tratamiento, de valioso aporte en los casos en que el biodigestor no puede hacerse cargo de los residuos. Al igual que un biodigestor, la gasificación puede proveer de un 2° producto además de la energía (el biochar) que es aprovechable en suelos y cultivos, como mejorador de suelos.

¿Por qué no usar los residuos leñosos o lignificados en un biodigestor?

Como es sabido, los biodigestores son sistemas que aprovechan los residuos orgánicos procedentes de actividades agropecuarias, comúnmente estiércol, pero también de actividades del hombre como los residuos de comida y aguas negras.

Sin embargo, la madera se compone químicamente por carbono en un 50% y oxígeno 42%, además de hidrógeno 6% y nitrógeno 2%, todos estos compuestos forman la celulosa y la lignina. La celulosa hace parte de la pared de las células vegetales y la lignina de las fibras de la celulosa dando dureza y consistencia a la madera; si una planta contiene un gran porcentaje de lignina se le denomina leñosa o lignificada, este porcentaje también aumenta dependiendo de la edad de la planta. La lignina es un complejo aromático en el cual existen muchos polímeros estructurales, es decir, sus enlaces son difíciles de descomponer, por ello la madera, así se referencie como un residuo orgánico, puede demorar más de 5 años en descomponerse, dependiendo del tamaño y las condiciones a las cuales se enfrente (Paz Francisco, 2008). Esta característica generaría al interior de un biodigestor, la acumulación de materia en descomposición, ya que las bacterias anaeróbicas no digieren estos compuestos, restándole vida útil al reactor; y eventualmente colmatando el sistema. Dicho lo anterior los residuos leñosos o lignificados no aportan beneficiosamente a un biodigestor

dado su bajo aporte orgánico y su dureza, las que pueden afectar el sistema en general del biodigestor.

El caso de los productores de café colombianos, una oportunidad de aprovechamiento

El semillero ERAS del Programa de Bioingeniería de la Universidad El Bosque se creó con el fin de desarrollar investigaciones formativas para formular y efectuar proyectos que fomenten el uso de las energías renovables en Colombia, enfocándose en la energía solar fotovoltaica y la energía de la biomasa como una alternativa energética para reducir el impacto medioambiental que producen algunas fuentes de energía tradicionales y así contribuir a la sostenibilidad del país.

Dicho semillero inició con el proyecto titulado “Diseño y construcción de una estufa de gasificación para la optimización del tiempo de secado de granos de café” complementada con el proceso de biodigestión por medio de una estufa auxiliar de biogás, realizados en la Finca Buena Vista – Guapota, Santander, Colombia; en donde se trabajó de la mano con la Fundación para la producción Agropecuaria Tropical Sostenible capítulo Colombia – Fundación UTA Colombia-. Dicha fundación tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de los productores agropecuarios y sus familias a través de la búsqueda de alternativas productivas sostenibles y sustentables, promoviendo tecnologías que enfatizan en la gente y en el uso adecuado y eficiente de los recursos disponibles a nivel local (UTA, 2019).

¿Por qué llegamos a pensar en esta solución?

El proyecto del semillero ERAS identificó que existen diferentes factores que afectan la eficiencia del proceso de secado de los granos del café en sistemas de secado naturales en las fincas cafeteras de Santander; y que al mismo tiempo se generaban residuos orgánicos de la poda de la planta del café, los que a la fecha no han sido gestionados para su valorización energética.

Los factores que afectan la eficiencia del secado son: la falta de estructuras adecuadas para realizar la labor del secado y la variación en las condiciones climáticas (humedad ambiental, radiación, t° y precipitaciones), esto afecta en gran medida la duración del secado del grano del café. Dada la problemática anterior, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Es posible proponer una estufa gasificadora de biomasa donde se aproveche la energía calórica y los residuos leñosos en el secado del café para disminuir la dependencia a variables climáticas y el suministro energético convencional? Para dar solución

a dicha pregunta el proyecto tuvo como objetivo principal diseñar y construir un prototipo de estufa de gasificación de biomasa para la optimización del tiempo de secado de granos de café.

Se estudió el proceso de post cosecha del café para realizar el levantamiento de los requerimientos técnicos en la Asociación de Productores de Puente Abadía en Villavicencio, Meta, Colombia. Allí se conoció el secado



natural solar del café en camas africanas y bandejas, además de los diferentes sistemas de biodigestores plásticos de flujo continuo que se implementan para el aprovechamiento de la biomasa, como se puede observar en la figura 1. El biogás producido se utiliza en procesos de cocción de alimentos para las familias campesinas de la zona, y por medio de esta tecnología reemplazaron las estufas a leña por estufas de biogás, mejorando su salud y evitando la contaminación del medio ambiente.



FIGURA 1 | Secado solar en camas africanas y bandejas, biodigestor. El Vergel, Villavicencio – Meta

La humedad ideal del grano seco debe estar entre el 10% y el 12%; y el proceso de secado debe realizarse a una t° promedio de 60°C . El grano debe tener un olor fresco característico, además de tener un color uniforme.

Posteriormente se realizó un levantamiento de línea base siguiendo la metodología CDIO (Conceptualizar, Diseñar, Implementar y Operar) para identificar el área en donde se va a realizar la implementación de la estufa de gasificación teniendo en cuenta las variables climáticas de la zona y los requerimientos técnicos.

¿Cómo optimizamos la valorizando de los residuos leñosos o lignificados, para un productor cafetero?

Al primer prototipo de estufa de secado implementado en la Finca Buena Vista, implementado con anterioridad por parte de otro proyecto de la RedBioCOL, se realizó el monitoreo de humedad y t° interna para evaluar su funcionamiento. En dicho prototipo la estufa gasificadora se alimentaba con biomasa proveniente de la zoca de café (Residuo proveniente del corte o poda de la planta) y madera de guamo (*Inga spuria*) los cuales son residuos leñosos o lignificados.

La idea principal de este tipo de estufas es aprovechar el aire caliente para realizar diferentes procesos como el horneado de tortas y el secado del café. Las sugerencias de mejora del modelo, según la comunidad, van encaminadas a realizar un monitoreo de la t° interna del secador, facilitar el acceso al secador teniendo en cuenta la altura promedio de los campesinos, implementar materiales aislantes para evitar el calor en exceso en la cocina y evaluar la implementación

de paneles solares para la alimentación de los ventiladores auxiliares para el inicio de la estufa gasificadora. La unidad de secado contaba con 3 bandejas, la primera de ellas se encontraba más proximal al ducto de calor, cada una con una capacidad de 10 Kg de café (dicho peso debía ser manejado por 2 personas para evitar la caída de la bandeja). Al realizar el monitoreo en el prototipo descrito anteriormente se obtuvieron los resultados observados en la figura 2, donde se observa que la t° varía desde los 90°C a los 40°C en las diferentes bandejas. Debemos considerar que la t° ideal debe ser de 60°C para llevar a cabo el secado de los granos, el cual, teniendo dicho calor homogéneo en la unidad de secado, se estima un secado del grado de café en 3 días, esto es muy variable ya que también afectan las condiciones climáticas, es decir, si el día es lluvioso, la humedad en el ambiente es alta y el grano demora más en secar.

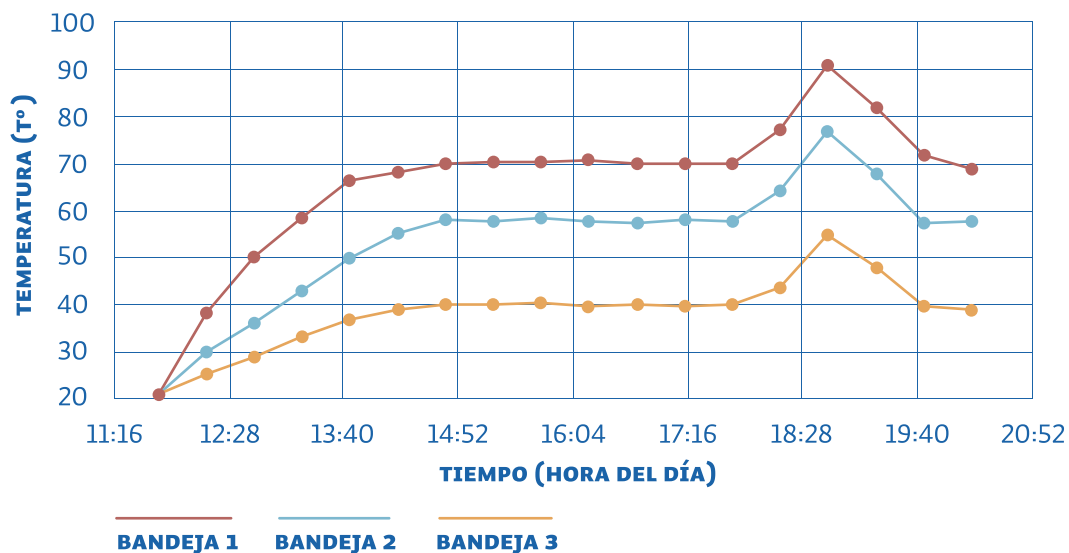


FIGURA 2 | Monitoreo t° unidad secado previa, finca Buena Vista, Guapota – Santander.

Dado que en el proceso la t° al interior de la unidad de secado no es constante, el tiempo de secado varía. Si la t° se mantiene idealmente en 60°C el tiempo de secado sería de 3 días. Al detallar la gráfica de la figura 2 se observan diferencias de t° en cada bandeja del prototipo de la RedBioCOL; esto se debe a que la bandeja 1 reposa sobre el ducto de calor, por lo que captura más t°; las otras dos se encuentran encima secuencialmente, explicando su t° más baja, proporcional a la altura. Dicha prueba se realizó desde las 12 del mediodía, hora en la que la estufa se prepara para la cocción del almuerzo, por eso se observa una pendiente positiva inicial para posteriormente mantenerse constante entre 40°C y 70°C, respectivamente en cada bandeja; al final se puede observar un pico de t° máxima de 90°C aproximados, la cual se dio por el avivamiento del fuego con más biomasa.

Sistema de secado a partir de la gasificación de zoca de café

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, el análisis del prototipo de la RedBioCOL y los requerimientos técnicos recopilados, se llevó a cabo el diseño del nuevo prototipo (figura 3), el cual cuenta con una mayor capacidad de secado: 8 bandejas de 5 Kg, siguiendo los principios de transferencia de calor para mantener una t° óptima interna de 60°C. Además, el diseño asegura un calor homogéneo por toda la unidad de secado para obtener un café seco uniforme, evitando parches húmedos, es decir, áreas de la bandeja que por la alta concentración de café o por la falta de calor homogéneo no se lograba secar por completo como sucedía en el prototipo de unidad de secado anterior.

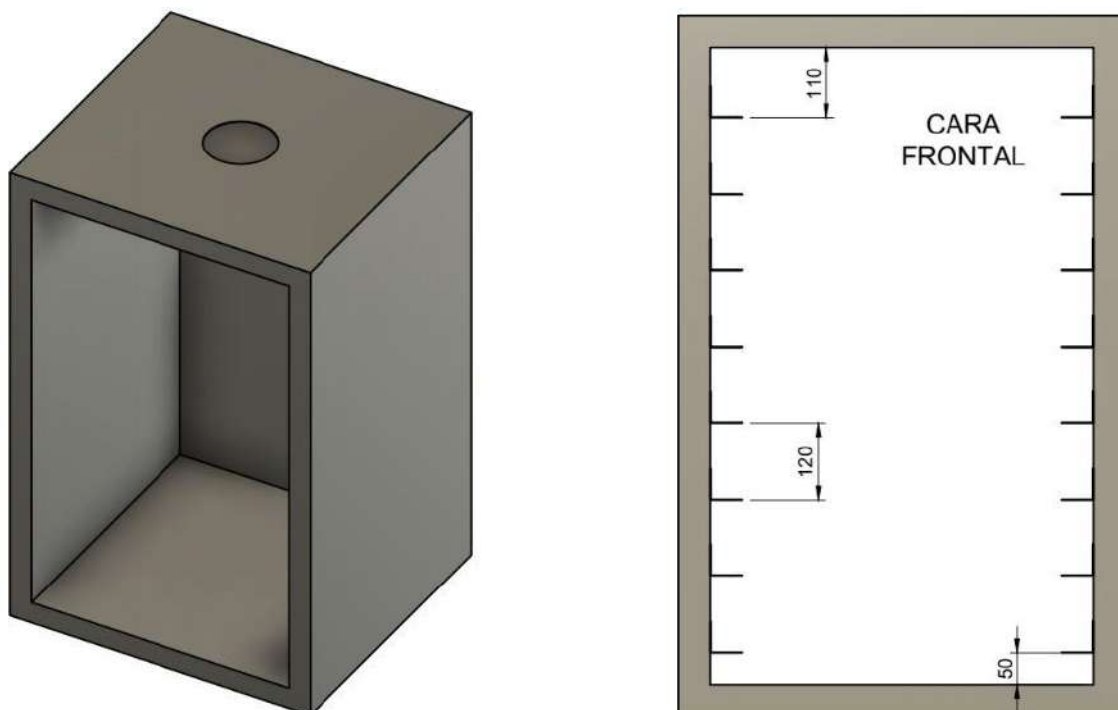


FIGURA 3 | Diseño unidad de secado, Fusion 360, finca Buena Vista, Guapota – Santander.

Se realizó la construcción de la nueva estufa de gasificación con materiales dispuestos en la zona, y se construyó junto a habitantes de la zona aledaña para así transmitir el conocimiento, al igual que con el prototipo de la RedBioCOL, se realizó el monitoreo de la t° interna del prototipo implementado, observado en la figura 4.

Se realizó de nuevo el monitoreo de la t° al interior de la unidad de secado implementada, dando un promedio de 55°C durante la cocción diurna. Dicha t° se distribuye por medio de toda la unidad dando un calor uniforme y optimizando así el secado correcto de los granos de café. Al evaluar la información final, se confirmó la reducción del tiempo de secado de granos de café y con ello la factibilidad de implementación de este tipo de unidad como unidad de deshidratado y secado de diferentes productos, dada la t° homogénea al interior del secador.

Referencias bibliográficas

Paz Francisco, 2008, “Determinación de la composición química de la madera obtenida del primer clareo en arboles de melina (*Gmelina arborea* Roxb.), de una plantación proveniente del departamento de Izabal”, Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Ingeniería Química, [En Línea], Available: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1090_Q.pdf. Última revisión: 25 de agosto de 2019

UTA Colombia, s.f., “Fundación para la producción agropecuaria tropical sostenible, historia”, [En Línea] Available: <https://utafundacion.wixsite.com/utafoundation/>. Última revisión: 10 de junio de 2019.

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE VINHAÇAS 1G, 2G E LICOR DE PENTOSSES

ARTÍCULO

Brenno Vinicius de Medeiros Lima¹, Gabriela Pereira de Freitas², Astrid Lorena Torres³, Sayuri Higo Daniel⁴, Bruna de Souza Moraes⁵.

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

E-mail: brenno.ufersa@hotmail.com

Resumo

O tratamento de resíduos orgânicos pode ser viabilizado com uso de biodigestores, onde os resíduos são submetidos ao processo biológico, reduzindo a carga orgânica e produzindo biogás. O trabalho consiste em avaliar o potencial bioquímico do metano a partir da codigestão de vinhaça de primeira geração (1G), vinhaça de segunda geração (2G), juntamente com licor de pentoses. Os resultados mostraram que a codigestão apresentou maior produção de biogás e maior percentual de CH₄ no biogás comparada a digestão isolada da vinhaça 1G e licor de pentoses, além de uma alta digestibilidade. A vinhaça 2G apresentou a maior produção de metano. O experimento também avaliou a atividade metanogênica do inóculo.

A partir dos resultados apresentados pode-se verificar que a codigestão de licor de pentoses e vinhaça 1G e 2G aparece como uma alternativa promissora, permitindo o tratamento de resíduos em um mesmo reator e possibilitando uma maior digestibilidade do sistema.

1 | Introdução

O processo mais comum para a obtenção do etanol é a partir do caldo da cana-de-açúcar, denominado etanol de primeira geração (1G). Recentemente foram desenvolvidas tecnologias para produção do etanol de segunda geração (2G) por meio da reutilização do bagaço da cana-de-açúcar, que tradicionalmente é utilizado para geração de energia elétrica e térmica nas usinas por meio da queima (cogeração).

Independentemente do processo de produção de etanol, este gera grandes volumes de resíduos e efluentes, especialmente a vinhaça, juntamente com licor de pentoses, resíduo líquido obtido do pré-tratamento do bagaço da cana-de-açúcar, durante a etapa de quebra do material lignocelulósico.

Atualmente no Brasil, esta atividade agroindustrial desperta uma enorme preocupação em relação a poluição ambiental, visto que, a quantidade de volumes desses efluentes vem crescendo a cada dia. Segundo dados apresentados na revista NOVACANA, 2019, foram produzidos 380,40 milhões de litros de etanol 1ª geração (1G) até março de 2019. Segundo Moraes, 2015 para cada litro de etanol produzido são gerados 12 litros de vinhaça.

Desta forma 4. 564,8 milhões de litros de vinhaça 1G são produzidos. Já se tratando de etanol de 2ª geração (2G), a produção estimada é de 40 milhões de litros para safra de 2019, desta forma para cada litro de etanol 2G são produzidos 10 litros de vinhaça 2G, ou seja, 400 milhões de litros de vinhaça 2G são estimados em 2019. Outro efluente que desperta bastante preocupação está o licor de pentoses. O mesmo é proveniente na etapa do pré-tratamento onde são necessários 10 litros de solução para hidrolisar 1kg de bagaço de cana-de-açúcar.

No Brasil, a disposição da vinhaça 1G é feita diretamente no solo para cultivo de cana de açúcar, através do método de fertirrigação, sendo a prática mais aplicada no momento. Porém a matéria orgânica deveria ser estabilizada, para que impactos ambientais fossem evitados. Este problema se estende à vinhaça 2G, proveniente da produção de etanol lignocelulósico, que devido a suas características de elevada carga orgânica e pouco valor nutricional, não parece ser interessante à fertirrigação.

Dessa forma, a codigestão com a vinhaça 1G urge como uma alternativa para o tratamento deste efluente, podendo diminuir potenciais efeitos inibitórios deste substrato, além de aproveitar energeticamente o alto valor de material orgânico, que resultaria em maior produção de biogás. Esta abordagem também pode se aplicar ao licor de pentoses proveniente do pré-tratamento do material lignocelulósico para a produção de etanol, que é reconhecidamente um material de difícil biodegradação.

Visando o gerenciamento conjunto desses subprodutos da fabricação de etanol, a codigestão anaeróbia para tratamento dos efluentes é uma alternativa atraente, pois além de estabilizar a matéria orgânica a produção de biogás e de biofertilizante.

A codigestão consiste na digestão simultânea de mais de um substrato, o que permite obter maior produção de metano em comparação a substratos únicos, através da diminuição de potenciais efeitos inibitórios e tóxicos que alguns resíduos possam apresentar. Conseqüentemente, a biodegradabilidade do sistema pode ser aumentada. Nesta ótica, essa pesquisa visa avaliar a codigestão de vinhaça 1G, 2G e licor de pentoses com vistas a otimizar a produção de biogás.

2 | Metodologia

O trabalho foi dividido em 4 partes experimentais: coleta do inóculo e substrato, aclimação do inóculo, inoculação da mistura em frascos, monitoramento analítico dos reatores de potencial bioquímico de metano (PBM). Existem diversas metodologias já aplicadas e padronizadas, possuindo certificação internacional. A metodologia adotada para

o estudo foi alemã (VDI 4630) (ALENCAR, 2017; WANG, 2016).da queima (cogeração).

2.1 | Coleta do inóculo e substratos

O inóculo e as vinhaças 1G foram coletados na usina de Iracema (Iracemápolis – SP), do Grupo São Martinho, que processou 20,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra de 2018/2019. A usina possui um biorreator anaeróbico de alta taxa (BIOPAQ® IC, Paques), operado em temperatura termofílica (55°C), para o tratamento da vinhaça 1G.

O licor de pentoses e vinho de levedura do 2G foram produzidos na Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos (PPDP) do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), localizado no Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), em Campinas – SP.

O vinho de levedurado foi destilado no Laboratório do Instituto de Química da UNICAMP para obtenção da vinhaça 2G. O processo de destilação foi realizado em um rota- evaporador modelo IKA, RV 10 Control. O rota- evaporador foi alimentado com 1 L de vinho aquecido a 80°C e 1 atm, permanecendo em rotação por 30 minutos. A proporção em litros de etanol produzido por vinhaça 2G obtida foi 1:13.

2.2 | Aclimação do inóculo

A aclimação do inóculo termofílico na temperatura de operação do experimento (55°C) ocorreu durante 7 dias. Partindo inicialmente de 30°C, a temperatura foi gradativamente elevada em 5°C/dia até atingir 55°C, a qual foi mantida constante até o término dos 7 dias. O processo de aclimação seguiu a metodologia proposta, porém com adaptação na variação do gradiente de temperatura.

Segundo GOMEZ e CORTEZ (2008), variações bruscas de temperatura acima de 5°C por dia podem interromper a atividade das bactérias favorecendo a formação de ácidos voláteis não digeridos.

2.3 | Inoculação da mistura em frascos

Após a etapa de aclimação, foram adicionados o inóculo aclimatado e o substrato em frascos Duran de 250 mL na proporção 2:1 de sólidos voláteis totais, visando evitar processos de inibição pelo substrato e atingir a degradação completa do material orgânico neste. Além disso, respeitou-se o limite mínimo de 40% do volume do frasco para headspace por motivos de segurança.

A caracterização gravimétrica do inóculo e vinhaça foi determinada previamente a fim de garantir a proporção estabelecida entre os sólidos voláteis totais (STV) do inóculo e substratos, como definido pela metodologia VDI 4630, além do STV foram mensurados os sólidos totais (ST); sólidos fixos totais (SFT); sólidos voláteis totais (SVT); sólidos suspensos totais (SST); sólidos suspensos fixos (SSF); sólidos suspensos voláteis (SSV). Sendo caracterizada também em termos de demanda química de oxigênio (DQO).

Ao todo foram preparados 18 frascos, que consistiram nas triplicatas de cada substrato, de inóculo isolado (branco), da mistura de substratos (vinhaça 1G, 2G e licor de pentoses) e da celulose como controle. Para a mistura, adicionou-se cada substrato na proporção 1:1:1 em relação ao SVT respectivo. A composição em volume para cada frasco está representada na Tabela 1.

ENSAIOS	UNIDADE	INÓCULO	UNIDADE	SUBSTRATO
Inóculo	mL	150,00	mL	-
Celulose	mL	148,00	g	0,49
Vinhaça 1G	mL	124,30	mL	25,70
Vinhaça 2G	mL	131,10	mL	18,90
Licor de Pentoses	mL	130,75	mL	19,25
Vinhaça 1G	mL	130,00	mL	8,20
Mistura Vinhaça 2G			mL	5,80
Licor de Pentoses			mL	6,00

TABELA 1 | Composição dos frascos nos ensaios de potencial bioquímico de metano. Fonte: Autoria Própria, 2019.

Logo após, foi mensurado o potencial hidrogeniônico de cada um dos frascos em que se realizou sua correção para faixa de 7,0 a 7,9, por meio da adição de soluções de ácido sulfúrico 1M ou hidróxido de sódio 50% (gramas/volume). Posteriormente, para tornar o ambiente anaeróbio, foi fluxionado nitrogênio (N₂) por 3 minutos no volume de trabalho e 5 minutos no headspace sob pressão de 5kgf/cm². Os frascos foram armazenados na incubadora a 55°C.

e CO₂ que ocorreram durante o tempo de corrida dentro da coluna Hayesep D. A partir da área dos picos foi obtida a composição do gás. As frações de CH₄ presentes nas amostras foram avaliadas tendo como referência a curva de calibração construída previamente (equação 1), possuindo um desvio padrão R²= 0,9985.

$$y=0,00002 \times x-0,0293 \quad (1)$$

2.4 | Monitoramento analítico dos ensaios

O monitoramento analítico do processo foi feito através da determinação do volume de biogás produzido, além da análise da composição deste. Para mensurar o biogás produzido utilizou-se uma Super Seringa Hamilton de 1L. A análise da composição do biogás foi determinada em um cromatógrafo gasoso (CG) da CONSTRUMAQ, modelo U-13. O volume de injeção das amostras foi de 3 mL de biogás, tendo como respostas picos de N₂, CH₄

3 | Resultados e discussão

3.1 | Caracterização de sólidos

Após realizar a determinação gravimétrica dos sólidos (Tabela 2), nota-se que a celulose microcristalina apresenta um alto valor de SVT, sendo 10 vezes maior que dos outros substratos. Além disso, ela é facilmente degradada na digestão anaeróbia (DA). Devido a esta característica, o ensaio de celulose foi utilizado como controle do experimento de PBM.

ENSAIOS	UNIDADE	ST	SFT	SVT	SST	SSF	SSV
Inóculo	g/mL	0,0154	0,0078	0,0076	0,0112	0,0016	0,0095
Celulose	g/mL	0,2871	0	0,2871	-	-	-
Vinhaça 1G	g/mL	0,0260	0,0077	0,0184	0,0004	0	0,0004
Vinhaça 2G	g/mL	0,0332	0,0069	0,0263	0,0042	0,0005	0,0037
Licor de Pentoses	g/mL	0,0283	0,0025	0,0258	0,0004	0,0001	0,0003

TABELA 2 | Caracterização gravimétrica da série de sólidos do inóculo e dos substratos: sólidos totais (ST); sólidos fixos totais (SFT); sólidos voláteis totais (SVT); sólidos suspensos totais (SST); sólidos suspensos fixos (SSF); sólidos suspensos voláteis (SSV). | Fonte: Autoria Própria, 2019

Levando em consideração as análises de DQO Tabela 3, pode-se observar que a vinhaça 2G apresenta a maior DQO, seguido do licor de pentoses, e a mistura dos substratos. A vinhaça 1G apresenta o menor valor de DQO dentre as amostras. Diante disso os resultados concordam com os valores de STV, sendo um indicativo de matéria orgânica presente na amostra.

3.2 | Produção acumulada de biogás e metano

Os experimentos foram avaliados durante o período de 127 dias, encerrando quando a variação de produção acumulada de biogás apresentou taxas menores que 1% ao dia. A Tabela 4 apresenta a produção acumulada de biogás e metano, assim como a porcentagem de metano presente no biogás e o desvio padrão da composição de metano presente no biogás no decorrer dos dias de operação.

AMOSTRA	UNIDADE	DQO
Vinhaça 2G	g/L	048,6730
Licor de Pentoses	g/L	41,4767
Mistura dos substratos	g/L	39,4807
Vinhaça 1G	g/L	28,2925

TABELA 3 | Demanda química de oxigênio dos ensaios de potencial bioquímico de metano. | Fonte: Autoria Própria, 2019

AMOSTRA	UNIDADE	PRODUÇÃO ACUMULADA DE BIOGÁS	PRODUÇÃO ACUMULADA DE METANO	UNIDADE	% DE CH ₄ NO BIOGÁS	UNIDADE	DESVIO PADRÃO DA % DE CH ₄ NO BIOGÁS
Inóculo	mL	468,00	207,00	%	44,19	-	0,01959
Celulose	mL	853,00	226,00	%	50,78	-	0,05919
Vinhaça 1G	mL	863,00	284,00	%	56,94	-	0,06682
Vinhaça 2G	mL	1097,00	389,00	%	54,30	-	0,09522
Licor de Pentoses	mL	929,00	295,00	%	53,96	-	0,09653
Mistura	mL	964,00	355,00	%	58,23	-	0,04975

TABELA 4 | Produção acumulada e porcentagem de metano presente no biogás. | Fonte: Autoria Própria, 2019

Os resultados mostraram que a codigestão apresentou a segunda maior produção de biogás e metano. Isto ocorre devido à alta concentrações de SVT e DQO. A vinhaça 2G apresentou as maiores produções acumuladas tanto de metano como biogás. Contudo, a codigestão dos substratos se mostrou uma alternativa interessante, apresentando uma produção maior de biogás como também um maior

percentual de metano neste, comparando-a à digestão isolada da vinhaça 1G e licor de pentoses.

A Figura 1 descreve o comportamento da produção acumulada de metano ao longo dos 127 dias de experimento.

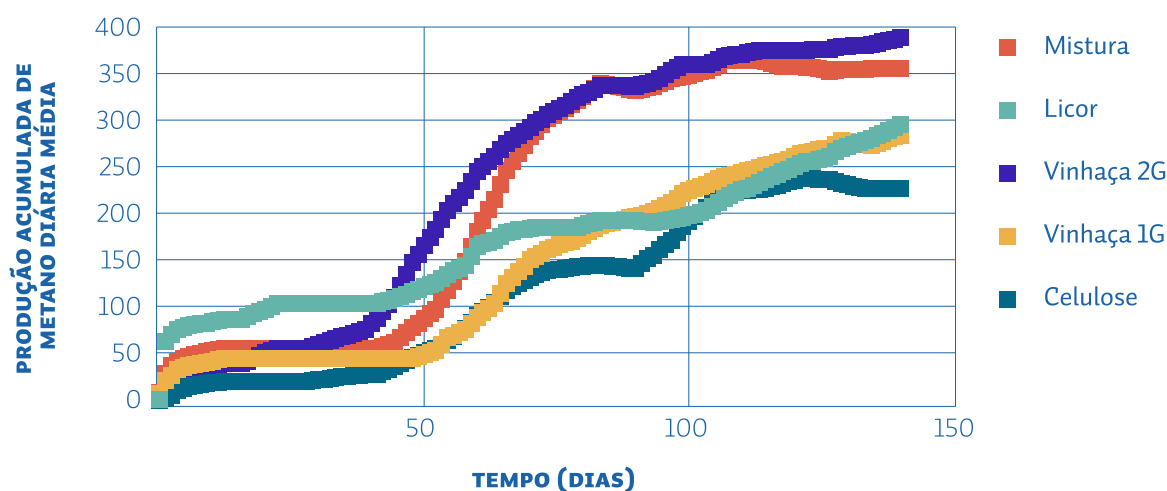


FIGURA 1 | Produção acumulada de metano. | Fonte: Autoria Própria, 2019

A partir da ilustração representada graficamente pela Figura 1 é possível afirmar uma fase de latência extensa entre os dias 0 a 45, seguida de uma fase exponencial entre os dias 45 a 100 e posteriormente uma fase com tendência estacionária. A extensa fase lag é indicativo de qualidade deficiente do lodo de inóculo anaeróbico, sendo necessário um longo período de adaptação.

3.3 | Potencial bioquímico do Metano (PBM)

O potencial bioquímico de metano experimental (PBM) e teórico (PBTM) foram obtidos a partir da produção acumulada de metano (CNTM, em N mL CH₄) relacionada a DQO e SVT de cada substrato, para a conversão das unidades em N mL CH₄/g SVT (unidade padrão do PBM). A Relação entre o PBM e PBTM resultou na digestibilidade dos substratos, conforme a (tabela 5) a digestibilidade.

ENSAIO	UNIDADE	PBTM	PBM	UNIDADE	DIGESTIBILIDADE
Celulose	NmL CH ₄ /g SVT	415,00	354,64	%	85,46
Vinhaça 1G	N mL CH ₄ /g SVT	538,17	478,54	%	88,92
Vinhaça 2G	N mL CH ₄ /g SVT	647,49	629,12	%	97,16
Licor de Pentoses	N mL CH ₄ /g SVT	562,38	473,89	%	84,27
Mistura	N mL CH ₄ /g SVT	587,82	578,85	%	98,47

TABELA 5 | Potencial Bioquímico Teórico de Metano e Experimental e digestibilidade. | Fonte: Autoria Própria, 2019

3.4 | Demanda Química de Oxigênio

Com os resultados apresentados é possível afirmar que tanto a vinhaça 2G e a codigestão da mistura substratos apresentaram os maiores PBM e digestibilidade, sendo a codigestão ainda mais vantajosa neste último quesito. Contudo é possível verificar que digestibilidade da celulose foi aquém do esperado, indicando uma carência nutricional do inóculo utilizado que é condizente com a extensa fase lag. Com exceção do licor de pentoses, os outros substratos apresentaram digestibilidade mais elevadas, sugerindo que a pobreza nutricional foi suplementada pelos nutrientes presentes neles, o que possibilitou uma maior produção de biogás e metano em função da melhora da atividade microbológica. No caso do licor de pentoses, a presença de inibidores provenientes do processo de pré-tratamento provavelmente ocasionou a baixa digestibilidade deste substrato, apesar de seu PBTM considerável. Quando adicionado ao ensaio de codigestão, o efeito inibidor do licor pode ter sido atenuado, já que a digestibilidade deste sistema foi muito superior àquele substrato isolado. Adicionalmente, a suplementação nutricional oferecida pela mistura dos três co-substratos também foi, possivelmente, um dos fatores chave para o aumento da digestibilidade do sistema.

4 | Conclusões

A gestão eficiente dos resíduos e subprodutos da produção de etanol deve ser considerada visando a mitigação de impactos ambientais advindos do processo. O aproveitamento destes através da digestão anaeróbia é uma opção interessante que alia o tratamento de resíduos orgânicos à possibilidade de produzir biogás.

Neste contexto, a codigestão é a alternativa que concilia o aproveitamento de um conjunto de resíduos orgânicos em um único sistema, podendo melhorar o rendimento e reduzir potenciais efeitos inibitórios de determinados resíduos, como parece ter sido o caso do licor de pentoses. No ensaio contendo a mistura de licor de pentoses, vinhaça 1G e vinhaça 2G foi obtida a maior biodegradabilidade do sistema em comparação aos substratos isolados, isto é, possuindo um PBM mais elevado, atribuindo maior eficiência na conversão de biogás em energia elétrica ou térmica. No entanto, o maior PBM foi obtido com a vinhaça 2G isolada.

Outro ponto chave no gerenciamento dos resíduos está atrelada a ideia de resíduo zero para as usinas sucroalcooleiras 1G2G. Onde a codigestão torna-se uma resposta atraente para esta situação. Isto é, para cada tonelada de cana-de-açúcar processada são produzidos 1020 litros de vinhaça 1G, 663 litros de vinhaça 2G e 2800 litros de licor de pentoses indicando um gradiente de mistura de 14.80% de vinhaça 1G, 22.74% vinhaça 2G e 62,44% de licor de pentoses.

5 | Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) processo n° 2016/16438-3 e pelo Fundo de Apoio ao Ensino, à Pesquisa e Extensão (FAEPEX) processo n° 2131/18.

6 | Referências bibliográficas

ALENCAR, L, C., *Potencial bioquímico da produção de metano da fração biodegradável dos resíduos sólidos urbanos de campinas-SP. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, SP, 2017.*

CORTEZ, L, A, B; LORA, E, E, S; GOMEZ, E, O., *Biomassa para energia. Editora Unicamp. Universidade de Campinas. SP. 2008.*

MORAES, S, B; ZAIAT, M; BONOMI, A. *Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brasil: callage and perspectives, 2015.*

NOVACANA, 2019. <<https://www.novacana.com/n/cana/safra/unica-numeros-finais-safra-2018-19-Atualizacao-quinzenal-090419>> Acesso em: 29/30/2019 as: 15:32 h.

WANG, B. *Factors that Influence the Biochemical Methane Potential (BMP) test: Steps towards the Standardisation of BMP Test. 2016.Tese de Doutorado – LUND University. Suécia.*

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM BIOSISTEMA INTEGRADOS PARA PEQUENOS SUINOCULTORES NO ÂMBITO DO TRATAMENTO DO EFLUENTE, PRODUÇÃO DE BIOGÁS E APLICAÇÃO DO BIOFERTILIZANTE NO SOLO

ARTÍCULO

Gabryel Pontes Lima¹, Emmanuelle de Souza Balbino¹, José Hélio Barbosa¹, Williane Vieira Macêdo², Elton Lima Santos¹, Guilherme Bastos Lyra¹, Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim¹

¹Universidade Federal de Alagoas, ²Universidade de São Paulo

Email: limapgabryel@gmail.com

Resumo

No Brasil, a suinocultura é a terceira maior atividade agropecuária do país. Entretanto, a geração de um efluente potencialmente prejudicial ao meio ambiente é um entrave nesta atividade. O presente estudo teve como objetivo a construção e avaliação de um biosistema integrado com a finalidade de converter o efluente suíno bruto em energia (biogás) e um efluente tratado (biofertilizante), por meio da fermentação anaeróbia. Após 85 dias de operação, o biosistema promoveu uma remoção média de 76,64% de DQO e 84,86% de DBO₅, e uma produção média de biogás igual a $0,60 \pm 0,83 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. O biofertilizante apresentou uma taxa de crescimento e produtividade semelhantes ao fertilizante industrial Lique-Plex Bonder, sendo de $0,76$ e $0,88 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, respectivamente. A implantação deste biosistema tem o propósito de diversificar a matriz energética brasileira promovendo o tratamento do dejetos gerado pela suinocultura, reduzindo assim o impacto ambiental causado pela prática.

PALAVRAS-CHAVE: biodigesdor, biogás, biofertilizante, fermentação anaeróbia.

Abstract

In Brazil, swine farming is the third largest agricultural activity in the country. However, the generation of an effluent potentially harmful to the environment is an obstacle in this activity. The present study aimed at the construction and evaluation of an integrated biosystem with the purpose of converting the raw swine effluent into energy (biogas) and a treated effluent (biofertilizer), through anaerobic fermentation. After 85 days of operation, the biosystem promoted an average removal of 76.64% of COD and 84.86% of BOD₅, and a mean biogas production of $0.60 \pm 0.83 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. The biofertilizer presented a growth and productivity similar to the Lique-Plex Bonder industrial fertilizer, being 0.76 and $0.88 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, respectively. The implementation of this biosystem has the purpose of diversifying the Brazilian energy matrix by promoting the treatment of the manure generated by swine farming, thus reducing the environmental impact caused by the practice.

KEYWORDS: anaerobic fermentation, biodigesdor, biogas, biofertilizer.

1 | Introdução

O efetivo do rebanho brasileiro de suínos conta com cerca de 40,3 milhões de cabeças, fazendo da suinocultura a terceira maior atividade agropecuária do país. A elevada concentração de animais ocasiona a geração de uma quantidade enorme de dejetos suínos, constituído por fezes, urina, restos de ração, água de lavagem e pelos, possuindo assim alto potencial poluidor, que pode ser de até 50 vezes mais que o esgoto doméstico (IBGE, 2015).

A biodegradação por tratamento anaeróbio do resíduo gerado pela suinocultura tem um poder de remoção da carga orgânica na ordem de 65-85%, tornando-se um processo atrativo para o tratamento. O uso do biodigestor é uma maneira de promover a biodegradação deste resíduo, aliando a geração de energia com o aproveitamento do potencial fertilizante do efluente. Deste modo, o tratamento do esgoto suíno via digestão anaeróbia oferece três benefícios: saneamento; suprimento da demanda de energia; e uso de materiais biodegradáveis como biofertilizante (CHERNICHARO, 2007; MIRANDA et al., 2012; YANG et al., 2016).

O estudo propõe avaliar a produção de biogás via fermentação anaeróbia em um biodigestor tendo como substrato o resíduo gerado pela suinocultura, e analisar a eficiência na utilização do efluente tratado como biofertilizante no cultivo de tomate cereja em Maceió, Alagoas.

2 | Metodologia

O biosistema utilizado era composto por tanques de estabilização e equalização, ambos com $5,0 \text{ m}^3$ cada; biodigestor com $8,8 \text{ m}^3$; gasômetro com $2,0 \text{ m}^3$; purificador de gás com limalha de ferro; medidor de vazão; e um sistema de filtro integrado que permite a conexão no gerador de energia a biogás (Figura 1a). Durante o procedimento experimento foram realizadas análises das frações líquida (biofertilizante) e gasosa (biogás).

2.1 | Biodigestor

O biodigestor foi construído com manilhas de concreto, com o propósito de se aproximar da configuração utilizada pelos suinocultores, aliando baixo custo e facilidade no aproveitamento integral do esgoto suíno para produção de biogás e biofertilizante. Além disto, foi projetado para funcionar por meio da força gravitacional, ou seja, sem a necessidade de bombas hidráulicas. O esgoto suíno foi disponibilizado por uma suinocultura, localizada na região metropolitana do município de Maceió – AL. O monitoramento dos parâmetros físico-químicos ocorreu após o processo de inoculação, durante o qual o biodigestor ficou um mês sem receber carga orgânica para aumentar e estabilizar a formação de colônias de microrganismos com o intuito de otimizar a fermentação anaeróbia. Foi operado em semi-batelada alimentar com Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) de 5 dias. No início de cada semi-batelada, o sistema foi alimentado com aproximadamente 1,0 m³ de afluente, mantendo 7,8 m³ da semi-batelada anterior, resultando assim em um volume útil constante de 8,8 m³ durante o processo de operação.

2.2 | Biofertilizante

O efluente tratado foi utilizado como biofertilizante no cultivo desprotegido de tomate cereja por fertirrigação, comparando com outros dois tipos de tratamento com cinco repetições em vasos casualmente organizados, em que a distância entre o centro de um vaso ao centro de seu vizinho foi de 80 cm (Figura 1b). A quantidade de água necessária para cada estágio da planta foi calculada de acordo com Marouelli e Silva (2002). O primeiro tratamento (B) consistiu na aplicação do biofertilizante em proporções determinadas a partir do teor de fósforo e a necessidade da cultura; o segundo tratamento (Q) consistiu na aplicação do fertilizante industrial Lique-Plex Bonder do tipo NPK, um dos mais utilizados no estado de Alagoas nas mesmas proporções do teor de fósforo adotado para o biofertilizante; o terceiro tratamento (T) trata-se de testemunhas, alimentados apenas com água de abastecimento público.

O desenvolvimento das plantas foi analisado pela medição semanal da altura, a partir da superfície do solo até a parte superior da panícula da haste principal de cada planta, de cada uma das repetições.

A avaliação da taxa de crescimento da cultura foi dada pelo modelo logístico, no qual foi ajustada a variável dependente da altura da planta em função de Dias Após o Plantio (DAP) (Equação 1).

$$w = \frac{w_f}{\left[1 + \left(\frac{w_f}{w_o} - 1\right) e^{-(r \cdot \sum DAP)}\right]} \quad (1)$$

Em que w (m ou cm) é a variável de crescimento; w_o e w_f (cm) correspondem, respectivamente ao crescimento inicial e final do ciclo da cultura; r (cm·d⁻¹) é a taxa máxima de crescimento relativo.

Na avaliação dos modelos de crescimento, os valores medidos da taxa máxima de crescimento relativo (r) foram determinados imediatamente após as coletas dos dados de crescimento (TEI et al., 1996; LYRA et al., 2003). O Erro Padrão de Estimativa (EPE) foi utilizado na determinação do desvio médio entre os valores observados de w e os valores estimados w' .

O solo utilizado foi coletado a uma camada de 0 a 0,2 m de profundidade e caracterizado (Tabela 3). Para a caracterização os solos pós-plantio e de cada tratamento aplicado foram individualmente homogeneizados e quarteados, para coleta de amostra representativa. A correção do pH por calagem não foi necessária, pois se encontrava dentro da faixa ótima para a cultura de tomate.



FIGURA 1 | Biosistema integrado (a) e disposição experimental e sistema de fertirrigação por gotejamento (b).

3 | Resultados e discussão

3.1 | Tratamento da fração líquida

Durante o experimento os parâmetros físico-químicos analisados foram: ácidos voláteis totais (ATV), alcalinidade, coliformes, demanda biológica de oxigênio (DBO5), demanda química de oxigênio (DQO), E. coli, fósforo, nitrogênio NTK, pH, sólidos totais voláteis (STV) e temperatura (Tabela 1).

PARÂMETROS	BIODIGESTOR		BIOFERTILIZANTE	ÁGUA DE ABASTECIMENTO
	AFLUENTE	EFLUENTE		
Ácidos voláteis total (AVT), mg.L ⁻¹	276	173	-	-
Alcalinidade, mgCaCO ₃ .L ⁻¹	4.318	2.929	152	40
Coliformes, UFC.100mL ⁻¹	-	-	2.230	0
DBO ₅ , mg.L ⁻¹	2.472	167	-	-
DQO, mg.L ⁻¹	8.627	603	5629	Não detectável
E. coli, UFC.100mL ⁻¹	-	-	46.000	0
Fósforo, mg.L ⁻¹	165	37	49	Não detectável
Nitrogênio NTK, mg.L ⁻¹	1.937	571	12	Não detectável
pH	7,6	7,6	7,8	6,5
Sólidos totais voláteis (STV), mg.L ⁻¹	23.901	869	-	-
Temperatura, °C	23	24	-	-

TABELA 1 | Fatores físico-químicos analisados durante o experimento.

A remoção média de 76,64% de DQO e 84,86% de DBO5 ratifica a eficiência no tratamento do esgoto suíno com a utilização do biosistema integrado, mitigando assim, os impactos causados pela suinocultura.

3.2 | Produção de biogás

A produção média de biogás foi de $0,60 \pm 0,83 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, sendo a máxima observada de $4,78 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. O conteúdo de metano no biogás foi de $68,10 \pm 9,40\%$, sendo o valor máximo observado de 77,55% (Figura 2).

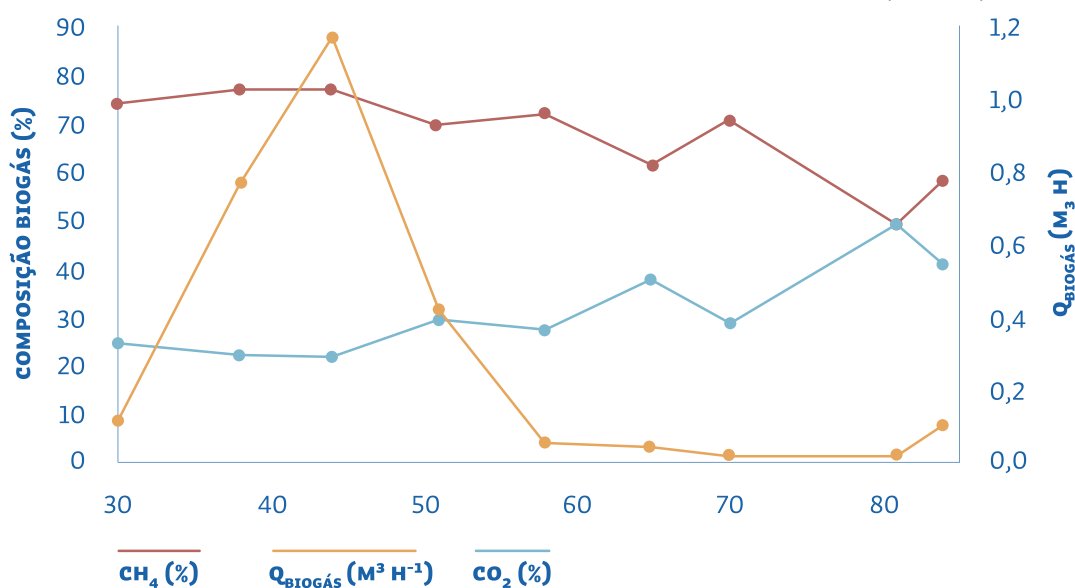


FIGURA 2 | Comportamento temporal do conteúdo do biogás no biodigestor.

A vazão de biogás reduziu, devido ao afluente decantar pela falta de agitação nos tanques de estabilização e equalização, promovendo assim uma menor quantidade de matéria orgânica disponível no meio reacional. O poder calorífico para 1 m^3 de biogás pode variar entre 5.000 e 7.000 kcal dependendo do percentual de metano presente na amostra (EMBRAPA, 2019). Deganutti et al. (2002) estimam que o consumo necessário de biogás, para uma família de 5 pessoas, é de $8,93 \text{ m}^3$ por dia, equivalente a 12,75 kWh de energia elétrica ou 53.580,00 kcal. A produção média de biogás no ensaio foi de $14,40 \text{ m}^3$ por dia, 20,56 kWh de energia elétrica ou 86.400,00 kcal, o que equivale a 161,25% do volume necessário para que ocorra o consumo doméstico de uma família com 5 integrantes.

3.3 | Desenvolvimento e produtividade das culturas

Comparadas à cultura testemunha, as duas culturas fertilizadas tiveram melhor desempenho, pois atingiram alturas de plantas adultas desta espécie (50 cm) na quarta semana de cultivo, enquanto a cultura testemunha só atingiu esta altura na décima semana (Figura 3).

O modelo logístico apresentou ajuste estatístico significativo ($p < 0,01$) para altura de planta em função da variável independente DAP para todos os tratamentos, como também os coeficientes de ajustes (w_f , w_o e r) (Tabela 2). O coeficiente de regressão (R^2) mostrou valores entre 0,9689 (T) e 0,9937 (B) para o ajuste dos modelos. Seus

elevados valores indicaram que o modelo foi capaz de explicar a maior parte da variabilidade do crescimento do tomateiro. Enquanto o menor erro padrão de estimativa foi observado no tratamento B ($wf = \pm 1,28$ cm, $wo = \pm 0,29$

cm e $r = 0,0078$ cm·d⁻¹). O modelo avaliado no presente trabalho foi ajustado e testado por Figueiredo et al. (2005) e Lyra et al. (2008).

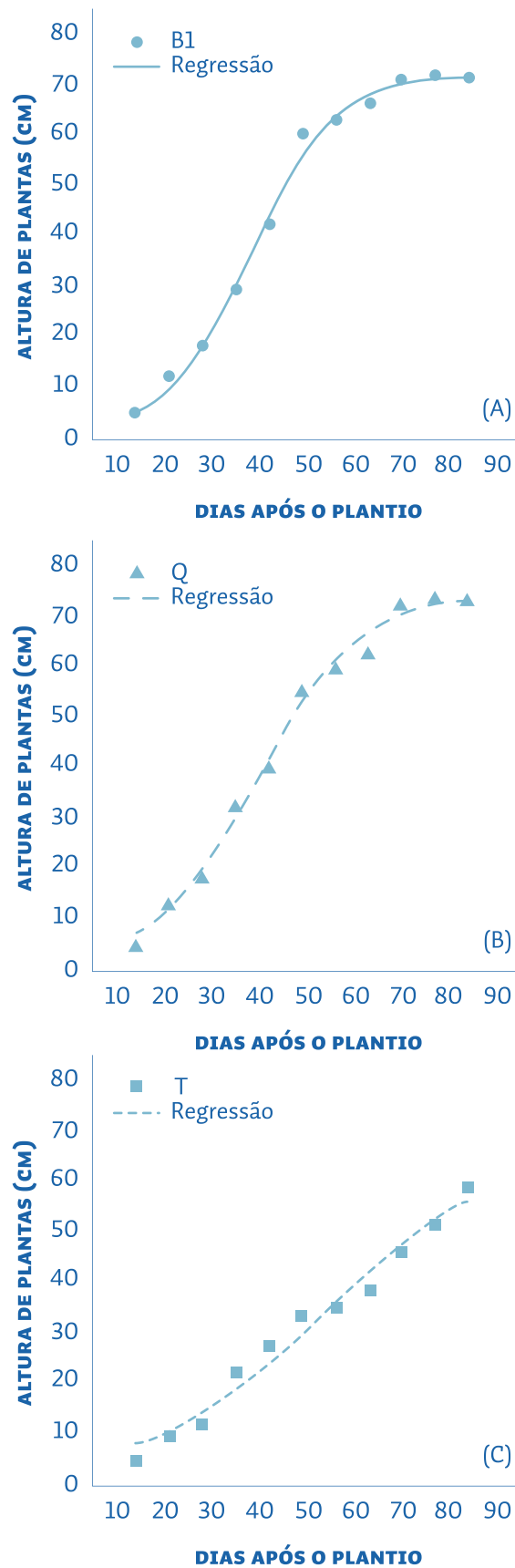


FIGURA 3 | Crescimento das plantas em relação ao tempo após emergência.

PARÂMETROS	B	Q	T
wf (cm)	71,74 ± 1,28	74,45 ± 2,03	67,74 ± 9,34
wo (cm)	1,06 ± 0,29	2,04 ± 0,56	3,99 ± 1,29
r (cm·d ⁻¹)	0,1112 ± 0,0078	0,0901 ± 0,0078	0,0516 ± 0,0093
R ²	0,9937	0,9901	0,9689

TABELA 2 | Valores estimados dos parâmetros do modelo logístico tendo como variável independente Dias Após o Plantio (DAP).

A produtividade da cultura foi quantificada em quilogramas por metro quadrado de área cultivada. As plantas sob tratamento testemunha (T) tiveram apenas 17% da produtividade da cultura sob tratamento Q. A cultura sob o tratamento com biofertilizante (B) obteve 0,76 kg·m⁻² enquanto o tratamento com fertilizante comercial (Q) produziu 0,88 kg·m⁻². Esta diferença indica a proximidade da eficiência do uso do biofertilizante comparado ao produto químico em plantações hortifrutíferas. Assim, pode-se concluir que a substituição do fertilizante industrializado pelo biofertilizante, ainda que parcial

para alguns tipos de cultura mais exigentes, é uma boa alternativa econômica e ambientalmente amigável.

O pH para solo B reduziu quando comparado aos outros tratamentos aplicados (Tabela 3). Esta redução pode ser justificada pelo alto teor de alumínio e alumínio trocável presente no biofertilizante. A redução do pH pode ocasionar a decomposição de componentes de argila e, portanto, aumentar o teor de alumínio trocável no solo (VELOSO et al., 1992).

PARÂMETROS	SOLO PRÉ-PLANTIO	SOLO B	SOLO Q	SOLO T
pH	5,6	4,6	5,8	5,8
Na, mg·dm ⁻³ (1)	30	60	140	80
P, mg·dm ⁻³ (1)	49	50	55	28
K, mg·dm ⁻³ (1)	90	83	63	58
Ca, mg·dm ⁻³ (2)	3,33	1,05	2,4	1,9
Mg, cmol·dm ⁻³ (2)	0,71	0,53	1,03	0,86
Al, mg·dm ⁻³ (2)	0,12	0,94	0,12	0,16
H + Al, mg·dm ⁻³ (3)	5,78	7,08	4,21	5,02
CTC Efetiva, mg·dm ⁻³	4,52	2,99	4,36	3,49
CTC Total, mg·dm ⁻³	10,18	9,13	8,45	8,35
MO, g·kg ⁻¹ (4)	54,0	43,2	34,7	46,5
V, % (5)	43	22	50	40

TABELA 3 | Caracterização do solo utilizado e após cada tratamento.

DETERMINAÇÕES | (1) Extrator de Mehlich-1; (2) Extrator de KCl 1,0 M; (3) Extrator de Acetato de cálcio a pH 7,0; (4) Método de Welkey-Black; (5) Saturação por bases.

INTERPRETAÇÃO ADEQUADA | pH: 5,6 a 6,1; P: CTC ≤ 5,0 - 32 a 46 e CTC > 5,0 - 22 a 30; K: 71 a 121; Ca: 3,10 a 4,60; Mg: 1,01 a 2,00; Al: < 0,21; CTC Total: 7,51 a 13,00; MO: 40,1 a 70,0; V: 60 a 80.

O parâmetro de controle para a adubação dos tratamentos foi o fósforo. As concentrações deste macronutriente no solo pré-plantio e nos solos B e Q apresentaram um incremento de 2% e 12%, respectivamente. As dosagens estimadas e administradas ao longo da cultura foram próximas do ideal, não comprometendo as características iniciais do solo, evitando que ele se tornasse tóxico e que, conseqüentemente, este nutriente em excesso eventualmente percolasse e contaminasse um possível aquífero em situações reais de aplicação. A redução na concentração deste parâmetro para a cultura testemunha indica o consumo do fósforo já presente inicialmente no solo pré-cultivo, tornando-o distrófico e afirmando a necessidade da fertilização.

4 | Conclusão

A utilização do biodigestor acarretou a geração de 14,40 m³ de biogás por dia, 20,56 kWh de energia elétrica ou 86.400,00 kcal, o que corresponde a 161,25% do valor estimado necessário para suprir o consumo doméstico de uma família de 5 pessoas. Este resultado expõe que o tratamento biológico aplicado no estudo, além de mitigar o impacto causado pelo lançamento do efluentes da suinocultura no ecossistema, possibilita a diversificação da matriz energética.

Ademais, o efluente de suíno tratado como biofertilizante na cultura de tomate cereja por fertirrigação apresentou semelhante taxa de crescimento e produtividade com fertilizante industrial Lique-Plex Bonder, além de não ter sido encontrada a presença de patógenos, comprovando

assim sua viabilidade do uso do biofertilizante em substituição parcial ou total ao fertilizante comercial testado.

5 | Agradecimentos

Agradecemos a RedBioLAC pela oportunidade de divulgar o trabalho desenvolvido, bem como o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pelo auxílio financeiro no decorrer do experimento.

6 | Referências bibliográficas

CHERNICHARO, C. A. L. *Anaerobic reactors*. London: IWA publishing, v. 4, 2007.

DEGANUTTI, R. et al. *Biodigestores rurais - Modelo indiano, chinês e batelada*. In.: ENCONTRO DE ENERGIA DO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. Anais... Campinas: [s.n.]. 2002. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v1/031.pdf>>. Acesso em: 28 Jun. 2019.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. *Biogás*. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn102wx5eo0sawqe3qf9d0sy.html>>. Acesso em: 28 Jun 2019.

FIGUEREDO, L. G. M.; DOURADO, D.; OLIVEIRA, R. F.; MANFRON, P. A.; MARTIN, T. N. *Modelo para estimativa do índice de área foliar da cultura de milho*. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.4, n.1, p.8-13, 2005.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas – IBGE. *Número de cabeças do efetivo da pecuária, 2015*. Disponível em: <<https://brasilensintese.ibge.gov.br/agropecuaria/efetivos-da-pecuaria.html>>. Acesso em: 28 Jun. 2019.

LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; TEODORO, I.; MOURA, G. *Modelo de crescimento logístico e exponencial para o milho BR 106, em três épocas de plantio*. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.7, n.3, p.211-230, 2008.

MAROUELLI, W. A., SILVA, W. L. *Tomateiro para processamento industrial: irrigação e fertirrigação por gotejamento*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento. *Dados Eletrônicos*. Brasília: Embrapa Solos, 2002.

MIRANDA; A. P.; LUCAS, J.; THOMAZ, M. C.; PEREIRA, G. T.; FUKAYAMA, E. H. *Anaerobic biodigestion of pigs feces in the initial, growing and finishing stages fed with diets formulated with corn or sorghum*. *Engenharia Agrícola*, v. 32, n. 1, p. 47-56, 2012.

VELOSO, C. A. C.; BORGES, A. L.; MUNIZ, A. S.; VEIGA, I. A. *Efeito de diferentes materiais no pH do solo*. *Scientia Agrícola*, v. 49, n.1, p.123-128, 1992.

YANG, H.; DENG, L.; LIU, G.; YANG, D.; LIU, Y.; CHEN, C. *A model for methane production in anaerobic digestion of swine wastewater*. *Water Research*, v. 102, p. 464-474, 2016.

DISEÑO DE CALEFACCIÓN SOLAR PASIVA EN BIODIGESTORES EN CLIMAS FRÍOS

CÁPSULA EDUCATIVA

Jaime Martí Herrero. Biomass to Resources Group. Universidad Regional Amazónica Ikiam (Ecuador)
Email: jaime.marti@ikiam.edu.ec | tallerbiogas@hotmail.com

La temperatura a la que se encuentran el consorcio bacteriano que realiza la digestión anaerobia dentro del biodigestor, es la que determina la temperatura del trabajo del biodigestor.

Para conocer la temperatura de trabajo de un biodigestor hay que considerar dos cosas: el clima del lugar y el diseño del biodigestor.

En general, los biodigestores que no tienen diseño solar terminan trabajando a una temperatura similar a la media ambiental. Este es el caso de la mayoría de los biodigestores instalados en regiones de clima tropical (por debajo de 1.500 msnm en el trópico) ya que la temperatura ambiente es suficiente como para poder realizar la digestión anaerobia en un tiempo de retención aceptable.

Pero se pueden diseñar biodigestores para que aprovechen el calor del sol, de forma que la temperatura a la que trabajan las bacterias sea superior a la media ambiental. Esto conviene hacerlo cuando se trabaja por encima de los 1.500 msnm, ya que la temperatura ambiente media suele estar entorno a los 20 °C, y menor para mayores alturas. De este modo, al considerar un diseño de calefacción solar pasiva, el biodigestor puede llegar a trabajar a temperaturas similares a las máximas ambientales.

Como usualmente usamos bacterias que están presentes en los estiércoles, y estos provienen del interior de un animal que estaba a 35-37°C de temperatura, las bacterias prefieren esas temperaturas. Pero se pueden adaptar a trabajar a temperaturas menores, que será el caso típico de los biodigestores tubulares. Este acostumbrarse de las bacterias a trabajar a menores temperaturas se llama aclimatización, y puede llevar unos meses. Pero no hay que preocuparse pues esto sucede dentro del propio biodigestor de forma natural.

Diseño de calefacción solar pasiva en biodigestores

En los casos donde la temperatura ambiente media sea en torno a 20 °C o menor, se recomienda considerar los criterios de diseño de calefacción solar pasiva. Las posibilidades de usar uno y otro criterio dependen fuertemente del material con el que se vaya construir el tanque del biodigestor (plástico de invernadero, geomembrana de PVC o geomembrana de polietileno).



¹ Texto adaptado de: *Biodigestores Tubulares*: Martí-Herrero J. 2019. *Guía de diseño y manual de instalación*. RedBioLAC – WISIONS. ISBN: 978-9942-36-276-6

FIGURA 1 | Biodigestor tubular adaptado a clima frío que considera aislante en zanja, color oscuro de plástico e invernadero compacto.

Hay tres criterios principales, que van en orden jerárquico, o sea, para considerar el tercero, habrá que haber considerado los dos previos:

Colores oscuros en el material del que está hecho el biodigestor: Esto es para absorber la radiación solar incidente. Esta radiación solar calentará la cúpula del biodigestor (hasta los 60 y 70 °C) y parte de esa temperatura será transferida al biogás interior (que a su vez calentará por convención la mezcla de agua y estiércol que se encuentra por debajo) y otra parte es directamente transferida (por radiación) a la mezcla de agua y estiércol. Esta opción solo es recomendable si se usa geomembrana de polietileno de color oscuro para hacer tanque (ya viene de color negro y aguanta muy bien la radiación solar directa), ya que la radiación solar directa sobre plástico acorta fuertemente su vida útil, y sobre geomembrana de PVC producirá una expansión del biogás y la cúpula, que no es fácil de controlar. Con esta técnica se puede subir la temperatura de trabajo del biodigestor entre 2 y 3 °C.

Aislante en paredes y suelo de zanja: Este es un aspecto fundamental, pues se trata de conservar el calor ganado por la mezcla interna de agua y estiércol. De no estar presente este aislante la temperatura de trabajo del biodigestor terminará en valores similares a la temperatura de suelo. Sólo tendrá sentido usar aislante en zanja cuando se ha diseñado el biodigestor para que tenga alguna forma de ganar temperatura, por ejemplo, por usar geomembrana de polietileno de color oscuro para el tanque. Con esta técnica (aislante más color oscuro) se puede aumentar la temperatura de trabajo del biodigestor entre 4 y 6 °C.

Invernadero: La introducción de un invernadero como elemento de calefacción solar pasiva, además sirve como elemento de protección. Se recomiendan invernaderos

compactos, donde no es necesario que una persona pueda entrar, o sea, un invernadero pequeño que contenga y cubra completamente al biodigestor. Se trata de minimizar la superficie (y volumen) del invernadero, para así evitar pérdidas de calor. El invernadero puede tener paredes de adobe, ladrillo o el propio plástico de invernadero). Para que este sistema funcione es necesario que en el interior haya algún elemento de color oscuro y que este absorba la radiación solar. Con esta técnica (invernadero, más aislante, más color oscuro) se puede aumentar la temperatura del biodigestor hasta 6-10 °C. A modo de referencia se puede decir que el biodigestor puede lograr temperaturas similares a las máximas ambientales.

Temperatura de trabajo del biodigestor

La temperatura a la que se encuentra el biodigestor (temperatura de trabajo) depende de la temperatura ambiente media y del uso de criterios de diseño de calefacción solar pasiva. Para regiones con climas calurosos, con temperaturas medias ambientales superiores a 20 °C, no es necesario incorporar criterios de diseño solar, y por tanto los biodigestores trabajaran a unas temperaturas muy similares a las temperaturas medias ambientales. En la Tabla 1 se expone la temperatura de trabajo esperada de un biodigestor, para diferentes eco-regiones y temperaturas medias ambientales, considerando, o no, criterios de diseño solar. Como se ve en la Tabla 1, la incorporación de criterios de diseño solar hacen que el biodigestor trabaje como si estuviera en una eco región más cálida. De este modo, un biodigestor ubicado en valles altos (temperatura ambiente media de 13 a 17 °C), si se incorporan criterios de diseño solar, trabajará como un biodigestor sin diseño solar en la eco región de valles (temperatura ambiente media de 18 a 22 °C),

ECO REGIÓN TÍPICA (ALTURA, MSNM)	TEMPERATURA DE TRABAJO DEL BIODIGESTOR (°C)			
	TEMPERATURA AMBIENTE MEDIA (°C)	BIODIGESTOR SIN DISEÑO SOLAR	BIODIGESTOR CON DISEÑO SOLAR	CRITERIOS
Trópico cálido (<300)	28-32	28-32	No necesita diseño solar	
Trópico (300-1000)	23-27	23-27	No necesita diseño solar	
Valles (1000-2000)	18-22	18-22	23-27	Color oscuro + aislante zanja
Valles altos (2000- 3000)	13-17	13-17	18-22	Color oscuro + aislante zanja + invernadero
Altiplano (3000 - 4500)	8-12	8-12	13-17	Color oscuro + aislante zanja + invernadero

TABLA 1 | Temperatura de trabajo de un biodigestor, en diferentes eco regiones, considerando o no el diseño solar

Y para el diseño solar ¿Qué materiales usar?

El diseño solar se basa en tres componentes básicos: el color oscuro para que el biodigestor se caliente, el aislante en la zanja para conservar el calor ganado por el biodigestor, y un invernadero cerrado

Para saber más:

Existe un manual público de instalación de biodigestores adaptados a clima frío muy detallado y completo, desarrollado en Bolivia. Algunos aspectos pueden diferir del presente manual, pero la técnica constructiva es muy recomendable de revisar.
<http://redbiolac.org/wp-content/uploads/Revista-Redbiolac-2018.pdf>

Color negro: Cuando se trabaja con plásticos de invernadero, suelen tener colores translúcidos claros, que no son buenos para absorber radiación solar. En estos casos se puede cubrir el biodigestor con una lámina de plástico negro que será quien absorba la radiación solar. Además, en caso de no tener cubierta o invernadero, esta lámina será la que se vaya degradando por la radiación solar, protegiendo así al plástico de invernadero del biodigestor. Por otro lado, cuando se trabaja con geomembrana de PVC, los colores suelen ser plomizos, suficiente para absorber radiación solar, pero si se expone directamente a la radiación solar se acorta la vida del material y además se pueden producir deformaciones (“hinchazones locales”) en la cúpula de biogás. Una opción, no validada todavía, es enfundar el biodigestor de PVC en una manga de plástico negro, que recibirá la radiación solar, y además impedirá que la geomembrana se expanda. De este modo se podría trabajar con un invernadero compacto. Pero esta opción solo está planteada y no validada. Cuando se trabaja con geomembrana de polietileno (o polipropileno), no hay problema alguno pues es un material ya de color negro, resistente a la radiación solar y que no se expande.

Aislante en zanja: Se recomienda poner material aislante en zanja, tanto en las paredes como en el suelo de la misma. Al estar el aislante en condiciones de humedad en la zanja (debajo y a los lados del tanque del biodigestor), se ha visto que los materiales orgánicos aislantes, como paja, o cañas de guadua (bambú) puesta una al lado de la otra formando una capa de unos 10 cm de espesor, tienen a desaparecer (pudrirse) en dos años. Así se pierde el aislamiento en poco tiempo. Estos materiales orgánicos podrían tener mayor tiempo de vida en caso en que haya buen drenaje del suelo y no entre agua de lluvia en la zanja usando una cubierta amplia o un invernadero compacto. En caso de evitar humedades y agua lluvia, también se puede emplear materiales orgánicos tratados, pero pueden encarecer mucho los costos.

Actualmente el material más usado de forma exitosa es una capa de 5 cm de espesor de poliestireno expandido como aislante en paredes y suelo de la zanja. El poliestireno expandido se llama “espumaflex” en Ecuador, “plastoformo” en Bolivia, “plumavit” en Chile o “icopor” en Colombia y, como referencia, es la espuma blanca en que vienen protegidos los electrodomésticos cuando están embalados. Este material tiene diferentes densidades, cuanto mayor su densidad, mayor resistencia y capacidad de aislamiento. La desventaja de este material es que es muy voluminoso y dificulta su transporte hasta el lugar de instalación del biodigestor.

Otros aislantes como espumas, o mantas térmicas son poco eficientes, ya que se comprimen por el peso del biodigestor y pierden gran parte de su capacidad de aislamiento.

Cubiertas e invernaderos: Cuando se coloca una cubierta o invernadero, es importante ubicar siempre la válvula de alivio fuera del espacio cubierto.

Cuando se trabaja en regiones tropicales, y no es necesario calentar los biodigestores mediante diseño solar, la cubierta puede ser opaca o translúcida. En estos casos se suele usar planchas de zinc como techo. Se recomienda que el espacio cubierto esté ventilado y que el techo este alto.

En caso de querer calentar el biodigestor, una cubierta puede ayudar a no perder calor durante la noche, pero se recomienda que sea translúcida para ganar calor de día.

En caso de implementar un invernadero, necesario en climas fríos, se recomienda hacerlo compacto, de modo que dentro sólo quepa el biodigestor. Sólo en caso de querer usar el invernadero para otras actividades (cultivos) se puede hacer grande, pero en general se recomienda un invernadero compacto. Esto es debido a que se minimizan las pérdidas de calor, y a que no es necesario estar ingresando al invernadero, pues el biodigestor funciona sólo y no requiere mantenimiento en esta parte si está bien instalado. La única prevención que hay que tener en los invernaderos compactos es que no crezcan plantas en los bordes del biodigestor, que puedan generar sombras.

Los materiales translúcidos del invernadero pueden ser de plástico de invernadero, o policarbonatos. El plástico de invernadero, si está bien instalado (contra vientos y con buena inclinación para evitar daños de lluvias fuertes o granizos) puede durar hasta 5 años, pero lo normal es que a los dos o tres años comience a cristalizar y haya que cambiarlo. En el caso de usar policarbonato, depende de la calidad del mismo, pero su vida útil suele llegar a los 10 años. Ambos materiales se irán degradando por acción de la radiación solar, de modo que la luz que dejan pasar al interior del invernadero y que incide sobre el tanque del biodigestor, ya no dañará al plástico o geomembrana de la que esté fabricado el tanque (ya se han filtrado los rayos ultravioletas en la cubierta del invernadero). Para que este sistema funcione es necesario que en el interior haya algún elemento de color oscuro (y absorba la radiación solar). En el caso de que el tanque del biodigestor esté hecho de plástico de invernadero de colores claros, se puede poner una sábana de plástico negro por encima, cubriendo el biodigestor y recibiendo toda la radiación solar que atraviesa la cubierta del invernadero. También, si es posible, se puede usar directamente plástico de invernadero de color negro humo, sin necesidad de la sábana. En caso de usar geomembrana de PVC es necesario contener la expansión de este material (se puede estirar mucho), pues la temperatura dentro del invernadero puede aumentar hasta los 50-70°C, expandiendo al biogás, y este a la geomembrana, pudiendo haber contacto entre la cúpula del biodigestor y las paredes y techo y del invernadero, pudiéndose dañar la geomembrana. Por ello, en geomembrana de PVC es necesario impedir la expansión de cúpula de biogás, que se puede hacer “enfundando” el biodigestor en una manga tubular de plástico negro o poniendo una lámina de plástico (color oscuro) por encima del tanque del biodigestor, y esta lámina anclada a los laterales para que quede firme y retenga a la cúpula de biogás. En el caso de geomembranas polietileno (y polipropileno) no es necesario ninguna acción extra.

POTENCIAL DE PRODUCCIÓN ENERGÉTICA A PARTIR DEL BIOGÁS DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN PARAGUAY

ARTÍCULO

Juan Pablo Dos Santos M.¹, Stijn Van der Krogt², Hugo Vargas³
^{1, 2, 3}Universidad Paraguaya Alemana (UPA)
E-mail: juan.dossantos@upa.edu.py

Resumen

En este estudio¹ se determinó el potencial de los residuos provenientes de la agroindustria para producir biogás con la opción de transformarlo en energía eléctrica, térmica y/o biometano. Los sectores analizados fueron: producción azucarera, bovina (carne y leche), porcina y avícola. Se tomaron en cuenta los rendimientos teóricos específicos para cada sustrato a fin de estimar la generación de energía. De esta forma, los resultados arrojaron que el sector más productivo es el azucarero, seguido del avícola, bovino y porcino. El potencial energético es de 315 millones de m³ de biogás anuales, lo que se traduce en 300 mW de potencia térmica, 120 mW de potencia eléctrica. Resalta también la capacidad de sustitución de leña en 466.163 ton/año, resultando significativo como apoyo para la disminución de la deforestación de bosques nativos.

1 | Introducción

La economía del Paraguay se caracteriza por el importante peso en el PIB de su sector primario (10,6%), especialmente agricultura (7,1%) y ganadería (2,5%). En cuanto al sector secundario (34%), Paraguay posee uno de los mayores potenciales de generación de energía hidroeléctrica per cápita del mundo: dispone de dos grandes complejos hidroeléctricos: la Binacional de Itaipú y la Binacional de Yacyretá.

En la matriz energética del Paraguay la composición de la producción primaria de energía es como sigue: 60,9% hidroenergía y 39,1% biomasa (leña, carbón vegetal y residuos vegetales). Analizando el consumo final, la biomasa ocupa el 43% de la energía consumida, 18% electricidad y 39% hidrocarburos. En la estructura del consumo final de biomasa la leña ocupa 60% (FEPAMA, 2015).

El problema de esto último radica en que la biomasa consumida proviene de bosques nativos (sin manejo racional), asociado a una creciente demanda tanto para consumo doméstico como para la agroindustria -donde es fuertemente utilizada-, dando como resultado un balance negativo de 7,5 a 10 millones de ton/año de oferta de biomasa sólida (VMME, 2013). Adicionalmente, cabe mencionar que Paraguay es un importador neto de hidrocarburos (Petropar, 2013).

Precisamente es en la agroindustria en donde podría encontrarse un paliativo a esta situación: a partir de sus residuos se puede producir biogás, el cual puede sustituir a la leña, al diésel y además generar electricidad. Este estudio se enfocó en los principales sub-sectores agroindustriales del Paraguay, en los que se halla mayor generación de residuos y más fiabilidad de datos.

2 | Metodología

Se generó un inventario de los sustratos orgánicos con potencial de fermentación a metano de las siguientes industrias: caña de azúcar, ganado bovino (carne y leche), porcino y aviar. El inventario se hizo a nivel nacional, utilizando datos como IICA (2017) y SENACSA (2018).

Para el cálculo de producción de biogás se consideró la metodología utilizada por SNV (2011). Según las características de cada industria, y los rendimientos típicos, se estimó la masa de producto generado anualmente (A). Para el efecto, se utilizó la literatura proveída por Deublin y Steinhäuser (2009). Según rendimiento de cada producto y la generación de residuos, se multiplicó el factor (A) por el factor de generación de residuo (B). El biogás equivalente (Nm³ biogás/año) resultante de A x B se multiplicó por 21,6 MJ/Nm³ para determinar la energía térmica equivalente, utilizando luego las fórmulas 3 y 4 para determinar las potencias térmica y eléctrica.

Las estimaciones de energía térmica y eléctrica, y de potencia térmica y eléctrica se basaron en las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} PB &= REB \times CO \times \eta & (1)^3 \\ ET &= PB \times PCI & (2)^4 \\ PT &= ET / (24 \times 3.600) & (3)^5 \\ PE &= PT \times 0,4 & (4)^6 \end{aligned}$$

¹**PB** = Potencial de biogás (Nm³ biogás al 60% CH₄/día o jornada producción).

REB = Rendimiento específico de biogás del efluente = 0,53 Nm³ biogás al 60% CH₄/kg DQO removido.

CO = carga orgánica del sustrato (kg DQO/día o jornada de producción).

η = eficiencia de conversión (asumida o documentada) para el sustrato

⁴**ET** = energía térmica (MJ/día); PCI = poder calorífico inferior del biogás a 60% CH₄ = 21,6 MJ/Nm³.

⁵**PT** = potencia térmica (MWt)⁶ y donde 24 representa las horas del día y 3.600 los segundos por hora.

⁶**PE** = potencia eléctrica (MWe)⁷ y donde el factor 0,4 representa la eficiencia de conversión térmica a eléctrica asumida.

¹ Este Proyecto es cofinanciado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONACYT con recursos del FEEI

² (Embajada de España en Asunción, 2018)

3 | Resultados y discusión

SECTOR	PARÁMETRO DE MEDICIÓN	UNIDADES	VALOR
Azucarero	Caña molida (promedio 2012-2016)	ton	6.174.205
Bovino de carne	Bovinos faenados (2017)	cabezas	2.066.100
Avícola	Aves faenadas (2017)	unidades	66.624.077
Porcino	Cerdos Faenados (2017)	cabezas	495.513
Bov. Leche	Producción nacional de leche (2017)	m ³	459.807

TABLA 1 | Sustratos disponibles desde cada sector | Fuente: elaboración propia con datos de (SENACSA, 2018) e (IICA, 2017).

SECTOR	BIOGÁS M ³ /AÑO	POTENCIA TÉRMICA (MWT)	ENERGÍA TÉRMICA MWHT/AÑO	POTENCIA ELÉCTRICA (MWE)	ENERGÍA ELÉCTRICA MWHE/AÑO
Azucarero	124.147.113	170	1.489.765	68	544.207
Bovino de carne	18.818.755	13	112.913	5	41.247
Avícola	101.778.036	70	610.668	28	223.075
Porcino	21.137.371	14	126.824	6	46.328
Bov. leche	49.027.606	32	283.737	13	103.648
TOTALES	314.908.881	300	2.623.908	120	958.505

TABLA 2 | Potencial de producción energética a partir de los sustratos seleccionados. | Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 1 se detallan los valores base utilizados, a partir de los cuales se determinaron los resultados de la Tabla 2. Cálculos adicionales a partir de esta última arrojan que se podría sustituir 207,8 millones de litros de diésel, lo que corresponde al 12% del consumo total del Paraguay, al 91% del Departamento del Alto Paraná y a casi el doble de la

demanda del Departamento de Itapúa (197%). El ahorro total para el país alcanza M USD \$171, teniendo en cuenta los precios actuales del diésel. Además, se podría satisfacer 336.672 viviendas de clase media con energía eléctrica durante un año (63,2% de la población de Asunción, capital del Paraguay).

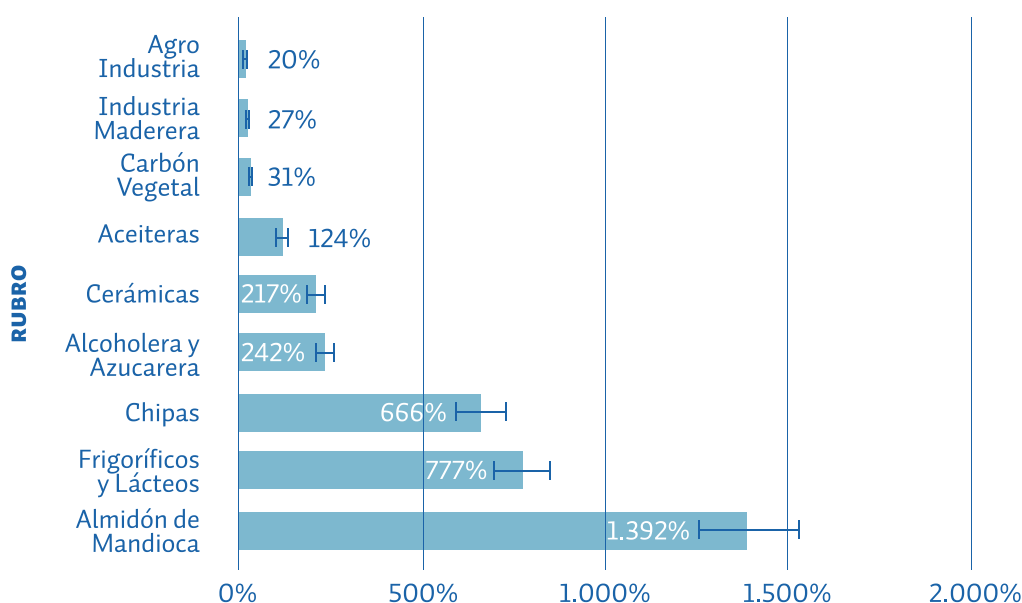


FIGURA 1 | Capacidad de sustitución de leña por biogás en Paraguay, por rubro. | Fuente: elaboración propia con datos de (VMME, 2013)

Paralelamente, la energía térmica generada podría reemplazar 466.163 toneladas de leña al año, correspondiendo esto al 4% del consumo total anual de biomasa sólida en la Región Oriental del Paraguay y al 6,2% del mínimo para cubrir el déficit anual. La Figura 1 ofrece un panorama esclarecedor sobre la capacidad de sustitución en rubros puntuales, destacándose por ejemplo que en Frigoríficos y Lácteos se obtiene 7,7 veces más de la energía demandada y 2,2 veces más para la industria Cerámica.

4 | Conclusiones

La sustitución del diésel con biogás puede influir sensiblemente en la rentabilidad de proyectos agropecuarios, reduciendo costos por medio de la utilización de tractores movidos a biogás. Lo mencionado anteriormente podría generar en Paraguay una revolución, al permitir al productor una posición más favorable frente a las fluctuaciones de los precios y amenazas climatológicas, fortaleciendo al sector al mejorar la competitividad de varios cultivos, entre ellos el maíz y el trigo.

La sustitución de la leña con biogás se convierte casi en una necesidad y una solución a corto plazo frente a la reforestación que necesita el país a fin de cubrir su demanda de energía térmica.

5 | Referencias bibliográficas

Embajada de España en Asunción, Oficina económica y comercial. INFORME ECONÓMICO Y COMERCIAL. Asunción: Secretaría de Estado de Comercio, Gobierno de España, 2018.

FEPAMA. La Leña, Con El 55% Sigue Siendo La Principal Fuente De Biomasa En Paraguay. Asunción, Paraguay: <https://www.fepama.org.>, 2015.

IICA, Observatorio. Informe sobre caña de azúcar. San Lorenzo: www.iica.org.py. Retrieved 30 August 2018, from <http://www.iica.org.py/observatorio/cana.html>, 2017.

Petropar. ¿Cómo funciona PETROPAR? Asunción: www.petropar.gov.py, 2013.

SENACSA. Estadística Pecuaria. San Lorenzo, Paraguay: www.senacsa.gov.py, 2018.

SNV, PNUD. Estudio sobre el potencial de desarrollo de iniciativas de biogás a nivel productivo en Honduras. Tegucigalpa, Honduras: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Honduras, PNUD, 2011.

VMME, GIZ, MOPC. Producción y consumo de biomasa sólida en Paraguay. Asunción, Paraguay: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), Viceministerio de Minas y Energías (VMME), Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2013.

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA CONVERTIDO A BIOGÁS

ARTÍCULO

Milushka Ludmila Llanos Cruz¹, Lawrence Quipuzco Ushñaua¹, Juvenal Viviano García Armas²

¹Círculo de Investigación de biogás & biometano de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ²Departamento de mecanización y energía de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina
Email: milushka.llanos.cruz@gmail.com

Resumen

Se realizó la conversión a biogás de un motor de combustión interna a gasolina y se evaluó de manera experimental los principales cambios que se produjeron en su desempeño mecánico y ambiental con la finalidad de explorar la alternativa de utilizar biogás en motores a gasolina. Los resultados del experimento muestran una reducción en el desempeño mecánico del motor/generador en términos de su potencia eléctrica y consumo de combustible, además de una mejora en su desempeño ambiental al reducirse en más del 90% las emisiones de monóxido del escape. Estos resultados permiten comprobar las ventajas ambientales del uso del biogás como combustible. No hubo cambios significativos en la eficiencia del motor/generador demostrando que la relación entre la energía que ingresa y la energía que suministra la máquina se mantiene prácticamente constante independientemente del combustible utilizado.

1 | Introducción

Los motores de combustión interna (MCI) son máquinas que convierten la energía química obtenida a partir de la quema de un combustible en energía mecánica (Gilardi, 1985). El combustible comúnmente empleado en los MCI es la gasolina, sin embargo, su uso representa un problema a nivel mundial debido a las consecuencias negativas que produce en el ambiente y por su impacto en la seguridad energética al ser una fuente no renovable de energía. Por ello, actualmente existe la necesidad de adaptar los MCI a otro tipo de carburantes no convencionales. Dentro de las opciones de combustibles encontramos al biogás, un biocombustible gaseoso producido a partir de la digestión anaerobia de la biomasa que puede utilizarse como sustituto de la gasolina. En este trabajo se explora la alternativa de utilizar biogás en motores a gasolina; el objetivo principal de esta investigación fue evaluar los cambios que ocurren en el desempeño mecánico y ambiental de un motor (MCI) al sustituir su combustible de origen por el biogás.

2 | Metodología

La investigación se llevó a cabo en el Centro Modelo de

Tratamiento de Residuos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicada en el distrito de La Molina, departamento de Lima, Perú entre los meses de julio del 2018 y marzo del 2019. Para la experimentación se trabajó con un motor monocilíndrico de cuatro tiempos a gasolina acoplado a un generador de 2.4 HP de potencia y biogás al 57.9% de metano (22.7% de dióxido de carbono y 7.3 ppm de sulfuro de hidrógeno) producido a partir de estiércol de porcino en la planta de piloto del centro modelo.

Todas las pruebas se desarrollaron a una velocidad inicial de rotación de 3300 RPM con la válvula de mariposa totalmente abierta. Antes de iniciar los ensayos con biogás se elaboró la línea base del motor con su combustible de origen (gasolina de 90 octanos) para posteriormente realizar la conversión de su sistema de alimentación, que consistió básicamente en añadir un mezclador aire/biogás en el carburador de la máquina (Fig. N° 1). Las dimensiones principales de este dispositivo se determinaron haciendo uso de la metodología de Von Mitzlaff (1988).

Las pruebas se realizaron en un banco de ensayos con un panel de focos de 100 Watts (Fig. N° 2) que sirvieron como cargas eléctricas de modo que, por cada carga eléctrica (bombilla de 100 Watts encendida) se midieron los parámetros de estudio: voltaje (V), amperaje (A), velocidad de rotación (RPM), consumo de combustible (m³/s), y emisiones de CO y CO₂ (ppm). Una vez hecha la medición en campo se elaboraron las curvas características de potencia efectiva (Watts), consumo específico (Kg/KWh), eficiencia (%) y emisiones de escape (ppm).



FIGURA 1 | Mezclador aire/biogás



FIGURA 2 | Banco de ensayos para pruebas con biogás

3 | Resultados y discusión

En la figura N° 3 se presenta el resultado de la curva de potencia en ambos modos de operación. Como se puede observar la máxima potencia efectiva obtenida con el motor a biogás fue 0.501 KW mientras que, con la gasolina fue de 0.808 KW esto quiere decir que, la potencia máxima desarrollada se redujo un 38% al realizar el cambio a biogás. La razón principal de esta pérdida de potencia fue el menor poder calorífico que presenta el biogás (PCI = 20.728 MJ/m³) respecto a la gasolina (PCI = 41.818 MJ/m³), así como también su naturaleza,

ya que al ser un combustible gaseoso ocupa un mayor volumen en la mezcla aspirada por el motor disminuyendo la eficiencia volumétrica en la cámara de combustión. En cuanto al consumo específico (Fig. N° 4), en ambos casos fue menor a medida que la potencia eléctrica aumentó, lo cual indica que el motor presentó un rendimiento uniforme durante las pruebas; sin embargo, se encontraron diferencias entre el consumo de ambos combustibles ($p= 0.0207$; $H_0: n_1=n_2$, $H_1: n_1 \neq n_2$; $\alpha = 5\%$), siendo mayor el consumo específico de biogás, alcanzando un valor máximo de 5.94 Kg/KWh y a plena carga de 1.795 Kg/KWh (más del doble del consumo de gasolina).

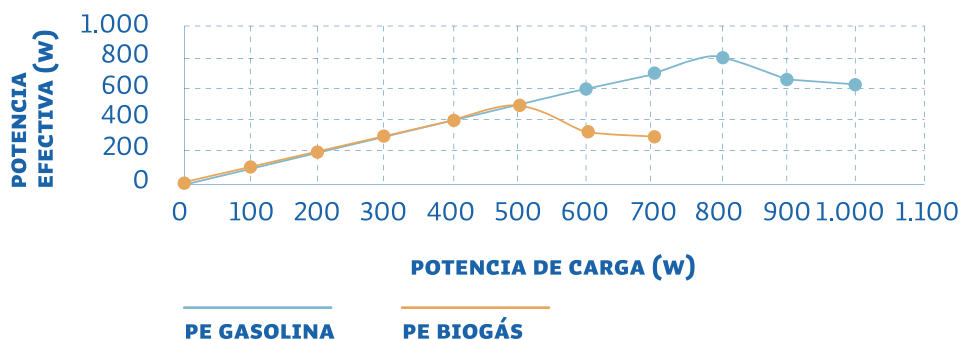


FIGURA 3 | Potencia efectiva Gasolina Vs Biogás

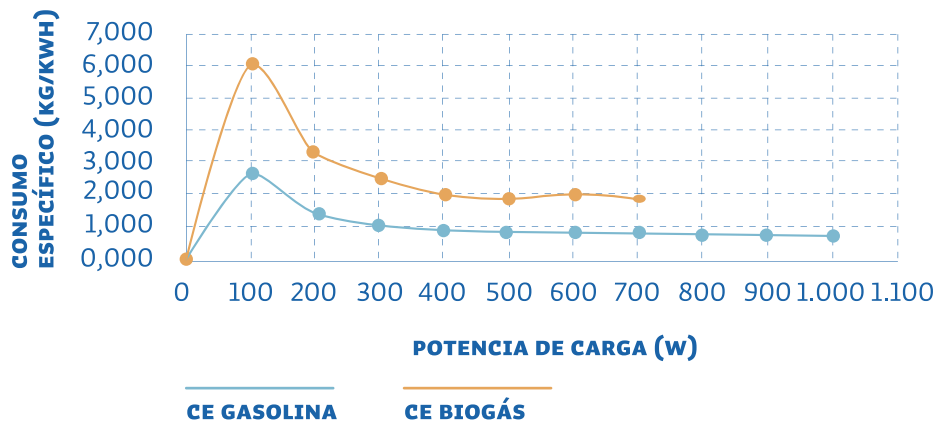


FIGURA 4 | Consumo específico Gasolina Vs Biogás

Por otra parte, no se encontraron diferencias estadísticas entre la eficiencia del motor/generador para las pruebas con gasolina y con biogás ($p= 0.2829$; $H_0: n_1=n_2$, $H_1: n_1 \neq n_2$; $\alpha = 5\%$), y en ambos modos de operación la mayor eficiencia se obtuvo en su máxima potencia efectiva, siendo para la gasolina 13.35% y para el biogás 11.75% (Fig. N° 5). Los valores relativamente bajos de la eficiencia se deben principalmente al tamaño pequeño del motor que produce mayores pérdidas de calor (Contreras, 2013). En cuanto a las emisiones de combustión (Fig. N° 6), la concentración de CO se redujo en más del 90 % cuando el motor operó con biogás, mientras que, la concentración de CO₂ se incrementó entre un 7% y un 66% (dependiendo de la carga) debido a la combustión más completa del biogás.

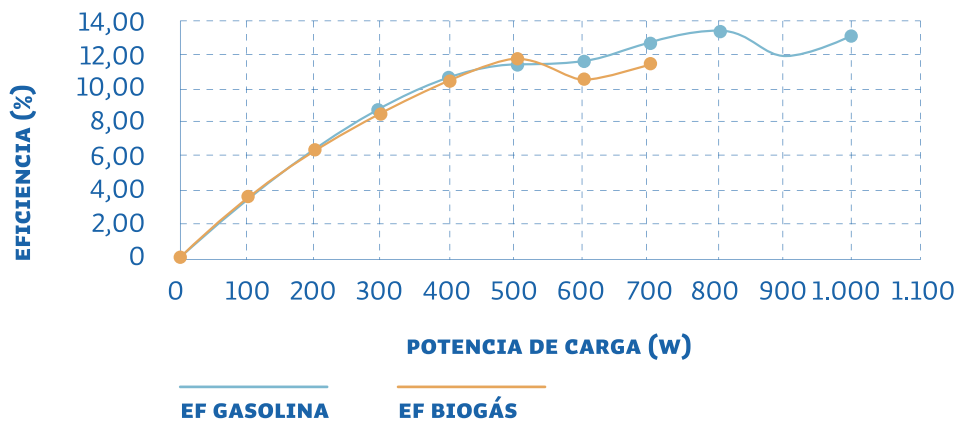


FIGURA 5 | Eficiencia Gasolina Vs Biogás

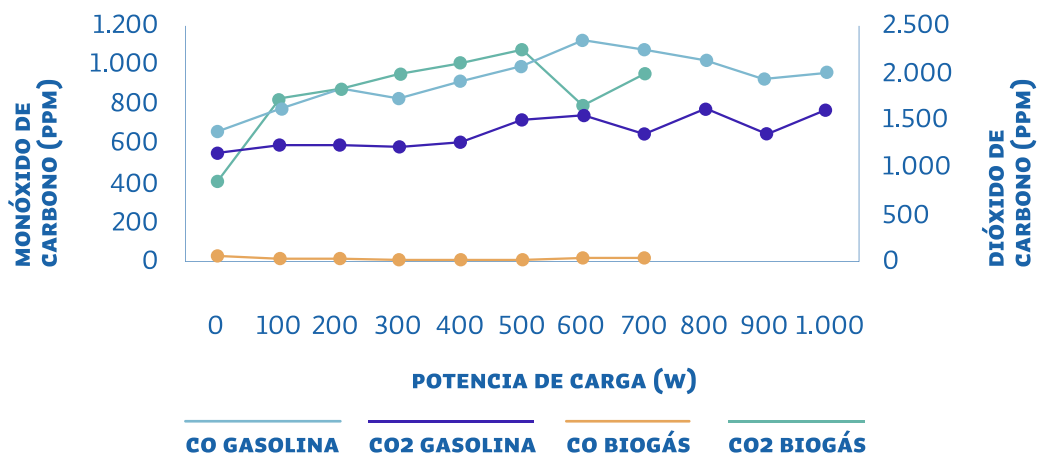


FIGURA 6 | Emisiones CO, CO₂ Gasolina Vs Biogás

Sobre esto último debe considerarse además que, el CO₂ generado al usar biogás proviene de la absorción de la biomasa agrícola y en la combustión se restituye al ambiente, por lo que su impacto se considera leve o nulo (carbono neutralidad).

Para lograr los resultados descritos anteriormente se tuvo que asegurar que la mezcla de aire/combustible fuese la adecuada en cada carga; para ello, durante los ensayos el ingreso de aire en el mezclador se abrió totalmente, mientras que, la cantidad de biogás fue ajustada manualmente hasta que el motor se mantuviese estable en cada carga. No se utilizó el filtro durante las pruebas para asegurar un mayor ingreso de aire, pero es posible conservarlo modificando la garganta u otras dimensiones del mezclador. Existen también otros cambios que se pueden realizar al motor a biogás para mejorar su eficiencia, como adelantar la chispa o aumentar su relación de compresión, pero para fines de esta investigación este tipo de modificaciones no se han considerado debido a que son mucho más invasivas e impiden trabajar nuevamente con el combustible de origen.

Así mismo, algunos puntos importantes que se deberían tomar en cuenta para mejorar la operación con biogás en ensayos futuros son:

- Realizar pruebas utilizando biogás con un mayor porcentaje de metano (trabajar en la disminución de la concentración de CO₂).
- Aumentar la presión del gasómetro, debido a que la baja presión limita el abastecimiento de gas al motor.
- Buscar alternativas para automatizar la alimentación del biogás desde el reservorio, ya que el ajuste manual de su suministro dificulta la operación con cargas variables. Una solución a esto podría ser el diseño y adición de un regulador/dosificador similar a los que se emplea para el gas doméstico, pero tomando en cuenta la baja presión del biogás en su diseño.

Por último, en esta investigación se evaluaron los cambios inmediatos que produce el uso del biogás en el desempeño de un motor a gasolina, pero se desconocen aquellos que puedan ocasionarse en la máquina con el tiempo y que puedan afectar su durabilidad, por lo que para próximos trabajos se recomienda estudiar la influencia del biogás a largo plazo principalmente en el desgaste del motor (vida útil del equipo).

4 | Conclusiones

- Se logró la conversión exitosa a biogás de un motor/generador a gasolina de manera sencilla y económica sin dañar la integridad del motor.
- Los principales cambios en el motor a gasolina al operar con biogás fueron la pérdida de potencia (reducción del 38% de la potencia máxima) y el aumento del consumo de combustible.

- No se encontraron evidencias estadísticas ($p > 0.05$) para concluir que la eficiencia del motor/generador fue diferente al consumir biogás que al consumir gasolina con lo que se demuestra que la relación entre la energía que ingresa y la energía que suministra la máquina se mantiene prácticamente constante independientemente del combustible utilizado.

- La reducción de las emisiones de monóxido de carbono (CO) es una de las grandes ventajas ambientales al utilizar biogás en motores a gasolina. En este trabajo se encontró una reducción de más del 90% de la concentración de CO en el escape.

- Se deben buscar alternativas para lograr la regulación automática del biogás bajo distintos regímenes de carga.

- El uso del biogás en motores a gasolina representa una alternativa viable de generación in situ de energía y de reducción de las emisiones de efecto invernadero (monóxido de carbono).

5 | Agradecimientos

Al Centro Modelo de Tratamiento de Residuos (CEMTRAR) y al Laboratorio de Energías Renovables (LER) de la Universidad Nacional Agraria La Molina por facilitar el préstamo de sus equipos durante el desarrollo de este trabajo.

6 | Referencias bibliográficas

Arango, J.E., Sierra, F.E., Silva Leal, V. (2014). Análisis exploratorio de investigaciones sobre los motores de combustión interna que trabajan con biogás. *Tecnura*, 18(39), pp.152-164.

Contreras, C.A., Altamirano, L.A. (2013). Diseño y construcción del sistema de alimentación de combustible con regulación automática del caudal de biogás para un grupo electrógeno de 2.5 kW (tesis pregrado). Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe>.

Gilardi, J. (1978). *Motores de combustión interna*. Lima, Perú: IICA.

Patiño, F.J., Chacón J.L. (2017). Adaptación y metodología para evaluar la conversión a biogás de motores de combustión interna: resultados preliminares [diapositivas de Power Point]. Recuperado de <http://redbiolac.org/material-encuentros/>.

Vísquez, J. (2017). Informe de validaciones de 10 aplicaciones de biogás. Nicaragua. Recuperado de: <http://programabiogasnicaragua.org/>.

Von Mitzlaff, K. (1988). *Engines for biogas*. Alemania: Vieweg Teubner Verlag. Recuperado de <http://collections.infocollections.org/ukedu/uk/d/Jg36ene/>.

PROPUESTA DE REACTOR DE FLUJO PISTÓN AUTOMATIZADO PARA DIGESTIÓN ANAEROBIA

ARTÍCULO

Pablo Guillermo Di Nanno¹, Mariano Butti¹, Emmanuel Carrasco², Ricardo Llorente² | IINTA, EEA Pergamino, Buenos Aires (Arg) - ²Universidad Nacional de Cuyo, FCA, Mendoza (Arg)
E-mail: dinanno.pablo@inta.gob.ar

Resumen

Debido al alto costo de inversión y mantenimiento de las plantas piloto existentes en el mercado, es de suma importancia diseñar, desarrollar y construir una alternativa tecnológica accesible, de bajo costo, diseño abierto y replicable. Así mismo sin desatender la fiabilidad, su eficiencia y su bajo mantenimiento. Este trabajo, se propone diseñar y construir un reactor anaeróbico automatizado, tipo flujo pistón, de 20 litros, con materiales e insumos accesibles y disponibles en comercios minoristas. Cada variable de interés es monitoreada, a través de un visor LCD local y remotamente por la transmisión de dicha información hacia internet, pudiéndose registrar y graficar los datos en un servidor público y/o su observación instantánea por medio de teléfonos inteligentes. Este monitoreo bidireccional, está dotado con la posibilidad de enviar acciones remotas como ser, parada del subsistema de alimentación, subsistema de calefacción o una parada general

1 | Introducción

No tenemos conocimiento de la existencia en el mercado de una planta piloto de este tipo para realizar ensayos en continuo con diferentes tipos de sustratos, las que se venden son generalmente importadas y costosas, dependiendo las prestaciones y características que tenga. Este trabajo, se propone diseñar y construir un reactor anaeróbico automatizado piloto, tipo flujo pistón, de 20 litros, con materiales e insumos accesibles y disponibles en comercios minoristas de pequeñas ciudades (Cañerías de PVC, artículos de ferretería y electrónica para prototipos). Con el fin de evaluar las condiciones operativas del proceso, el prototipo está desarrollado para controlar la carga orgánica diaria, la temperatura de trabajo del reactor, la agitación del sustrato y la medición de biogás producido. A todos estos componentes se le sumará la posibilidad de modificar dichas variables del proceso y monitorearlas a tiempo real, tanto local como remotamente.

2 | Metodología

El prototipo se desarrolló bajo la forma que se representa en la Figura 1 y de acuerdo a las siguientes partes: El sistema de alimentación, la cámara de biodigestión, el sistema de calefacción, el mecanismo de agitación, sistema de medición y unidad de procesamiento y control.

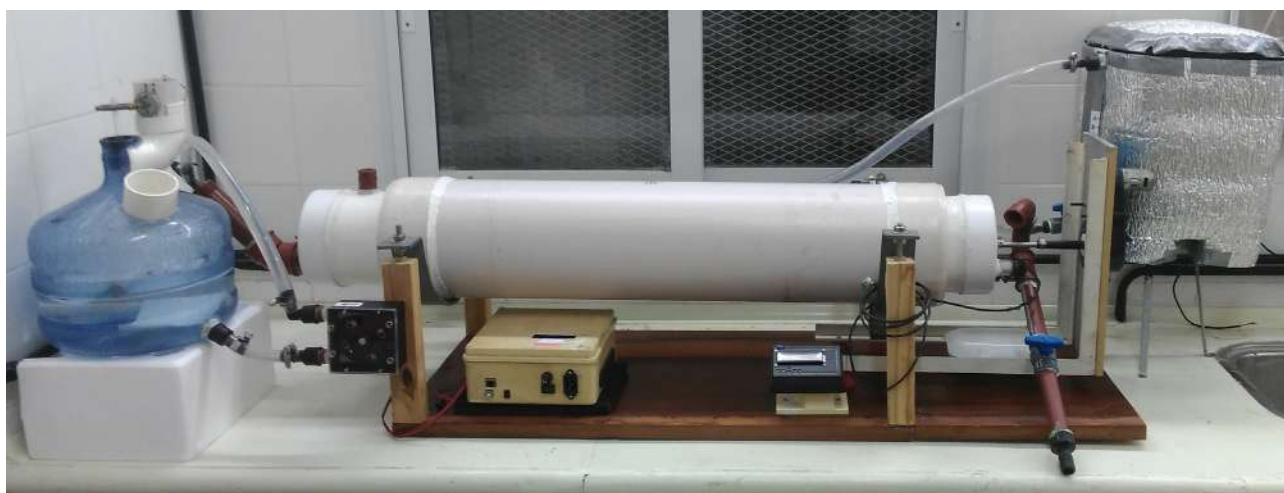


FIGURA 1 | Prototipo reactor flujo pistón automatizado | Fuente: Propia al autor, 2018

Sistema de alimentación: Para el diseño de la cámara de alimentación, se utilizó un recipiente de agua de 20L, adaptado a una capacidad final de 5L, el cual fue adaptado recortándolo y posteriormente re-ensamblado, para lograr una capacidad de 5L. A la altura de la boca original del bidón, se puso un mecanismo de eje vertical, en cuya

longitud se intercalan 2 varillas plásticas transversales con dos palas adheridas, para la agitación. Además, para evitar la sedimentación, a la altura del apoyo inferior del eje, se colocó una pala tipo barre fondo. El mecanismo de giro, cuenta con un engranaje montado en el eje de un motor de CC de 12V. Esto permite la reducción de giro para evitar

vórtices. A la cámara se le practicó un agujero superior, para la carga del mismo y otro inferior, para la extracción del material a biodigerir. La carga diaria, al reactor, se realiza mediante una bomba peristáltica. El sistema de alimentación está dotado de un algoritmo de control de tiempo adaptable, por el cual se accionan la bomba y el motor de agitación, de manera que la agitación comienza previo a la alimentación. En principio se estableció un régimen de trabajo de 15 minutos para un caudal total de 0,5 L al día.

Cámara de biodigestión: La cámara de biodigestión consta de un cilindro principal, constituido por un tubo cloacal de PVC de 16 cm de diámetro por 114 cm de longitud; un cilindro secundario, superpuesto y encamisado al primero, del mismo material, de 20cm de diámetro por 92cm de longitud, para alojar el agua del sistema de regulación de temperatura. Ambos cilindros cuentan con sus respectivas tapas, las cuales poseen salidas de tanque de polipropileno para la inserción de las cámaras de entrada y salida; a su vez, en la cámara de salida, se intercaló un accesorio de polipropileno en “T” para la purga y limpieza de la cámara de biodigestión. En ese mismo extremo, se ubicó el sensor de temperatura interna del reactor, insertado mediante un tubo de plástico PET. Por sobre el cilindro, se encuentra practicado el orificio de salida del biogás. En el cilindro secundario se hicieron dos orificios más, conectándose al circuito cerrado de calefacción por agua.

Sistema de calefacción: El biodigestor está concebido para tener un sistema de control térmico, mediante el cual se puede ajustar el régimen de temperatura de trabajo. Este sistema cuenta con un calefón eléctrico portátil, el cual fue aislado térmicamente, al cual se le realizaron las adaptaciones para formar un circuito cerrado con el biodigestor. En su interior, se alojó una bomba para acuarios, la cual se encarga de realizar la circulación del agua calefaccionada. El sistema posee dos sensores de temperatura digitales. Uno, situado dentro del calefón eléctrico, manteniendo la temperatura y a su vez, como protección. El segundo, que está alojado dentro de la cámara de biodigestión, es el encargado de registrar la temperatura de trabajo y permite controlar y mantenerla dentro del rango deseable de operación.

Mecanismos de agitación: Se diseñó un sistema de agitación longitudinal, con una varilla de acero inoxidable, a la cual se le incrustaron a espacios regulares, trozos de caños a modo de paletas, Figura 2. En uno de sus laterales, se conectó a un motor reductor de CC de 12V. Dicho proceso, se realiza en una determinada cantidad de ciclos, por un determinado lapso de tiempo cada uno y regulables de acuerdo a las necesidades.



FIGURA 2 | Mecanismo de agitación | Fuente: Propia al autor, 2018

Sistema de medición de biogás: El sistema de medición de biogás utilizado Figura 3, se basa en un dispositivo de desplazamiento de volumen de líquido. Por cada desplazamiento de dicha columna de líquido, se provoca el cierre de un circuito eléctrico sobre dos contactos metálicos. Un circuito de control detecta esta corriente eléctrica, contabilizándose así, la cantidad de ciclos y por ende el volumen total producido por el sistema.



FIGURA 3 | Sistema de medición de biogás | Fuente: Propia al autor, 2018

Sistema de Procesamiento y Control: Este subsistema, cuyo esquema se muestra en la Figura 4, se encarga de adquirir parámetros de los sensores de temperatura modelo DS18B20 y el switch de conductividad eléctrica del sistema de medición de gas. El procesamiento del algoritmo se realiza en un microcontrolador, el operador puede

variar los parámetros con un teclado y los actuadores son relés electromagnéticos actuando sobre los motores y la resistencia del calefón. La información de salida se realiza de manera local con un visor de cristal líquido y remoto, desde internet, por una placa Ethernet.

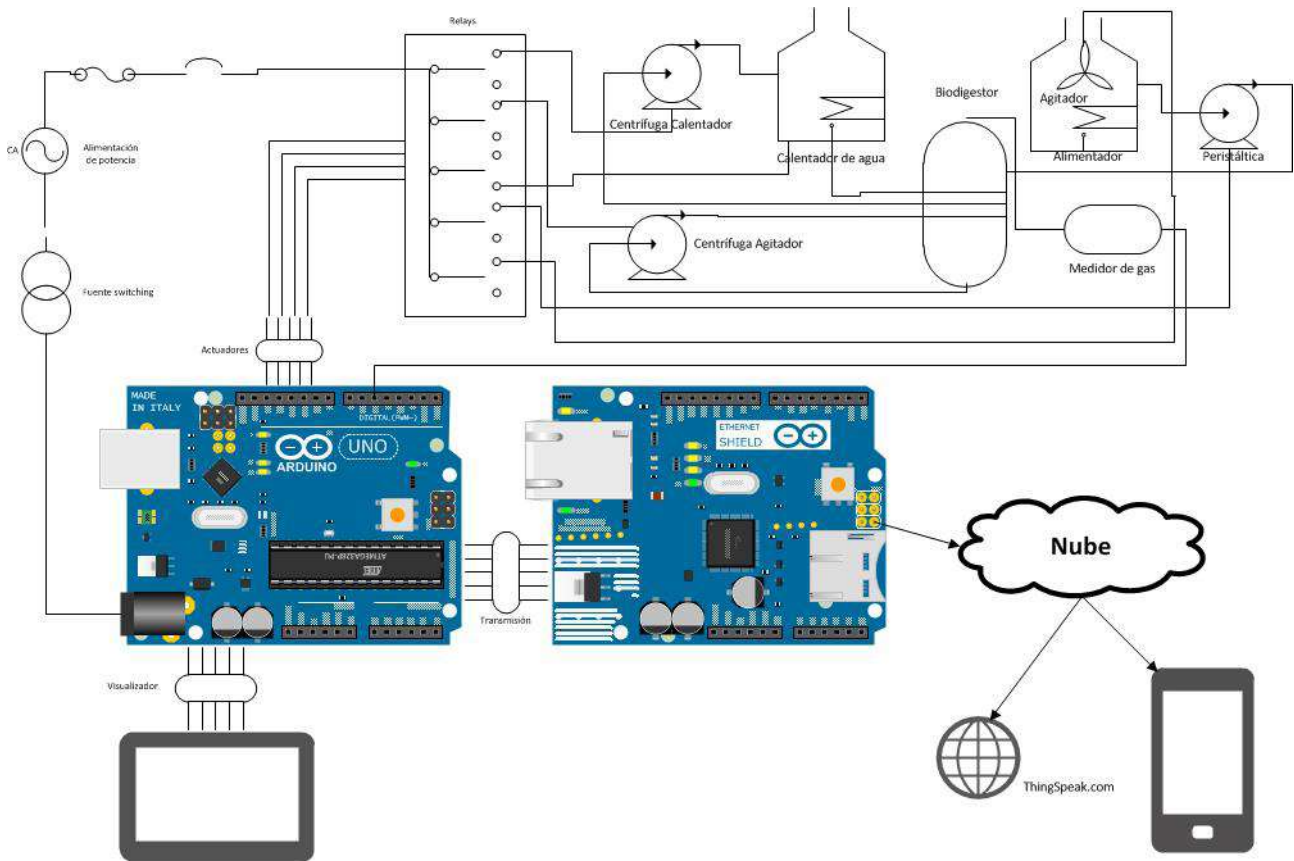
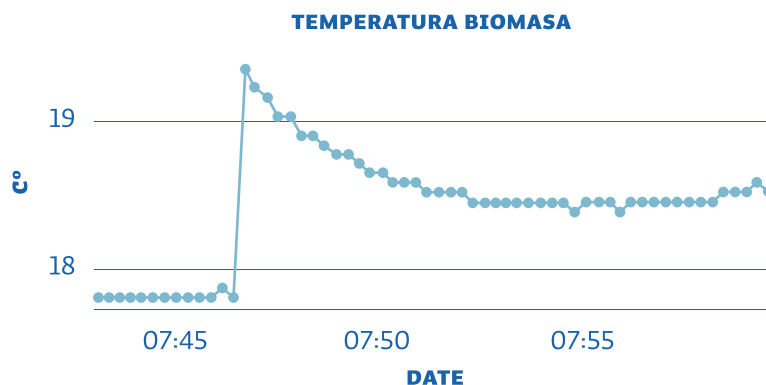


FIGURA 4 | Fuente: Propia al autor, 2018

3 | Resultados y discusión

En la Figura 5, se pueden ver algunos de los registros obtenidos remotamente desde internet, de los estados y valores enviados por el sistema de control. Se logró un sistema estable en todo el proceso de automatización

durante su funcionamiento. Se observó que durante intermitencias en el acceso a internet, se mantuvo el flujo de información a través del visor de cristal líquido sin interrupción del proceso de automatización general.



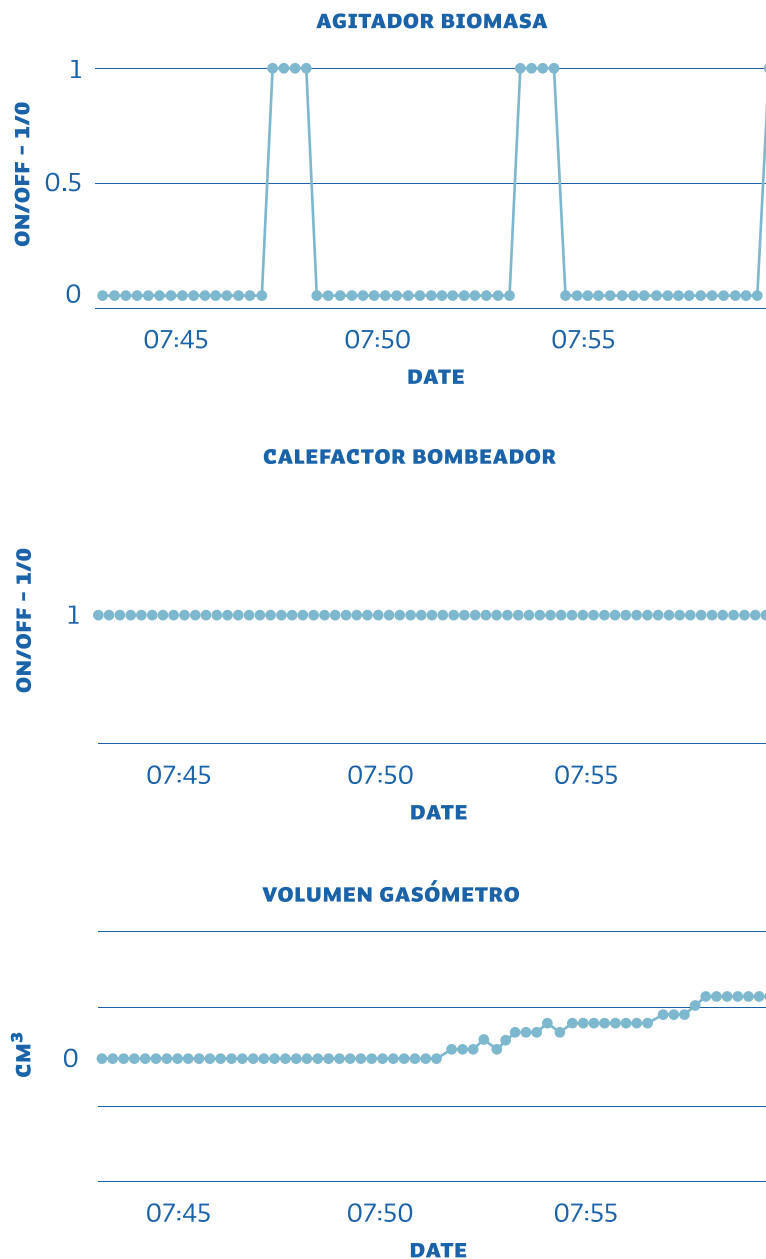


FIGURA 5 | Fuente: Propia al autor, 2018

4 | Conclusión

Mediante este trabajo se ha logrado diseñar, desarrollar y construir un reactor anaeróbico piloto tipo flujo pistón totalmente automatizado, con un costo de materiales bajo (US 400) y construcción mecánicamente simple, accesible y de fácil replicación. Mayor volumen de información en tiempo real y en múltiples plataformas. Importante disminución de la dependencia del técnico u operador. Esta propuesta tecnológica es apropiada para aquellas personas que deseen realizar este tipo de investigaciones.

5 | Referencias

GIRARDI NETO, J; DOS SANTOS, V.G.; ANDREGUETTO, L.G.; LANGE, G.H. *quantificação de biogás em reatores anaeróbios a través do método de deslocamento de volume de água*. Revista de Estudos Ambientais (Online) v.16, n. 1, p.45-53, jun. 2014

CADENA PEREDA, R.O.; M. RIVERA MUÑOZ, E. M.; HERRERA RUIZ, G. *Automatic volumetric gas flow meter for monitoring biogas production from laboratory-scale anaerobic digester*. Sensor and Actuators B: Chemical, V. 147, No. 1, p. 10-14; 2010.

PARRA-ORTIZ, D.L.; BOTERO-LONDOÑO, M.N.; BOTERO-LONDOÑO, J.M. *Biomasa residual pecuaria: revisión sobre la digestión anaerobia como método de producción de energía y otros subp*. Revista UIS Ingenierías Vol. 18, n.º 1, pp. 149-160, 2019

LÓPEZ, C.; MARTÍNEZ, F.; PAREDES, O.; *Automatización de un Proceso de Biodigestión Anaeróbica*. Revista Cubana de Ciencias Informáticas Vol. 10, No. Especial UCIENCIA, Noviembre, 2016ISSN: 2227-1899 | RNPS: 2301http://rcci.uci.cuPág. 1-16

UMA SOLUÇÃO DUPLAMENTE VANTAJOSA NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA CODIGESTÃO DE DEJETOS BOVINOS E MACRÓFITA AQUÁTICA INVASORA (HYDRILLA VERTICILLATA)

ARTÍCULO

Márcia Regina Becker, Laryanne Naiara Rodrigues, Leiber Julio Granada Galvis
Universidade Federal da Integração Latino-Americana
E-mail: marcia.becker@unila.edu.br

Resumo

A codigestão anaeróbia é uma alternativa promissora para produção de biogás a partir de resíduos orgânicos, pois geralmente otimiza a sua produção em relação à monodigestão. O tratamento e disposição inadequados de dejetos de animais pode causar desequilíbrio ecológico se for depositado de forma inadequada. A macrófita *Hydrilla verticillata* é uma planta subaquática considerada uma invasora que traz prejuízos ao meio ambiente. A *Hydrilla verticillata* é extremamente eficiente no seu método de propagação, com a possibilidade de que novas plantas brotem a partir de fragmentos de raiz ou fragmentos de haste. Este estudo avalia a produção de biogás a partir da codigestão anaeróbia de dejetos bovinos com a macrófita *Hydrilla verticillata*. A produção de biogás obtida foi de 1120 mL na codigestão, 671 mL na monodigestão. A adição da macrófita como co substrato aumenta consideravelmente a produção de biogás, em mais de 66 % em relação à monodigestão de dejetos bovinos.

PALAVRAS-CHAVE: codigestão anaeróbia, *Hydrilla verticillata*, dejetos bovinos, biogás.

1 | Introdução

A crescente demanda por energia e a necessidade de fontes alternativas aos combustíveis fósseis têm despertado um crescente interesse por pesquisas sobre a utilização de novos substratos e aplicação da codigestão para otimizar a produção de biogás (CHRISTY et al, 2014; XU et al, 2018).

Digestão anaeróbia é uma tecnologia que vem crescendo devido às suas vantagens econômicas e ambientais, pois além de promover o tratamento de resíduos orgânicos, evitando a poluição do solo e de corpos d'água, ainda gera combustível e substituto aos fertilizantes químicos, o biogás e o biofertilizante (CHRISTY et al, 2014; XU et al, 2018, PATEL & KANUNGO, 2012).

O não tratamento de resíduos orgânicos da pecuária, tais como os dejetos de animais, aliado à sua disposição incorreta pode causar a poluição de corpos d'água, levando à eutrofização e proliferação de plantas aquáticas. O resultando pode ser problemas ambientais e socioeconômicos, entre eles: o desequilíbrio ecológico e prejuízos aos diversos usos dos recursos hídricos como

pesca, navegação, geração de energia por hidrelétricas, entre outros (PUGLIESE et al, 2015; EVANS & WILKIE, 2010; O'SULLIVAN et al, 2010).

A *Hydrilla verticillata* é uma planta subaquática nativa da Austrália, da África e de partes da Ásia. Por apresentar uma eficiente dispersão devido às formas de reprodução esta macrófita conseguiu se espalhar pelo mundo, sendo considerada uma importante erva daninha aquática (EVANS & WILKIE, 2010; SOUSA, 2011). No Brasil está presente no Rio Paraná, uma importante bacia hidrográfica para a geração de energia elétrica (SOUSA, 2011). Essa planta aquática invasora produz enormes quantidades de biomassa, afetando negativamente os ambientes naturais. A sua remoção dos corpos d'água pode gerar benefícios para o equilíbrio de nutrientes e dos ecossistemas aquáticos afetados. Sua biomassa pode ser utilizada para produção de biogás por meio da biodigestão anaeróbia. Embora as macrófitas sejam substratos promissores para a produção de biogás, a hidrólise da celulose é um fator limitante da biodigestão de materiais vegetais. Tem-se, portanto, a necessidade de mais estudos que avaliem a viabilidade do uso das macrófitas aquáticas para produção de biogás, uma vez que, o teor de sólidos orgânicos e de lignocelulose varia significativamente de acordo com a espécie (ABASSI et al, 1990; PUGLIESE et al, 2015).

De modo a aproveitar a biomassa da macrófita invasora *Hydrilla verticillata* e diminuir ou mitigar os prejuízos gerados ao ambiente pelos dejetos bovinos, este trabalho propõe avaliar a codigestão anaeróbia dessas biomassas na produção de biogás.

2 | Metodologia

Coleta das biomassas

A coleta foi feita no reservatório de Itaipu, localizado na bacia do Rio Paraná. Após a coleta, a macrófita da espécie *Hydrilla verticillata* foi selecionada com base nas suas características morfológicas (SOUSA, 2011) e em seguida, estas foi lavada com água para remoção dos sedimentos grosseiros. Posteriormente, foi seca ao sol e armazenada em sacos até o seu uso.

Os dejetos bovinos foram coletados em uma propriedade rural, também da cidade de Foz do Iguaçu-PR, em recipientes plásticos previamente ambientados com as amostras, e mantidos no freezer até sua utilização.

Preparação do Inóculo

O inóculo mesofílico anaeróbio, doado pela CIBiogás, consistiu em uma mistura de efluentes de dejetos de suínos

e bovinos (1:1, v/v). Antes da sua utilização do inóculo, foi aclimatado por um período de 7 dias, em temperatura de $37,5 \pm 1,0$ °C, conforme a norma VDI 3630 (2006).

Análises físico-químicas

Os dejetos bovinos, o inóculo e as macrófitas secas foram caracterizados por ensaios gravimétricos dos sólidos totais (ST) e voláteis (SV), adaptado do método 2540 G de APHA/AWA/WEF (2012).

Aparato Experimental

O aparato experimental foi composto por um fermentador, um frasco coletor de gás (gasômetro) e um frasco coletor da solução selante, conforme fotografia da Fig. 1. A solução selante é uma solução salina saturada acidificada, adaptada de LYSON et al (2011), e serviu para que os gases ficassem retidos no gasômetro. A mesma solução, a partir de seu volume deslocado, permitiu avaliar a quantidade de biogás produzido.



FIGURA 1 | Fotografia do aparato experimental. | Fonte: (Autoria própria, 2019)

Teste Potencial Bioquímico de Metano (BPM)

Foram realizados os ensaios do Potencial Bioquímico de Metano (Biochemical Methane Potential – BMP), conforme a norma VDI 4630 (2006). Foram avaliadas a monodigestão do dejetos bovino e a codigestão do dejetos bovino e da macrófita (razão 2:1) com e sem o inóculo.

O inóculo também foi avaliado como controle. Na codigestão com inóculo foi utilizada a proporção de 2:1 de inóculo:substratos, em relação ao conteúdo de sólidos voláteis em base seca. A Tabela 2 mostra as quantidades de biomassa utilizadas nas amostras, baseadas nas medidas de sólidos totais e voláteis.

AMOSTRA	DEJETOS (g)	MACRÓFITA (g)	INÓCULO (g)	TAMPÃO (g)
Monodigestão	32,68	-	-	37,32
Codigestão	21,78	2,38	-	45,84
Codigestão + Inóculo	21,78	2,38	175,43	45,84
Controle	-	-	175,43	-

TABELA 2 | Composição das amostras utilizadas nos ensaios de BPM.

Os ensaios foram realizados em batelada e em triplicata. Os fermentadores foram incubados sob condição mesofílica ($37,5 \pm 1,0$ °C), contendo 70 g de biomassas e uma solução de NaHCO_3 11 g.L⁻¹ (O'SULLIVAN et al, 2010) com um teor de 9% de sólidos totais. Os fermentadores foram selados com gás nitrogênio. O período da biodigestão foi de 40 dias e, durante esse processo, foram realizadas as leituras diárias da produção de biogás. Cada dia o fermentador foi agitado manualmente. Ao final, foi feita a quantificação dos gases produzidos com um detector portátil de gases Dräger, modelo X-am 7000. Foi avaliado o pH do meio antes e depois da biodigestão.

3 | Resultados e discussão

Os resultados da análise gravimétrica dos sólidos totais e voláteis dos substratos, descritas na Tabela 1, estão de acordo com aqueles da literatura (CHEN et al, 2016).

AMOSTRA	SÓLIDOS TOTAIS (%)	SÓLIDOS VOLÁTEIS (%)
Dejeto bovino	$19,3 \pm 0,2$	77 ± 2
Hydrilla verticillata	$88,4 \pm 0,8$	71 ± 3
Inóculo	$2,64 \pm 0,09$	$62,3 \pm 0,4$
Dejeto:Macrófita (2:1)	$8,9 \pm 0,7$	$77,9 \pm 0,5$

TABELA 1 | Percentual de sólidos totais e voláteis dos substratos dejeto bovino, Hydrilla verticillata, inóculo e dejeto:macrófita – 2:1.

Os valores iniciais de pH das amostras ficaram entre 8,2 e 8,8, um pouco acima do sugeridos na literatura (XU et al, 2018), e os finais entre 7,5 e 8,4, indicando que a tamponamento foi eficiente no processo. Segundo O'SULLIVAN et al (2010), a adição do tampão preveni a acidificação em digestores anaeróbios, sendo que esta pode levar à cessação da produção de biogás, pois os microrganismos são sensíveis a mudanças bruscas do pH.

A curva de produção acumulada de biogás mostra um início imediato e uma produção contínua, conforme ilustrado na Fig. 2a. Ao fim dos 40 dias, a produção de biogás obtida foi de 1120 mL na codigestão, 671 mL na monodigestão, 1173 mL na codigestão com inóculo e de 60mL no inóculo. A adição da macrófita como cossubstrato resultou no aumento percentual de mais de 66 % no volume do biogás, em relação à monodigestão. A degradação regular e contínua dos substratos observado pela produção contínua do biogás indica que os sistemas foram apropriados, resultado de um bom equilíbrio entre os microrganismos e a matéria orgânica, segundo PUGLIESE et al (2015). Os poucos relatos de produção de biogás utilizando a Hydrilla verticillata sugerem que é possível obter altos rendimentos de biogás a partir desta macrófita, seja por monodigestão (ABBASI et al, 1990; EVANS & WILKIE, 2010) ou por codigestão com outros substratos, tal como com a palha de arroz (KAINTHOLA et al, 2019).

De acordo com O'SULLIVAN et al (2010), os dejetos de animais são menos degradáveis do que os substratos vegetais, uma vez que, os dejetos são compostos,

basicamente, por matéria vegetal que que já passou pelo processo de digestão, diminuindo assim, a digestibilidade desse material. Isso explica o menor rendimento da monodigestão do dejeto bovino comparativamente à sua codigestão com a Hydrilla verticillata. A adição do inóculo à codigestão não resultou no aumento significativo da quantidade do biogás produzido, mas, por causa de uma população extra de microrganismos já adaptados ao processo, garantiu uma comunidade microbiana estável para que a biodigestão anaeróbia fosse estabelecida rapidamente (O'SULLIVAN et al, 2010)

O máximo da produção de biogás ocorreu nos primeiros 7 dias da biodigestão (PUGLIESE et al (2015)), conforme ilustrado na Fig. 2b. Após esse período, houve a diminuição da produção diária até que esta fosse alcançados os 40 dias, tempo no qual a produção diária foi menor ou igual a 1% do total acumulado, conforme a VDI 4630 (2006). Os resultados encontrados estão de acordo com CHEN et al (2016) que também obteve o máximo da produção diária na primeira semana da experimentação e utilizando Hydrilla verticillata.

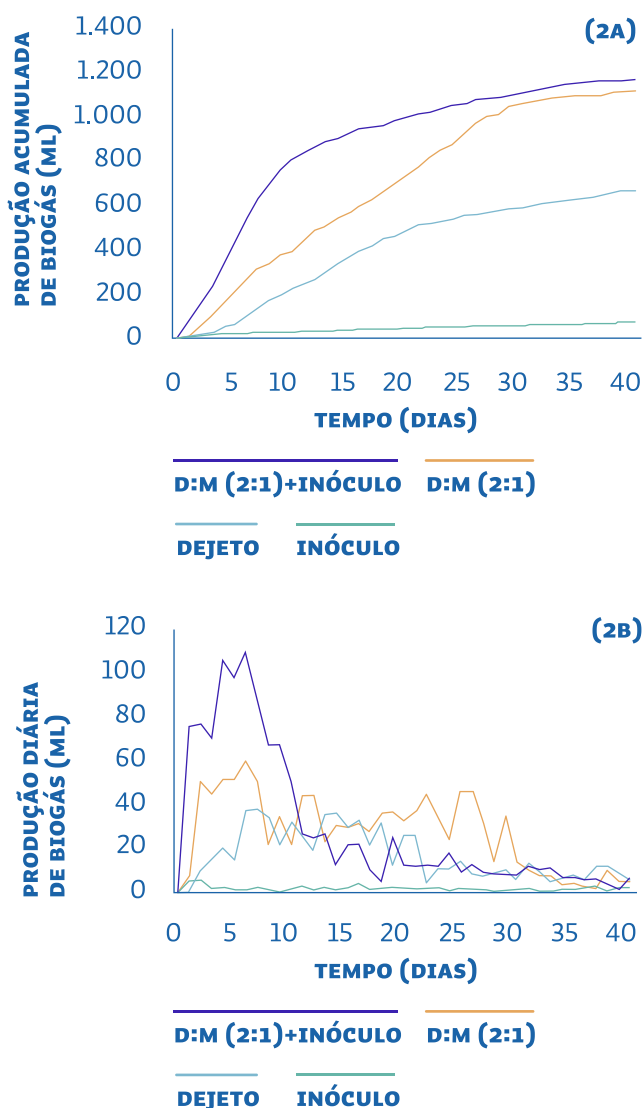


FIGURA 2 | Produção acumulada (2a) e diária (2b) de biogás: Dejeto, Dejeto:Macrófita (D:M - 2:1), Dejeto:Macrófita (D:M- 2:1) + inóculo e Inóculo.

A análise do biogás produzido na amostra de dejetos + macrófita + inóculo indicou a presença de $50 \pm 6\%$ de CH_4 e de $3 \pm 2\%$ de O_2 . Outros gases, como N_2 , utilizado para selar os reatores, e vapor de água e CO_2 não foram quantificados. Foi ainda detectada a presença de 40 ppm de H_2 , enquanto H_2S não foi detectado. Os valores encontrados para CH_4 estão de acordo com aqueles na literatura (KAINTHOLA et al, 2019).

4 | Conclusões

As biomassas analisadas podem ser consideradas como substratos adequados para a fermentação anaeróbica, uma vez que, apresentaram bons rendimentos de biogás. Os resultados obtidos sugerem que a adição da macrófita como co-substrato aumenta consideravelmente a produção de biogás, em mais de 66% em relação à monodigestão de dejetos bovinos. A adição do inóculo não ofereceu aumento significativo da quantidade do biogás produzido, mas promoveu a antecipação do pico de produção de biogás, por conta de uma população extra de microrganismos já adaptados ao processo de biodigestão anaeróbica.

Os sistemas simulados tiveram início imediato da produção de biogás e foram estabilizados em até quarenta dias. Mas apesar dos resultados experimentais, faz-se necessário um bom gerenciamento dos resíduos da pecuária e de plantas daninhas aquáticas.

5 | Referências bibliográficas

ABBASI, S. A.; NIPANEY, P. C.; SCHAUMBERG, G. D. Bioenergy potential of eight common aquatic weeds. *Biological Wastes*, v. 34, n. 4, p. 359-366, 1990.

APHA/AWA/WEF Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 23th Ed. Washington, 2012.

CHEN, Xiaojuan et al. Application of ADM1 for modeling of biogas production from anaerobic digestion of *Hydrilla verticillata*. *Bioresource technology*, v. 211, p. 101-107, 2016.

CHRISTY, P. Merlin; GOPINATH, L. R.; DIVYA, D. A review on anaerobic decomposition and enhancement of biogas production through enzymes and microorganisms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 34, p. 167-173, 2014.

EVANS, Jason M.; WILKIE, Ann C. Life cycle assessment of nutrient remediation and bioenergy production potential from the harvest of *hydrilla* (*Hydrilla verticillata*). *Journal of environmental management*, v. 91, n. 12, p. 2626-2631, 2010.

KAINTHOLA, Jyoti, KALAMDHAD, Ajay S., GOUD, Vaibhav V. A review on enhanced biogas production from anaerobic digestion of lignocellulosic biomass by different enhancement techniques. *Process Biochemistry*, v. 84, p. 81-90, 2019.

KAINTHOLA, Jyoti; KALAMDHAD, Ajay S.; GOUD, Vaibhav

V. Optimization of methane production during anaerobic co-digestion of rice straw and *hydrilla verticillata* using response surface methodology. *Fuel*, v. 235, p. 92-99, 2019.

LYSON, D. F. et al. Biogas Laboratory Setup in Foz do Iguaçu, Brazil: 3rd Progress Report. Vienna: University of Natural Resources and Life Sciences, 2011.

O'SULLIVAN, Cathryn et al. Anaerobic digestion of harvested aquatic weeds: water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), cabomba (*Cabomba Caroliniana*) and salvinia (*Salvinia molesta*). *Ecological Engineering*, v. 36, n. 10, p. 1459-1468, 2010.

PATEL, D. K.; KANUNGO, V. K. Comparative eco-physiological potential of a submerged and a free floating aquatic plant to treat domestic wastewater. *Journal of Ecobiotechnology*, 2012. PUGLIESE, A.; BIDINI, G.; FANTOZZI, F. Anaerobic digestion of macrophytes algae for eutrophication mitigation and biogas production. *Energy Procedia*, v. 82, p. 366-373, 2015.

REDDY, K. R.; DEBUSK, W. F. Growth characteristics of aquatic macrophytes cultured in nutrient enriched water: II. *Azolla*, *Duckweed*, and *Salvinia*. *Economic Botany*, v. 39, n. 2, p. 200-208, 1985.

SOUSA, W. T. Z. *Hydrilla verticillata* (Hydrocharitaceae), a recent invader threatening Brazil's freshwater environments: a review of the extent of the problem. *Hydrobiologia*, v. 669, n. 1, 2011. VDI 4630. Fermentation of organic materials. Characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests. 92 p. Germany: Verein Deutscher Ingenieure – VDI, 2006.

XU, Rong et al. A critical review on the interaction of substrate nutrient balance and microbial community structure and function in anaerobic co-digestion. *Bioresource technology*, v. 247, p. 1119-1127, 2018.

¿CÓMO DETERMINAR LA CALIDAD DE UN LODO DIGERIDO?

CÁPSULA EDUCATIVA

Liliana del Pilar Castro Molano, Humberto Escalante Hernández.
Escuela de Ingeniería Química. Universidad Industrial de Santander. Colombia.
E-mail: licasmol@uis.edu.co

Las pequeñas y medianas plantas de biogás provistas de biodigestores fabricados en plástico son una tecnología simple, efectiva y disponible para entregar energía a las comunidades que se encuentran en zonas rurales no interconectadas. Los digestores además de producir energía en forma de biogás generan grandes cantidades de lodo (mezcla de biomasa microbiana y material no degradado durante la bioconversión). En términos de masa, este lodo representa el 70% del producto final de la digestión anaerobia.

En la cotidianidad, es común que a los lodos de los procesos anaerobios se les llame efluente, digestato, biol o biosólido. Una forma de unificar estos términos es mediante el diccionario de la lengua española, el cual define a este lodo como **digerido**. Por lo anterior, para efectos de este documento el lodo resultante del digestor se denominará digerido.

Limitaciones del eficiente uso del digerido

El digerido esta compuesto por dos fracciones: líquida y sólida. En la fracción líquida se encuentra principalmente nitrógeno (N) y potasio (K), y la fracción sólida contiene fósforo (P) y fibras (Liedl et al., 2006). Por su composición, el digerido es usado en aplicación directa a la tierra y aplicaciones foliares principalmente.



La producción diaria de digerido exige una adecuada planificación en el diseño de los sistemas de tratamiento de residuos, desde su diseño; de lo contrario podría convertirse en una molestia, o peor aún, una forma de contaminación

descontrolada. Es relevante considerar:

a) El digerido se produce durante todo el año, por lo cual requiere almacenamiento, debido a que no puede ser usado en cualquier fecha en tierras de cultivo. Las restricciones se deben principalmente a las etapas de crecimiento de cultivos, tipos de suelo, niveles de estabilización y épocas de lluvia.

b) Si el digerido se almacena en tanques destapados, se ocasiona impacto ambiental por pérdida de gases a la atmósfera (CH_4 , CO_2 , NH_3 y N_2O).

c) En algunos casos, el proceso anaerobio no se da de forma completa, por lo tanto, este contendrá materia orgánica que se convierte en amoníaco (NH_3) y metano (CH_4) durante su almacenamiento y uso en la tierra (Guilayn et al., 2019; Sambusiti et al., 2015). Lo anterior, se traduce en una pérdida de eficiencia del sistema de generación de biogás (y tratamiento del residuo, por lo tanto) e impacto ambiental por las emisiones de los gases mencionados.

d) La densificación de pequeñas y medianas plantas de biogás en ciertas regiones podría llevar a una sobreproducción de digerido a escala local. Por lo tanto, el exceso de digerido producido tendría que ser transportado a terrenos que sean carentes de nutrientes, lo cual implicaría costos de transporte

e) La presencia de contaminantes en el digerido (patógenos, metales pesados, pesticidas, hormonas sintéticas entre otros) pueden representar un inconveniente para aplicarlo directamente en la tierra.



Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, se requiere conocer la calidad de las fracciones sólidas y líquidas para gestionar y valorizar adecuadamente el digerido.

¿Cómo se determina la calidad del digerido?

La calidad del digerido se debe evaluar en función de su caracterización fisicoquímica, bioquímica, microbiológica y agronómica. Dependiendo del tipo de digerido, esta caracterización se le realizará a la fracción líquida, fracción sólida o ambas fracciones sin separar.

La calidad del digerido, puede verse afectada por la temperatura. Para compensar esto en sistemas de baja temperatura debemos considerar mayores TRH

PSICROFILIA (<20° C)

↓ Actividad microbiana.

↓ Remoción de materia orgánica.

Pérdida de eficiencia energética e impacto ambiental por las emisiones gaseosas en el digerido

Caracterización fisicoquímica

Las características fisicoquímicas de los digeridos se clasifican en **materia orgánica** (sólidos volátiles, demanda química de oxígeno y ácidos grasos volátiles), **pH**, **nutrientes** (N, P, K y micronutrientes) y **elementos tóxicos** (Cu, Ni, Cr, Hg, entre otros). El proceso de digestión anaerobia se produce generalmente por vía húmeda, por lo que los digeridos muestran contenidos de materia seca inferiores al 15%. En cuanto a nutrientes, los digeridos pueden tener rangos de 8-42 g/kg, 44-120 g/kg, 28-95 g/kg, para fósforo (P), Nitrogeno Kjeldahl total (NKT), y Potasio (K), respectivamente (Sambusiti et al., 2015). En el caso de metales pesados se pueden encontrar concentraciones de 0,072-2,2 g/kg para el Zinc (Zn) y 0,014-0,27 para el cobre (Cu) (Seppälä et al., 2013).

Composición bioquímica

La caracterización en terminos bioquímicos se determina por medio del ensayo de **potencial post-metano** (PPM) y el potencial de biometanización residual (PBR).

El ensayo de PPM permite evaluar la viabilidad de recircular el digerido para una recuperación extra de energía en forma de biogás en el proceso. En este ensayo se utiliza un sustrato químicamente definido (acetato) y se inocula el digerido para determinar la cantidad de energía extra producida (Sambusiti et al., 2015). Si el PPM presenta valores superiores a 0.25 Nm₃CH₄/kg SV, se recomienda recircular el digerido.

El PBR se refiere a la cantidad de metano disuelta en el digerido, y permite determinar indirectamente el impacto ambiental por emisiones a la atmosfera. Valores superiores a 0.15 Nm₃CH₄/kg SV indican que se debe incluir un desgasificador.

Potencial del post-metano



Potencial de biometanización residual



Composición microbiológica

La cuantificación de microorganismos patógenos (coliformes totales, fecales, salmonella s.p., huevos de helminto) permite evidenciar el riesgo biológico del digerido. El proceso de digestión anaerobia alcanza generalmente una alta remoción de microorganismos patógenos, sin embargo las pruebas microbiológicas determinan si se requiere un post tratamiento al digerido antes de usarlo. **El “cuello de botella” de estas pruebas es que se reportan en unidades diferentes (son UFC/ml y NMP/ml) que no son comparables.** Por lo anterior, no es posible indicar unos rangos, pero el proceso anaerobio si debe reducir la cantidad de patógenos, por lo cual se debe tomar una muestra en el alimento y otra en la salida. En sistemas psicofílicos, climas fríos (temperaturas inferiores a 17°C), el proceso anaerobio reduce el contenido de patógenos sólo en un 15%, por lo cual es necesario un post tratamiento.

En la Tabla 1 se presenta un comparativo de calidades de diferentes digeridos.

Comparación de calidad de diferentes digeridos

TIPO DE SUSTRATO	VOLUMEN Y TIPO DE DIGESTOR [m ³]	CARGA ORGÁNICA [kg SVM ³ DIGESTOR*D]	PRODUCCIÓN DE BIOGÁS [NM ³ /D]	PRODUCCIÓN DE Digerido [M ³ /D]	CALIDAD DEL Digerido			USO DEL Digerido	REFERENCIA
					CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA	COMPOSICIÓN BIOQUÍMICA	COMPOSICIÓN MICROBIOLÓGICA		
Bagazo de fique (inoculo: mezcla de líquido ruminal con todo estiércol porcino)	0,023 (digestor CSTR)	0,5	0,03	0,007 (todo pos-tratado con cal hidratada (Ca(OH)2).)	Nutrientes: Nitrogeno total: 0,40 g/l; fósforo: 4,20 g/l; potasio: 1,90 g/l.	NR	<p>Antes de estabilización: Coliformes totales 4,9 x10⁹ NMP/gST; Coliformes fecales 5,8x10⁵ NMP/gST; Salmonella ausente; huevos de helminto 0.</p> <p>Después de estabilización: No se detecto coliformes totales y fecales. El postratamiento del digerido con cal es efectivo para remover patógenos.</p>	Aplicación a la tierra	Rivera et al., 2012
Estiércol bovino	9,5 (digestor tubular)	0,7 (dilución 1:3 estiércol: aguas lluvias)	0,9	0,136	<p>Nutrientes: Na: 0.39 g/kg, Mg: 0.15 g/kg, Ca: 0.88 g/kg, and K: 1.58 g/l; Fosfatos: 0,114 g PO4-P/l; amonios: 0,096 NH4-N g/l. metales pesados: Al: 0.02 g/kg. 488 ± 105.91 mg/l</p> <p>Materia orgánica particulada: carbohidratos: 8.51 g/kg, lípidos: 1.97 g/kg y proteínas: 3.46 g/kg.</p> <p>Materia orgánica soluble: ácidos grasos volátiles 488 ± 105.91 mg/l</p>	<p>Potencial de biometanización residual: 0,04 m³/kg SVad.</p> <p>Potencial de post metanización: NR</p>	<p>Coliformes fecales: 1.06 10⁶ UFC/gST; Huevos de helminto 24 HH/4 gST, ausencia de salmonella. La presencia de huevos de helminto indica que el digerido requiere un pos tratamiento antes de ser vertido a la tierra.</p>	Aplicación directa a la tierra	Castro et al., 2017
Estiércol bovino	5 (digestor tubular)	1,05 (dilución 1:3 estiércol: aguas lluvias)	0,9	0,2	<p>Nitrogeno total: 1,0 g/l; fósforo: 0,18 g/l; potasio: 0,8 g/l.</p>	NR	<p>Coliformes fecales: 1,7x10⁶NMP/100ml; ausencia de salmonella</p>	Aplicación directa a la tierra	Castro et al., 2017
Co digestión Estiércol bovino con lactosuero	0,08 (digestor tubular)	1,0 (relación de mezcla 70:30 lactosuero: estiércol bovino)	0,0013	NR	<p>Fosfatos: 0,32 g PO4-P/l; amonios: 0,29 NH4-N g/l</p>	NR	<p>Coliformes totales: 2,0x10² UFC/ml</p>	NR	Jaimes Estevez, 2018
Estiércol Porcino	147,28 (digestor tubular)	0,523 (dilución 1:6 estiércol: agua)	6,86	4	<p>Na: 0,097 g/L, K: 0,25 g/L, Ca: 0,28 g/L, Mg: 0,044 g/L</p>	<p>Potencial de biometanización residual: 0,12 m³/kg SVad.</p>	<p>Coliformes totales 3,57x10⁶ UFC/ml; E coli 3,34x 10⁶ UFC/ml</p>	Sin uso	Puentes Lizarazo y Goméz Olarte, 2019

NR: no reporta

De acuerdo al panorama descrito anteriormente, se evidencian los siguientes aspectos: a) no hay una caracterización completa que permita evaluar la calidad del digerido, b) las unidades en las que se reporta la información es diferente y no comparable; c) según la normativa USEPA (USEPA/625/R-92/013. 2003. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, OH), se requiere pos tratamiento para los digeridos que presentan una concentración de coliformes fecales superior a 1000 NMP/gST.d) La aplicación directa a la tierra es el uso más común de los digeridos.

Inocuidad agronómica cómo abono

En terminos agronómicos, la fitotoxicidad es un indicativo de inmadurez de un material, que se refleja en un efecto nocivo o dañino en distintos órganos de una planta, por acción de una sustancia química. Dicho efecto se manifiesta a través de síntomas como inhibición de la germinación de

semillas, reducción del crecimiento de la raíz y la planta en general, enrollamiento foliar, manchas, clorosis y necrosis internodal, lesiones, caída de flores y frutos, y reducción de la producción. El ensayo agronomico consiste en incubar semillas de plantas seleccionadas, siendo la planta modelo pasto alpiste y se evalua la germinación de semillas y la elongación de la raíz en presencia y ausencia de digerido. Este ensayo se ha utilizado ampliamente para compostaje pero la información es limitada en pruebas con digerido (Tiquia, 1999).

Alternativas de gestión y valorización del digerido

Teniendo una caracterización completa del digerido y sus fracciones es posible: a) determinar si el digerido requiere post tratamiento antes de su uso, b) Evaluar alternativas de gestión y valorización de este importante producto y c) contribuir a formular normativas y politicas públicas sobre el uso adecuado y eficiente de los digeridos.

Alternativas de gestión y valorización del digerido

ALTERNATIVA	DEFINICIÓN	VENTAJA	DESVENTAJA	REFERENCIA
Aplicación directa a la tierra	Uso directo en la tierra para desarrollar un suelo fértil y saludable para la producción de cultivos.	Es un tipo de compostaje más fácilmente disponible que el compostaje tradicional. El digerido contiene nutrientes (N, P, K) disponibles para las plantas.	En el proceso de digestión no se remueve el 100% de microorganismos patógenos y el digerido puede tener un % de coliformes totales y fecales.	Warnars & Oppenoorth, 2014; Castro et al., 2017
Recirculación al digestor para producción de biogás	Consiste en recircular el digerido al proceso de digestión anaerobia para la recuperación extra de energía en forma de biogás. O en condiciones de limitado aporte hídrico.	La alternativa disminuye la emisión de gases efecto invernadero causada por el almacenamiento y la inadecuada disposición del digerido. Y abre la posibilidad a zonas con estrés hídrico de utilizar biodigestores.	Implica problemas de tipo operacional por la ejecución de un sistema de recirculación.	Monlau et al., 2015
Uso como sustrato en lombricompostaje	Es un proceso aerobio en el que se utilizan lombrices para administrar y convertir residuos orgánicos en abonos de excelente calidad con la ayuda de microorganismos	Funciona como un post-tratamiento del digerido y su producto se puede utilizar como fertilizante rico en nutrientes para la aplicación como mejorador del suelo.	La alternativa está limitada a los sectores en los que ya se encuentra implementado el proceso de lombricompostaje.	Dominguez et al., 2004
Conversión térmica	Comprende los procesos de carbonización hidrotérmica y/o pirolisis para producir energía y mejorar la eficiencia energética de los procesos de digestión.	Estas alternativas pueden recuperar energía de los compuestos orgánicos, independientemente de si la materia orgánica es biodegradable o no.	Los procesos térmicos requieren un digerido con un bajo contenido de humedad: tratamientos de secado, y operación a temperaturas de 200 a 600 °C lo que encarece el proceso, y poco a poco irá disminuyendo la disponibilidad de materia orgánica de los suelos, elemento fundamental para la producción de alimentos.	Monlau et al., 2015

Referencias

- Castro, L., Escalante, H., Jaimes-Estévez, J., Díaz, L. J., Vecino, K., Rojas, G. & Mantilla, L. (2017). Low cost digester monitoring under realistic conditions: Rural use of biogas and digestate quality. *Bioresource technology*, 239, 311-317.
- Castro, L., Carballo, Martín., Martí Herreo Jaime., Escalante Humberto. (2017). Monitoreo a escala real de un digester anaeróbico de bajo costo instalado en una planta de sacrificio animal. *Revista Redbiolac primera edición*. 37-44.
- Dominguez, J. & Edwards, C. A. (2004). Vermicomposting organic waste: A review. *Soil Zoology for Sustainable Development in the 21st Century*, 369-395.
- Escalante, H., Castro, L., Amaya, M. P., Jaimes, L. & Jaimes-Estévez, J. (2018). Anaerobic digestion of cheese whey: Energetic and nutritional potential for the dairy sector in developing countries. *Waste Management*, 71, 711-718.
- Estevez Jaimes Jaime (2018). Diseño de un proceso Integral de la co-digestión anaeróbica del lactosuero mediante la optimización de la sinergia de sustratos, que permita la producción de biogás y estruvita. Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Magister en Ingeniería Química. Universidad Industrial de Santander. Colombia.
- Gómez Giovanni; Puentes Johanna. (2019). Digestión Anaerobia de Estiércol Porcino En Un Reactor Tubular Bajo Condiciones Psicrófilas A Escala Real. Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Químico. Universidad Industrial de Santander. Colombia.
- Guilayn, F., Jimenez, J., Martel, J. L., Rouez, M., Crest, M. & Patureau, D. (2019). First fertilizing-value typology of digestates: A decision-making tool for regulation. *Waste Management*, 86, 67-79.
- Liedl, B.E., Bombardiere, J. & Chaffield, J.M. (2006) Fertilizer potential of liquid and solid effluent from thermophilic anaerobic digestion of poultry waste. *Water Sci. Technol.* 53, 69–79
- Rivera, D., Plata, L., Castro, L., Gúzman, C., Escalante, H. Aprovechamiento del subproducto sólido de la digestión anaerobia del bagazo de fique (*furcraea macrophylla*) para el acondicionamiento de suelos. (2012) *Revista ION*, 1, 24-34.
- Sambusiti, C., Monlau, F., Ficara, E., Musatti, A., Rollini, M., Barakat, A., & Malpei, F. (2015). Comparison of various post-treatments for recovering methane from agricultural digestate. *Fuel processing technology*, 137, 359-365.
- Seppälä, M., Pyykkönen, V., Väisänen, A., & Rintala, J. (2013). Biomethane production from maize and liquid cow manure—effect of share of maize, post- methanation potential and digestate characteristics. *Fuel*, 107, 209-216.
- Tiquia Arashiro, s. Evaluating Phytotoxicity of Pig Manure from the Pig-on-Litter System. Department of Food, Agricultural, and Biological Engineering. The Ohio State University, 1999, pp. 625-647.
- Warnars, L., & Oppenoorth, H. (2014). El biol, el fertilizante supremo. *Estudio sobre el biol, sus usos y resultados*. 23p.
- Monlau, F., Sambusiti, C., Ficara, E., Aboulkas, A., Barakat, A., & Carrere, H. (2015). New opportunities for agricultural digestate valorization: current situation and perspectives. *Energy & Environmental Science*, 8(9), 2600–2621.
- Aponte, L., & Cardona, C. (2009). Educación ambiental y evaluación de la densidad poblacional para la conservación de los cóndores reintroducidos en el Parque Nacional Natural Los Nevados y su zona amortiguadora (tesis de pregrado). Universidad de Caldas, Manizales, Colombia



ÚNETE A LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE



Soporte de marca global



Paquete tecnológico llave en mano



Entrenamiento técnico y de ventas



Plataforma digital de manejo de datos

Experiencia con más de **7,000** sistemas instalados en 4 continentes



Buscamos aliados y distribuidores para Latinoamérica ¡Contáctanos!



www.sistema.bio
ventas@sistemabiobolsa.com

¡NO SE QUEDE SIN ENERGÍA!

Los sistemas de CHP para biogás de Compañía Vega, van desde 20 KW hasta 4 200 KW, ajustándose a las necesidades de los clientes, los proyectos de CHP permiten la muy pronta recuperación de la inversión por convertir sus desechos orgánicos en energía eléctrica y calórica, al tener ahorro por electricidad, gas, bunker, diésel para calderas, agua caliente, etc.

Tenemos los mejores precios de Latinoamérica.



Director comercial

Nicolás Vega Alfaro
Teléfono: 506-88323283



www.companiavega.com

Nueva sucursal en Argentina.

www.companiavega.com.ar

DELTABIOGÁS®
BIODIGESTORES PRODUCTIVOS

cidelsa
una nueva visión del mundo

50 AÑOS
MÁS DE 1967-2017

“Diseño y construcción de Biodigestores para el tratamiento de aguas residuales y efluentes orgánicos de unidades productivas agropecuarias y camales.

Convierte la materia orgánica residual en energía renovable (biogás: energía eléctrica, calefacción, iluminación y gas de cocina), así como fertilizante orgánico (biol: agricultura orgánica).

VENTAJAS

- Rápida recuperación de la inversión.
- Tecnología apropiada para pequeñas, medianas y grandes unidades agropecuarias.
- Adaptados para ser eficientes en todas las regiones del Perú.
- Beneficios económicos, ambientales y de salud.



BIODIGESTOR LAGUNA CUBIERTA



BIODIGESTORES TUBULARES



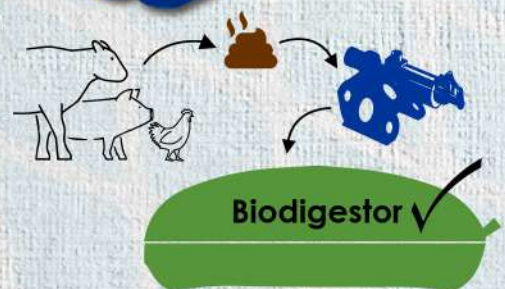
[/CidelsaOficial](https://www.facebook.com/CidelsaOficial)
www.cidelsa.com

Av. Pedro Miota N° 910
San Juan de Miraflores, Lima, Perú
T: +511 617.8787 Anx: 247 - 248
E-mail: info@cidelsa.com

El separador
ARGO
le ofrece una
solución integral...

Porque sabemos que su tiempo es muy valioso, y en la necesidad de resolver los problemas del día a día, nuestro desarrollo le ofrece las siguientes ventajas

- Separación eficiente (no requiere de tapones previos)
- Componentes estándar (muñoneras, roles estándar)
- No necesita mano de obra, ni herramienta especializada (para mantenimiento ni despiece)
- Acople tornillo motor exterior (evita contaminación de caja reductora)
- Compuerta para mantenimiento (limpieza de malla sin desarmar)
- Nuestro separador cuenta con una patente de invención



MODELOS:



- Fabricado en acero inoxidable 304
- Malla de fabricación radial, robusta y rectificada
- Tornillo rectificado
- Salida cónica
- Sistema anti-atasco
- Motor monofásico o trifásico
- Acople motor-tornillo externo
- Fácil mantenimiento
- Fácil despiece



EMMANUEL CARRASCO | ARGENTINA

“En el Encuentro de Brasil 2018 pude compartir la experiencia desarrollada en laboratorio; este espacio es muy dinámico, en donde se destaca el intercambio de puntos de vista, opiniones y mejoras, siendo **muy interesante para el desarrollo de la biodigestión anaeróbica a cualquier escala**”.



ELISA GIUSTINIANOVIC | CHILE

En el 2008 comencé a investigar sobre tratamiento biológico de residuos líquidos industriales, desarrollé mi tesis de pre y postgrado en tratamientos avanzados de eliminación de nutrientes, pero no fue hasta el 2015 que conocí la RedBioLAC, a través de un amigo que me reenvió la información de un evento en Santiago de Chile. Había trabajado en digestión anaerobia pero **el enfoque de la red de promover esta tecnología a escala humana me pareció fascinante**, pensarse trabajando con comunidades en lugar de empresas me cambió la perspectiva.

Desde entonces intento asistir a todos los Encuentros, nutrirme con las experiencias de otros lugares, tejer nuevas redes para fortalecer iniciativas locales y, sobre todo, alimentar el espíritu con un grupo de gente que cree y crea nuevas realidades socioambientales viables. Nos vemos en Cuba :)



GUIDO CASANOVA – FUNDACIÓN ENERGIZAR | ARGENTINA

Allá por el 2012 participé por primera vez del Encuentro realizado en Nicaragua y logré conocer gente de mi mismo país (Argentina) que no había podido conocer antes, y no sólo eso, **personas y profesionales de todo el mundo que también dedicaban su vida día a día a estas tecnologías y procesos que tantos beneficios tienen para la sociedad y el mundo**.

Participar de un Encuentro de la RedBioLAC es una oportunidad para entrar en una red de personas con una gran capacidad de colaboración de distintos países, con distintas experiencias, y todos con gran voluntad de compartir y desarrollar, es abrir la cabeza, expandir conocimientos, y de golpe, contar con una gran comunidad que está atrás tuyo respaldándote y ayudando día a día en cada proyecto, chico, mediano o grande, estés en el lugar del mundo que estés.

Recomiendo de todo corazón a todos los que no tuvieron esa oportunidad a que se sumen y se acerquen al nuevo Encuentro del 2019 en Cuba, que se sumen a esta gran familia que trabaja para impulsar al biogás y los biodigestores en el mundo.



JOSÉ NICOLÁS MARTÍN | ARGENTINA

“El Encuentro de la RedBioLAC significó para mí un encuentro de energías de toda Latinoamérica y el Caribe, unidas y movilizadas en torno a los biodigestores, donde se conjuga el saber y la experiencia, pero **por sobre todo el compañerismo, la ayuda mutua y el compartir con unos mates de por medio, las vivencias de nuestros pueblos hermanos**”.



VIRGINIA MARCHISIO – GOBIERNO DE SANTA FÉ | ARGENTINA

Lo que me impactó la primera vez que asistí a un Encuentro de la red, en 2017, fue la combinación entre rigor científico y objetivos prácticos que tienen todos los trabajos que se exponen en ellos.

La red está formada por investigadores, técnicos y técnicas muy capaces, pero fundamentalmente, por buena gente: **solidaria con los conocimientos, dispuesta y deseosa de compartirlos con quien los solicite y que no lleva adelante megaproyectos de multinacionales** sino proyectos pensados y ejecutados para y por quienes realmente lo necesitan para una mejora en su calidad de vida, en nuestra Latinoamérica pobre (sí, pobre, sin eufemismos). Ese es el espíritu de la red y, por lo que la conozco, no lo ha perdido en sus 10 años de vida.





X ENCUENTRO BRASIL 2018
FOZ DE IGUAZÚ

