

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Estado del arte de la identificación de potenciales sustratos de ganado bovino y porcino para la producción de biogás

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental

Autor:

Luzmila Dionicia Huanaco Quincho

Asesor:

Ing. Miguel Ángel Salcedo Enriquez

Juliaca, diciembre de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Ing. Miguel Ángel Salcedo Enriquez, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: **“ESTADO DEL ARTE DE LA IDENTIFICACIÓN DE POTENCIALES SUSTRATOS DE GANADO BOVINO Y PORCINO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS”** constituye la memoria que presenta el estudiante Luzmila Dionicia Huanaco Quincho para obtener al Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 23 días del mes de diciembre del año 2020.



Ing. Miguel Ángel Salcedo Enriquez

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 22 día(s) del mes de diciembre del año 2020, siendo las 11:50 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera, el (la) secretario(a): Ing. Enrique Mamani Quela y los demás miembros: Msc. Taid Balla Balla y el (la) asesor(a) Ing. Miguel Ángel Salcedo Enriquez con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: Estado del arte de la identificación de potenciales sustratos de ganado bovino y porcino para la producción de biogás de los (las) candidato (as):
 a) Luzmila Dionicia Huanaco Quincho b) _____
 c) _____

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en:

Ingeniería Ambiental
(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Luzmila Dionicia Huanaco Quincho

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>18</u>	<u>A-</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Candidato/a (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Candidato/a (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidente/a


 Secretario/a

 Asesor/a

 Miembro

 Miembro

 Candidato/a (a)

 Candidato/a (b)

 Candidato/a (c)

Estado del arte de la identificación de potenciales sustratos de ganado bovino y porcino para la producción de biogás

Huanaco Quincho Luzmila Dionicia^{a*}, Salcedo Enriquez Miguel Ángel^b

^aFacultad de Ingeniería y Arquitectura-Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión

^bFacultad de Ingeniería y Arquitectura-Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión

Resumen

El Objetivo del presente trabajo de investigación fue describir las tecnologías de la digestión anaerobia, su comportamiento y su aplicación para la identificación de potenciales sustratos de ganado bovino y porcino para la producción de biogás, teniendo en cuenta de que hoy en día la problemática ambiental está relacionada con los impactos negativos generados por la actividad agropecuaria y/o ganadera, que no cuentan con una adecuada disposición final y afectan los recursos naturales. La digestión anaerobia mediante los sustratos de ganado bovino y porcino puede ser una alternativa ventajosa para el medio ambiente reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero y beneficiándonos económicamente. Para lograr el objetivo, se realizó una amplia revisión bibliográfica de artículos, textos y tesis (redalyc, repositorios, science direct, etc.) acerca del tema. Por otro lado se seleccionaron dos investigaciones experimentales, el primero, basado en realizar una evaluación de la producción de biogás a partir de estiércol bovino y porcino en un biodigestor de producción por etapas, y, en el segundo se llevó a cabo la comparación de producción de biogás entre el ganado porcino y bovino en dos experimentos. Finalmente, de acuerdo a los resultados adquiridos en las investigaciones experimentales, se identificó al estiércol de ganado porcino como el sustrato con mayor potencial de generación de biogás frente al estiércol de ganado bovino.

Palabras clave: Biogás; bovino; estiércol; digestión anaerobia; porcino

Abstract

The objective of this research work was to describe the technologies of anaerobic digestion, its behaviour and its application for the identification of potential substrates of bovine and porcine cattle for biogas production, taking into account that nowadays the environmental problems are related to the negative impacts generated by the agricultural and/or cattle activity, which do not have an adequate final disposal and affect the natural resources. The anaerobic digestion by means of the substrates of bovine and porcine cattle can be an advantageous alternative for the environment reducing the emission of greenhouse effect gases and benefiting us economically. To achieve this objective, an extensive bibliographic review of articles, texts and theses (redalyc, repositories, science direct, etc.) on the subject was carried out. On the other hand, two experimental researches were selected, the first one based on carrying out an evaluation of biogas production from bovine and porcine manure in a biodigester of production by stages, and, in the second one, the comparison of biogas production between porcine and bovine cattle in two experiments was carried out. Finally, according to the results acquired in the experimental research, pig manure was identified as the substrate with the greatest potential for generating biogas as opposed to cattle manure.

Keywords: Biogas; bovine; manure; anaerobic digestion; pig

1. Introducción

Durante las últimas décadas las necesidades energéticas en un 90 %, de nuestro planeta son satisfechas con la utilización de combustibles fósiles como el petróleo, carbón, etc. (Clark et al., 2012); la mayoría de estos combustibles son utilizados de forma ineficiente, incrementando significativamente la emisión de gases de efecto invernadero (Barrena et al., 2010). Por otra parte, uno de los problemas que viene afectando a las zonas rurales, es la necesidad energética, la cual obliga a los pobladores a utilizar leña a gran escala y los desperdicios agrícolas secos como los residuos de cosecha y estiércoles (Liriano, 2005).

Por otra parte, millones de toneladas de desechos orgánicos biodegradables son generados cada año por sectores agropecuarios en todo el mundo (Alcalde & Cubas, 2020), los cuales pueden tener varios efectos negativos para el medio ambiente. Estos

* Autor de correspondencia:

Km. 7 Carretera Chullunquiani, Puno, Juliaca

Tel.: 992174675

E-mail: luzmila.hq@upeu.edu.pe

residuos pueden ser vertidos en cuerpos de aguas superficiales alterando la estructura física del habitat e impactando negativamente; las aguas subterráneas de los acuíferos también pueden ser afectados mediante la infiltración de los lixiviados derivados de estos, al mismo tiempo, contaminan el aire, debido a que están asociados a la generación de malos olores, producción de gases, entre otros (Lozano, 2015). La gran cantidad de estiércoles que se generan en zonas ganaderas no tienen un tratamiento adecuado para su disposición final, siendo uno de los problemas altamente contaminantes debido a que contienen materia orgánica y microorganismos (Vásquez et al., 1997), siendo perjudicial para la comunidad en general (Herrick & Lai, 1996).

Un claro ejemplo es una granja de producción porcina, de modo que genera residuos originados en orina y estiércol, si se libera al entorno sin ningún cuidado o tratamiento adecuado puede generar graves problemas de impacto ambiental, como también, la calidad de vida de los pobladores (Cárdenas et al., 2019). Los nutrientes que están presentes en el estiércol porcino, principalmente el fósforo y el nitrógeno, son un componente importante de la contaminación de la tierra y de las aguas marinas (OCDE, 2003).

Tomando en cuenta la problemática, lo que se plantea es la necesidad de dar a conocer una tecnología apropiada, utilizando recursos disponibles como los residuos orgánicos (estiércoles, excretas humanas, entre otros), de modo que pueden ser utilizados como medio para producir energía (Hernández, 1990). Según Carhuacho (2012) menciona que en la actualidad existen tecnologías para tratar este tipo de residuos; como compostaje, lagunas de oxidación y biodigestores anaerobios, esta última tecnología convierte los residuos orgánicos en biogás, el cual, está constituido principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) (Lijarza, 2017).

Según Durazno (2018) a nivel global la producción de biogás presenta resultados positivos especialmente en regiones agrícolas de bajos ingresos. En países como China y la India se han instalado alrededor de 6 a 8 millones de biodigestores, para la producción de biogás, y es aprovechado para uso de iluminación y gas para cocina.

La generación de biogás se incrementó en las regiones que aprovechan el estiércol animal como una de las fuentes principales de sustrato de carga para los biodigestores, entre ellos destacan: los de pequeña y mediana capacidad, con una producción de $100\text{m}^3/\text{día}$ y los de gran capacidad, con una producción promedio de $500\text{m}^3/\text{día}$ (Batzias et al., 2005).

En latinoamérica se ha impulsado la construcción de biodigestores en países como: Colombia, Perú, Bolivia, México, Costa Rica y Nicaragua, teniendo resultados efectivos en materia energética, económica y ambiental, al igual que Europa, donde se ha incrementado la producción anual de biogás en niveles significativos con el propósito de producir energía eléctrica y calorífica (Durazno, 2018).

Según Ortiz (2017), indica que, en el Perú (Lima), existe la central de biomasa Huaycoloro, donde realizan la producción de energía con un aproximado de 4.8 megavatios por hora y una línea de transmisión de 22kv a través de residuos orgánicos.

De acuerdo a lo mostrado, surge la idea de realizar una comparación de la cantidad de biogás que se puede producir por parte del estiércol de ganado bovino en comparación con el del porcino mediante el proceso de la digestión anaerobia y uso de biodigestores. Por esta razón, el presente artículo de revisión tuvo como objetivo describir las tecnologías de la digestión anaerobia, su comportamiento y su aplicación para la identificación de potenciales sustratos de ganado bovino y porcino para la producción de biogás, por medio de revisiones bibliográficas, utilizando fuentes documentales confiables.

2. Desarrollo o Revisión

2.1. Biogás y composición

El biogás es generado por reacciones de biodegradación de la materia orgánica, en ésta intervienen los microorganismos y otros factores en ausencia del oxígeno (ambiente anaeróbico) (Bragachini et al., 2010). El biogás está compuesto principalmente por el metano (CH_4) primer hidrocarburo de la serie de los alcanos, conocido también como gas de pantano (Taramona et al., 2019), y dióxido de carbono (CO_2), además de otros factores que intervienen en cantidades menores (ver tabla 1) (Acuña & Máximo, 2010).

Tabla 1
Composición química del biogás.

Sustancia	Símbolo	Porcentaje (%)
Metano	CH_4	50-70
Dióxido de carbono	CO_2	30-40
Hidrógeno	H_2	5-10
Nitrógeno	N_2	1-2
Vapor de agua	H_2O	0.3
Ácido sulfhídrico	H_2S	0.1

Fuente: Blanco et al., 2011, citado por Cepero et al., 2013.

2.2. Etapas de la producción de biogás

El biogás se produce mediante el proceso de la fermentación del sustrato en ausencia del aire, por ello es importante tener en cuenta las etapas dentro de este proceso, ya que transcurre con menor desprendimiento calorífico, lo que permite un mayor contenido energético y un incremento en la retención de nitrógeno original de residuos digeridos (Singh, 1974). El proceso que se realiza es un tanto complejo en el que intervienen un elevado número de especies bacterianas, ya sean productoras o no de metano (Reyes, 2016).

2.2.1. Digestión Anaerobia

La digestión anaerobia es una tecnología disponible para la producción de energía renovable, como también, para la reducción de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), a partir de sustratos de bajo costo, como: desperdicio de frutas, vegetales o estiércoles (Di Maria et al., 2015). Así mismo, la digestión anaeróbica puede desarrollarse en sistemas denominados biodigestores para poder llevar a cabo la fermentación (descomposición bioquímica de la biomasa) (Ávila et al., 2017).

Según la FAO (2011) los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas como se muestra en la figura 1:

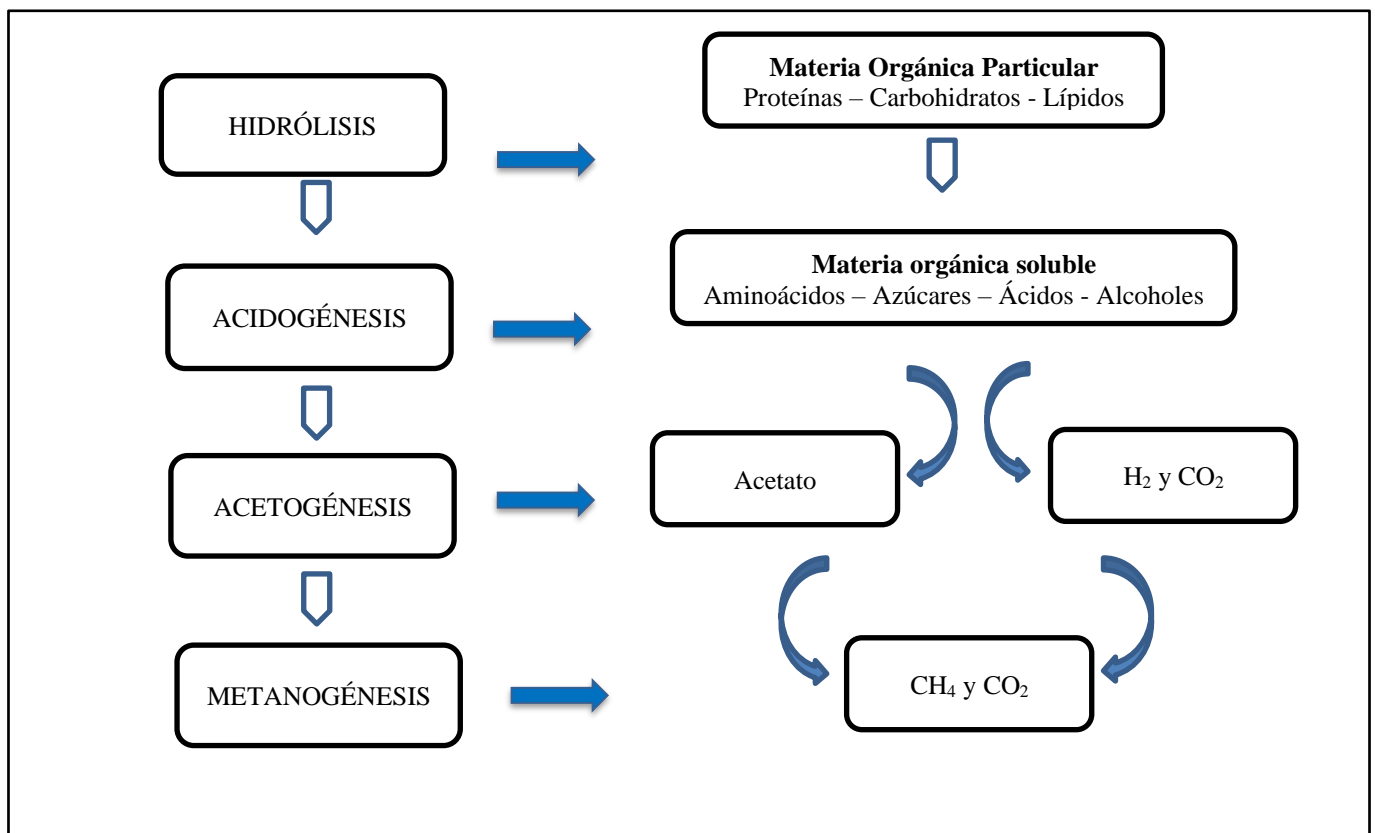


Figura 1: Etapas del proceso de digestión anaerobia. Fuente: Adaptado de FAO (2011).

De acuerdo a la figura 1, existe una producción en cadena de diferentes tipos de bacterias, algunas inicialmente producen una hidrólisis, donde se rompen los polímeros orgánicos insolubles (lípidos, proteínas y carbohidratos), transformándolos en compuestos degradables para otras bacterias (azúcares, ácidos grasos de cadena larga, aminoácidos y alcoholes) (Diaz et al., 2013); Con ayuda de las bacterias acetogénicas, los ácidos y alcoholes que provienen de la acidogénesis se van transformando en ácido acético, H₂ y CO₂ (Parra, 2015). Finalmente, otras bacterias (metanogénicas), digieren el hidrógeno y el ácido acético para convertirlo en metano, el cual, es importante para el biogás y además permite la combustión (Reyes, 2016).

2.3. Parámetros que influyen en la producción de biogás

Todo metabolismo en un proceso químico, está expuesto a factores que pueden influir y modificar en su desintegración, las transformaciones químicas y fisicoquímicas que se llevan dentro del metabolismo anaerobio no es la excepción (Mass & Medrano, 2013).

Es necesario mantener a las bacterias en condiciones que puedan ayudar a optimizar su ciclo biológico. Por ello, los principales parámetros o factores ambientales que se deben tener en cuenta dentro del proceso de la degradación de biogás son:

2.3.1. Temperatura

Según Tapia (2016) la actividad biológica dentro del proceso depende de la temperatura, por tal razón la producción del biogás también depende de esta variable. A medida que la temperatura aumenta, aumenta la velocidad del crecimiento de los microorganismos acelerando el proceso de digestión, y, de esta forma da lugar a una producción mayor de biogás.

Para iniciar con el proceso de la digestión anaerobia se necesita una temperatura de 4°C a 5°C como mínimo y no debe sobrepasar una máxima de alrededor de 70°C (Bragachini et al., 2010). Los microorganismos anaeróbicos por lo general trabajan en tres rangos de temperatura (Ver figura 2 y tabla 2) (Instituto de Ingeniería Rural, 2020).

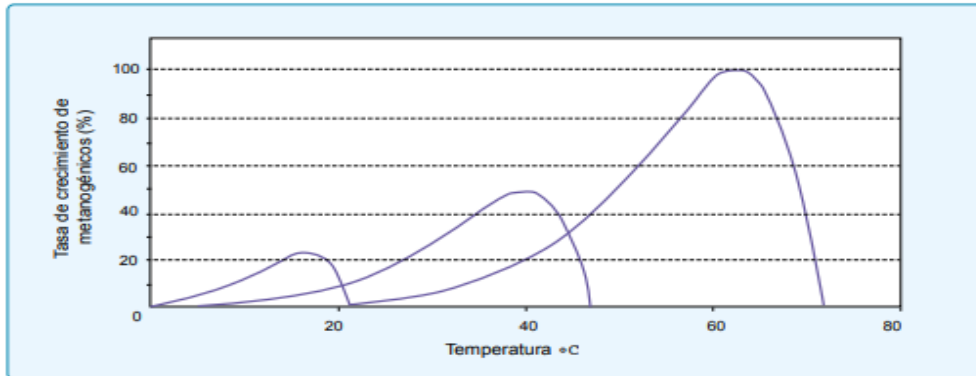


Figura 2: Tasa de crecimiento de microorganismos psicofílicos, mesofílicos y termofílicos. Fuente: Speece (1995).

Tabla 2

Condiciones de temperatura para la digestión anaeróbica.

Fermentación	Rango de temperaturas (°C)		
	Mínimo	Óptimo	Máximo
Psicofílica	4	15-18	20-25
Mesofílica	15-20	25-35	35-45
Termofílica	25-45	50-60	70

Fuente: Carrasco (2015)

2.3.2. Valor de acidez (pH)

Los microorganismos presentan una actividad óptima para un determinado rango de valores de pH. Este rango suele variar entre 6 - 8 aproximadamente (Pacherres, 2018). Cada grupo de microorganismo involucrado en la fermentación anaeróbica tiene un pH específico para su crecimiento. Por ejemplo, el pH óptimo para los acidogénicos es de 6, mientras que para los acetogénicos y metanogénicos es de 7 (Ortiz, 2017).

Para poder controlar el pH es importante conocer si el proceso se desarrolla en condiciones adecuadas, si el pH sufre un descenso puede implicar en la degradación anaeróbica (Pacherres, 2018); por tanto, puede inhibir el crecimiento de las bacterias metanogénicas. Si esto ocurriese, se tendría problemas de disminución de la producción de metano obteniendo un aumento del CO₂ y la presencia de olores desagradables por el aumento de sulfuro de hidrógeno (Tapia, 2016).

2.3.3. Tiempo de retención

El tiempo de retención (TR) está relacionada con la temperatura y el sustrato que se vaya a utilizar (Instituto de Ingeniería Rural, 2020). A menores temperaturas se requiere mayor tiempo de retención para digerir la materia orgánica (estiércol) y producir el biogás (Tapia, 2016).

Los valores típicos del tiempo de retención para la degradación del sustrato varían de entre unos 20 a 60 días, siendo operado bajo un rango mesófilo. Como referencia se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Tiempo de retención acorde a las regiones naturales en el Perú.

Regiones naturales	Temperatura promedio °C	TR (días)
Costa	20	30
Sierra	10	60
Selva	30	20

Fuente: Martí (2008).

2.3.4. Velocidad de carga orgánica (VCO)

La velocidad de la carga orgánica se refiere a la cantidad del material orgánico o sustrato que es introducido por unidad de volumen del digestor y el tiempo. Valores bajos de VCO implican baja concentración de sustrato, pero, si se tiene un incremento en la velocidad de la carga orgánica implica una reducción en la producción del biogás por unidad del sustrato (Palau, 2008).

2.3.5. Relación carbono y nitrógeno

El contenido de carbono y nitrógeno como sustancias nutrientes son claves para el proceso de un buen desarrollo microbiano para una buena producción de biogás, por ello la relación de carbono y nitrógeno debe oscilar en un estándar nivelado de 20 y 30 partes de carbono con respecto a cada parte de nitrógeno, si la cantidad de nitrógeno es elevado la producción tiende a disminuir por la formación de amonio, por todo ello para tener un adecuado balance de alimentos se debe utilizar varios sustratos ricos en nitrógeno sin descuidar la abundancia de carbono para el desarrollo óptimo de microorganismos y eficiente producción de biogás (Palomino & Prudencio, 2020).

2.4. Tecnologías de digestión anaerobia para la generación de biogás

Para poder obtener el biogás es muy necesario hacer uso de un biodigestor, siendo una alternativa sencilla y práctica que ayuda a aprovechar los sustratos orgánicos que se producen en las fincas, etc.

2.4.1. Biodigestor

Valdivia (2000) define que un biodigestor es un contenedor cerrado, hermético e impermeable en el que se deposita el material orgánico que se quiere fermentar en una determinada dilución de agua. Por un lado, Espinal et al. (2016), menciona que el biodigestor es una alternativa valiosa para poder tratar los desechos orgánicos de explotaciones agropecuarias, etc., puesto que, ayuda a disminuir el contaminante, eliminar los malos olores y lo más importante es que genera un gas combustible natural (biogás) el cual puede reemplazar al gas con el que contamos hoy en día.

Estos dispositivos, además de recuperar el biogás de la descomposición de los sustratos o material orgánico, generan un residuo resultante, el cual sirve como un excelente fertilizante (Espinal et al., 2016).

2.4.2. Clasificación de los biodigestores

Los biodigestores están clasificados acorde a su complejidad y su utilización, según el modo de operación con relación a su alimentación, estos tipos de clasificación son:

2.4.2.1. Biodigestor continuo

Se denomina biodigestores de proceso continuo cuando la alimentación del digestor es un proceso ininterrumpido, es decir, cuando el sustrato es introducido de forma regular y continua; este proceso es adecuado para zonas ganaderas (Estella, 2016).

2.4.2.2. Biodigestor semicontinuo

Se construyen enterrados, cargándose por gravedad a diario (una vez por día y con carga relativamente pequeña en comparación al contenido total); el cual, se deposita en una cámara de carga, e igualmente se extrae de la cámara un volumen igual al efluente líquido para mantener el volumen constante (Vinas et al., 1994).

2.4.2.3. Biodigestor discontinuo

En este proceso el digestor se llena inicialmente con el sustrato y se realiza la descarga una única vez al final del proceso anaerobio, teniendo el biogás y el digestato, considerando que el tiempo de retención hidráulico coincide con la permanencia del sustrato dentro del biodigestor (Estella, 2016).

2.4.3. Principales tipos de biodigestores

Más del 80% de las plantas de biogás que existe en el mundo pertenecen a dos tipos de diseño, sus nombres derivan de los países en las que se realizaron por primera vez (los primeros modelos) y posteriormente se les dio una difusión masiva. Estos dos modelos son del tipo chino y el hindú (Cruz, 2017).

En cuanto a (Hernández & Zapata, 2018) mencionan que en la actualidad existen varios tipos de biodigestores en el mundo y que las más utilizadas actualmente son las siguientes:

2.4.3.1. Modelo de campana flotante (Tipo Hindú)

Este tipo de biodigestor posee una cámara de digestión de forma cilíndrica sobre la cual flota la campana gasométrica y está generalmente construida de hierro. La salida del efluente que se tiene se efectúa por resbalde, funciona continuamente realizándose generalmente una carga a diario o cada dos o tres días (Hernández & Zapata, 2018).

Las ventajas de este modelo es que son de fácil entendimiento y una operación simple, si en caso hubiese algún tipo de error en la construcción, ésta no llevaría a problemas mayores en la producción y operación. En cuanto a sus desventajas, es que los materiales para el tambor de acero son de alto costo, además se tiene costos fijos de mantenimiento (Ver figura 3) (Corona, 2007).

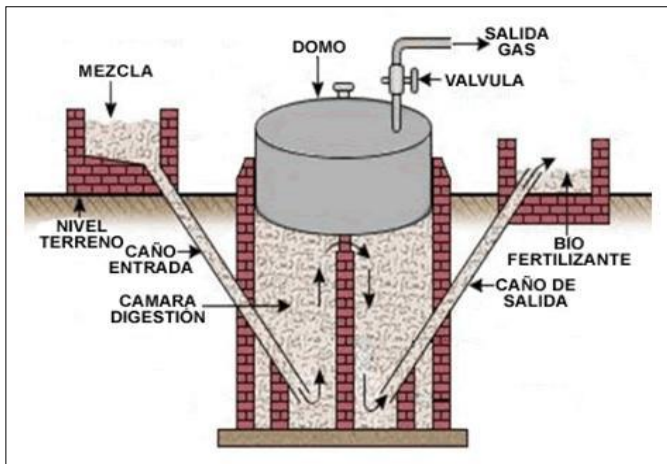


Figura 3: Biodigestor tipo Hindú (Campana flotante). Fuente: Martí (2008).

2.4.3.2. Modelo de cúpula fija (Tipo chino)

Los biodigestores o digestores de este tipo están hechos con materiales rígidos, como tanques de plástico, ladrillo, hormigón o cualquier variante (FAO, 2019). Su forma se asemeja a una esfera; al iniciar el proceso, el digestor se llena con la materia orgánica que se quiere utilizar a través de la cubierta superior, que es renovable. Una vez cargado de esta forma se le alimenta diariamente con residuos que se encuentren disponibles a través del tubo de la carga que llega a la parte media del digestor (Hernández & Zapata, 2018).

La ventaja que este modelo presenta, es que los materiales son fáciles de adquirir para su construcción, otra de las ventajas es la inexistencia de partes metálicas que pueden oxidarse y tienen una larga vida útil (Reyes, 2016). En la figura 4, se muestra el modelo del biodigestor tipo Chino y las partes del mismo.

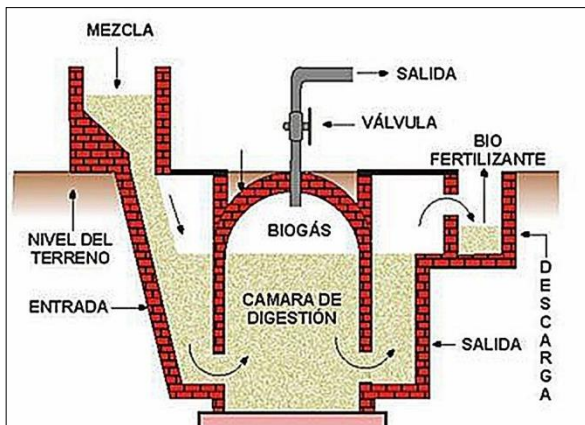


Figura 4: Biodigestor tipo Chino (cúpula fija). Fuente: Martí (2008).

2.4.3.3. Modelo tubular (Tipo Taiwán)

Estos biodigestores son muy difundidos en Taiwán, y son fabricados con diferentes tipos de membranas impermeables a los gases y líquidos (Nylón, caucho, PVC, polietileno, etc), estos pueden variar en cuanto a su material, costos, grosor y características (FAO, 2019).

Según Corona (2007) este modelo tiene un digestor de bolsa en la parte superior, en el que se almacena el gas, su entrada y salida se encuentran en la superficie de la bolsa; y, la ventaja que posee es: bajo costo, fácil de transportación y pueden ser mucho más beneficiosas para zonas rurales (ver figura 5).

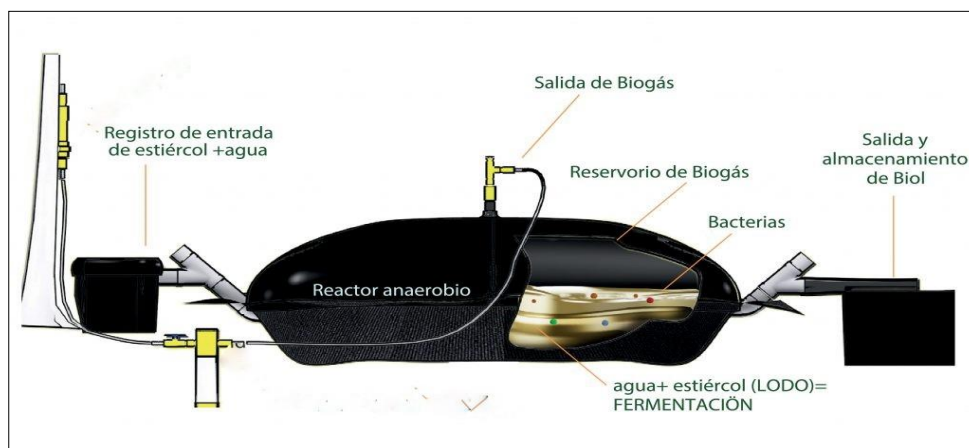


Figura 5: Biodigestores de estructura tubular. Fuente: Guardado (2007).

2.5. Aspectos socio-económicos

Según Andino & Martínez (2014) el biogás es considerado social, económico y amigable con el medio ambiente, en principio porque evita la contaminación y disminuye el consumo del gas convencional, reemplazándolo por el gas natural (biogás) aprovechando los desechos de los animales.

2.5.1. Económicos

Elizondo (2005) da a conocer que este sistema es considerado una innovación económica, trayendo consigo la idea de preservar y aprovechar los desechos orgánicos y convertir de estas en nuevos bienes y servicios, ahorrando el tiempo y dinero, como también aumentando la calidad de vida de los pobladores.

En resumen, los principales beneficios al utilizar el biodigestor y por ende el biogás son:

- Ahorro en consumo energético (Gas, leña, electricidad y gasolina).
- Ahorro en costos de fertilizantes químicos, reemplazando por el biol.
- Potencial ingreso por medio de la venta de biol.
- Reducción considerable de la compra de elementos productores de energía como leña o gas.

2.5.2. Sociales

La necesidad de la cocción de alimentos puede realizarse sin depender de los combustibles fósiles no renovables (electricidad, leña o gas). Se gana seguridad dentro del hogar y la cocina no se deteriora, gana tiempo, además que el ahorro mensual por familia (Andino & Martínez, 2014).

En la tabla 4 se da a conocer los beneficios para la familia como también para el medio ambiente:

Tabla 4

Beneficios asociados con el uso del biodigestor

BENEFICIOS	
Familiar	Medio ambiente
No hay humo en el hogar.	Disminuye la producción de CO ₂ .
Los trastos no quedan tiznados.	Menos desechos contaminantes.
Es más rápido prender el fuego.	No proliferación de insectos.
Mejora la economía del hogar.	Fertilizantes y abonos orgánicos.
No hay peligro de explotaciones dentro del hogar.	Se evita la tala de árboles.

Fuente: Andino & Martínez (2014).

2.6. Usos del biogás

Existen varios artefactos que pueden utilizar el biogás como fuente de energía para su funcionamiento. También, el efluente que se genera mediante el proceso, puede ser aprovechado como riego de cultivos.

El Instituto de Ingeniería Rural (2020) da a conocer que el biogás generado por residuos orgánicos (estiércoles) por medio de biodigestores, puede ser utilizado como gas natural en cualquier tipo de equipo comercial, ya sea para la producción de energía eléctrica, para hornos, estufas, iluminación, entre otros (ver figura 6).

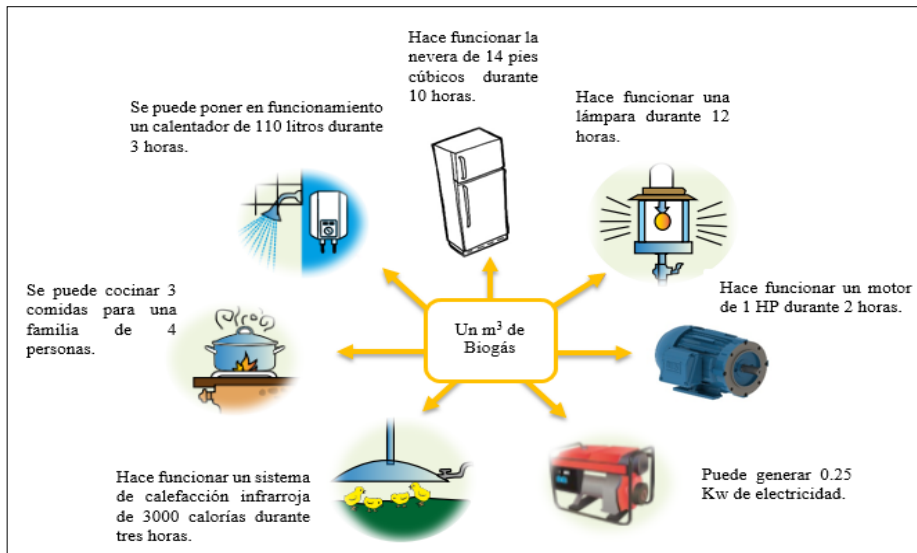


Figura 6: Usos de biogás. Fuente: FILMTEX (2008).

2.6.1. Uso de biogás en la cocina

El biogás es un excelente combustible ecológico para cocinar, este combustible arde con llama de color azul (Sin problemas de humo), ofreciendo ventajas como: reducción de problemas respiratorios y oculares, mejora la economía familiar por el uso gratuito y barato de biogás, sustituye al gas producido por petróleo, y lo más importante es que promueve un ambiente limpio y sano (Tapia, 2016).

2.6.2. Uso del biogás para la electricidad

Según Pazmiño (2016) el biogás en algunos países como China, India, y países desarrollados es usado para generar electricidad, ya sea para uso familiar, local e industrial (maquinarias), de igual forma Villota (2015) da a conocer que el biogás puede ser utilizado en motores de combustión de alta relación volumétrica de compresión.

2.6.3. Uso de biogás para la iluminación

En el Perú, se empleaba kerosene (derivado de petróleo) para lámparas, especialmente en zonas rurales. Sin embargo, el Decreto Supremo N° 045-2009-EM, prohíbe la venta de kerosene a nivel nacional y establece la sustitución por el gas licuado de petróleo (Taramona y otros, 2019). Por esta razón, podría ser muy provechoso, hacer uso del biogás en reemplazo del gas licuado que es un contaminante para nuestro medio.

Según el Centro americano de investigación y tecnología industrial (1985) nos da a conocer que el uso de biogás en la iluminación por medio de lámparas sería una gran opción, debido a que se tiene una gran aceptación en zonas rurales, como también en regiones urbanas no electrificadas.

2.7. Análisis de la investigación según autores

2.7.1. "Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas" - (Durazno, 2018)

El trabajo de experimentación se desarrolló en el cantón Paute, Provincia de Azuay, granja "Yumagcay" de la Universidad Politécnica Salesiana, con el propósito de evaluar la producción de biogás a partir de los estiércoles de bovino y porcino en un biodigestor de producción por etapas.

Para el desarrollo de la metodología, se planteó el diseño del biodigestor por etapas con volumen de carga de 233 litros, este biodigestor consta de 2 partes: cuerpo y tanque con forma cilíndrica, con altura de 1.10m, ancho de 0.50m, en el que se ubica el tubo de carga y descarga del efluente; de igual forma se colocó un manómetro en la parte superior, para medir la presión del gas que permanece dentro. La capacidad de carga del biodigestor fue de 65% con una mezcla de 151.41 litros de estiércol y agua (Durazno, 2018).

La cantidad de sustrato de ganado bovino recolectado fue de 67.32 Kg en dos días, el cual equivale al 32 % de la capacidad volumétrica del biodigestor, esto sumado a la misma cantidad de agua (Guilcapi, 2016), en cuanto al estiércol de ganado porcino se obtuvo una cantidad de 55.5 kg/día, el cual representa el 32% de la capacidad volumétrica del biodigestor, sumando al mismo tiempo el volumen de agua con un valor de 75.71 kg. También, se estudiaron distintas variables y propiedades que intervienen dentro del proceso.

Los resultados obtenidos según las condiciones que intervienen en la producción del biogás a partir del estiércol de ganado bovino y porcino fueron: peso del sustrato, volumen del estiércol, pH, agua, temperatura, humedad, presión y tiempo de retención (ver tabla 6).

Tabla 5

Variables en la producción de biogás bovino y porcino.

Variabes en la producción de biogás	Bovino	Porcino
Peso del estiércol (Kg)	67.32	55.5
Volumen estiércol (Litros)	75.71	75.71
pH (Estiércol)	6	5
Agua (Litros)	75.71	75.71
Temperatura (°C)	14.27	14.53
Humedad (%)	74.26	75.57
Presión (PSI)	12	15.2
Tiempo de retención (Días)	50	50

Fuente: Durazno (2018).

Finalmente, se evidenció una mayor producción de biogás porcino con 65.9 litros en comparación con el del bovino de quien se obtuvo 48.8 litros de biogás, los cuales equivalen al 57% y 43%, producido durante 50 días del tiempo de retención, ver la tabla 7 y figura 7 (Durazno, 2018).

Tabla 7

Variables en la producción de biogás bovino y porcino.

T.R. (Días)	Producción de biogás bovino			Producción de biogás porcino		
	Temperatura (°C)	Biogás (Litros)	Biogás (m ³)	Temperatura (°C)	Biogás (litros)	Biogás (m ³)
10	13,9	7	0,007	14,9	10,2	0,0102
20	13,7	8,1	0,0081	13,9	12,3	0,0123
30	14,45	10	0,01	14,35	18,5	0,0185
40	14,8	14,2	0,0142	14,1	13,3	0,0133
50	14,5	9,5	0,0095	15,4	11,6	0,0116
Resultados	14,27	48,8	0,0488	14,53	65,9	0,0659

Fuente: Durazno (2018)

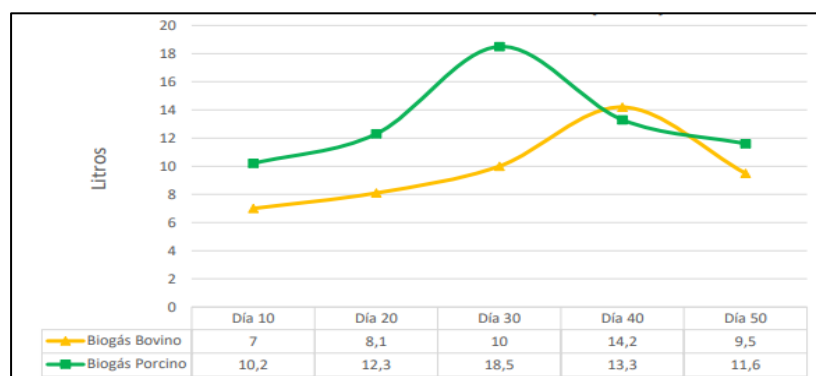


Figura 7: Producción total de biogás con estiércol bovino y porcino. Fuente: Durazno (2018).

En la figura 7, se muestra que la mayor producción de biogás por el estiércol porcino se registró en el día 30 con un valor de 18.5 litros, mientras que el estiércol de ganado bovino tiene como mayor pico de producción de biogás el día 40 con un volumen

de 14.2 litros de biogás. La menor producción de biogás del sustrato porcino es de 10.2 litros en los 10 primeros días, y, el estiércol de ganado bovino con un valor de 7 litros, sin descartar que a los 50 días también obtuvo un valor de 9.5 litros.

2.7.2. “Comparación de dos tipos de biomasa para generación de biogás a partir de excretas de Ganado porcino y bovino en el laboratorio”- (Monteros, Durand, Mora & Santos, 2017).

Este trabajo de experimentación fue aplicado en un laboratorio, con el proceso de la digestión anaerobia para obtener el biogás mediante el uso de los estiércoles de ganado bovino y porcino, teniendo como objetivo principal comparar la producción de biogás entre el ganado bovino y porcino en dos experimentos. Estas muestras fueron recolectadas de la granja ubicada en el municipio de Magdalena Jalisco, las cuales fueron homogenizadas, mezcladas y divididos en dos porciones, con el propósito de someterlos a una temperatura controlada de 34°C y a temperatura ambiente de 22 °C.

El primero se realizó por duplicado, tanto para estiércol de ganado bovino y porcino, haciendo uso de matraces kitazo (como biodigestor) de 500 ml con una mezcla de agua y estiércoles, posteriormente los matraces fueron introducidos en una tina de agua calentada con una resistencia eléctrica a una temperatura de 34°C. En el segundo experimento se utilizaron los matraces kitazo con un volumen de 500ml para los dos tipos de estiércol, los cuales se colocaron en el laboratorio a una temperatura ambiente de 22°C.

Para poder realizar la comparación de la producción de biogás por parte del estiércol, se determinó el pH en 4 muestras para porcino al igual que el bovino, haciendo uso de un potenciómetro (marca OrionStarThermoScientific).

Los resultados de pH obtenidos en base a la cantidad de los estiércoles de las 4 muestras de ganado porcino y bovino más agua destilada, fueron las siguientes:

Tabla 6

Peso de las muestras frescas y el pH del sustrato porcino y bovino

Muestra	Peso		Porcino	Bovino
	Muestra fresca	Agua destilada	pH inicial	pH inicial
1	120 g	300 mL	7.69	7.61
2	120 g	300 mL	7.66	7.7
3	120 g	300 mL	7.7	7.65
4	120 g	300 mL	7.87	7.72

Fuente: Monteros, Durand, Mora & Santos (2017).

Según Monteros et al. (2017), los resultados obtenidos a temperatura ambiente en la presente experimentación para estiércoles de ganado bovino y porcino se da a conocer en la tabla 10, donde se muestra que el estiércol con mayor producción de biogás es el ganado porcino, llegando hasta un valor de 1377 ml como máximo durante 92 días de TR, en comparación con el del bovino, en donde se obtuvo un valor máximo de 235 ml de biogás; en un tiempo de retención de 92 días.

Tabla 10

Producción promedio de biogás de estiércoles de ganado porcino y bovino a 22°C.

Tiempo de retención (Días)	Producción de biogás porcino	Producción de biogás bovino
	Biogás (mL)	Biogás (mL)
7	0	0
20	12.5	0
40	222.5	12.5
70	275	150
90	741.5 – 1303.5	221 – 235
92	1340.5 – 1377	232.5 – 231

Fuente: Monteros et al., 2017.

Los resultados que se han obtenido en base a la temperatura controlada de 34 °C de la presente experimentación se muestran en la tabla 12, dando a conocer que la generación de biogás por parte del estiércol porcino es mayor que la del ganado bovino obteniendo un valor máximo de 9632.5 ml y 1058 ml durante un tiempo de retención de 92 días.

Tabla 7
Producción de biogás de estiércoles de ganado porcino y bovino a 34°C.

Tiempo de retención (Días)	Producción de biogás porcino	Producción de biogás bovino
	Biogás (mL)	Biogás (mL)
5	20 – 67	0
10	76	3
40	425	284
70	4597.5	840.5
90	8229 – 9488.5	1047 – 1058
92	9560.5 – 9632.5	1056 – 1054.5

Fuente: Monteros et al., 2017.

3. Conclusión

En conclusión, la digestión anaeróbica es una alternativa eficiente para tratar cualquier tipo de residuos orgánicos ganaderos, produciendo energía en forma de biogás, aportando beneficios socioeconómicos y siendo amigable con el medio ambiente. Por otro lado, de acuerdo con lo reportado en los análisis de las investigaciones experimentales, que aprovechan la materia orgánica de ganado bovino y porcino para la generación de biogás realizadas por Durazno (2018) y Monteros et al., (2017), se identificó que el sustrato de ganado porcino tiene mayor potencial con respecto al sustrato de ganado bovino para la producción de biogás. Obteniendo que la producción de biogás generado por el estiércol de ganado porcino fue superior en comparación con el estiércol de ganado bovino en un porcentaje del 6 %, con valores de 65.9 litros y 48.8 litros en un tiempo de retención de 50 días. Así mismo, con respecto al segundo análisis, se ha demostrado que el estiércol de ganado porcino genera mayor cantidad de biogás frente al de ganado bovino con un valor máximo de 1377 ml y 235 ml en un TR de 92 días a temperatura ambiente de 22°C; y a temperatura controlada de 34°C, el estiércol de ganado bovino generó un máximo valor de 1058 ml de biogás y el porcino 9632.5 ml, teniendo una mayor potencialidad.

Referencias

- Acuña, A., & Máximo, O. (2010). Análisis y diseño de un biodigestor para la generación eléctrica en Pichanaki. *Universidad Nacional de Centro del Perú*, 17.
- Alcalde Delgado, R. E., & Cubas Avellaneda, A. M. (2020). Revisión de la eficiencia de biodigestores para la producción de biogás con excremento vacuno. *Repositorio de la Universidad Peruana Unión*.
- Andino Bermúdez, R. I., & Martínez Arcia, K. A. (2014). Biodigestor: Una Alternativa de Innovación Socio – Económica Amigable con el Medio Ambiente. *Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua*.
- Ávila Hernández, M., Campos Rodríguez, R., Brenes Peralta, L., & Jiménez Morales, M. F. (2017). Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago. *Tecnología en Marcha*.
- Barrena, M., Gamarra, O., & Maicelo, J. (2010). Producción de biogás en laboratorio a partir de residuos domésticos y ganaderos y su escalamiento. *SciELO*.
- Batzias, F., Sidiras, K., & Spyrou, E. (2005). Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method. *Renewable Energy*.
- Bragachini, M., Urrets, G., Ustarroz, F., & Bragachini, M. (2010). El biogás. *INTA PRECOP*.
- Cárdenas Giler, E. V., Maldonado Erazo, J. M., Valdez Siva, R. A., Sarduy Pereira, L. B., & Diéguez Santana, K. (2019). La producción más limpia en el sector porcino: Una experiencia desde la Amazonía ecuatoriana. *Anales científicos*.
- Carhuacho León, F. M. (2012). Aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración de biol en biodigestores tipo Batch como propuesta al manejo de residuo avícola. *Universidad Nacional la Molina*.
- Carrasco Allendes, J. L. (2015). Evaluación técnica y económica de una planta de biogás para autoabastecimiento energético: Una estrategia para diferentes contextos. *Universidad de Chile*.
- Centro americano de investigación y tecnología industrial. (1985). Biogás y bioabono-aplicaciones. *OLADE*.
- Clark, J., Luque, R., & Matharu, A. (2012). Green Chemistry, biofuels, and biorefinery. *Annual Review of Chemical and Biomolecular*.
- Corona Zúñiga, I. (2007). Biodigestores. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*.
- Cruz Tutacano, E. G. (2017). Diseño de un biorreactor para generar biogás a partir de desechos orgánicos de animales en la irrigación de Majes-Caylloma. *Universidad Nacional de San Agustín*.
- De la Merced Jimenez, D. (2012). Evaluación de los parámetros de un biodigestor anaerobio tipo continuo. *Universidad Veracruzana*.
- Di María, F., Sordi, A., Cirulli, G., & Micale, C. (2015). Amount of energy recoverable from an existing sludge digester with the co-digestion with fruit and vegetable waste at reduced retention time. *ScienceDirect*.
- Durazno Coronel, A. D. (2018). Valorización de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas. *dspace*.
- Elizondo, D. (2005). El biodigestor. *Ministerio de Agricultura y Ganadería*.
- Espinal Arellano, J., Olvera García, O., Hernández Gómez, V., & Morillón Gálvez, D. (2016). Potencial de generación de biogás de un rancho ganadero en la comunidad de San Bartolo Cautlalpan. *Revista de sistemas experimentales*.
- Estella Basés, P. (2016). Estudio de la producción energética a partir del aprovechamiento del biogás en una granja de ganado bovino. *Universidad Carlos III de Madrid*.
- FAO. (2011). *Manual de biogás*. Santiago de Chile: FAO.
- FAO. (2019). Guía teórica-práctica sobre el biogás y los biodigestores. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.
- FILMTEX. (2008). Manual para la generación de biogás y bioabono a partir del estiércol en la innsustria agropecuaria. *SAP*.
- Flores, J. (2010). Plan piloto de biodigestor para el aprovechamiento de las heces de porcino obteniendo el biogás y biofertilizante. *Universidad de las Américas*.
- Guardado, J. (2007). Diseño y Construcción de Plantas de Biogás Sencillas. *Cubasolar*.
- Guilcapi, L. (2016). Diseño de un biodigestor para la producción de biogás generado por las excretas de ganado vacuno, en el criadero "Jersey Chuglli" . *Riobamba*.
- Hernández Gil, M. A., & Zapata Vigil, M. E. (2018). Diseño de un biodigestor con estiércol de ganado vacuno para el caserío la Zanja-Cajamarca. *Universidad Señor de Sipán*.
- Hernández, C. (1990). Segundo Fórum Nacional de Energía: Biogás. *Universidad de la Habana*.
- Herrick, J., & Lai, R. (1996). Dung Decomposition and Pedoturbation in a Seasonally Dry Tropical Pasture. *Biol Fertil Soil*.
- Instituto de Ingeniería Rural. (2020). Manual para la producción de biogás. *I.N.T.A. Castelar*.
- Lijarza Galvez, Y. I. (2017). Producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno y gallinaza durante el proceso de digestión anaeróbica a escala de laboratorio. *Universidad Nacional Agraria de la Selva*.
- Liriano, R. (2005). Aplicación de biofertilizantes como alternativa nutricional, ambiental y económica en la agricultura urbana. *Universidad de Jirona*.
- Lozano Cervera, J. L. (2015). Aplicación del control difuso de la temperatura en un biodigestor anaeróbico para la generación de biogás en condiciones de invernadero en Tacna. *Repositorio Universidad Nacional Jorge Basandre Grohmann*.
- Martí Herrero, J. (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. *GTZ-Energía*.
- Martínez Lozano, M. (2015). Producción potencial de biogás empleado excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato. *Nova Scientia*.

- Mass Torres, K. R., & Medrano Manga, Y. (2013). Tratamiento de aguas residuales a partir de digestión anaerobia. *Universidad de San Buenaventura Cartagena*.
- Monteros C., E., Durand M., L. C., Mora T., E., & Santos V., E. M. (2017). Comparación de dos tipos de biomasa para generación de biogás a partir de excretas de ganado porcino y bovino en el laboratorio. *Tecnogestión*.
- OCDE. (2003). El sector porcino: Agricultura, comercio y medio ambiente. *Organización para la cooperación y el desarrollo económicos*.
- Ortiz Nuñez, J. P. (2017). Diseño de una central eléctrica de biomasa conectado a la red eléctrica Puno, en el centro de Cancharani - Departamento de Puno. *Repositorio Institucional UNA-PUNO*.
- Pacherres Ato, A. (2018). Estudio comparativo de la producción de biogás mediante tecnología de biorreactores anaeróbios de codigestión a escala laboratorio. *Universidad Politécnica de Valeria*.
- Palau, E., & C. V. (2008). Digestión anaerobia de residuos de biomasa para la producción de biogás. *Universidad Politécnica de Valencia*.
- Palomino Arango, E., & Prudencio Vega, G. (2020). Evaluación del rendimiento de biogás aplicando un sistema de polietileno térmico como soporte de temperatura para acelerar su producción, en el campus de la Universidad Peruana Unión. *Repositorio Universidad Peruana Unión*.
- Pazmiño Macas, K. I. (2016). Biodigestores una solución energética para la población rural. Uso del biogás en un caso de estudio. *Repositorio Flacsoandes*.
- Reyes Aguilera, E. A. (2016). Producción de biogás a partir de biomasa. *Revista Científica de FAREM*.
- Singh, R. (1974). *The biogas plant. Generating methane from organic wastes*. India: U.P.
- Speece, R. E. (1995). Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment. *ACS Publications*.
- Tapia Tapia, V. (2016). Instalación y uso de biogás. *Care Perú*.
- Taramona, L., Barrena, M., Maiceo, J., Gamarra, O., Oliva, M., Leiva, S., . . . Ordinola, C. (2019). *Biogás: Producción y aplicaciones*. Chachapoyas-Amazonas-Perú: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Valdivia Tapia, R. (2000). Uso de Biogás para la generación de energía eléctrica mediante un motor gasolinero estacionario modificado. *INNIO*.
- Vásquez, D., Fernández, S., Manzote, R., & Abrahantes, H. (1997). Plantas biogás de pequeñas dimensiones para fincas lecheras Agrotecnia de Cuba. En D. Vásquez, S. Fernández, R. Manzote, & H. Abrahantes, *Biogás* (pág. 2.3). Cuba.
- Villota Muñoz, E. M. (2015). Sistema de iluminación y calefacción a partir de biogás. *Udenar*.
- Vinas, M., Soubes, M., Borzacconi, L., & Muxi, L. (1994). Criterios de diseño y escalado de reactores anaerobios. *Universidad de la República*.