



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

CARRERA INGENIERIA QUIMICA

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

TEMA:

**“CARACTERIZACIÓN DE BIOGÁS PRODUCIDO POR LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE
BIOMASAS RURALES EN UN EQUIPO PILOTO FORMADO POR UN TREN DE
BIODIGESTORES”**

AUTORES:

SR. LUIS ALFREDO COELLO CARBO.

SR. KLEBER MANUEL VERA RAMÍREZ.

TUTOR:

ING. GONZALO VILLA MANOSALVAS

GUAYAQUIL, OCTUBRE 2020

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Caracterización de Biogás producido por la digestión anaerobia de biomasas rurales en un equipo piloto formado por un tren de biodigestores		
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Coello Carbo Luis Alfredo Vera Ramírez Kleber Manuel		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Ing. Gonzalo Ivan Villa Manosalvas Msc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad de Guayaquil		
UNIDAD/FACULTAD:	Facultad de Ingeniería Química		
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:	Ingeniero Químico		
GRADO OBTENIDO:	Tercer Nivel		
FECHA DE PUBLICACIÓN:		No. DE PÁGINAS:	76
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería y tecnología de medio ambiente.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Caracterización de Biogás, digestión anaerobia, biomasas rurales, tren de biodigestores, producción del Biogás		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
Resumen El presente trabajo Caracterización de Biogás producido por la digestión anaerobia de biomasas rurales en un equipo piloto formado por un tren de biodigestores, tuvo como objetivo principal realizar el estudio del arte para la caracterización de Biogás producido por la digestión anaerobia de biomasas rurales en un equipo piloto formado por un tren de biodigestores, se analizaron artículos científicos, tesis doctorales y otras fuentes bibliográficas de diversos autores relacionados a la caracterización del Biogás usando diversos equipos para determinar la composición química y parámetros de producción del Biogás. Se realizó una estructura con un orden secuencia para la selección de la bibliografía que se basó en la calidad metodológica y al cumplimiento con los criterios de calidad científica indagada, fue redactado con coherencia y lógica para mayor análisis de lectura. Los resultados obtenidos de las múltiples literaturas fueron de información científico, que permitió analizar los resultados de las investigaciones de otros autores. Se concluye que se puede abordar la información desarrollada para futuros trabajos como tesis doctoral.			

ADJUNTO PDF:	SI X	NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: Coello Carbo Luis Alfredo Vera Ramírez Kleber Manuel	E-mail: Luis.coelloacar@ug.edu.ec Kleber.verar@ug.edu.ec
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Universidad de Guayaquil – Facultad de Ingeniería Química	
	Teléfono: 04-229-2949	
	E-mail: http://www.fiq.ug.edu.ec/	



ANEXO VI.- CERTIFICADO DEL DOCENTE-TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guayaquil, 20 de octubre de 2020

**Sr. Ing. Bonilla Abarca Luis Alberto MSc.
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL**

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación denominado: "Caracterización de Biogás producido por la digestión anaerobia de biomásas rurales en un equipo piloto formado por un tren de biodigestores" del(los) estudiante (s) Luis Alfredo Coello Carbo y Kleber Manuel Vera Ramírez, indicando que cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que el (los) estudiante (s) está(n) apto(s) para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,

GONZALO IVAN VILLA MANOSALVAS
C.I. 0907348189
FECHA: 11/10/20



ANEXO VII.- CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

Habiendo sido nombrado Gonzalo Iván Villa Manosalvas, tutor del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por Luis Alfredo Coello Carbo, C.C.; 1204365033 y Kleber Manuel Vera Ramírez, C.C.; 0915143531, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO QUÍMICO.

Se informa que el trabajo de titulación: **Caracterización de Biogás producido por la digestión anaerobia de biomásas rurales en un equipo piloto formado por un tren de biodigestores**, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa autoplagio (indicar el nombre del programa antiplagio empleado) quedando el 5% de coincidencia.

urkund

Document Information

Analyzed document	Tesis_Coello-Vera urkund.pdf (D81341750)
Submitted	10/12/2020 4:05:00 AM
Submitted by	Gonzalo Villa Manosalvas
Submitter email	gonzalo.villam@ug.edu.ec
Similarity	5%
Analysis address	gonzalo.villam.ug@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/7013/1/JUAN%20CARLOS%20D... Fetched: 11/2/2019 7:15:29 AM	1
SA	pfg_miguel.pdf Document pfg_miguel.pdf (D79263151)	2
SA	TESIS MIGUEL PELÁEZ.docx Document TESIS MIGUEL PELÁEZ.docx (D64085364)	1
W	URL: https://core.ac.uk/download/pdf/190111857.pdf Fetched: 7/7/2020 9:08:32 PM	1
SA	SALAZAR-TOALA.docx Document SALAZAR-TOALA.docx (D86007467)	3
W	URL: https://www.lamjol.info/index.php/FAREM/article/download/5552/5248 Fetched: 5/1/2020 6:44:11 PM	8

GONZALO IVAN VILLA MANOSALVAS

C.I. 0907348189

FECHA: 11/10/20



ANEXO XII.- DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DE AUTORIZACIÓN DE LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS

Nosotros, Luis Alfredo Coello Carbo, C.C.; 1204365033 y Kleber Manuel Vera Ramírez, C.C.; 0915143531 certificamos que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es **“Caracterización de Biogás producido por la digestión anaerobia de biomásas rurales en un equipo piloto formado por un tren de biodigestores”** son de nuestra absoluta propiedad y responsabilidad, en conformidad al Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN*, autorizamos la utilización de una licencia gratuita intransferible para el uso no comercial de la presente obra a favor de la Universidad de Guayaquil

Luis Alfredo Coello Carbo
C.I. 1204365033

Kleber Manuel Vera Ramírez
C.I. 0915143531

*CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN (Registro Oficial n. 899 - Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos



ANEXO VIII.-INFORME DEL DOCENTE REVISOR



Guayaquil,

Sr. Ing

LUIS ALBERTO ABARCA BONILLA, M.Sc

DIRECTOR (A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Ciudad.-

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la **REVISIÓN FINAL** del Trabajo de Titulación “**Caracterización de Biogás producido por la digestión anaerobia de biomásas rurales en un equipo piloto formado por un tren de biodigestores**” del o de los estudiantes **Coello Carbo Luis Alfredo; Vera Ramírez Kleber Manuel**. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

El título tiene un máximo de 21 palabras.

La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.

El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.

La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.

Los soportes teóricos son de máximo 5 años.

La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

El trabajo es el resultado de una investigación.

El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.

El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.

El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que los estudiantes **Coello Carbo Luis Alfredo; Vera Ramírez Kleber Manuel** están aptos para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ing Sandra Ronquillo

C.I. 0910572866

FECHA: 18 Octubre de 2020

Dedicatoria

Dedico esta tesis en primera instancia a Dios, Padre
Todo poderoso quien con su guía espiritual iluminó mi
camino en seguir mis propósitos de vida profesional
Dedico a mi familia, quien con su apoyo y aliento
constante de todos los días fueron un pilar importante
para este reto en mi vida personal y profesional.

Luis Alfredo Coello Carbo

Dedicatoria

Dedico este trabajo sin lugar a duda a Dios Todo poderoso que, sin su infinita misericordia, no podría haber llevado a cabo este proyecto estudiantil.

A toda mi familia, que siempre me alentaron a no dejar nada inconcluso, dándome las fuerzas y ánimos necesarios para llegar a la meta.

Kleber Manuel Vera Ramírez

Agradecimiento

A Dios, por su misericordia infinita de guiar mis pasos y cuidarme espiritualmente.

Mis gracias infinitas a mi familia, en especial a mi abnegadle, madre quien con sus palabras y empuje positivo me alentaron día a día a cumplir esta meta próspera para mi vida personal, familiar y laboral.

A mi Tutor, el Ing. Gonzalo Villa, quien con sus conocimientos y experiencia fue un puente positivo y esencial para culminar este proyecto investigativo.

Luis Alfredo Coello Carbo

Agradecimiento

Agradezco a Dios por colmarme de sabiduría y paciencia en los momentos más difíciles.

A mi padre Kleber Vera, por ser siempre un ejemplo de lucha y nobleza.

A mi madre Leonor Ramírez, por no desmayar nunca en alentarme a ser mejor persona día a día.

A mi hermana Cristina, por acompañarme y darme animo siempre en todo momento.

A mi esposa Alexandra Buñay y su familia, por ser esa compañera idónea capaz de manejar las situaciones más difíciles.

A mis hijos, motivo por el cual este esfuerzo fue realizado.

Al Ing. Jorge Chacha y su familia, amigos que colaboraron con este proyecto en diversas etapas.

A mi tutor Ing. Gonzalo Villa, por guiarme en el camino de la excelencia y ser parte indiscutible de este logro.

A mis amigos y familiares que siempre estuvieron ahí, pendientes de mis alegrías y fracasos para alentarme siempre.

Kleber Manuel Vera Ramírez

Tabla de contenido

Dedicatoria	I
Agradecimiento	III
Índice de Tablas	VII
Índice de Figuras.....	VII
Índice de Anexos.....	VIII
Índice de abreviaturas	IX
Resumen	X
Abstract	XI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	5
Planteamiento del problema	5
Formulación y sistematización.....	9
Objetivos de la investigación	9
Justificación	10
Hipótesis general o premisa	12
Delimitación	12
Variables de la investigación	12
CAPÍTULO II	13
MARCO REFERENCIAL	13
Antecedentes de la investigación	13
Marco teórico	16
Definición de Biogás	16
Ventajas del Biogás	17
Biomasa.....	17
Digestión anaeróbica	18
Condiciones del proceso anaerobio.....	18
Biodigestores.....	19
Metano.....	20
Emisiones de metano procedente del sistema del manejo del estiércol	21
Marco contextual.....	21
Marco conceptual.....	22

	Marco legal	24
CAPITULO III		26
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		26
Tipo y diseño de investigación		26
Población y muestra		26
Método.....		27
CAPITULO IV.....		30
RESULTADOS DE ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICOS.....		30
Análisis comparativo.....		38
Conclusiones.....		39
Recomendaciones.....		40
Bibliografía		41

Índice de Tablas

Tabla 1 Biogás Resultados obtenidos en el cromatógrafo de gases	32
Tabla 2 Análisis mezcla de Pasto – Pañal con plástico.....	33
Tabla 3 Análisis mezcla de Pasto – Pañal sin plástico	33
Tabla 4 DQO de CH ₄	36

Índice de Figuras

<i>Figura 1</i> Esquema de aplicación del principio de Mariotte	35
<i>Figura 2</i> Medidor Biogás Ga 3000.....	49
<i>Figura 3</i> Medidor Biogás 3000	49
<i>Figura 4</i> Medidor SSMM 6000 Conti y clásico.....	49
<i>Figura 5</i> Medidor AwifLEXCOOL	50
<i>Figura 6</i> Medidor SERIE TG 05, 3, 5, 10, 20, 25, 50	50
<i>Figura 7</i> Medidor MGC-1.....	51
<i>Figura 8</i> Medidor Biogás 5000	51
<i>Figura 9</i> Medidor GA 5000	51
<i>Figura 10</i> Medidor GEM 5000	52
<i>Figura 11</i> Aplicación del Biogás	55
<i>Figura 12</i> Fases digestión anaerobia	56
<i>Figura 13</i> Esquema tren de biodigestores.....	57
<i>Figura 14</i> Tren de Biodigestores	58
<i>Figura 15</i> Biodigestor	58
<i>Figura 16</i> Molino.....	59
<i>Figura 17</i> Dosificador de sustrato.....	59

Índice de Anexos

Anexo 1 Análisis información de antecedentes internacionales	46
Anexo 2 Análisis de información antecedentes nacionales	47
Anexo 3: Análisis de resultados de artículos científicos y tesis usando diversos equipos para determinar la composición química y parámetros de producción del Biogás	48
Anexo 4 Equipos medidores de biogás en el mercado.....	49
Anexo 5 Equipo Propuesto para medir el Biogás	53
Anexo 6 Ficha Técnica de propiedades físicas y químicas del metano (ch ₄).....	54
Anexo 7 Aplicación del Biogás	55
Anexo 8 Fases de la digestión anaerobia.....	56
Anexo 9 Esquema de tren de biodigestores.....	57
Anexo 10 Fotos de tren de biodigestores	58

Índice de abreviaturas

FAO Food and Agriculture Organization

EPA Environmental Protection Agency

PVC Policloruro de vinilo

GEI Gases de efecto invernadero

MW/h Megavatio por hora

CH₄ Metano

SH₂ Ácido sulfhídrico

CH₃COOH Acetatos

H₂ Hidrogeno

CO₂ Dióxido de Carbono

H₂S Sulfuro de Hidrógeno

Tr Tiempo de retención

(pH) Potencial de Hidrógeno



RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“Caracterización de Biogás producido por la digestión anaerobia de biomasa rurales en un equipo piloto formado por un tren de biodigestores”

Autor: Luis Alfredo Coello Carbo, Kleber Manuel Vera Ramírez

Tutor: Ing. Gonzalo Iván Villa Manosalvas

Resumen

El presente trabajo Caracterización de Biogás producido por la digestión anaerobia de biomasa rurales en un equipo piloto formado por un tren de biodigestores, tuvo como objetivo principal realizar el estudio del arte para la caracterización de Biogás producido por la digestión anaerobia de biomasa rurales en un equipo piloto formado por un tren de biodigestores, se analizaron artículos científicos, tesis doctorales y otras fuentes bibliográficas de diversos autores relacionados a la caracterización del Biogás usando diversos equipos para determinar la composición química y parámetros de producción del Biogás. Se realizó una estructura con un orden secuencia para la selección de la bibliografía que se basó en la calidad metodológica y al cumplimiento con los criterios de calidad científica indagada, fue redactado con coherencia y lógica para mayor análisis de lectura. Los resultados obtenidos de las múltiples literaturas fueron de información científico, que permitió analizar los resultados de las investigaciones de otros autores. Se concluye que se puede abordar la información desarrollada para futuros trabajos como tesis doctoral.

Palabras clave: Caracterización de Biogás, digestión anaerobia, biomasa rurales, tren de biodigestores, producción del Biogás



RESUMEN DEL TRABAJO EN TITULACIÓN (INGLES)

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“Caracterización de Biogás producido por la digestión anaerobia de biomasa rurales en un equipo piloto formado por un tren de biodigestores”

Author: Luis Alfredo Coello Carbo, Kleber Manuel Vera Ramírez

Advisor: Ing. Gonzalo Iván Villa Manosalvas

Abstract

The present work Characterization of Biogas produced by the anaerobic digestion of rural biomass in a pilot team formed by a train of biodigesters, had as main objective to carry out the study of art for the characterization of Biogas produced by the anaerobic digestion of rural biomass in a team pilot formed by a train of biodigesters, analyzed scientific articles, doctoral theses and other bibliographic sources from various authors related to the characterization of Biogas using various equipment to determine the chemical composition and production parameters of Biogas. A structure with a sequential order was made for the selection of the bibliography that was based on the methodological quality and compliance with the criteria of scientific quality investigated, it was written with coherence and logic for further reading analysis. The results obtained from the multiple literatures were from scientific information, which allowed us to analyze the results of the investigations of other authors. It is concluded that the information developed for future work can be addressed as a doctoral thesis.

Keywords: Biogas characterization, anaerobic digestion, rural biomass, biodigester train, Biogas production

INTRODUCCIÓN

Según la Organización Internacional de Energía (2011), la demanda energética en el mundo en 2030 podrá alcanzar aproximadamente 15,300 millones de toneladas de petróleo anuales, implicando para los países en desarrollo un 62% de aumento. Igualmente pronostica que para el año 2025, el consumo energético en el mundo en desarrollo aumente a casi el doble. En este marco, el interés de la mayoría es favorecer la energía que provea mayor rentabilidad económica con tecnología conocida y sobre todo que sea de interés nacional.

Sin embargo, la búsqueda de energía para autoabastecerse está en aumento, los gobiernos mantienen una carrera continua para utilizar otros portadores energéticos que ayuden a solventar esta problemática. Hoy día, este desarrollo está motivado por la preocupación en la preservación del entorno natural, la crisis de estos recursos no renovables como el gas o petróleo, los elevados costos sociales y medioambientales asociados a las fuentes convencionales, nucleares y fósiles.

"Se debe considerar seriamente cómo cambiar esta distribución desigual del consumo mundial de energía para enfrentar la disyuntiva de proporcionar una vida digna a los ciudadanos, al igual que proteger el clima y ecosistemas" (Steinberger,2020). Esta premisa es básica para el desarrollo económico, productivo, la salud ambiental y humana partiendo de una gestión eficaz, más participación comunitaria para lograr un modo de vida ecológicamente más favorable. Donde, las energías convencionales asumen un rol central en la transición hacia una economía verde, con baja intensidad de carbono, uso racional de los bienes naturales e inclusión social (Gallopín y otros, 1997).

En Ecuador, existe una alta dependencia energética de la electricidad y combustibles fósiles importados afectando la balanza comercial nacional porque el país no posee una capacidad suficiente para refinar, en consecuencia, importa grandes volúmenes de derivados (Carvajal y Soria, 2019). A nivel gubernamental el plan de desarrollo energético se ha orientado a la explotación minera, petróleo y la construcción masificada de hidroeléctricas a nivel nacional, minimizando otros proyectos que también generan energía y que, por la falta de leyes, técnicas inadecuadas y bajos recursos económicos no cumple con las expectativas locales para el consumo.

Esta investigación resalta la importancia del Biogás como una alternativa viable para invertir en su producción a través de la digestión anaerobia de biomasas rurales y la posibilidad de instalar biodigestores para aprovechar esta fuente de materia prima en gas para el consumo del hogar, generar electricidad, calor y abono a gran escala para ser usado en la agricultura nacional. Uno de los principales problemas arraigado al incremento de la población en nuestra sociedad, es la generación de desechos orgánicos e inorgánicos y la falta de tecnologías para su respectivo tratamiento y disposición final.

Es necesario una transición energética que conlleve a cambiar los combustibles de carácter fósil a otras fuentes mediante la búsqueda de nuevas alternativas y menor costo. "El biogás y el biometano pueden desempeñar un papel importante en un futuro de energía sostenible, pero por el momento estamos perdiendo esta oportunidad de reducir los desechos y las emisiones" (International Energy Agency, 2020), desperdiciando su transformación mediante métodos térmicos y biológicos.

Actualmente existen pocas instalaciones productoras de biogás en el país, aún predominan los proyectos familiares. De acuerdo a Pazmiño (2016) se pueden citar:

en Cotachachi dos (2), en San Miguel de Los Bancos uno (1), y tres (3), están en proyecto de construcción, en Archidona en la comunidad de Cotundo uno (1), en Francisco de Orellana en la población de Dayuma dos (2). En la provincia de Guayas en: El Empalme dos (2), en Esmeraldas en el cantón Río Verde de la parroquia Montalvo diez (10), distribuidos en tres comunidades, en Atuntaqui en el sector conocido como Natabuela existe uno (1) instalado y seis (6), en proyecto de construcción en Pacto dentro de la comunidad El Paraíso existe uno (1), en el Quinche uno (1), en la provincia de Napo en la población Cuyuja dos (2), y en la provincia de Cotopaxi uno (1).

Las características y cantidad del biogás dependerán del material orgánico con que se alimenta el biodigestor. En zonas rurales cuya actividad económica está basada en la agricultura y ganadería, podría bien usarse los residuos orgánicos producto de las cosechas y excremento animal, pero, al utilizar toda esta gran variedad de productos, sería necesaria la implementación de biodigestores con mayor capacidad y tecnología para el aseguramiento del gas. Representan un sistema ecológico que disminuye la contaminación potencial de los excrementos.

La caracterización del biogás está dada por la composición química de éste en proporciones que pueden variar de acuerdo a la biomasa digerida y el control de parámetros como, la temperatura y el Ph. La composición del biogás es una mezcla gaseosa conformado principalmente por Dióxido de Carbono (CO_2) y Metano (CH_4) que en teoría este último debe estar en una concentración superior al 45% para que el biogás pueda ser utilizado de una manera directa sin ningún tipo de tratamiento previo.

Existen métodos no convencionales para la caracterización del biogás, uno de ellos es la medición por columnas de desplazamiento, empleando el “Principio de

Mariotte”, el cual consiste en el desplazamiento de un líquido por acción de la presión que ejerce el gas generado.

En el caso de que nuestro biogás tenga una concentración relativamente baja de Metano en su composición, se utiliza la “Botella de Mariotte”, equipo que utiliza Hidróxido de Sodio (NaOH) al 32%; cuando el biogás es puesto en contacto con la solución de Hidróxido de Sodio el Dióxido de Carbono (CO₂) pasa a transformarse en Carbonatos, quedando en forma gaseosa solo el Metano (CH₄), este desplazara su propio volumen en líquido, el mismo que puede ser medido al final por peso o por medio de un cilindro graduado.

También existen en el mercador variedad de equipos tanto fijos como de campo o portátiles que dan lectura de la composición química del biogás generado, también nos brindan datos del proceso como son temperatura, Ph y presión, indispensable para este tipo de estudios.

CAPÍTULO I

Planteamiento del problema

Actualmente, existe una desigualdad en el sistema energético mundial, es decir, un marcado desequilibrio del consumo, una pobreza energética entre hogares con diferente poder adquisitivo: EE. UU, Canadá, Australia y estados miembros de la Unión Europea consumen más energía que países situados al sur. Es decir, un tercio, consume dos tercios de esta. El 10% más rico, genera el 50% en emisiones de gases invernadero por persona. (Asociación de Ciencias Ambientales, 2014)

Los grandes consumidores a menudo no poseen recursos fósiles, consecuentemente deben comprarlos. Mientras que, las naciones productoras son menos consumistas, y tienen mayor concentración poblacional. En 2019, la producción de electricidad renovable aumentó un 6%, las tecnologías eólicas y solar fotovoltaicas juntas representaron el 64% de este aumento. Aunque esta proporción de alcanzó casi el 27%, esta energía en su conjunto aún debe expandirse significativamente para cumplir con la proporción de SDS de casi la mitad de la generación para 2030. (Organización Internacional de Energía, 2020).

Ante este escenario, se ha venido planteando el biogás como una alternativa debido a sus beneficios en la energía, transporte, agricultura y medio ambiente. Hoy día, las actividades económicas, industriales y sociales producen cantidades cada vez mayores de desechos orgánicos, tales como residuos agrícolas, desechos de alimentos y estiércol animal, que se pueden utilizar para producir biogás, fuentes de energía limpia con múltiples beneficios potenciales para el desarrollo sostenible. Ofrece una fuente local de energía, calor y un combustible de cocina limpio para los hogares.

También existen co-beneficios potenciales en términos de productividad agrícola (como resultado del uso del "digestato" residual de los biodigestores como fertilizante) y la reducción de la deforestación. El biogás y el biometano también proporcionan una forma de integrar las comunidades e industrias rurales en la transformación del sector energético. Al convertir los desechos orgánicos en un recurso de energía renovable, la producción de biogás o biometano ofrece una ventana a un mundo en el que los recursos se utilizan y reutilizan continuamente, y en el que se puede satisfacer la creciente demanda de servicios energéticos al tiempo que se obtienen beneficios ambientales más amplios.

Afirma la Agencia Internacional de Energía que la producción de biogás "en 2018 fue aproximadamente 35 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), solo una fracción del potencial general estimado. Su plena utilización podría cubrir alrededor del 20% de la demanda gasífera mundial". Además, la región Asia-Pacífico aparece con la mayor capacidad de desarrollo, seguidas de Europa, África, América del Norte y Sur (Informe especial World Energy Outlook, 2020).

Sobresale Dinamarca como el país con la mayor planta experimental Lemvig Biogás desde 1992, genera electricidad y calor del estiércol líquido distribuido aproximadamente por 75 plantaciones agrícolas, desechos y productos residuales de origen industrial (Uriarte, 2017). Estados Unidos, Canadá y España poseen una industria de generación de biogás madura, la que se ha extendido a operaciones cada vez más pequeñas. Al respecto es importante destacar que, la empresa española Biogastur transforma los desechos de aguas residuales, alimentos o animales para convertirlo en fertilizante natural y energías térmica y eléctrica, planea llegar a producir hasta 4,5 megavatios de electricidad, lo que equivaldría al abastecimiento de dos mil hogares. (Banesco, 2018).

A nivel regional, destaca la Red de Biodigestores para Latinoamérica y el Caribe (RedBioLAC, 2020); esta reúne las organizaciones que investigan y difunden la biodigestión anaeróbica promoviendo el tratamiento integral y manejo de los residuos orgánicos, como estrategia para mejorar el bienestar regional. Resaltan las experiencias exitosas de Chile, Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Colombia, Perú, Brasil, México y Argentina en la implementación de tecnologías para generar biogás en operaciones agroindustriales pequeñas y medianas. (Ortiz, Cabezas y Córdova, 2018).

En el caso de Brasil, los desechos animales, que contaminan el suelo y ríos, se van convirtiendo en un subproducto importante al suroeste del país, donde la cría porcina y avícola registró una fuerte expansión en las últimas décadas. El biometano, combustible derivado del biogás y que sustituye el gas natural, es usado en vehículos de Itaipú Binacional, la gigantesca central hidroeléctrica compartida con Paraguay en el fronterizo río Paraná. (Osava, 2020).

En Chile un vertedero genera 2 MW/h con los sistemas de limpieza de biogás perteneciente a Dimí Water Solución provee una capacidad de tratamiento de 1.000 Nm³/h, para generar 2 MW/h de potencia eléctrica. (Retema, 2017). La práctica en estos países ha demostrado que es posible crear un modelo de desarrollo de biogás a menor escala, operado por pequeños y medianos productores agrícolas, forjando una industria más amigable con el medio ambiente y que resulte rentable debido a los ahorros producidos en el uso de energía y fertilizantes.

Si bien a nivel internacional esta es una tecnología que muestra importantes desarrollos en términos de generación y uso de biogás en el sector agropecuario, en Ecuador aún es una industria incipiente, que muestra gran diversidad en

tecnologías, dimensión, diversidad de sustratos orgánicos, modelos de uso de biogás, entre otros.

A nivel nacional, las zonas rurales son fuente inagotable de Biomasa provenientes de diferentes plantaciones e industrias, asociadas a la actividad agrícola, forestal y pecuaria de cuyos desechos se puede obtener suficiente material orgánico, con el fin de obtener energías limpias y renovables. El aprovechamiento de este recurso dependerá de toda la información recopilada por estudios y/o censos, para obtener la localización y cantidad de este recurso explotable.

Ecuador cuenta con tres sectores de alto potencia bioenergética. El agrícola con desechos orgánicos provenientes de las plantaciones de cacao, café, plátanos, mangos, palma africana, maíz, palmito, piña, caña de azúcar, arroz, piñón, florícola, entre otros. Seguido del sector pecuario, en el cual están enmarcadas las actividades vacunas, porcinas, avícolas y desde unas décadas atrás actividades de acuicultura como cría y pesca de Tilapias y camarones. Y como último sector el forestal, el cual genera biomasa proveniente de aserraderos, y talleres de ebanistería, entre otros.

En el país se producen semanalmente 58,829 Ton de residuos sólidos, apenas el 20% se reutiliza adecuadamente. A nivel municipal, se estima un 45,5% de recicladores informales y se estima que el total de reciclaje (formal e informal) es del 14% (Solís, 2015). Sobre esta figura, podemos desarrollar nuevas tecnologías y métodos de aprovechamiento energético de estos recursos, para reemplazar total o parcialmente los combustibles fósiles, reduciendo emisiones de gases invernadero; cantidad material orgánico sin tratar que contaminan ríos, suelos y aire.

Una de las tecnologías para el aprovechamiento que actualmente se estudia, es la transformación por procesos de digestión anaerobia en desechos orgánicos. La

producción de biogás está limitada por la calidad del sustrato, temperatura y acidez que se pueda controlar en el proceso de obtención del mismo, determinando así la actividad metano génica. Este proceso biológico produce un gas rico en metano (CH_4), Dióxido de Carbono (CO_2), ácido sulfhídrico (SH_2), nitrógeno e hidrogeno. De todos estos componentes solo el metano es de interés por la cantidad presente y su alto potencial calórico comparable al de combustibles fósiles. Es por esto, la necesidad de desarrollar un estudio para establecer una línea base en cuanto al estado en que se encuentran las tecnologías de digestión anaeróbica con un enfoque estratégico, tecnológico y comercial.

Formulación y sistematización

¿El conocer qué métodos y equipos son los adecuados para la caracterización de biogás producido por la digestión anaerobia de biomasas rurales, ayuda a la utilización e implementación de este tipo de tecnologías en el país?

Objetivos de la investigación

Objetivo general:

Manejar las opciones que nos ofrece las tecnologías de punta, así como la utilización de equipos de bajo costo para la correcta caracterización del biogás tanto en flujo cuanto, en concentración y calidad, va a permitir hacer viable la implementación de proyectos utilizando biomasas rurales para la generación de energías alternativas en el país.

Objetivos específicos:

- Presentar las diferentes metodologías empleadas para la caracterización del Biogás a partir de la co-digestión de biomasas rurales en la República del Ecuador.
- Identificar las metodologías viables para ser implementadas en zonas rurales que permitan caracterizar el biogás producido in situ.
- Desarrollar un equipo de bajo costo para la caracterización de biogás que pueda ser implementado en un equipo piloto formado por un tren de biodigestores para la co-digestión anaerobia de biomasas rurales.

Justificación

Justificación teórica

Con el presente estudio se pretende comparar las diferentes metodologías aplicadas para la caracterización del biogás y el tratamiento de residuos orgánicos rurales en equipos digestores anaeróbicos. de esta forma se va a poder llevar la contabilidad de la producción de biogás, así como su calidad, entonces se puede llegar a suplir las necesidades energéticas de los productores agrícolas, fomentar modelos colaborativos comunitarios, el desarrollo de habilidades, y promoción a menor escala hacia la generación de biogás en pequeños espacios agrícolas. Además de apoyar la habilitación, adquisición e implementación de digestores anaeróbicos, considerando además todas las ventajas que se obtienen del proceso, ya sean ambientales, agrícolas y económicos. Igualmente servirá como referente bibliográfico para próximas investigaciones relacionadas con el tema.

Justificación metodológica

Las áreas de enfoque clave es el papel que pueden desempeñar los biodigestores en la transformación del sistema energético nacional, el análisis de oportunidades, posibles obstáculos, la intervención del estado y la industria para respaldar el crecimiento sostenible en este sector. Igualmente, al analizar el surgimiento de áreas tecnológicas emergentes, se identificarán experiencias asociadas con métodos alternativos para el procesamiento de biomasa, nuevas técnicas para la producción y caracterización del biogás producido mediante digestión anaeróbica y métodos para la obtención de fertilizantes a partir de estos procesos.

Justificación social

Desde el punto de vista social muestra un avance significativo asociado con el desarrollo de innovaciones, el biogás como una alternativa de energía limpia para la actividad agropecuaria, su obtención y caracterización mediante residuos orgánicos proporcionando energía a bajo costo, además de ingresos adicionales, oportunidades laborales, y protección ambiental, minimizando los gases atmosféricos contaminantes.

Justificación práctica

Hoy día, las fuentes fósiles contribuyen al calentamiento global y cambio climático, sus emanaciones pueden regularse implementando bioenergía, producida por biodigestores como herramientas para alimentar calderas y generar electricidad. Promoviendo un mayor desarrollo económico, una eficaz caracterización del biogás puede dar, impulso a este mercado, lo que producirá mejoras ecológicas, además recuperar superficies rurales degradadas.

Hipótesis general o premisa

Ofrecer a la literatura técnica nacional opciones viables y autosustentables para la caracterización del biogás producido en comunidades rurales in situ, que generen sustantivas mejoras tanto en la gestión medioambiental de la biomasa rural cuanto en las ventajas que ofrecen las tecnologías limpias.

Delimitación

Este trabajo investigativo tiene una duración de 3 meses. La delimitación por búsqueda o términos con palabras claves incluyendo un 30% de fuentes bibliográficas de hasta 9 años atrás y la diferencia de los últimos 5 años siguiendo las normativas y guía de la Universidad, así mismo haciendo uso de herramientas tecnológicas, buscadores académicos en la web, repositorios virtuales de diversas Universidades a nivel nacional como internacional.

Variables de la investigación

Variable independiente: Caracterización de Biogás

Es la medición del flujo y composición del gas, siendo el metano el de mayor interés de estudio, nos ayuda a saber con qué cantidad de gas metano se cuenta para su aprovechamiento en energía renovable.

Variable dependiente: Digestión anaerobia de biomasa rural

Es el tratamiento de desechos orgánicos provenientes de zonas urbanas y rurales de un país, sean de origen vegetal y/o animal, para el aprovechamiento de su proceso de digestión llevado a cabo en reactores inoculados con microorganismos capaces de degradar estos desechos evitando la emisión de gases de efecto invernadero y su posterior aprovechamiento como fuente energética.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

Antecedentes de la investigación

A nivel internacional

En cuanto a los antecedentes internacionales el autor (Ruiz,2020) diseñó un biodigestor para generar energía a partir del estiércol de ganado vacuno en una vivienda rural en el CC.PP. Las Canteras del Distrito de Pátapo – Chiclayo – Lambayeque. Su objetivo general fue diseñar un sistema de producción de biogás para uso domiciliario. El Tipo de Investigación fue: no experimental, prospectivo, transversal. La muestra fue la cantidad de excremento producido por 10 vacas. Obtuvo una producción diaria=314,0 kg/día; PH=7,3; materia seca= 6% y potencial= 0,55 m³/día. Concluye que con este procedimiento logró reutilizar los residuos y compensar las necesidades energéticas de electricidad reflejada en el consumo 1,10 kW-h/día y para cocinar de 0,30 m³/día.

(Reyes, 2016) investigó sobre la Producción de biogás a partir de Biomasa. El fin fue evaluar su obtención del pasto estrella *Cynodon plectostachyus* K. Schum, según parámetros característicos de funcionamiento mediante digestión anaerobia no controlada y el método de balance por secado en hornos. Metodología cuantitativa, exploratoria, descriptiva; muestra probabilística. Utilizando una guía estructurada, hornos eléctricos, balanzas analíticas, termómetros, phachímetros.

Revelando que es un excelente sustrato considerando estándares adecuados, el biodigestor debe ser construido con características físicas y técnicas apropiadas; además puede el proceso utilizando biomásas rurales aprovechando las

condiciones climáticas tropicales, sintetizando, a mayor temperatura, se acelera su degradación y disminuye el volumen estructural demandado por este sistema.

(Bernal y Quintero, 2016) desarrollaron una propuesta para mejorar un biodigestor anaerobio convencional a escala banco con residuos bovinos y lodos en la finca El Recodo de Tabio, Cundinamarca. El objetivo fue mejorar el sistema de digestión, aumentar la eficiencia de producción del biogás y el tiempo operativo. Construyeron dos sistemas, uno convencional y otro experimental con un recubrimiento en espuma de poliuretano material resistente térmicamente y económico. Las pruebas demostraron que el metano producido fue levemente mayor en el prototipo (5% aproximadamente), posiblemente a una temperatura estable.

2.2.2 A nivel nacional

En relación a los antecedentes nacionales, (Mendieta, 2020) evaluó la producción de biogás a partir de la cascarilla de arroz con diferentes concentraciones (10, 30, 50, 75, 100, 150) mg/L de zinc. Se realizó a escala de laboratorio, utilizando como inóculo estiércol bovino que se maduró durante 3 meses a 35 °C. El sustrato fue sometido a una reducción de tamaño de partícula a valores $\leq 150\mu\text{m}$, en un proceso de adsorción a partir de ZnCl_2 para añadir Zn^{+2} al sustrato con diferentes concentraciones. La relación inóculo-sustrato fue 3:1, incubada a 39 °C a baño maría por 63 días. Los resultados indican que la cascarilla de arroz libre de zinc presenta el mejor proceso metanogénico, obteniendo 15.52 L/g SV de biogás. La metanogénesis, se ve afectada por concentraciones superiores a 70 mg/L. Las inhibiciones se produjeron cuando presentó concentraciones de 100 y 150 mg/L de zinc al día 58 y 51, respectivamente.

(Guamanquispe y Perdomo, 2018) realizaron una propuesta tecnológica sobre la Implementación de un biodigestor para generar biogás del excremento de gallina en la granja avícola Aves del Cotopaxi. Para ello, realizaron un levantamiento de información sobre su potencial en el galpón número 5, el mismo que se encuentra dividido en 4 naves que albergan 2000 gallinas cada una, de la cual se seleccionó 1kg, para su respectiva caracterización, obteniendo en su composición un 33,66% de sólidos totales y una relación de C/N de 23:1, que permitió establecer una cuantificación de 25 kg de gallinaza diaria para abastecer el biodigestor flexible, tipo tubular, 1,50 m de diámetro y 5,50 m de longitud con un volumen total igual a 9,72 m³.

Con los datos obtenidos en el medidor de gases y mediante el análisis de ecuaciones, se obtiene un volumen de producción diaria de 2,65m³ de biogás, para ser adaptado al sistema de calefacción, en el galpón de crianza número 4, cabe destacar que el biogás producido posee un poder calorífico superior = 7719,57 [kcal/m³], y un poder calorífico inferior= 2623,29 [kcal/m³], a una temperatura de 20°C, el análisis fue con un cromatógrafo de gases bajo la norma ASTM D 1945-03 (2010), de esta manera se obtiene un mejor tratamiento de la excreta y una buena disposición de la biomasa en la granja avícola Aves del Cotopaxi.

(Pazmiño, 2016) estudio sobre los Biodigestores una solución energética para la población Rural. Uso del biogás en un caso de estudio. Para ello recurrió a fuentes académicas y bibliográficas sobre instalación y uso de biodigestores en la región y otros países que sirvieron de apoyo para abstraer las experiencias con el uso de biodigestores para obtener biogás que es el combustible que se transforma en energía térmica y permite la cocción de alimentos. Se pudo evidenciar que el uso de biodigestores en la Parroquia Peñaherrera permitió la oportunidad de diversificar el

aprovisionamiento energético local. Además, cabe señalar que a pesar de que su aplicabilidad es puntual y orientado a un sector muy pequeño, el nivel de satisfacción y la utilidad del biogás contribuyó a mejorar la situación social, ambiental y económica de la localidad.

Marco teórico

Estado del arte

Es una técnica recursiva que sirve para recopilar y analizar diversas investigaciones provenientes de múltiples fuentes bibliográficas con el aval de autores que han expuesto estudios, se inicia con la respectiva recopilación y búsqueda de información, es decir con la fase heurística donde se busca y compila la información para luego ser seleccionada y analizada y seguido de la fase hermenéutica donde se sistematiza la información.

Definición de Biogás

La FAO (2013) lo define como un gas producido por bacterias durante la biodegradación del material orgánico en condiciones anaerobias. Para su producción se puede utilizar cualquier estiércol: vaca, cerdo, cabra, aves e incluso desechos humanos (Rodríguez, 2013). Como derivado de la fermentación anaerobia biomásica, es incoloro, inflamable, compuesto por: 60% metano, 40% dióxido de carbono, Nitrógeno, Hidrógeno, y ácido sulfhídrico; poder calorífico: 4400 Kcal/m³ (Guzmán, 2008).

Ventajas del Biogás

- Su obtención es renovable.
- La producción determina un balance de carbono positivo menos contaminante que el combustible fósil.
- Cumple los requerimientos de la EPA (Environmental Protection Agency) como biodiesel.
- Puede emplearse puro o mezclado con hidrocarburos. No tiene azufre, ni genera emanación de este elemento.
- Produce una mejor combustión, reduce el humo.
- Su derrame en las aguas resulta menos contaminantes y letal para el ecosistema.
- Es biodegradable, se degrada más rápido que los petro combustibles
- Durante la combustión difunde menos elementos nocivos reduciendo así las posibilidades de producir cáncer.
- Ocasiona menor irritación a la epidermis.
- Prolonga el vencimiento de los motores actuando como lubricante.
- Su transporte y almacenamiento resulta más seguro en comparación con el petróleo fósil porque tiene un punto de ignición mayor (Cabrera, 2011)

Biomasa

Es cualquier tipo de materia orgánica originada en un proceso biológico, por ejemplo: madera, desechos agrícolas y estiércol animal; pueden convertirse en energía mediante procesos bioquímicos o termoquímicos (Posso, 2002). Se clasifican en: natural, producidos espontáneamente; bosques, matorrales, hierbazales, entre otros; residual, obtenida de actividades agrícolas, ganaderas,

forestales, plantaciones energéticas o cultivos energéticos como la caña de azúcar, maíz, palma para producir combustibles (FAO, 2013).

Digestión anaeróbica

Convierte la materia orgánica en metano y otros gases, dependiendo de la materia seleccionada, cantidad adicionada al sistema y condiciones psicométricas del aire internas; se ha podido establecer experimentalmente que usando elementos altamente biodegradables es posible obtener 0.5 m³ por Kg de masa, con un 70% en CH₄ (Guzmán, 2008).

La fermentación anaeróbica se produce cuando las bacterias fermentan el material orgánico en ausencia de aire y producen biogás (Guevara, 1996). Tienes tres fases: la primera, hidrólisis, donde las bacterias fermentativas o acidogénicas hidrolizan los polímeros convirtiéndolos en ácidos orgánicos solubles; segunda, acidificación, las bacterias acetogénicas causan una metabolización de los ácidos orgánicos en acetatos (CH₃COOH), Dihidrógenos (H₂) y Dióxido de Carbono(CO₂); y la tercera, metanización, las proteínas, hidratos de carbono y grasa, aminoácidos, alcoholes y ácidos grasos formados anteriormente, generan metano, bióxido de carbono y amoníaco. Es aquí donde el material fermentado se vuelve más líquido. (Guevara, 1996).

Condiciones del proceso anaerobio

Es necesario las siguientes características (Guevara, 1996)

- **pH:** Determina la inhibición o toxicidad de las bacterias metanogénicas, cuando es inferior a 6.0. El apropiado es entre 6.5 y 7.5.
- **Temperatura:** Existen tres ambientes anaeróbicos. Se recomiendan los siguientes rangos: 0 – 20 °C (psicrofílico); 20 – 45 °C; (mesofílico); y 45 – 97 °C (termofílico).

- **Tiempo de retención (Tr):** Es el periodo que permanece la materia orgánica dentro del sistema para degradarse. Está directamente relacionado con la temperatura ambiente y en condiciones óptimas, a 30 °C, es 20 días.
- **Relación C/N:** Debe ser entre 20:1 y 30:1
- **Amoniaco:** Su nivel óptimo es inferior a 2000 mg/l.

Biodigestores

Son plantas productoras, recintos o tanques cerrados donde la materia orgánica y el agua residual permanecen un tiempo para lograr su descomposición produciendo biogás y bioabono (Ramón, 2006). Clasificados en tres tipos principales, (Hilbert, 2003)

- **La planta con cúpula o campana flotante:** construido en mampostería o concreto con un depósito de gas móvil que puede flotar directamente en la masa de fermentación o anillo de agua. Debe tener una guía que permita el movimiento vertical, cuya altura dependerá del biodiesel almacenado (Vargas, 1992). Llamado biodigestor indio, utilizado cuando se necesita un abastecimiento continuo de biogás y fertilizante, funciona como depósito interior (Olaya, 2006). Ventajas: la mampostería tiene una larga vida útil, si es concreto, deberá protegerlo a la corrosión; presión de gas constante; y fácil manejo. Desventajas: construcción costosa; mayormente, es metálica y está sujeta a oxidación, su protección requiere mantenimiento periódico, incrementando los costes operativos (Hilbert, 2003).
- **La planta con cúpula o campana fija:** fabricado en mampostería y un domo fijo e inmóvil cerrado para almacenar el biocombustible. Durante la producción del gas, la masa de fermentación es desplazada hacia el tanque de compensación y

cuando se extrae, regresando al biodigestor; mediante constantes oscilaciones se evita la formación de capa flotante (Vargas, 1992). Conocido también como biodigestor chino, el gas debe ser liberado continuamente para reducir la presión interna, ampliamente utilizado en instalaciones donde el consumo es continuo o almacenan el biogás en un depósito aparte. Ventajas, tiene vida útil aproximadamente 20 años; no posee partes móviles o metálicas que puedan oxidarse; fabricación subterránea, protegiéndolo contra bajas temperaturas (Hilbert, 2003). Desventajas; presión de gas inconstante; puede ser muy alta.

- **La planta balón o biodigestor tubular:** se compone de un tubular en material plástico (polietileno, PVC, plastilona o combinados) completamente sellado, su entrada y salida están sujetas directamente a las paredes interiores. La parte inferior, constituye el 75% de la masa de fermentación, y la superior, el 25% restante, donde se almacena el biogás. Recomendado para zonas donde predominan las temperaturas altas y constantes (Vargas, 1992). Ventajas: los materiales son de fácil transporte; instalación sencilla; apropiado en sitios con nivel freático alto, menos costoso. Desventajas, baja presión de gas; durabilidad corta, entre 3 y 8 años, según el material; debe protegerse del sol; porque el plástico está sujeto a daños, siendo necesario encerrar el área adyacente.

Metano

Este gas con efecto invernadero presenta un potencial de calentamiento aproximadamente 21 veces superior al CO₂ (Moss y otros, (2000) citado por Guzmán y Sager (2013). Las toneladas de residuos orgánicos generados anualmente por la agroindustria pueden aprovecharse como materia prima para su producción. Es importante realizar pruebas de biodegradabilidad y del potencial bioquímico.

Emisiones de metano procedente del sistema del manejo del estiércol

Las actividades agropecuarias contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), siendo los rumiantes quienes aportan naturalmente a esta acumulación, mediante la fermentación ruminal y descomposición anaeróbica de sus excrementos (Lassey (2008) citado por Guzmán y Sager (2013). La alimentación influye en la producción del mismo globalmente, los países con pocas limitaciones alimentarias para sus ganados, reportan menos emisiones y mayor eficiencia energética (Kinsman y otros (1995) citado por Guzmán y Sager (2013).

De acuerdo a Groenestein (2019), el sistema de gestión del estiércol, cantidad y la categorización por animal produce metano y óxido nitroso. El primero por la descomposición anaeróbica de las heces, el segundo forma parte del ciclo del nitrógeno en el excremento y orina del ganado. (Berra, et al., 2009). Los mismos autores indican que en sistemas anaeróbicos líquidos (lagunas, tanques o fosas), esta descomposición produce metano. En forma sólida (almacenamiento por pilas) o depositado sobre las pasturas y campos naturales, tiende a descomponerse aeróbicamente produciendo muy poca mezcla o nada; la temperatura y humedad también influyen en el desarrollo bacterial responsables de su formación.

Marco contextual

Este trabajo de investigación se enfoca en los desperdicios orgánicos provenientes de la zona rural de la Provincia del Guayas. Así mismo se logrará separar el metano del biogás generado en un tren de biodigestores, luego se caracterizará y cuantificará calidad del biogás generado. En Ecuador según INEC (2014) existen aproximadamente 4.5 millones de cabezas de ganado, teniendo mayor peso de producción las provincias de Guayas, Manabí y Azuay, las cuales representan el

36% del total a nivel nacional, eso quiere decir que tenemos una meca importante de abastecimiento de Estiércol proveniente de dicha actividad.

Según estudios que se llevaron a cabo en las Provincias de Pichincha y Azuay donde utilizan los residuos orgánicos provenientes de actividades agrícolas y urbanas para la obtención de biogás y su posterior transformación en electricidad. Igualmente, en el 2014 el relleno sanitario de Huascachaca, del Cantón Santa Isabel de Azuay, generó 40 m³/h de biogás a partir de 7300 ton de desechos (Durazno, 2018).

Es preciso conocer el tratamiento de excretas utilizando biodigestores en las comunidades rurales e informar sobre sus beneficios. Constituyen una técnica sencilla para implementar con materiales económicos, su aplicación en poblados aislados y países subdesarrollados puede solventar la problemática energética-ambiental, también realizar un adecuado manejo de residuos tanto humanos como animales.

Marco conceptual

Biomasa

Materia orgánica, originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía renovable, es consumida a ritmos inferiores o iguales al producido.

Digestión anaerobia

Proceso biológico en ausencia de Oxígeno, donde por la acción microbiana se da la biometanización o producción de biogás. La materia orgánica se degrada en componentes más sencillos.

Biogás

Mezcla, producto de la digestión anaerobia de material de desecho orgánico: metano (CH_4), Dióxido de Carbono (CO_2), Hidrógeno (H_2), Nitrógeno (N_2), Oxígeno (O_2) y Sulfuro de Hidrógeno (H_2S).

Biodigestor

Equipo hermético en forma de tanque, generalmente construido con acero inoxidable donde se colocan residuos orgánicos para su posterior tratamiento microbiano.

Metano

Gas incoloro, inodoro, no tóxico, llamado también gas de pantano, por producirse descomposición de materia orgánica en fangos, pantanos, ciénagas, entre otros. De uso en la industria como combustible.

Biocombustibles

Son combustibles producidos a partir de biomásas agrícolas, forestales, porciones biodegradables de desperdicios industriales y municipales. Pueden ser utilizados en el transporte o calefacción; (Dufey, 2006)

Temperatura.

Magnitud de calor que genera o emite un cuerpo, según percepción si emite mucha temperatura se define como calor y si emite poca temperatura se define como frío.

Potencial de Hidrogeno (pH).

Indica la acidez o alcalinidad, esta concentración de Hidrógeno se puede interpretar según escala: acidez (de 0 a 6,99), neutro (7) y alcalino (de 7,01 a 14).

Bioenergía.

Es una energía obtenida al liberar o transformar la energía almacenada en materias orgánicas por procesos biológicos o mecánicos, aprovechándola a nivel industrial y/o doméstico.

Sustrato.

Materia orgánica que sirve de alimento para un biodigestor, puede ser de origen animal o vegetal

Marco legal

El gobierno ecuatoriano apoya los proyectos de generación de energía eléctrica que utilizan los recursos renovables. Este interés está expresado en varios instrumentos jurídicos vigentes. El artículo 15 de La Constitución Nacional (2008) promueve "el uso de tecnologías limpias, energías alternativas no contaminantes y bajo impacto". (p.5), para reducir los efectos ambientales negativos mediante mejoras significativas en la eficiencia energética, uso sostenible y protección.

También, el Art. 413 incentiva a la búsqueda de alternativas para diversificar las fuentes energéticas y reducción del consumo de, pero combustibles y el artículo 414 dispone que corresponde al Estado la adopción de medidas apropiadas para minimizar amenazas climáticas, limitar emisiones de gases invernadero, deforestación, contaminación atmosférica; conservación de los bosques, vegetación, y protección ciudadana.

Igualmente, la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (2015) menciona, "es imperativo construir una red económica, ecológicamente equilibrada, incrementando las energías limpias y renovables como la eólica, biomasa, biogás,

fotovoltaica, geotérmica, mareomotriz e hidroeléctrica" (p.2). Así mismo, el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables debe gestionar los fondos provenientes del Presupuesto General Estad y diseñar proyectos de electrificación especialmente en zonas aisladas para favorecer las áreas menos desarrolladas y lograr un progreso armónico regional.

La mencionada Ley cita dentro de los objetivos específicos "Desarrollar la energización rural y mecanismos de promoción, aprovechando técnica y económicamente estos recursos energéticos, enfatizando las fuentes renovables. Respeto a la biomasa tendrá preeminencia los residuos sólidos". Dentro de las disposiciones generales, la cuarta disposición garantiza "la implementación de proyectos eléctricos alternativos en comunidades indígenas y rurales de difícil acceso" (p.27). Este apoyo institucional es imprescindible para desarrollar estas experiencias lo que permitirá el crecimiento de los biodigestores en la zona rural.

Así mismo, el Artículo 53 dice: "El plan identificará los programas de expansión y mejoras en generación, transmisión, distribución y energización en áreas aisladas". (p.18), garantizando que se incremente la cobertura progresivamente. La conservación del uso del biogás y de los biodigestores locales es necesario contar con el apoyo económico del gobierno para contratar personal calificado que se encargue del mantenimiento y asesoramiento técnico.

Es urgente la intervención de las instituciones gubernamentales, que apoyen la creación de políticas sobre los biodigestores para innovar las técnicas utilizadas. Al igual que crear leyes que incluyan al biogás como una fuente de energía que ayuda al progreso energético de los sectores rurales pobres, además planes de desarrollo económico rural para mejorar el bienestar social.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Tipo y diseño de investigación

Se estableció de tipo descriptiva en donde el autor Arias (2012) define es aquella que sirve para describir las características o particularidades de un fenómeno o población en estudio. Este permitió describir la información de cada una de las fuentes recopiladas relacionadas al tema de estudio.

También se consideró la investigación del estado del arte que se trata de una investigación documental basada en la recopilación de estudios, trabajos previos de otros autores con una búsqueda de mayor profundidad relacionadas al tema a investigarse.

El método histórico se define a partir de la lectura y análisis de artículos científicos, identificando las variables que definen la caracterización del Biogás usando diversos equipos para determinar el flujo, la composición química y parámetros para la producción del Biogás.

Población y muestra

Población

La población está compuesta por todas aquellas investigaciones que tratan sobre la caracterización de Biogás producido por la digestión anaerobia de biomasas rurales, y la selección de las metodologías más apropiadas para su implementación en un equipo piloto formado por un tren de biodigestores, utilizado para investigaciones de pre y post grado, así como publicaciones técnicas en revistas indexadas.

Método

A fin de cumplir los objetivos propuestos en el inicio del desarrollo se empleó como método un proceso metodológico basado en cinco etapas: definición de los objetivos de la revisión bibliográfica, búsqueda de información, criterios de selección bibliográfica, organización de la información y la redacción de la investigación.

Definir los objetivos de la revisión bibliográfica, en esta primera etapa se determinó cuál fue el objetivo general de la revisión bibliográfica y en función del mismo se redactó un tipo u otro de revisión. Por lo que este objetivo fue de carácter descriptivo, se formularon preguntas como ¿qué se sabe de tema de caracterización de biogás producido por la digestión anaerobia de biomasas rurales en un equipo piloto formado por un tren de biodigestores? ¿Qué tecnologías se aplican para la caracterización de biogás? ¿Cómo se realizan las fases del proceso de digestión anaeróbica?, Y por lo tanto se realizó una revisión descriptiva.

Búsqueda de información, en esta segunda etapa para la respectiva localización y orientación de los documentos bibliográficos a requerirse se emplearon diversas fuentes tipo documentales de Universidades a nivel internacional, nacional extraída de sus repositorios. También se optó una búsqueda en la web internet en el buscador “google académico” con los mismos términos. Cuando se identificaron estudios relevantes, se revisó para encontrar otros términos que se utilizaron como palabras clave. Los términos alternativos (sinónimos) para los conceptos o variables también fueron de utilidad como palabras clave.

Criterios de selección bibliográfica, en esta tercera etapa se seleccionó documentos que contengan información acerca de los aspectos formales que debía incluir y dominar el tema en cuestión, tesis de pregrado, tesis de maestrías, tesis

doctorales, artículos científicos, metodologías y procedimientos aplicadas por diferentes autores. La misma que fue de gran utilidad y oportuno al abordar la revisión, identificar teorías que fueron desarrolladas con evidencia de calidad que se aplique al tema y otras teorías con apoyo empírico moderado o limitado que sugirieron el uso de variables potencialmente esenciales que también sirvieron para el problema de la investigación (Ver anexo 1).

Los criterios de selección se establecieron por los objetivos del presente trabajo investigativo que se relaciona directamente con las preguntas formuladas en el problema de acuerdo a su calidad metodológica y el cumplimiento de los criterios de calidad científica buscada. En primera instancia los aspectos considerados se basaron en el título, los autores, los objetivos, población, muestra, metodología, resultados y conclusiones del mismo. Con relación al tema se seleccionó los que se relacionaban a tema propuesto, así como los autores se indagó su credibilidad y nivel de experiencia en el tema, y la demás información se revisó, y con los resultados se analizó detenidamente a fin de corroborar que sean aplicables al tema de estudio. En una segunda fase se procedió a la lectura crítica de los documentos.

Organización de la información, en esta cuarta etapa se realizó una estructura argumentada con un orden secuencial y sensato la información sustancial, de tal forma la investigación fue redactado para una mejor comprensión y análisis de lectura.

El organizar toda la información permitió de manera oportuna que los temas complicados de interpretar se encaminen a ser sencillos y comprensibles de tal manera que se aplicó la reducción razonada para lograr la simplicidad del mismo, por lo que primero se excluyó información que no se consideró esencial ni necesaria

por medio de un proceso que pasó por segmentar la información básica, es decir a medida que se recopilaban nuevos documentos bibliográficos, la información se iba incluyendo secuencialmente tras haber efectuado toda la lectura de la bibliografía y escogido la información estimada más relevante se dio lugar a combinar la información de diversas fuentes en una estructura de carácter común y finalmente se procedió a redactar el desarrollo del trabajo investigativo .

Redacción de la investigación, en esta quinta y última fase en cuanto a la redacción del trabajo investigativo se procuró que la composición del mismo fuese con ideas, expresiones coherentes y con sentido lógico, de tal manera denote concisión secuencia de lo redactado, es decir se usó palabras y términos precisos y significativos a fin de expresar lo que se quiere decir con un mejor entendimiento, también se utilizó precisión con el uso de un lenguaje sin términos ambiguos evitando caer en expresiones equívocas.

CAPITULO IV

RESULTADOS DE ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICOS

En base a todas las investigaciones recopiladas y realizadas se consideró analizar con énfasis artículos científicos y tesis investigativas que fueron seleccionados y relacionados a la caracterización del Biogás usando diversos equipos para determinar la composición química y parámetros de producción del Biogás.

Para ello se especificaron los trabajos que fueron seleccionados de diversos autores como: Paucar y Quispe, 2015 “Producción y evaluación de la calidad del biogás y biol en un biodigestor usando estiercol de codorniz de la granja v.a. Velebit S.ac. ubicada en el distrito de Iurigancho-chosica” de la universidad nacional agraria la molina, en su estudio caracterizaron la composición del biogás por un medidor de Gases por extracción Modelo Gem 500 (CH₄, CO₂, H₂S, O₂), manteniendo parámetros de proceso estándar obteniendo resultados aceptables y concuerdan con análisis estadísticos CH₄ (44,6 – 40%), CO₂ (26,6 – 20%).

Seguido de los autores Gomes, Julius y Rosenfeldt, 2015 con el tema caracterización de biogás generados en el tratamiento de efluentes domésticos en reactores uasb en Brasil, lo expuesto en su estudio La calidad de biogás es buena considerando que el porcentaje de metano no superó el 50% durante la experimentación, esto se pudo deber a que los biodigestores tienen 17% de sólidos totales, la baja capacidad de generación de biogás del inóculo, la temperatura de fermentación anaeróbica o por la presencia de oxígeno que da como consecuencia que el proceso de biodigestión se haga más lento, por último se debe considerar la presencia de oxígeno, el cual es un inhibidor en la elaboración del Biogás.

En cuanto al autor Condor, 2019 con el tema titulado Producción de biogás y biol en biodigestores batch a partir de residuos agropecuarios pre-tratados con la técnica de bokashi, recomienda mantener el Ph en los parámetros necesario para mantener un buen comportamiento en la producción del Biogás, se obtuvieron los siguientes resultados de la composición del biogás (64.2 – 55% CH₄, 34.2 -30.1% CO₂, 3.5 - 2.5% O₂) el tiempo de duración del ensayo fue de 61 días. (Ver anexo 2)

También se consideró para este capítulo de análisis de resultados de trabajos previos a los autores Carvajal, Tafur, Villavicencio, Gutiérrez, 2018 con el tema Caracterización del poder calorífico de la biomasa residual de cacao ccn51 mediante procesos de gasificación anaeróbico y termoquímico del Instituto Politécnico Nacional, cuyo objetivo de este trabajo fue caracterizar el biogás obtenido de la digestión anaerobia de desechos de plantaciones de cacao, trabajando experimentalmente con las siguientes variables a tomar en cuenta: ph 7; temperatura 37°C, tamaño de partícula entre 2-3 mm, presión atmosférica de 0,740 atm.

Según, Ortega (2010) la formación del lodo fue una mezcla de biomasa de cacao, estiércol vacuno y agua. Los resultados obtenidos en el cromatógrafo de gases de la Facultad de Ing. Química de la universidad central del Ecuador fueron los siguientes expuesto en la siguiente tabla:

Tabla 1 Biogás Resultados obtenidos en el cromatógrafo de gases

Composición química	Porcentaje
H2	0.13%MOLES
O2	11.79% MOLES
CO	34.66%MOLES
CH4	20.09%MOLES
CO2	25.82%MOLES
H2S	0.12%MOLES
CARBONO	3.37%MOLES
PCS	17.24 KJ/KG
PCI	16.11 KJ/KG

Fuente: Ortega, 2010

Análisis: En este estudio con los resultados expuestos se puede constatar que el porcentaje de metano (CH₄) obtenido en este ensayo es relativamente bajo (20.09%), comparado con el 45% que debería tener presente de CH₄ para que el biogás sea inflamable y poderlo usar directamente.

En el estudio de Arango (2018) con el tema obtención de biogás mediante digestión anaerobia de pañales desechables, que tuvo como objetivo general determinar la cantidad y calidad del biogás generado a partir de la digestión anaerobia de pañales desechables. Siendo parte del material de los pañales desechables la celulosa, se puede estimar que, si habría digestión de estos desechos en un biodigestor, trabajando en ensayos de 10l, 1l, 100 ml, se logró obtener los siguientes resultados: La celulosa se degradó en un 20%, el ph siempre se mantuvo entre 7 y 8 durante todo el proceso, se trabajó con una reducción de entre 30% y 50% de material

orgánico, ya que se realizó una mezcla de pasto, pañal con plástico y otra mezcla de pasto y pañal sin plástico, como se lo detalla en las siguientes tablas:

Tabla 2 Análisis mezcla de Pasto – Pañal con plástico

Volumen	% CO ₂	%CH ₄
1L	70.56	18.46
10L	76.5	16.02

Fuente: Arango, 2018

Tabla 3 Análisis mezcla de Pasto – Pañal sin plástico

Volumen	% CO ₂	%CH ₄
1L	70.24	17.87
10L	76.61	11.70

Fuente: Arango, 2018

A nivel mundial existen varios proveedores y fabricantes de equipos de medición de gases entre ellos los que miden la concentración de Biogás, Caudal. velocidad de conducción, presión y temperatura, los cuales son diseñados para la operar en diversas zonas y bajo las normativas necesarias.

Estos equipos son diseñados de tal manera que puedan medir desde caudales pequeños y grandes, adicional son fabricados de materiales que garantizan una larga vida útil en especial la resistencia a la corrosión.

Los medidores de gas funcionan según el principio de desplazamiento positivo. El flujo de gas provoca una rotación del tambor de medición dentro de un líquido de empaque, generalmente agua o aceite de baja viscosidad. El tambor de medición

mide obligatoriamente el volumen de gas llenando y vaciando periódicamente las cámaras de medición rígidas. Acoplado al tambor de medición, un cuadrante de aguja indica el volumen de gas medido.

El gas ingresa por un tubo de acceso (1) hasta llegar a un pequeño tubo capilar (2) que se encuentra en la placa base hacia la carcasa del equipo el cual se llena con un líquido de relleno (3) el gas sube en pequeñas burbujas atravesando el líquido de relleno e ingresa a la celda de medición (4), en la cual existen dos cámaras de medición (5) que van llenándose sucesivamente por las burbujas de gas. Una vez llena la cámara de medición, la flotabilidad de la cámara llena hace que la celda de medición gire rápidamente a una posición que hace que la segunda Cámara de medición comience a llenarse y la primera a vaciarse al mismo tiempo.

Este proceso de la inclinación de la celda medida crea por medio de un imán permanente (6) que está en la parte superior de la celda y un sensor magnético un pulso que lo registra la unidad de contador (8).

El registro de datos externos, son enviado por el pulso del segundo contacto y se pueden obtener en la toma de salida (9) (Aqualimpia engineerin,2011) Ver figura 1

Los medidores de gas de prueba húmeda RITTER de la serie TG 05, 1, 3, 5, 10, 20, 25, 50 (ver figura 1) que son de tipo tambor utilizan un líquido de empaque que en la mayoría de las veces es agua y en otros casos aceites minerales o sintéticos que depende del gas a tratar debido a que este puede reaccionar

Otro tipo de medidores como los modelos RITTER MGC1 ideal para trabajar en caudales bajo desde 1ml/h hasta 1lt/h donde su estructura con distintas celdas para el paso de los gases.

Existen otros equipos de medición que utilizan otros métodos para obtener el resultado ya sean estos, por sensor infrarrojo, electroquímico de compensación de

presión. Uno de los principios aplicados para la caracterización de biogás, es por el “Principio de Mariotte”, el cual se basa en el método más común para medir metano (CH_4) en experimentos de laboratorio se utiliza la “Botella de Mariotte”, donde la solución utilizada es Hidróxido de Sodio (NaOH) al 32% de concentración.

Cuando se deja fluir el biogás y este entra en contacto con el Hidróxido, el Dióxido de Carbono (CO_2) se transforma en Carbonatos y es retenido en el líquido

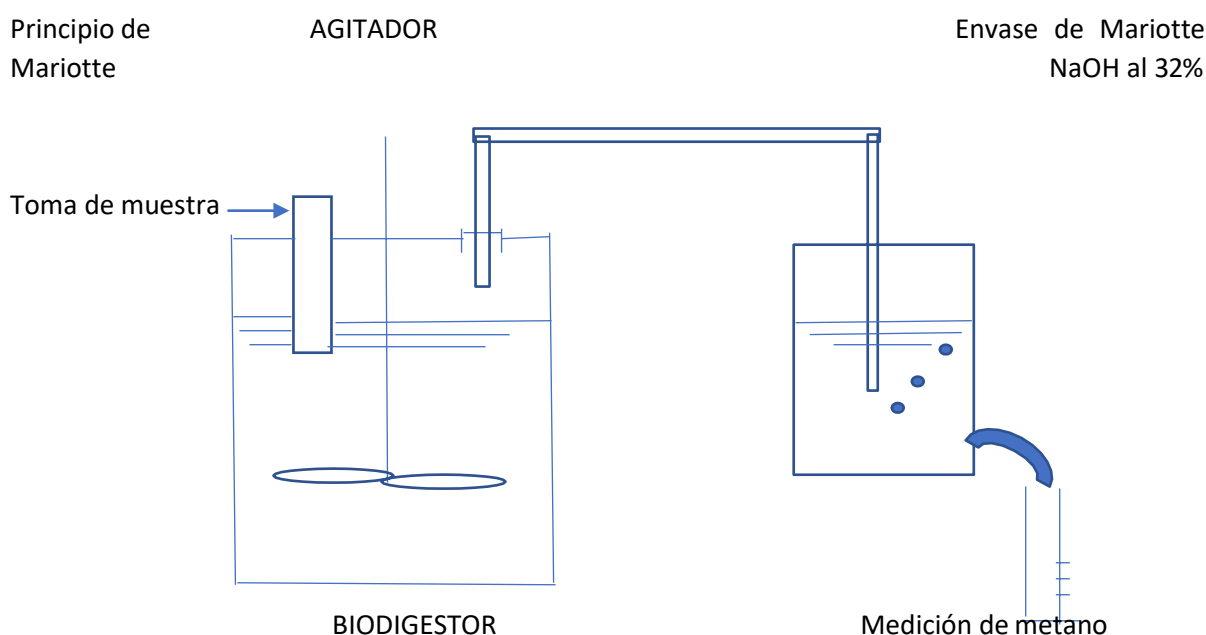


Figura 1 Esquema de aplicación del principio de Mariotte
Fuente: Los autores

Solo pasa el gas Metano (CH_4) y la presión que este ejerce sobre el líquido desplaza un volumen equivalente al volumen del Metano generado en el proceso. El líquido que se desplaza, se puede medir con un cilindro graduado o conociendo su densidad podríamos calcular su volumen.

El contenido de NaOH debe ser en exceso exagerado, para garantizar que todo el CO_2 del biogás se quede retenido en dicha solución, se sugiere el doble al equivalente por litro de biogás recolectado; y este debe ser cambiado si su Ph es menor o igual a 12.

También se puede calcular el recambio de dicha solución a temperaturas de operación de 30°C

Como se indica a continuación.

$$(Vol_{min} * Conc_{NaOH}) * \frac{0.7}{2.0} = Vol_{CH_4}$$

Nomenclatura:

Vol_{min} = El minimo de NaOH dentro de la botella Mariotte

Conc_{NaOH} = La concentración inicial del NaOH

Vol_{CH₄} = Volumen máximo de metano medido, para realizar el cambio de NaOH

Según (Polanco, García, Hernando; 1988) También se puede determinar la DQO para el Metano, haciendo uso de factores de conversión, para hacer uso de estos podemos usar la siguiente tabla:

Tabla 4 DQO de CH₄

Temperatura °C	ml CH ₄ gas equivalente a 1 g DQO	
	CH ₄ seco	CH ₄ húmedo
10	363	367
15	369	376
20	376	385
25	382	394
30	388	405
35	395	418
40	401	433
45	408	450

Fuente: (Polanco, García, Hernando; 1988)

Estos valores se obtuvieron considerando que 350 ml de CH₄ seco valoradas a las siguientes condiciones; T=0 °C; P= 1 atm, equivalen a 1 g DQO, tal como la ecuación detallada a continuación.

$$FC = 350 * (273 + Temperatura\ ^\circ C) / 273.$$

Esta expresión variará si el biogás está saturado con vapor de agua y este represente entre el 3 a 4% en volumen de su composición, entonces se ajustará a la siguiente ecuación.

$$FC * 1 / (1 - presión\ de\ vapor)(atmósferas)$$

En su defecto si la presión atmosférica es mayor o menor que 1 atm, el factor de conversión deberá ser ajustado como indica la siguiente expresión.

$$FC * \frac{1}{presión(atmósferas)}$$

$$FC * \frac{1}{presión\ (mm\ mercurio)}$$

Análisis: se puede constatar que mientras más carga orgánica existe, la producción de CH₄ disminuye, al parecer por la carga de trabajo o en su defecto las bacterias no lograron completar su ciclo metano génico dentro del reactor por la cantidad de carga orgánica existente en este digestor también se puede tomar en cuenta que la celulosa de los pañales teóricamente es digerible por las bacterias, sin embargo es complicado para los microorganismos degradarlos por sus estructuras formadas por enlaces covalente y no covalente.

Análisis comparativo:

Según Córdor(2019), los mejores resultados se obtuvieron al mezclar estiércol con cartucho (*Zantedeschia aethiopica*) dando una concentración de Metano considerable (64.2 %– 55 %), en comparación al trabajo realizado por Arango 2018, en el cual trató pañales desechables con plástico y sin plástico en biodigestores con la finalidad de obtener biogás para su posterior aprovechamiento energético, reflejando valores de concentración de Metano relativamente bajos para su uso directo (11.70% – 18.46%).

Sin embargo, cabe resaltar que estos valores son de consideración para un posterior pretratamiento

Conclusiones

Revisando los artículos y al analizar sus contenidos, se pudieron observar los diferentes métodos de caracterización de biogás, entre los cuales se destacan los de tipo laboratorio, que fueron realizados en cromatógrafos de gases y también por la caracterización con equipos portátiles de campo que miden o se enfocan más en las concentraciones de Dióxido de Carbono (CO₂) y Metano (CH₄).

Casi todos los autores, destacan la mezcla de biomásas de diferentes orígenes (vegetal y/o animal), para optimizar la producción de Biogás, pero no garantizan un alto porcentaje de Metano (CH₄) en la generación.

Este trabajo servirá como guía para dar pie a la posterior puesta en marcha de muchas experimentaciones, las cuales brindaran datos de vital importancia para el respectivo tratamiento y aprovechamiento energético de diferentes tipos de desechos rurales.

Debemos considerar como el “Principio de Mariotte” como el principal método de medición de metano en biogás producto de la digestión anaerobia de biomásas rurales.

Recomendaciones

Elaborar un equipo de bajo costo, que permita obtener los resultados in situ de la composición del biogás producido por la digestión anaerobia de biomasas rurales en un equipo piloto conformado por un tren de biodigestores, utilizando el principio de Mariotte debido a los altos costos que tienen los equipos existentes en el mercado.

Elaborar el estudio en el equipo piloto formado por un tren de biodigestores.

Considerar los parámetros de Ph, temperatura y presión para los procesos de digestión de biogás.

Para obtener los mejores resultados de concentración de Metano en las muestras de biogás, observar las mezclas de los autores citados en este trabajo, ya que de eso depende la generación de dicho compuesto en mayor proporción en los ensayos.

Bibliografía

- Arango, G. (2108). Obtención de biogás mediante digestión anaerobia de pañales desechables. Universidad Autónoma Descentralizada Azcapotzalco.
- Arias , F. (2012). *Introducción a la metodología científica. El Proyecto de Investigación* (6 ed.). Caracas: Episteme.
- Asamblea Nacional de la República del Ecuador (2008). Constitución de la república del Ecuador. Decreto Legislativo O. Registro Oficial 449 de 20-oct-2008.
- Asociación de Ciencias Ambientales (2014). ¿Qué es la pobreza energética? Recuperado de <https://www.cienciasambientales.org.es/index.php/ique-es-la-pobreza-energetica>. Consultado el 03/10/2020.
- BanESCO (2018). El biogás listo para generar electricidad. BanESCO contigo. Recuperado de <http://blog.banESCO.com/banESCO-biogas-listo-generar-electricidad/>. Consultado el 03/10/2020.
- Berra, G., Finster, L. y Valtorta, S.E. (2009). Una técnica sencilla para la medición de emisiones de metano entérico en vacas. Revista FAVE - Ciencias Veterinarias 8 (1): 49-56.
- Bernal, Daniela y Quintero, Daniela. (2016). Desarrollo de una propuesta para la mejora de un modelo de biodigestor anaerobio convencional a escala banco a partir de una mezcla de residuos bovinos y lodos en la finca El Recodo de Tabio, Cundinamarca. Tesis de Pregrado. Fundación Universitaria de América, Bogotá D.C.
- Cabrera, J. J. (2011). Diseño de un biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del litoral. Guayaquil- Ecuador.
- Carvajal, C., Tafur, P., Villavicencio, A & Gutiérrez, E. (2108). Caracterización del poder calorífico de la biomasa residual de cacao ccn51 mediante procesos de gasificación anaeróbico y termoquímico. Vol. 22, núm. 2, 2018. Instituto Politécnico nacional.
- Carvajal, P y Soria, R. (2019). Biogás: Una Alternativa para la Expansión de Generación Eléctrica en El Ecuador. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. Universidad Federal de Rio de Janeiro- Brasil.

- Durazno (2018). Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador.
- FAO. (2013). Producción de biogás por metanogénesis. Aprovechamiento de residuos sólidos, 42-47.
- Gallopín, G., Hammond, A. Raskin, P y Swart, R. (1997). "Branch Points: Global Scenarios and Human Choice", Stockholm Environment Institute, Stockholm, Resource Paper of the Global Scenario Group, 1997.
- Garfi, M., Ferrer-Martí, L., Velo, E., y Ferrer, I. (2011). Evaluating benefits of low-cost household digesters for rural Andean communities. Renewable and sustainable energy reviews, 15, 76-81. de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2011/1/26353/Evaluating%20benefits%20of%20low-cost-household-digesters-for-rural-Andean-communities.pdf>
- Groenestein, C.M., Hutchings, N.J., Haenel, H.D., Amon, B., Menzies, H., Mikkelsen, M.H., Misselbrook, T.H., van Bruggen, C., Kupper, T., Webb, J. Hide details Comparison of ammonia emissions related to nitrogen use efficiency of livestock production in Europe Journal of Cleaner Production, Volume 211, 20 February 2019
- Guamanquispe, L. y Perdomo, L. (2018). Implementación de un biodigestor para generar biogás a partir del excremento de la gallina en la granja avícola Aves del Cotopaxi. Tesis de grado. Universidad Técnica De Cotopaxi. Latacunga, Ecuador.
- Guevara V., A.; (1996). Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. Documento OPS/CEPIS/96. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –Organización Panamericana de la Salud. Lima, 80p
- Guzmán, M.L. y Sager, R.L. 2013. Inventario de metano entérico de los sistemas de producción de carne para San Luis en el año 2009. RIA 39 (1): 88-94. Haas, G., Metternich F. and Kopk
- Guzmán S., J.C.; (2008). Apuntes sobre consumo energético de biomasa. Diplomado en Energía SNAP, Proyecto No. 003/2008, PROLEÑA Soluciones Energéticas Eficientes, La Paz, Bolivia, febrero, 19p.
- Hilbert, J.A.; (2003). Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería

- Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. Buenos Aires, 57p.
- Instituto Nacional de estadística y Censo (INEC) (2014). Encuesta de Producción Agropecuaria Continua. Recuperado de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-produccion-agropecuaria-continua/>. Consultado el 01/10/2020
- International Energy Agency (2020). Perspectivas del biogás y el biometano: perspectivas de crecimiento orgánico. Informe especial World Energy Outlook. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth>. Consultado el 03/10/2020
- International Energy Agency (2020). Renovables. Recuperado de <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>. Consultado el 04/10/2020
- International Energy Agency (2011.). Key World Energy Statistics 2011. Recuperado de http://www.iea.org/work/2011/statistics/s1_kwes.pdf. Consultado el 04/10/2020
- IEA, World Energy Outlook 2010, 2010o ed. Paris: IEA, 2010.
- Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica. (2015). Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica. Quito, Ecuador.
- Mendieta, L. (2020). Evaluación de la producción de biogás a partir de cascarilla de arroz con alto contenido de zinc. Tesis de Ingeniería Civil y Ambiental. Escuela Politécnica Nacional.
- Olaya, Y. (2006). Diseño de un biodigestor de cúpula fija. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira
- Posso, F.; (2002). Energía y ambiente: Pasado, presente y futuro. Parte Dos: Sistema energético basado en energías alternativas. Geoenseñanza, Vol. 7, (1-2), pp54-73.
- Retema (2017). Un vertedero en Chile genera 2 MW/h con los sistemas de limpieza de biogás de Dim Water Solutions. Recuperado de <https://www.retema.es/noticia/un-vertedero-en-chile-genera-2-mwh-con-los->

sistemas-de-limpieza-de-biogas-de-dim-wate-veAKK. Consultado el 03/10/2020

Rodríguez, M. (2013). Historia del biogás, primeros pasos. Ciencia y sociedad, 72-77.

Solis, Torres, p1 (2015). Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales No. 17, marzo 2015, "Ecología política y geográfica crítica de la basura en el Ecuador"

Dufey, Annie (2006). "Producción y comercio de biocombustibles y desarrollo sustentable: los grandes temas". p3

Osava, M. (2020). De cerdos, aves y excrementos energéticos en el suroeste de Brasil. Inter Press Service (IPS). psnoticias.net Recuperado de psnoticias.net/2019/08/de-cerdos-aves-y-excrementos-energeticos-suroeste-brasil/. Consultado el 03/10/2020.

Ortiz, L, Cabezas, M. y Córdova, J. (2018). Vigilancia Tecnológica con enfoque en tecnologías de biodigestión anaeróbica y en equipos de consumo de biogás para el sector agrario nacional. Fundación para la Innovación Agraria Santiago, Chile. Primera edición.

Pazmiño, K. (2016). Biodigestores una solución energética para la población Rural. Uso del biogás en un caso de estudio. Tesis de maestría. Facultad Latinoamericana De Ciencias Sociales. Sede Ecuador.

Reyes, E. (2016). Producción de biogás a partir de Biomasa. Adaptación al Cambio Climático. Revista Científica de FAREM-Estelí. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano. Nº 17. Año 5 |. Enero-marzo, 2016. Pág. 11-22. Managua, Nicaragua.

Ruiz, B. (2020). Diseño de un biodigestor para generación de energía a partir del estiércol de ganado vacuno para una vivienda rural en el CC.PP. Las Canteras Del Distrito De Pátapo – Chiclayo – Lambayeque. Tesis de pregrado. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Facultad De Ingeniería Escuela De Ingeniería Mecánica Eléctrica. Perú, Chiclayo.

Soto, J. (2020). Deforestación, ¿qué es, ¿quién la causa y por qué debería importarnos? Greenpeace México. Recuperado de <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/4074/deforestacion-que-es-quien-la-causa-y-por-que-deberia-importarnos/>. Consultado el 03/10/2020.

- Steinberger, J. (2020). Gran desigualdad en la huella energética internacional e intranacional entre grupos de ingresos y entre categorías de consumo. *Nature Energy* el 16 de marzo de 2020 DOI: 10.1038 / s41560-020-0579-8
- Uriarte, O. (2017). El biogás: una alternativa ecológica. *Diario Renovables*. Recuperado de <https://www.diariorenovables.com/2017/10/el-biogas-una-alternativa-ecologica.html>. Consultado el 03/10/2020.
- Vargas L., L.; (1992). Los biodigestores, alternativa de tratamiento para residuos pecuarios. Tesis (Ingeniero Sanitario). Universidad del Valle, Santiago de Cali

Anexo 1 Análisis información de antecedentes internacionales

Autor (es)	Título	Objetivo	Tipo de metodología	Muestra	Método o proceso	Resultados	Conclusiones
Mendieta (2020) Quito	Evaluación de la producción de biogás a partir de cascarilla de arroz con alto contenido de zinc.	Evaluar la producción de biogás a partir de la cascarilla de arroz con diferentes concentraciones (10, 30, 50, 75, 100, 150) mg/L de zinc.	Para la construcción de los digestores se utilizó la metodología de Astals et al., (2015)	La muestra de cascarilla de arroz utilizada en este proyecto se obtuvo de una planta piladora, en la parroquia de Bucay en la provincia del Guayas.	Se utilizó como inóculo estiércol bovino que se maduró durante 3 meses a 35 °C. El sustrato fue sometido a una reducción de tamaño de partícula a valores $\leq 150\mu\text{m}$, se realizó un proceso de adsorción a partir de ZnCl_2 para añadir Zn^{+2} al sustrato con diferentes concentraciones.	Indicaron que la cascarilla de arroz libre de zinc presenta el mejor proceso metanogénico, obteniendo 15.52 L/g SV de biogás.	La caracterización de la cascarilla de arroz especificó que su composición físico-química fue normal comparada con otros estudios.
Guamanquispe y Perdomo (2018)	Implementación de un biodigestor para generar biogás a partir del excremento de gallina en la granja avícola Aves del Cotopaxi.	Implementar un biodigestor tubular que permita el aprovechamiento de la excreta de la gallina con el fin de producir biogás para proveer de calefacción al galpón de crianza número 4 de la granja Avícola Aves del Cotopaxi.	Método experimental	Existen 6 galpones de gallinas ponedoras, en la cual para nuestro estudio se tomó como referencia el galpón número 5 el cual se encuentra dividido en cuatro naves de 2000 gallinas cada uno de un peso aproximado de 2 Kg por unidad.	Método para la producción de biogás se estructura en planificación, estudio y evaluación de la factibilidad técnica y económica de la implementación de un biodigestor tipo continuo para el tratamiento de las excretas de la gallina.	Según la caracterización del biogás en el cromatógrafo con una temperatura de trabajo de 20 °C, se obtuvo un poder calorífico superior de 7719,57 [kcal/m ³], y un poder calorífico inferior de 2623,29 [kcal/m ³], analizado bajo la norma ASTM D 1945- 03(2010).	La producción de biogás dependerá netamente de la temperatura promedio de trabajo del biodigestor, que oscila entre los 20 a 25°C, que ayuda a la descomposición de la materia orgánica suministrada.
Pazmiño (2016)	Biodigestores una solución energética para la población Rural. Uso del biogás en un caso de estudio.	Analizar el biogás como combustible para cocinar los alimentos de la familia.	Descriptiva	Usuarios de los biodigestores de la Parroquia Peñaherrera	Para el estudio de caso se recurrió a fuentes académicas y bibliográficas sobre instalación y uso de biodigestores en la región y otros países	Con el uso del biogás la cocción de los alimentos se realiza en menos tiempo	El nivel de satisfacción y la utilidad del biogás contribuyó a mejorar la situación social, ambiental y económica de la localidad.

Anexo 2 Análisis de información antecedentes nacionales

Autor (es)	Título	Objetivo	Tipo de metodología	Muestra	Método o proceso	Resultados	Conclusiones
Ruiz (2020) Perú	Diseño de un biodigestor para generación de energía a partir del estiércol de ganado vacuno para una vivienda rural en el CC.PP. Las Canteras del Distrito de Pátapo – Chiclayo – Lambayeque.	Diseñar un sistema de producción de biogás para uso domiciliario, a partir del estiércol de ganado vacuno.	No experimental, prospectivo, transversal.	Cantidad de excremento producido por 10 vacas. Obtuvo una producción diaria=314,0 kg/día; PH=7,3; materia seca= 6% y potencial= 0,55 m3/día.	En el nuevo biodigestor incorporó un recubrimiento en espuma de poliuretano material por ser resistente térmicamente y económico.	Se logró reutilizar los residuos y compensar las necesidades energéticas de electricidad reflejada en el consumo 1,10 kW-h/día y para cocinar de 0,30 m3/día.	Los parámetros de funcionamiento evaluados dan la pauta de que se pueden mejorar las condiciones del proceso anaerobio utilizando biomasa por lo que es un tema que se puede seguir investigando e inclusive hacer proyectos piloto en zonas rurales.
Reyes (2016) Nicaragua	Producción de biogás a partir de Biomasa. Adaptación al Cambio Climático.	Evaluar la producción de biogás a partir del pasto estrella Cañadón plectostachyus K.Schum,	Cuantitativa, exploratoria, descriptiva	No probabilística	Según parámetros característicos de funcionamiento por medio de digestión anaerobia no controlada Método de balance de masa por secado en hornos, hornos eléctricos, balanzas analíticas, termómetros, phachímetros.	La biomasa valorada es un excelente sustrato para la producción de biogás considerando los estándares adecuados para la digestión anaerobia, el biodigestor debe ser construido con las características físicas y técnicas apropiadas	Los parámetros de funcionamiento evaluados dan la pauta de que se pueden mejorar las condiciones del proceso anaerobio utilizando biomasa por lo que es un tema que se puede seguir investigando e inclusive hacer proyectos piloto en zonas rurales.
Bernal y Quintero (2016) Bogotá	Desarrollo de una propuesta para la mejora de un modelo de biodigestor anaerobio convencional a escala banco a partir de una mezcla de residuos bovinos y lodos en la finca El Recodo de Tabio, Cundinamarca	Mejorar el sistema de digestión anaerobio, aumentar la eficiencia de producción del biogás y el tiempo operativo	Exploratoria Descriptiva	Se realizaron pruebas de laboratorio al estiércol como relación C/N, DQO, fósforo, nitrógeno, sólidos totales, suspendidos y volátiles	Realizó la construcción de dos sistemas de digestión, uno convencional y otro experimental, comparando y analizando cada proceso. En el nuevo biodigestor incorporó un recubrimiento en espuma de poliuretano material por ser resistente térmicamente y económico.	Demonstraron que la cantidad de metano producido fue levemente mayor en el prototipo (5% aproximadamente), posiblemente a una temperatura estable.	Al comparar los dos sistemas planteados, se concluye que la mejora propuesta para estabilizar 77 la temperatura tuvo un efecto positivo y fue determinante para que la producción y calidad del biogás fuera mayor en el nuevo prototipo.

Fuente: Los autores

Anexo 2: Análisis de resultados de artículos científicos y tesis usando diversos equipos para determinar la composición química y parámetros de producción del Biogás

Autor	Biomasa	Tiempo	Temp °C	Ph	Actividad metanogónica g DQO/g SSV. Día	Volumen Litros	Medidor composición de Biogás	Metano	CO 2 %	O2 %
Paucar y Quispe , 2015	Codornaza de postura Cordonaza de levante	13 Semanas	18-25	6-8	0.069	100.83	Gases por extracción Modelo Gem 500 (CH4,CO2, otros)	44,6 - 40	26,6 - 20	-
Gomes, Julius y Rosenfeldt, 2015	Aguas residuales	6 Días					Medidor de Flujo VORTEX ambos por métodos infrarrojos	85 - 75	16-80	0 - 0,2
Cóndor 2019	Estiercol Cartucho	61 Días		7-8		4374 9244 5332 6645	Multitec 545	64.2 - 55	34.2 -30.1	3.5 - 2.5

Fuente: Los autores

Anexo 3 Equipos medidores de biogás en el mercado

FABRICANTE	MEDIDOR	PRINCIPIO DE MEDICIÓN		LINK DE BUSQUEDA
GEOTECH	BIOGAS GA 3000	CH ₄ Y CO ₂ : Mediante célula infrarroja de doble longitud de onda con canal de referencia O ₂ : Mediante célula electroquímica interna H ₂ S/H ₂ /CO: Mediante célula electroquímica interna o externa	<i>Figura 2</i> Medidor Biogás Ga 3000 	https://www.fonotest.com/ficha-producto-instrumentos-medicion-medioambiente.php?ref=72
GEOTECH	BIOGAS 3000	CH ₄ Y CO ₂ : Mediante célula infrarroja de doble longitud de onda con canal de referencia O ₂ : Mediante célula electroquímica interna H ₂ S/H ₂ /CO: Mediante célula electroquímica interna o externa	<i>Figura 3</i> Medidor Biogás 3000	https://www.geotechuk.com/products/ga3000-plus/
ZORG	SSM 6000 Conti y clasico	El análisis se realiza utilizando sensores y métodos de medición: espectrografía IR, métodos electroquímicos y paramagnéticos. Medición de alta calidad de CH ₄ : 0 a 100% vol, CO ₂ : 0 a 100% vol (infrarojo con alta precisión y selectividad) y O ₂ : 0 a 25% vol., H ₂ S: 0 a 5000 ppm (detectados por sensores electroquímicos)	<i>Figura 4</i> Medidor SSMM 6000 Conti y clásico 	https://zorg-biogas.com/es/catalogo-de-equipos/analizadores-de-gases/analizador-de-gases-ssm-6000-conti

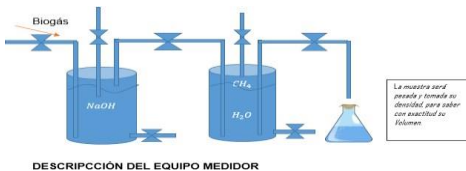
AWITE	AwifLEXCOOL	Sensores: -Metano: Sensor infrarrojo de dos rayos de compensación de temperatura y de presión -Dióxido de carbono: (como alternativa para el sensor de metano) Sensor - Oxígeno: Electroquímico, de compensación de presión infrarrojo de dos rayos de compensación de temperatura y de presión,-Sulfuro de hidrógeno: Electroquímico, de compensación de presión	<i>Figura 5</i> Medidor AwifLEXCOOL 	https://www.dastecsrl.com.ar/industrias/alimenticia/calidad-de-biogas/awiflex-cool-analizador-en-linea-de-la-composicion-de-biogas
RITTER	SERIE TG 05, 1, 3, 5, 10, 20, 25, 50	Los medidores de gas funcionan según el principio de desplazamiento positivo. El flujo de gas provoca una rotación del tambor de medición dentro de un líquido de empaque, generalmente agua o aceite de baja viscosidad. El tambor de medición mide obligatoriamente el volumen de gas llenando y vaciando periódicamente las cámaras de medición rígidas. Acoplado al tambor de medición, un cuadrante de aguja indica el volumen de gas Medido.	<i>Figura 6</i> Medidor SERIE TG 05, 3, 5, 10, 20, 25, 50  TG 1 Model 6 (PP) LCD Display TG 5 Model 1 (SS/PVC)	https://www.aqualimpia.com/medidores-biogas/

RITTER	MGC -1	Caudal minimo 1ml/h y caudal max 1lt/h, presición +/-3% se utilizan en gases inertes y ligeramente corrosivo	Figura 7 Medidor MGC-1  MGC-1 (Mod. PIMA / PVDF)	https://www.ritter.de/es/productos/medidores-de-gas-tipo-tambor/
GEOTECH	BIOGAS 5000	Analizador portátil por infrarrojos para biogás, mide CH ₄ , CO ₂ , O ₂ y H ₂ S. Está certificado para poder ser utilizado en atmósferas explosivas, conforme a la directiva ATEX, Sondas Adicionales para SH ₂ desde 0 a 5.000 ppm o 0 a 10.000 ppm 94/9/EC (grupo y categoría del equipo: EX II 2 G y concepto de protección Ex ib IIA T1 (Ta = -10 °C a +50 °C)).	Figura 8 Medidor Biogás 5000 	https://www.fonotest.com/ficha-producto-instrumentos-medicion-medioambiente.php?ref=10
GEOTECH	GA 5000	Analizador portatil de hasta 6 gases simultáneamente de un total de 8: CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , SH ₂ , H ₂ , CO, NH ₃ Y SO ₂ con Datalogger programable. Está certificado para poder ser utilizado en atmósferas explosivas.	Figura 9 Medidor GA 5000 	https://www.fonotest.com/ficha-producto-instrumentos-medicion-medioambiente.php?ref=73

GEOTECH	GEM 5000	Analizador portátil de la composición del biogás CH₄, CO₂, O₂, H₂S y CO con compensación de H₂. Certificado para poder ser utilizado en atmósferas explosivas, conforme a la directiva ATEX 94/9/EC (grupo y categoría del equipo: EX II 2 G y concepto de protección E ex ibd IIA T1 (Ta = -10 °C a +50 °C)). Certificación ATEX, IECEX, MCERTS, CSA, UKKAS, calibración (ISO 17025). Mide % CH₄, CO₂, O₂, mide presión estática y diferencial, Calcula flujo de gases (m³/h) y valores caloríficos (KW o BTU) (se necesita el software externo GAM Gas Analizar Software).	<i>Figura 10 Medidor GEM 5000</i> 	https://www.fonotest.com/ficha-producto-instrumentos-medicion-medioambiente.php?ref=11
---------	----------	--	---	--

Fuente: Los autores

Anexo 5 Equipo Propuesto para medir el Biogás

EQUIPO PROPUESTO		
CARACTERISTICAS	Descripción Grafica	FUNCIONAMIENTO
está formado por dos cilindros de acrílico con 12 cm de diámetro, 40 cm de altura para un volumen de 1.5 lts, conectados por mangueras de caucho y acoples de acero el primero por donde pasara el biogás, y el segundo, será el que contenga el líquido que se desplazará por la presión que ejercerá el metano proveniente del primer cilindro. inoxidable 304.	 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO MEDIDOR	Según la gráfica el equipo, viene con válvulas de acero inoxidable para control de flujo en cada una de las líneas que conectan los pequeños tanques medidores, la línea 1 conecta el tren de biodigestores al sistema medidor con la válvula VG1, por esta línea va el biogás producido que burbujea en una solución de hidróxido de sodio 6N con pH 14, el CO2 que es conforma el biogás en un 35-40% aproximadamente reacciona con el hidróxido de sodio para formar carbonatos, que quedan atrapados en el tanque 1 en solución.
$(Vol_{min} * Conc_{NaOH}) * \frac{0.7}{2.0} = Vol_{CH_4}$ Nomenclatura: Vol_{min} = El minimo de NaOH dentro de la botella Mariotte $Conc_{NaOH}$ = La concentración inicial del NaOH Vol_{CH_4} = Volumen máximo de metano medido, para realizar el cambio de NaOH		El metano que es el otro gas que conforma el biogás aproximadamente en un 60% es inerte en esta solución y pasa por la misma, de esta forma separamos el metano del biogás que llega a la cabeza del tanque 1, desde donde pasa al tanque 2 a través de la línea 2 que conecta ambos tanques controlada por la válvula VG2, el metano burbujea en el tanque dos en agua destilada llegando a la cabeza del tanque 2, donde por la presión ejercida desplaza agua destilada a través de la línea 3 controlada por la válvula VP3, llegando a un recipiente cerrado colocado sobre una balanza digital para pesar el líquido desplazado y de esta forma poder conocer la cantidad de metano producido en el tren de biodigestores.

Fuente: Los autores

Anexo 6 Ficha Técnica de propiedades físicas y químicas del metano (ch4)

PROPÍEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL METANO (CH ₄)	
APARIENCIA	GAS INCOLORO
OLOR	INOLORO
ESTADO FÍSICO	GAS A TEMPERATURA Y PRESIÓN NORMALES
PUNTO DE CONGELACIÓN A 1 ATM	(-182,5 °C)
PUNTO DE EBULLICIÓN A 1 ATM	(-161,5 °C)
PUNTO DE INFLAMACIÓN (MÉTODO DE PRUEBA)	(-187,8 °C)
RANGO DE EVAPORACIÓN (ACETATO DE BUTILO=1)	ALTO
INFLAMABILIDAD:	INFLAMABLE
LIMITES DE INFLAMABILIDAD EN EL AIRE, % POR VOLUMEN:	INFERIOR: 5,0% SUPERIOR: 15,0%
DENSIDAD DE VAPOR A 15,6 °C Y 1 ATM	0,6784 KG/M ³
GRAVEDAD ESPECIFICA AIRE=1; 15,6 °C; 1 ATM	0,56
SOLUBILIDAD EN AGUA	LEVE
TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN	600 °C
PORCIENTO VOLÁTILES POR VOLUMEN	100
PESO MOLECULAR	16,042
FÓRMULA MOLECULAR	CH ₄

Fuente: (Martínez, 2009)

Anexo 7 Aplicación del Biogás

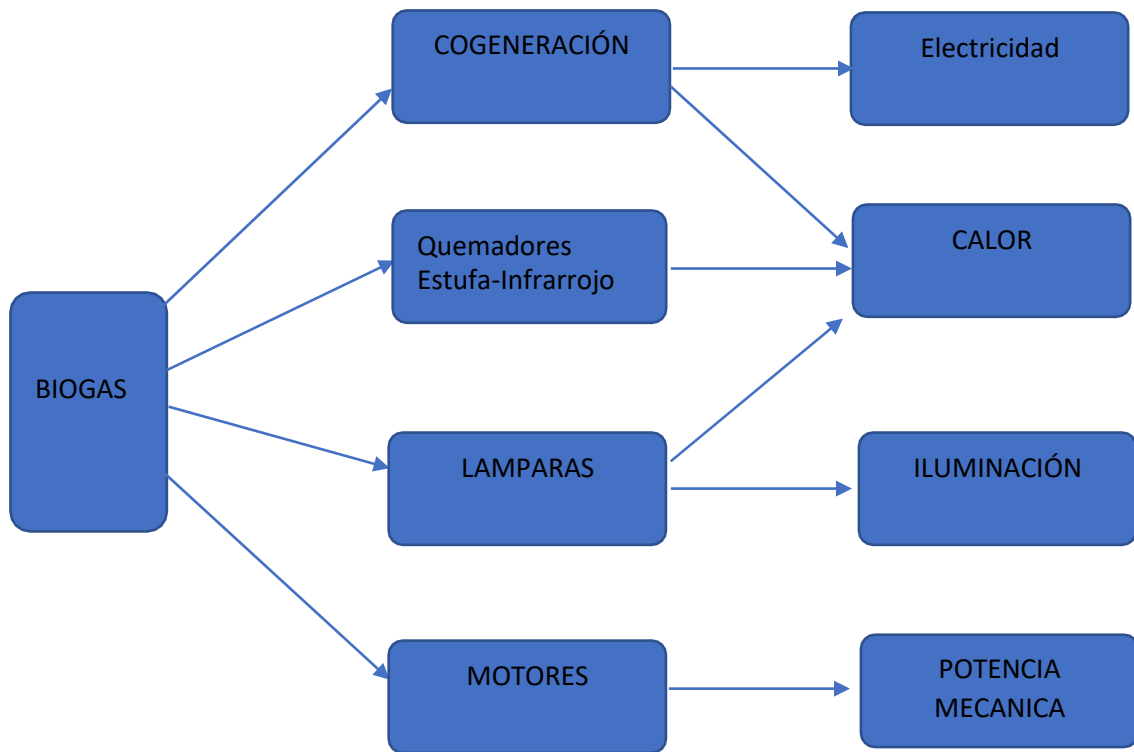


Figura 11 Aplicación del Biogás
Fuente: Alma, 2015

Anexo 8 Fases de la digestión anaerobia

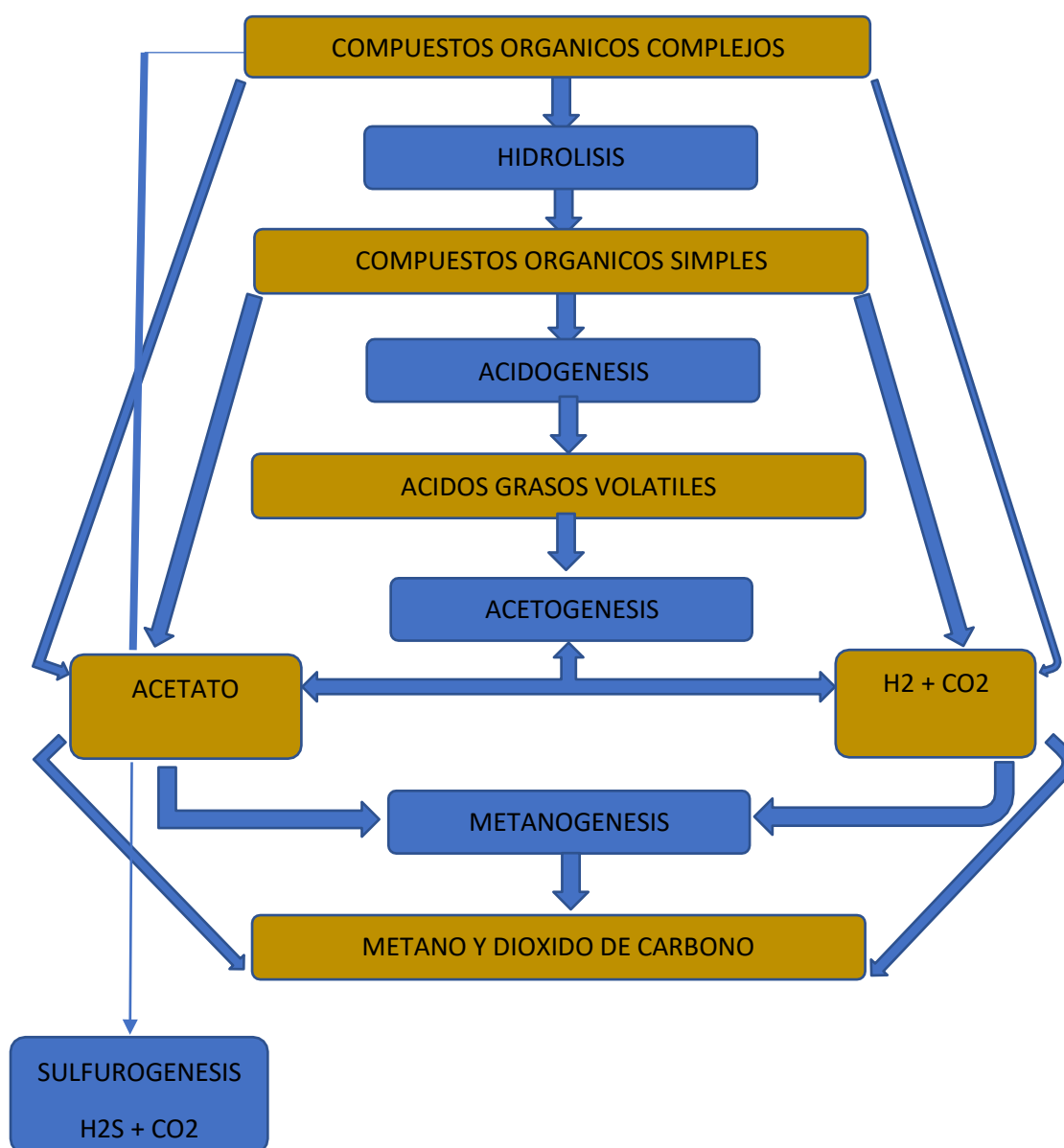
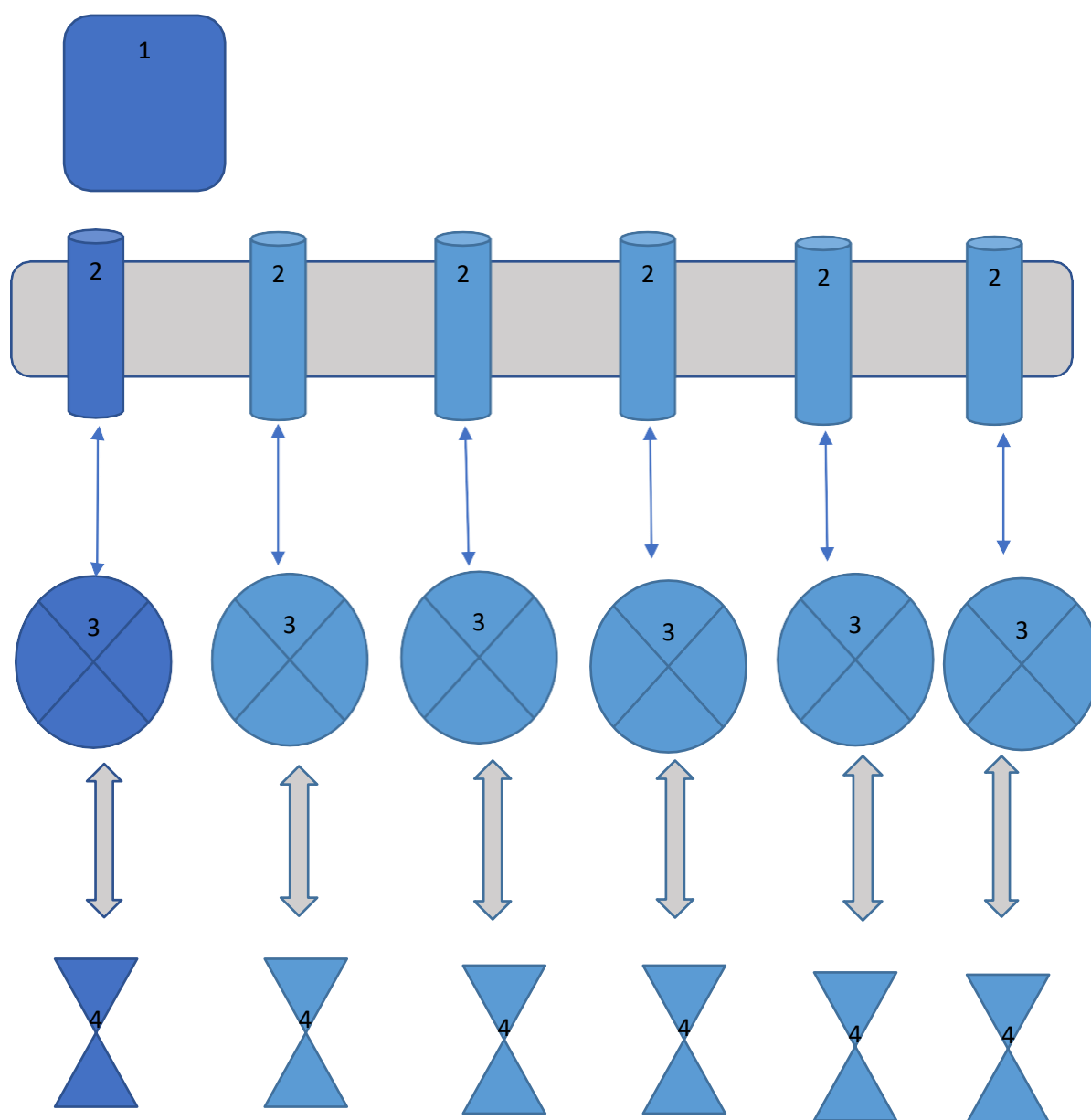


Figura 12 Fases digestión anaerobia

Fuente: Los autores

Anexo 9 Esquema de tren de biodigestores



1.- MOLINO, 2.- DOSIFICADORES DE SUSTRATO, 3.- BIODIGESTORES, 4.- EQUIPO PROPUESTO DE MEDICIÓN

Figura 13 Esquema tren de biodigestores
Fuente: Los autores

Anexo 10 Fotos de tren de biodigestores



Figura 14 Molino



Figura 15 Biodigestor



Figura 16 Recipiente de agua para calentamiento del sistema.



Figura 17 Dosificador de sustrato