



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE  
BIOGÁS A PARTIR DE HÍGADOS DECOMISADOS

Autor

Mauricio René Navarrete Cando

Año  
2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE  
BIOGÁS A PARTIR DE HÍGADOS DECOMISADOS

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingeniero Ambiental en  
Prevención y Remediación

Profesor Guía

MSc. Marco Vinicio Briceño León

Autor

Mauricio René Navarrete Cando

Año

2020

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido, Evaluación experimental del potencial de producción de biogás a partir de hígados decomisados, a través reuniones periódicas con el estudiante Mauricio René Navarrete Cando, en el semestre 202010, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.



---

Marco Vinicio Briceño León  
Máster en Energías Renovables  
C.I. 1715967319

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Evaluación experimental del potencial de producción de biogás a partir de hígados decomisados, del estudiante Mauricio René Navarrete Cando, en el semestre 202010, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.



---

Santiago Daniel Piedra Burgos  
Master of Science in Hydro Science and Engineering  
CI: 1715384150

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citados las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.



---

Mauricio René Navarrete Cando  
CC:1722660840

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero agradezco a mi Dios por bendecirme y regalarme una hermosa familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión tomada y creer en mí, a mi madre por ser la persona que me guía y motiva todos los días, a mi padre por ser la persona que me brinda sus conocimientos y experiencias. Gracias a mi profesor Marco Briceño por guiarme y brindarme sus conocimientos en el desarrollo de este estudio y a cada profesor que hizo parte de mi proceso integral de formación en la Universidad.

## **DEDICATORIA**

A mis padres René y Margarita.

## RESUMEN

En este estudio se realizó la evaluación experimental del potencial de producción de biogás a partir de hígados decomisados. Se utilizó estas vísceras debido a que son desechos procedentes del desposte de bovinos, la disposición final es la incineración y no existe un aprovechamiento de las mismas, por tal motivo se utilizó como un co-sustrato del estiércol para la generación de metano mediante la digestión anaerobia.

La experimentación se realizó con tres tratamientos que contenían diferentes proporciones de Estiércol: Hígado (1E:1H, 1E:2H, 1.5E:1H) y un blanco con una proporción de Estiércol: Agua (1E:1A). Para cuantificar el metano de los tratamientos se utilizó la técnica del desplazamiento volumétrico con una solución alcalina de NaOH 2M. Los tratamientos tuvieron un proceso de digestión anaerobia de 25 días a una temperatura de 35°C.

Después de la experimentación con los tratamientos se realizó una prueba con la proporción que generó más metano, con el fin de conocer la composición de CH<sub>4</sub> en el biogás. Para la cuantificación del metano en el biogás se utilizó dos equipos milligascounters conectados a una botella limpiadora de gases.

Se encontró que el mejor tratamiento fue la proporción de 1E:2H, que produjo un promedio de 1069.20 ml de metano y un promedio de rendimiento de metano de 90.92 (L/Kg de Sv), a condiciones normales. Además, de un porcentaje de remoción de materia orgánica superior a los otros tratamientos. En conclusión, los hígados decomisados pueden ser utilizados para la generación de biogás y metano.



## ABSTRACT

This study conducted the experimental evaluation of the potential for biogas production from seized livers. These viscera were used because they are waste from the bovine slaughterhouse, the final disposal is incineration and there is no use of them, for that reason it was used as a co-substrate of manure for the generation of methane through anaerobic digestion.

The experimentation was performed with three treatments containing different ratios of Manure: Liver (1M:1L, 1M:2L, 1.5M:1L) and a target with a ratio of Manure: Water (1M: 1W). To quantify the methane of the treatments, the volumetric displacement technique was used with an alkaline solution of NaOH 2M. The treatments had an anaerobic digestion process of 25 days at a temperature of 35°C.

After experimentation with treatments, a test was performed with the ratio that generated the most methane, in order to know the composition of CH<sub>4</sub> in biogas. Two milligascounter connected to a gas-cleaning bottle were used for the quantification of methane in biogas. The best treatment was found to be the ratio of 1M:2L, which produced an average of 1069.20 ml of methane average methane yield of 90.92 (L/Kg of Sv), under normal conditions. In addition, a higher percentage of organic matter removal than the other treatments. In conclusion, seized livers can be used for the generation of biogas and methane.

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Objetivos .....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos .....	3
1.3. Alcance .....	3
1.4. Justificación .....	3
2. MARCO TEÓRICO .....	4
2.1. Efecto invernadero.....	4
2.1.1. Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	5
2.1.2. Metano (CH <sub>4</sub> ) .....	5
2.1.3. Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O).....	6
2.2. Cambio climático .....	6
2.3. Mitigación del cambio climático .....	8
2.3.1. Las medidas de mitigación .....	8
2.3.2. Las medidas de adaptación .....	9
2.3.3. Tecnologías desarrolladas en las actividades pecuarias para mitigar el cambio climático.....	9
2.3.4. Tecnologías de generación de energía con biomasa. ....	10
2.4. Digestión anaeróbica.....	11
2.4.1. Etapas que se presentan dentro de la digestión anaeróbica .....	12
2.4.2. Tipos de biodigestores.....	14
2.4.3. Tipos de bioenergía .....	17
2.4.4. Biocombustibles.....	17
2.4.5. Biodiesel .....	19
2.4.6. Bioetanol.....	20
2.4.7. Biogás.....	21
2.5. Uso de biodigestores en Ecuador .....	22
2.6. Hígados decomisados.....	22

3. METODOLOGÍA .....	24
3.1. Obtención del desecho y el residuo (Hígado decomisado y estiércol de vaca) .....	24
3.2. Preparación del hígado decomisado.....	25
3.3. Determinación de las propiedades físicas del hígado decomisado y estiércol. ....	26
3.3.1. Sólidos totales.....	27
3.3.2. Sólidos volátiles .....	27
3.3.3. Potencial de hidrógeno (pH) .....	28
3.4. Obtención del inóculo.....	28
3.4.1. Medición de Biogás del inóculo. ....	29
3.5. Preparación de reactores a escala de laboratorio.....	29
3.6. Medición de metano. ....	34
3.7. Transformación de resultados a condiciones normales.....	35
3.8. Remoción de la materia orgánica.....	36
4. RESULTADOS .....	37
4.1. Inóculo (Estiércol- Agua). ....	37
4.1.1. Potencial de hidrógeno (pH). ....	37
4.1.2. Producción de Biogás del inóculo.....	37
4.1.3. Sólidos totales y volátiles.....	38
4.2. Cantidad del sustrato en cada reactor. ....	38
4.3. Propiedades físicas del material orgánico. ....	39
4.3.1. Propiedades físicas antes de la digestión anaerobia. ....	39
4.3.2. Propiedades físicas después de la digestión anaeróbica. ....	41
4.4. Producción de metano.....	45
5. DISCUSIÓN .....	51
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
6.1. Conclusiones.....	57
6.2. Recomendaciones .....	57
REFERENCIAS .....	60
ANEXOS .....	68

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes**

En la actualidad, la problemática del cambio climático y el agotamiento de recursos ha llevado al ser humano a buscar alternativas al uso de combustibles fósiles a partir de procesos sustentables para generar energía, como es la biodigestión. Este y otros temas se han discutido en las Cumbres Mundiales; una de ellas tuvo sede en Cartagena-Colombia, el 24 de octubre del 2014, llamada Cumbre Mundial de Líderes Energéticos; a la misma que asistieron 700 presidentes y 60 delegados de distintos países, con el objetivo de unir estrategias para generar sostenibilidad y eficiencia energética, además de ampliar la cobertura energética en zonas rurales del mundo (MAE, 2017).

De modo que los procesos sustentables para producción de energía son un tema relevante en todo el mundo. Una alternativa para obtener energía renovable es a partir de la generación de biogás. Las primeras referencias en base a hechos históricos sobre biogás se remontan 3000 años a.C, cuando los sumerios ya aprovechaban la descomposición anaeróbica de los residuos; pero es en el año 1600 en que diferentes alquimistas de la época lo identificaron como el gas procedente del proceso de descomposición de la materia orgánica (McCarty, 2000).

Por otra parte, el primer digester anaeróbico moderno fue construido en la India en 1859, que aprovechó la descomposición de materia orgánica en aguas residuales, el cual proveía de luz y energía a un hospital de leprosos en Matungoa (McCarty, 2000). En Europa, las primeras fábricas productoras de biogás tras las guerras mundiales abastecían principalmente a tractores. Posteriormente se desarrolló la tecnología Imhoff para el tratamiento de aguas residuales, la cual produce biogás que mayormente es utilizado en las mismas plantas, vehículos y, en muchas ciudades, se lo ha inyectado a la red de gas comunal (McCarty, 2000).

Actualmente se ha avanzado en el desarrollo del campo tecnológico en cuanto a estudios de los microorganismos que actúan en condiciones anaeróbicas, debido a que se conoce el funcionamiento del proceso bioquímico y microbiológico, todo esto gracias a la mejora en el material y calidad de los laboratorios de investigación (Steinhauser, 2008).

En el ámbito de aprovechamiento de energías renovables, en el Ecuador se han construido varias hidroeléctricas las cuales suplen las necesidades energéticas a escala nacional. Sin embargo, se debe considerar la viabilidad de impulsar la investigación en el país, siendo la diversificación de los tipos de generación de energía uno de los campos más importantes dada la política estatal de producir y vender energía gracias a tecnologías innovadoras que aprovechen los desechos orgánicos (Acosta, Alberto; Martín, 2013).

En el Distrito Metropolitano de Quito existe una planta de generación eléctrica, que funciona a partir del biogás producido en el Relleno Sanitario El Inga, donde sus generadores producen más de 5 MWh en total. Esta planta es una de las mejores adquisiciones en cuanto a producción de energía debido a que su cantidad de megavatios por hora es alta, por lo que promueve la utilización de desechos en energía (EMGIRS, 2017). Por otro lado, existen muchas plantas industriales en donde se produce biogás con estiércol de animales, sin embargo, hay pocas publicaciones sobre el aprovechamiento residuos orgánicos procedentes de los camales. Los residuos orgánicos que forman parte de esta actividad están compuestos en su mayoría por carnaza, grasa, sangre, contenido ruminal y vísceras decomisadas, que sin un tratamiento o aprovechamiento son principalmente efluentes de contaminación de arroyos y ríos aledaños al camal, o de otro modo son incinerados (Huacani Torres, 2017). Las vísceras decomisadas en camales también llegan a ser adquiridas por comerciantes y son vendidas para el consumo humano, por lo que afectará de manera directa al consumidor, debido a que si estas han sido decomisadas es por no cumplir con los requerimientos necesarios para su consumo. Este estudio busca reducir dicha problemática y aprovechar este desecho orgánico en la producción de energía.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Evaluar el potencial de los hígados decomisados y establecer las condiciones de la digestión anaeróbica.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar el sustrato de la digestión anaeróbica antes y después de la experimentación.
- Determinar la relación hígado – estiércol más eficiente para generar metano.
- Analizar la remoción de materia orgánica de los lodos al finalizar la experimentación.

## **1.3. Alcance**

El presente estudio tiene como finalidad la evaluación experimental del potencial de producción de biogás a partir de hígados decomisados y dar una posible solución a la problemática que se describe dentro de la investigación. Para ello, se realizó estudios experimentales con el fin de poder determinar el potencial de esta evaluación a partir de diferentes tratamientos aplicados en la generación de biogás.

## **1.4. Justificación**

Los cambios evidentes en el sistema climático son resultado de las actividades de los seres humanos que generan gases de efecto invernadero. Por lo tanto, es indispensable el estudio de tecnologías que detengan el avance progresivo de emisiones de este tipo de gases, como es el caso de la digestión anaerobia, la cual obtiene gases de mucha utilidad como el metano a partir del

aprovechamiento de materia orgánica, convirtiéndose en la disposición final de algunos residuos y desechos orgánicos (Campos y Flotats, 2004). En los centros de faenamiento los desechos orgánicos superan a la fracción de desechos inorgánicos y no existe un aprovechamiento óptimo de los mismos. Un ejemplo de desechos orgánicos son los hígados resultado del desposte de bovinos. La fracción de hígados decomisados en el camal del DMQ es alta debido a lesiones internas de los animales, cuya disposición final es la incineración ya que no son aptos para el consumo humano.

Existen estudios de aprovechamiento de vísceras de otros animales para producción de biogás, como es el caso del uso de órganos del pescado debido a su alto nivel de omega 3. Sin embargo, éstas vísceras son consideradas un residuo más no un desecho, ya que sirve de alimento para animales como perros y gatos (Bruno, 2019). Por ello, la investigación del uso de hígados bovinos decomisados como materia prima para generación de biogás, ya que éstos son desechos peligrosos que no tienen ningún valor económico en el mercado.

En ese sentido, la investigación contribuye al aprovechamiento de los hígados decomisados. El biogás resultante, es una alternativa al uso de combustibles fósiles, ya que se puede transformar en energía, calefacción, cocción, y puede ser utilizado en los mismos camales, como gas para el incinerador y para hervir agua necesaria en el proceso de faenamiento.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Efecto invernadero**

El efecto invernadero es un proceso natural que mediante una capa formada por los gases GEI se retiene el calor en el planeta (Naciones Unidas, s.f.). El proceso inicia desde el momento que el sol envía su radiación hasta la tierra, la cual, después de recibirla, la regresa a la atmósfera en forma de calor

(Naciones Unidas, s.f.). A los gases que se producen se los denomina gases de efecto invernadero y estos retienen gran parte de la energía dentro de la tierra, por lo cual no permite que sea toda devuelta a la atmósfera. Esto hace que la temperatura dentro del planeta se eleve (MAE, 2017)

La importancia que tiene el efecto invernadero dentro de los procesos que suceden de manera natural en el planeta es muy alta debido a que, si este fenómeno no ocurriera, la temperatura estaría por debajo de  $-18^{\circ}\text{C}$ . Esto generaría que la vida humana sea imposible, por lo tanto, de ahí nace la importancia de este fenómeno (Naciones Unidas, s.f.).

Cada vez son mayores los gases y la concentración de energía dentro de la tierra debido a las actividades humanas, lo cual genera que la temperatura del planeta aumente cada vez más, siendo la primera fuente del cambio climático (Sueker, 2006).

Los principales gases invernaderos que se presentan en el planeta son los siguientes:

#### **2.1.1. Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )**

Este gas es producido principalmente por la manipulación humana debido a que se produce en la quema provocada de combustibles, como, por ejemplo: el petróleo, la quema de maderas y carbón (Martins, 2019).

#### **2.1.2. Metano ( $\text{CH}_4$ )**

La producción del metano tiene un tiempo de vida mucho más corto que el  $\text{CO}_2$ , sin embargo, este es capaz de absorber aún más la radiación de la tierra obteniendo al menos 20 veces el nivel del cual retiene el  $\text{CO}_2$ . Este se produce principalmente por la fermentación de bacterias anaeróbicas o eliminación de gases del ganado (Martins, 2019).



### 2.1.3. Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)

Este se produce principalmente por el uso de los fertilizantes debido a que estos son nitrogenados para la agricultura, además estos también pueden ser expulsados por los motores de los aviones, además, el óxido nitroso es liberado durante la fabricación del nylon (Martins, 2019).

Existe una curva denominada Keeling la cual muestra de manera gráfica los cambios producidos por años en cuanto a la concentración del dióxido de carbono, según la Administración Nacional Oceánica y Atmosféricas de Estados Unidos (NOAA), que se muestra en la figura 1.

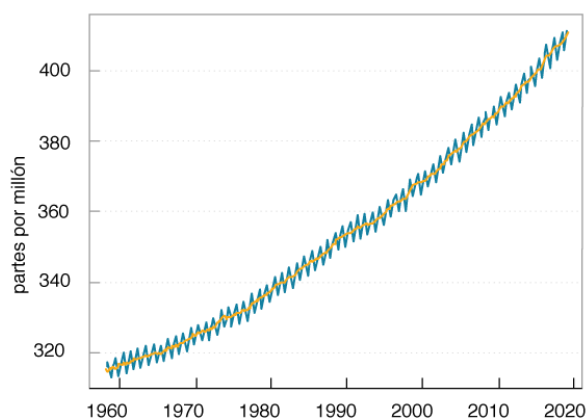


Figura 1. Concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.

Tomado de (Martins, 2019).

En éste gráfico que representa la curva de Keeling se observa la evolución que se ha presentado en cuanto a la concentración de CO<sub>2</sub> la cual ha aumentado indudablemente en la atmósfera.

## 2.2. Cambio climático

El cambio climático es un resultado de la actividad humana que afecta y altera el clima de la Tierra, por lo que tiene una influencia significativa sobre la vida. Se produce debido a la alta concentración de gases que está teniendo la tierra en relación al efecto invernadero (Naciones Unidas, s.f.). Este tipo de procesos siempre han existido en la evolución del planeta a través de la historia, pero en

la actualidad se han producido mayores cambios en el clima en menor tiempo. Esto debido a la emisión de gases GEI productos de las actividades humanas, como resultado el año 2015 al año 2018 se han presentado como los años más cálidos en diferentes ciudades de Estados Unidos (Martins, 2019).

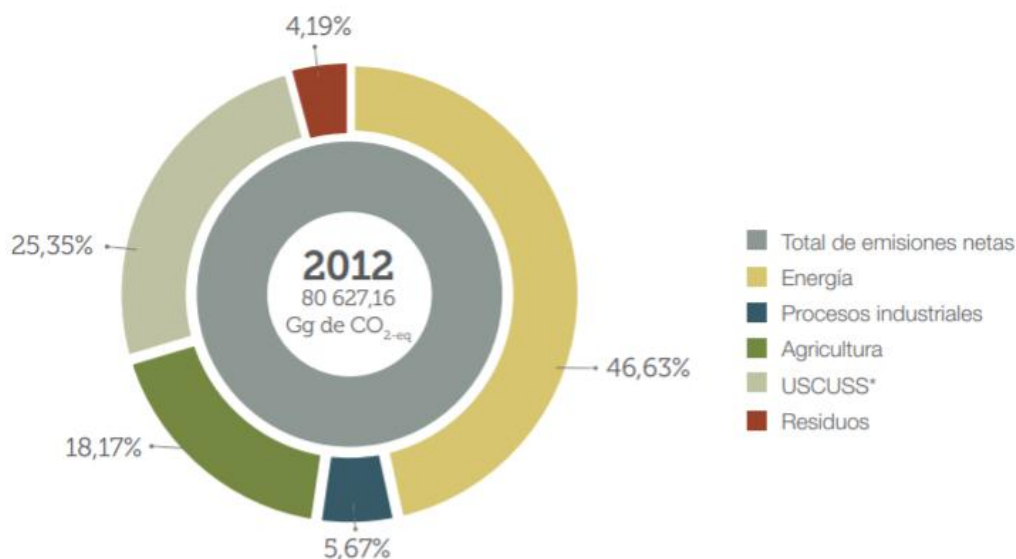
Los cambios en el clima se pueden evidenciar debido a los cambios de temperatura o las constantes lluvias con intensidad, además de toda la serie de eventos climáticos que se presentan como olas de calor, huracanes, etc (Naciones Unidas, s.f.). Además, se prevé que entre 2030 y 2050 la principal causa de malnutrición, paludismo, estrés calórico será el cambio climático y que causará 250.000 defunciones por cada año (Organización Mundial de la Salud, 2018). También se estima que en el 2030 el costo por daños directos a la salud alcanzará una cifra de 2000 a 4000 millones de dólares (Organización Mundial de la Salud, 2018). La solución es la reducción de las emisiones de gases GEI mediante mejoras en el transporte, controlar los cambios en el uso del suelo e investigación en nuevas fuentes de energía renovables que se traducen en una reducción de enfermedades (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Dentro de las causas presentes en el cambio climático se presentan las siguientes dentro del Ecuador:

Tabla 1  
*Emisiones del INGEI 2012*

<b>Sectores</b>	<b>%</b>
1. Energía	46.63
2. Procesos industriales	5.67
3. Utilización de disolventes y otros productos	NE
4. Agricultura	18.17
5. USCUS	25.35
6. Residuos	4.19
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

Adaptado de (Ministerio del Ambiente, 2017).



*Figura 2.* Emisiones del INGEI 2012  
Tomado de (Ministerio del Ambiente, 2017).

En la figura 2 presentada se observan las emisiones del INGEI en cuanto a los gases de Dióxido de carbono en el año 2012, en el cual un 46% pertenece a la energía, mientras que un 5,67% se debe a procesos industriales, un 18,17% es producido por la agricultura, un 25,35% se debe a la USCUS, y un 4,19% se produce por residuos.

### 2.3. Mitigación del cambio climático

Se conoce como la mitigación del cambio climático a las acciones que se aplican con el fin de poder prevenir todos los impactos que se presentan dentro del planeta en relación a este problema. Las acciones están relacionadas al CMNUCC que es una convención de las naciones unidas con el fin de reducir y eliminar las emisiones de GEI (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2017).

#### 2.3.1. Las medidas de mitigación

Estas son todos los tipos de acciones que se plantean o se presentan con la única intención de poder disminuir la producción de gases que actúan dentro del sistema como, por ejemplo: aplicación de la eficiencia energética, mejorar

los procesos industriales mediante uso de energía eléctrica, implementar medios de transporte con energía eléctrica (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2017).

### **2.3.2. Las medidas de adaptación**

Este tipo de medidas son las utilizadas con el fin de poder adaptar las condiciones actuales en función de los cambios climáticos que ya se han presentado, es decir, estas buscan que se reduzca la vulnerabilidad ante los cambios que se presentan como, por ejemplo: que se construyan estructuras que puedan tener mejores fundamentos con el fin de que sean más seguras en cuestión a este tipo de cambios climáticos, también implementar diferentes medidas de prevención en cuanto a cualquier tipo de catástrofe climática que se pueda presentar y por último realizar investigaciones que permitan adquirir conocimientos en relación a los cambios climáticos (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2017).

### **2.3.3. Tecnologías desarrolladas en las actividades pecuarias para mitigar el cambio climático.**

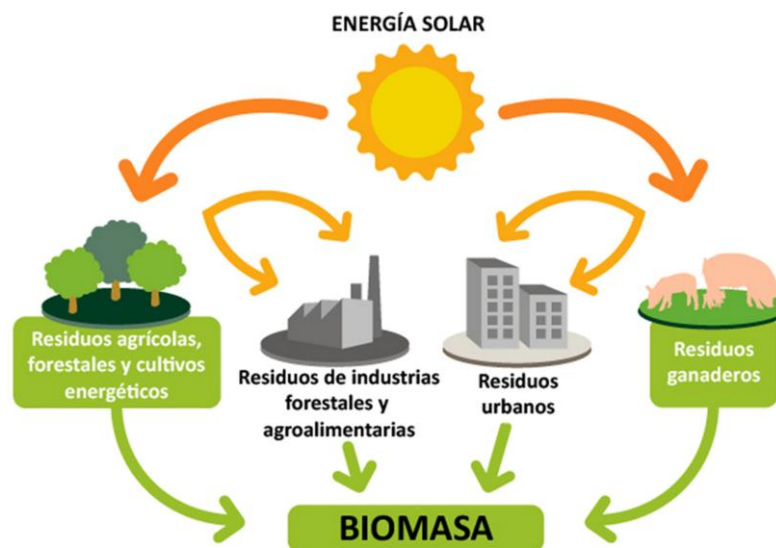
El actual desafío científico en las actividades pecuarias es producir más alimentos que generen menos contaminación, creando una conciencia en el uso del agua y energía, además de originar responsabilidades sobre la disposición final de sus productos (Barrera, 2013).

Por otra parte, a medida que sucede el cambio climático dentro del planeta, se ven afectadas la supervivencia de diferentes especies. La pérdida de la biodiversidad afecta directamente a la seguridad alimentaria a nivel mundial (FAO,2016). La principal causa que afecta la biodiversidad es la temperatura debido a que afecta de manera directa las zonas de cultivo, la calidad de los suelos, puede llegar a causar sequías y deshidratación en animales (FAO,2016).

### 2.3.4. Tecnologías de generación de energía con biomasa.

La biomasa se conoce como un ejemplo de materia orgánica la cual se crea principalmente del ámbito vegetal y animal, por lo tanto, dentro de esta materia se encuentran desechos orgánicos, que pueden utilizarse para ser transformados en energía (Estructuras Bioclimáticas avanzadas, 2016).

A continuación, se presenta en la figura 3 el proceso de conversión de todos los desechos orgánicos en biomasa.



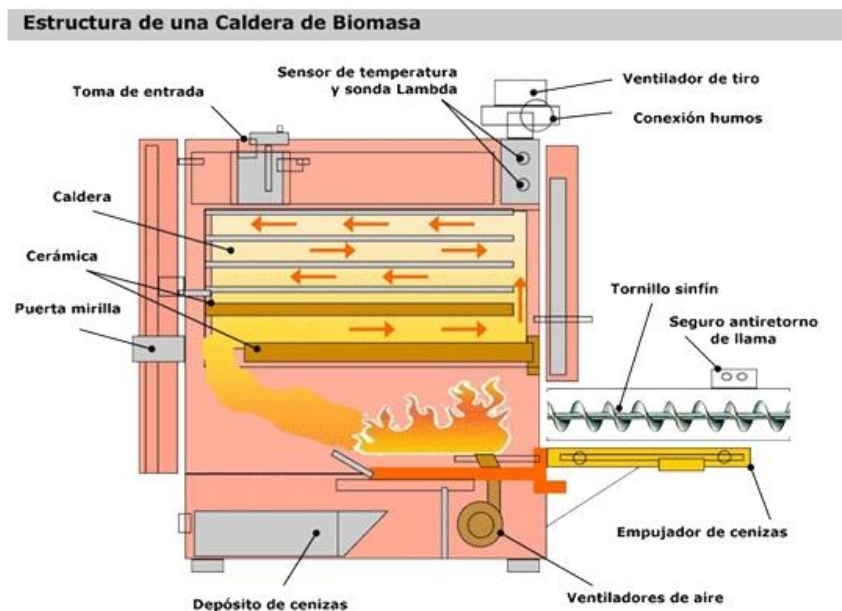
*Figura 3.* La Biomasa como energía.

Tomado de (Estructuras Bioclimáticas avanzadas, 2016).

Existen procesos utilizados para la conversión de todos estos desechos orgánicos, los cuales funcionan como fuente de energía; éstos son obtenidos de diferentes maneras y pueden generar los siguientes ejemplos de energía: vapor, biocombustibles, combustible gaseoso, electricidad y calor (CAF, 2015).

Para convertir la biomasa en energía es necesario que se someta a un proceso específico. Uno de los principales es el uso de calderos, donde la biomasa es calentada a un punto de transformarse en energía.

En la figura 4 se muestra una caldera como principal proceso de conversión de la biomasa a energía según (Estructuras Bioclimáticas avanzadas, 2016).



*Figura 4.* Caldera para conversión de biomasa a energía.  
Tomado de (Estructuras Bioclimáticas avanzadas, 2016).

Este tipo de calderas son las más usadas en el proceso de conversión de biomasa a energía como vapor o incineración, dentro del cual se presenta un proceso de quemado de todos los desechos orgánicos (Estructuras Bioclimáticas avanzadas, 2016).

## 2.4. Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es el proceso bioquímico por el cual se degrada la materia orgánica. En él intervienen cuatro etapas, que son: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. La digestión anaeróbica es de suma importancia en los procesos industriales como procesamiento de productos cárnicos, lácteos, entre otros (Parra, 2015).

Es aplicada con la intención de obtener biogás, debido a que, durante este proceso, gran parte de la materia orgánica que se encuentra dentro de la mezcla que propone el biodigestor, se convierte en gas metano (Biogás, 2016). A continuación, se presenta en la figura 5 que representa la transformación a biogás y derivados de estos materiales orgánicos a través del proceso de la digestión anaeróbica.

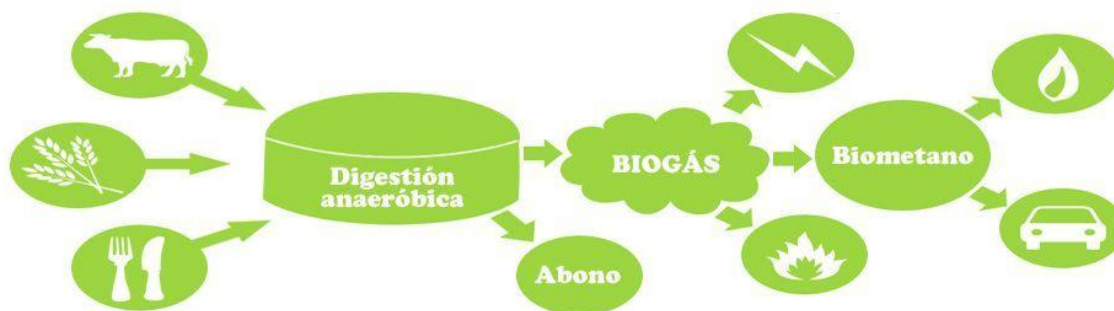


Figura 5. Digestión Anaeróbica.

Tomado de (Biogás, 2016).

La digestión se realiza a través de un biodigestor, el cual se encuentra sellado de manera hermética, con el fin de poder evitar cualquier entrada de oxígeno debido a que como su nombre nos dice esta digestión es anaeróbica (Parra, 2015).

Los Factores que influyen en el proceso son: temperatura, tiempos, pH, relación C/N, nutrientes y toxinas (Biogás, 2016). El rango óptimo del pH para que las bacterias generen una digestión y una eficiente generación de biogás, es el pH neutro, entre 6 y 8 (González, Rustrían, y Houbron, 2008).

#### 2.4.1. Etapas que se presentan dentro de la digestión anaeróbica

Dentro del proceso de digestión anaeróbica se presentan diferentes fases, las cuales se definen de la siguiente manera:

##### Hidrólisis

Dentro de esta primera etapa se presenta un factor muy importante, las enzimas, estas son las que hacen posible la transformación de toda la materia

orgánica, además de otros componentes más grandes como los lípidos (Parra, 2015). Para que ocurra este proceso es necesario que exista un valor de pH específico el cual debe ser entre 5.3 y 6.7 (González, Rustrían, y Houbron, 2008).

#### Acidogénesis.

En la acidogénesis los productos se transforman en ácido, hidrógeno y carbono, en el cual al igual que dentro del hidrólisis se presentan las bacterias hidrolíticas acidogénicas y acetogénicas, las cuales se encargan de poder fermentar toda la materia orgánica. Este tipo de bacterias consumen el oxígeno existente dentro del biodigestor y de las materias orgánicas por lo que no permanecen dentro de un espacio que contenga oxígeno (Parra, 2015). Para que ocurra este proceso, el pH debe estar entre de 5 y 7 (González, Rustrían, y Houbron, 2008).

#### Acetogénesis.

Dentro de esta etapa se desarrolla la bacteria acetogénica, esta se encarga de poder degradar todos los ácidos orgánicos que se encuentren dentro de la materia tales como los alcoholes o ácidos grasos, con el objetivo de que, durante este proceso de digestión, los ácidos orgánicos se puedan degradar y así se transformen en ácidos acéticos (Parra, 2015).

#### Metanogénesis.

Esta se presenta como la última fase, en la que se reducen los elementos como el hierro y el oxígeno, mientras que se concentra el hidrógeno y el oxígeno. A través de la fermentación que se presenta, existe la acumulación de varios compuestos orgánicos ligeros, en esta fase la mayoría de los aceptores de electrones se reducen, el único que permanece es el Dióxido de carbono (Martí, 2006). Los microorganismos que actúan dentro de esta fase son los



metanógenos, los cuales toman todo el dióxido de carbono que permanece en el proceso para poder convertirlo en metano (Parra, 2015).

En la figura 6 se presenta las etapas dentro del proceso de digestión anaeróbica, que empieza por la degradación de la materia orgánica y termina en la formación de biogás, principalmente metano, ya que es el gas que se encuentra en un mayor porcentaje (FAO et al., 2011; Vögeli et al., 2014).

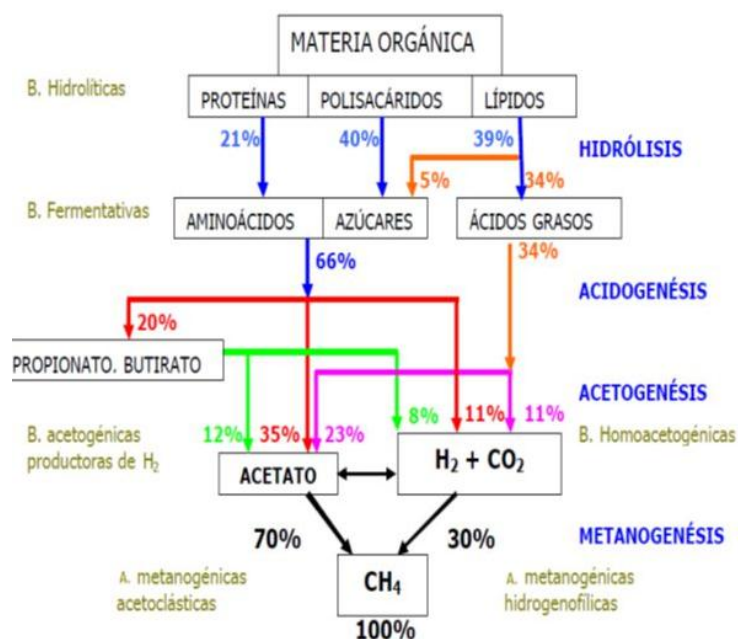


Figura 6: Etapas de la digestión anaeróbica

Fuente: (Mota, 2015).

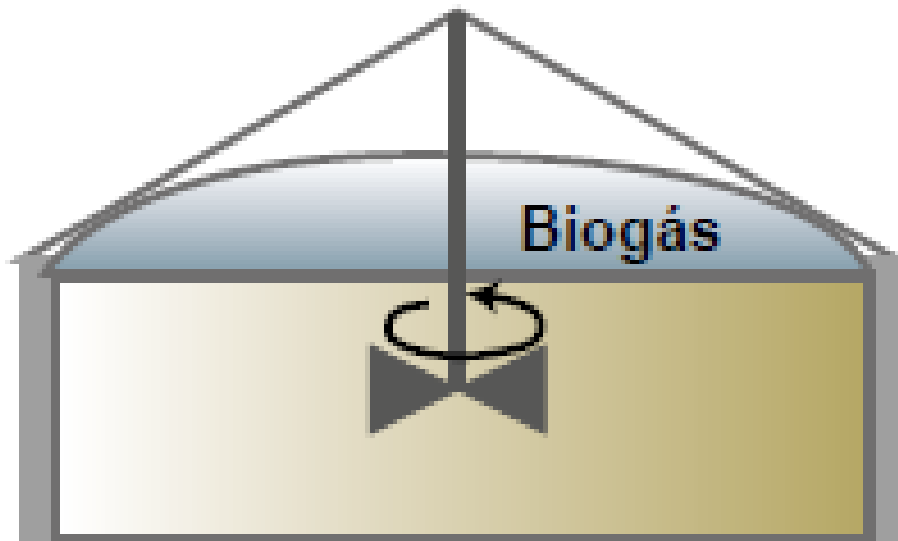
## 2.4.2. Tipos de biodigestores

Los biodigestores se pueden presentar tanto dentro de una planta de biogás como en una granja familiar debido a sus diferentes tamaños y adaptación para cumplir la función de la digestión anaeróbica, de tal manera según (Ministerio de Energía, 2012) estos son algunos de los tipos de biodigestores existentes:

### 2.4.2.1. Biodigestor de mezcla completa.

Este tipo de biodigestor se presenta como uno de los más usados dentro de estos procesos para los residuos en las agroindustrias, sus características son

normalmente un tipo de tanque con una figura circular donde el sustrato se mezcla de manera lenta y con movimientos circulares y suaves por uno o varios agitadores y comúnmente es utilizado para contenidos orgánicos suaves (Corona, 2007). A continuación, se presenta en la figura 7 un biodigestor de mezcla completa.



*Figura 7.*Biodigestor de mezcla completa.

Tomado de (Ministerio de Energía, 2012).

#### **2.4.2.2. Biodigestor de flujo de pistón.**

Este tipo de biodigestores se utiliza para contenido orgánico que sea de consistencia sólida, como por ejemplo el estiércol de bovino y de los porcinos, así como también los residuos urbanos. En cuanto a las características que este presenta, son principalmente de forma horizontal y en su mayoría son hechos de concreto y poseen cubiertas de geomembrana. Se le da este nombre de flujo de pistón debido a que el sustrato que ingresa es impulsado por el sustrato que ingresa después de este (Corona, 2007).

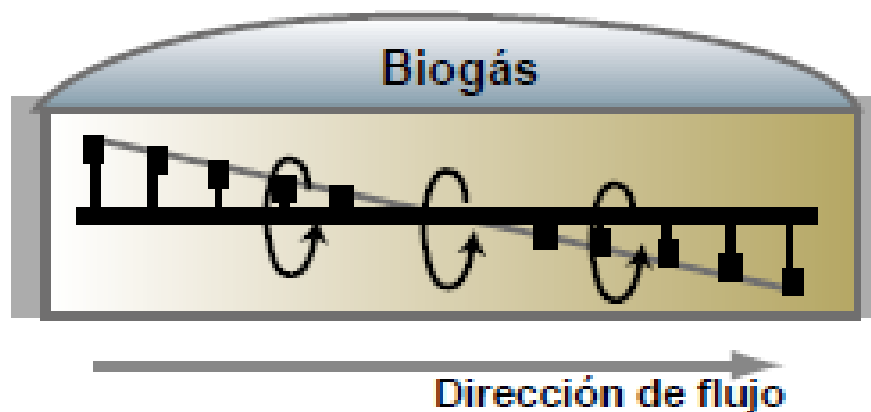


Figura 8. Biodigestor de flujo de pistón.  
Tomado de (Ministerio de Energía, 2012).

#### 2.4.2.3. Biodigestor de laguna cubierta.

Este tipo de biodigestor se presenta generalmente como procesador para los residuos orgánicos los cuales pueden ser todos los desechos de alimentos de las áreas urbanas y rurales (Fundación Hábitat, 2005). Tiene como características que puede ser un tipo de laguna o piscina, la cual sea cubierta de manera hermética por plásticos, y dentro de esta no existe ningún tipo de calor o de movimientos (Corona, 2007). La principal desventaja es el costo del mantenimiento y la amenaza por incidentes naturales como: sismos, erupciones volcánicas, que provocan averías físicas (Corona, 2007).

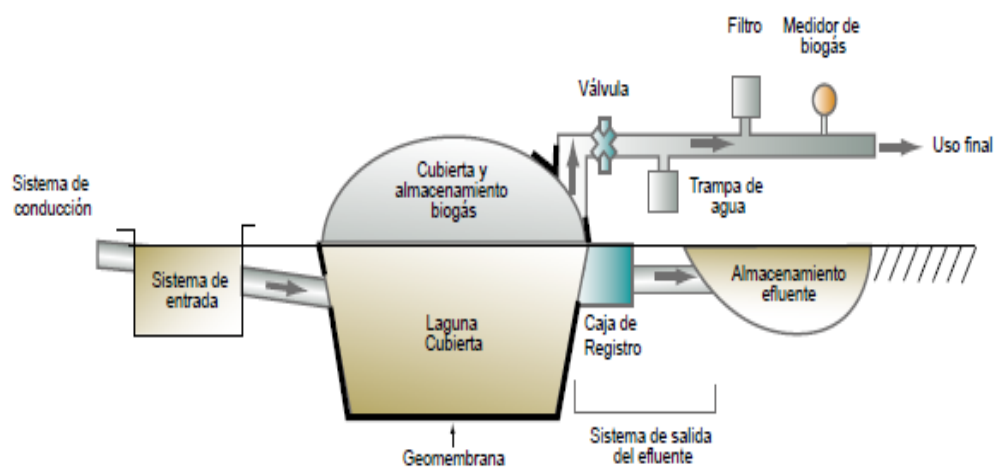


Figura 9: Biodigestor de laguna cubierta.  
Tomado de (Ministerio de Energía, 2012).

### 2.4.3. Tipos de bioenergía

La bioenergía es la energía que se obtiene de la biomasa. Este último es el material orgánico que más se usa como combustible a lo largo de la historia y se obtiene a través de la fotosíntesis en las plantas (Islas Sampeiro & Martínez Jiménez et al, 2010).

Por otra parte, la bioenergía es una fuente sostenible y renovable solamente bajo determinadas condiciones. Con el objetivo de mantener un equilibrio del dióxido de carbono, se debe considerar las emisiones de carbono que genera al producirla (Creutzig et al., 2015).

### 2.4.4. Biocombustibles

La generación de biocombustibles es una fuente de energía alternativa que podría sustituir el empleo de hidrocarburos. A finales del siglo XIX se iniciaron los primeros desarrollos de motores que funcionan con combustibles de aceite vegetal. Henry Ford, junto con la Standard Oil a principios de los años 20, en Baltimore, destinaron grandes de recursos a la producción de etanol en gasolina, pero los altos costos y dificultades hicieron abandonar este proyecto, además el petróleo surgió con precios más accesibles y con alta eficiencia (Salinas & Gasca et al, 2009).

Los tipos de biocombustibles se los puede clasificar entre sólidos, líquidos y gaseosos, además existen varios métodos para obtener biocombustibles como se muestra a continuación en la tabla 2.

Tabla 2  
*Procesos y técnicas de obtención de biocombustibles.*

	<b>Técnicas</b>	<b>Productos</b>	<b>Aplicaciones</b>
<b>Mecánicos</b>	Astillado	Leñas	Calefacción
	Trituración	Astillas	Electricidad
	Compactación	Briquetas Aserrín	
<b>Termoquímicos</b>	Pirólisis	Carbón	Calefacción
	Gasificación	Aceites	Electricidad
		Gasógeno	Transporte Industria

			química
<b>Biotechnológicos</b>	Fermentación Digestión anaeróbica	Etanol Biogás	Transporte Industria química Calefacción Electricidad
<b>Extractivos</b>	Extracción físico- química	Aceites Ésteres Hidrocarburos	Transporte Industria química

Adaptado de (Salinas & Gasca et al, 2009).

### Pirólisis

La pirólisis es un proceso utilizado para convertir la materia orgánica en combustibles útiles a una temperatura de 350 a 650 grados Celsius. Existen una serie de ejemplos de pirólisis que están en relación con el tiempo de la resistencia de la velocidad de calentamiento y temperatura (Urien-Pinedo et al, 2013). A continuación, se presenta la tabla 3 de los distintos tipos de procesos de pirólisis.

Tabla 3

*Tipos de procesos de pirólisis.*

PROCESO	TIEMPO DE RESIDENCIA	VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO	TEMPERATURA (°C)	PRODUCTOS
<b>CARBONIZACIÓN CONVENCIONAL</b>	Días 5-30 min	Muy lenta Lenta	400 600	Bio-char Gas, líquido y biochar
<b>RÁPIDA</b>	0,5-5 SEG	Muy rápida	650	Bioaceites
<b>FLASH (LÍQUIDOS)</b>	< 1 seg	Rápida	< 650	Bioaceites
<b>FLASH (GAS)</b>	< 1 seg	Rápida	< 650	Químicos y gas
<b>ULTRA RÁPIDA</b>	< 0,5 seg	Muy rápida	1000	Químicos y gas
<b>VACÍO</b>	2-30 seg	Media	400	Bioaceites
<b>HIDRO PIRÓLISIS</b>	< 10 seg	Rápida	< 500	Bioaceites
<b>METANO PIRÓLISIS</b>	< 10 seg	Rápida	> 700	Químicos

Adaptado de (Urien-Pinedo et al, 2013).

La pirólisis es un proceso de gasificación que utiliza altas temperaturas sin añadir oxígeno con el fin de generar combustibles, en este proceso surge la descomposición química de la materia orgánica, esto es causado por las

temperaturas elevadas en ausencia de oxígeno que se utilizan en el proceso (Urien-Pinedo et al, 2013).

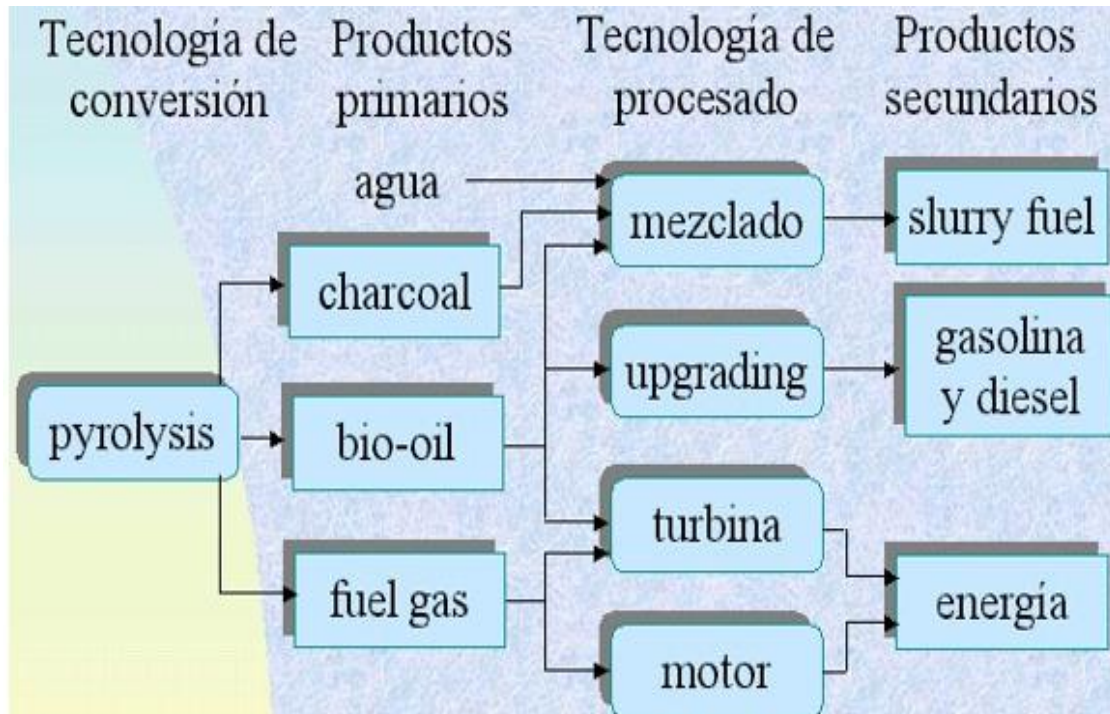


Figura 10. Pirólisis.

Tomado de (cps.unizar.es, 2012).

#### 2.4.5. Biodiesel

El biodiesel se produce a través de materias orgánicas renovables especialmente aceites vegetales o grasas animales. Es usado como sustitución al diésel de petróleo. Al introducir este combustible en motores convencionales se reduce la emisión de gases de efecto invernadero. Se lo puede utilizar en cualquier motor a diésel y además aumenta la vida útil del vehículo, pero existen factores como la viscosidad, la baja volatilidad y un bajo poder calórico que deben mejorarse antes de que pueda reemplazar al diésel tradicional (Ramírez & Chávez Norma et al, 2012).

Entre las ventajas que se pueden mencionar sobre la utilización de biodiesel son, por ejemplo: su alto poder de lubricación y el mínimo desgaste del motor, reducción de los humos visibles durante el arranque, alta biodegradabilidad, no es nocivo para la salud humana ni para la flora o la fauna. La desventaja principal es el elevado costo de obtención por la materia prima que se utiliza (Ramírez & Chávez Norma et al, 2012). A continuación, en la tabla 4 se señalan las principales materias primas utilizadas.

Tabla 4

*Materia orgánica prima para la elaboración de biodiesel.*

<b>Aceites vegetales convencionales</b>	<b>Aceites vegetales alternativos</b>	<b>Otras fuentes</b>
Aceite de girasol	Aceite de Brassica	Aceite de semillas
Aceite de colza	carinata	modificadas
Aceite de soya	Aceite de Cynara	genéticamente
Aceite de coco	cardunculus	Grasas animales
Aceite de palma	Aceite de Camelina	Aceites de fritura usados
	sativa	Aceites producidos por
	Aceite de Crambe	microorganismos y
	abyssinica	micro algas
	Aceite de Pogianus	
	Aceite de Jatropha	
	curcas	

Adaptado de (Ramírez & Chávez Norma et al, 2012).

#### **2.4.6. Bioetanol**

El bioetanol mayormente conocido como alcohol etílico es ampliamente utilizado como potenciador de combustibles fósiles proporcionando el aumento en la oxidación de los hidrocarburos de la gasolina reduciendo la emisión de gases. La utilización de bioetanol data desde la época de 1980, este procede en primer lugar de la caña de azúcar y de los granos de maíz. Actualmente, se estudia la producción a través de biomasa (Serna et al., 2011).

### 2.4.7. Biogás.

El biogás se obtiene debido a los procesos de hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Estas 4 fases promueven esta producción de este tipo de gas bioenergético el cual es producido por la mezcla del dióxido de carbono y del metano (Sisternas, 2018).

Por otra parte, el biogás se genera por medio de equipos industriales como biodigestores o de manera natural en el suelo (Guerrero, 2019).

Los principales componentes que presenta el biogás y lo cuales son utilizados de manera energética son los siguientes.

- Metano ( $\text{CH}_4$ )

El biogás se compone aproximadamente por un 54 a 70% de gas metano (Guerrero, 2019).

- Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

El biogás está compuesto por aproximadamente un 27 a 45% del dióxido de carbono (Guerrero, 2019).

- Nitrógeno ( $\text{N}_2$ ).

Este componente se presenta en cantidades muy mínimas dentro del biogás aproximadamente de un 0,5% al 3% (Guerrero, 2019).

- Ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

Este componente es el que se presenta con menores cantidades dentro del biogás con una cantidad de 0,1% (Guerrero, 2019).



## **2.5. Uso de biodigestores en Ecuador**

En la última década el uso de los biodigestores ha tomado más acogida que en tiempos anteriores, sobre todo por la problemática actual debido al cambio climático, la búsqueda por plantear diferentes soluciones se ha hecho más extensa. Dentro del Ecuador, a mediados del año 2010, se presentó la posibilidad del uso de los biodigestores, en el área de productores del país, en busca de la innovación y de presentar proyectos que fomentaran el uso de soluciones (Ministerio del Ambiente, 2015).

Actualmente en el Ecuador existen aproximadamente más de 1500 biodigestores utilizados en diferentes áreas, pero con la misma finalidad. Uno de los primeros biodigestores instalados fue en la provincia del oro. Existe una empresa llamada Biodigestores Ecuador, la cual fue creada con el fin de presentar soluciones ambientales dirigidas a los sectores agropecuarios y agroindustriales, a través de innovaciones tecnológicas aplicadas a sistemas de digestión anaeróbica. (Biodigestores Ecuador, 2018).

La instalación de los biodigestores ha abarcado desde los productores más pequeños hasta instalaciones en grandes fábricas con biodigestores de gran tamaño. En el Ecuador cada vez se va ampliando y utilizando con mayor frecuencia este tipo de alternativas, con el fin de poder fomentar la protección ambiental y sobre todo aprovechar recursos renovables para generar energía (Biodigestores Ecuador, 2018).

## **2.6. Hígados decomisados**

Dentro del Ecuador se presenta el proceso de decomisado de las carnes y vísceras que presenten algún tipo de parásito, quiste o cualquier tipo de enfermedad, principalmente por la causa que puede generar esta al momento del consumo humano, debido a que puede afectar de manera mortal si algún tipo de parásito o bacteria llega a entrar en el cuerpo (Sampiere, 2004).

En relación a las carnes, debido a que se presentan por cortes específicos para su venta y consumo, no se puede decomisar toda la canal. Por esta razón en caso de presentar alguna anomalía se realiza un corte radial de al menos 10 centímetros para eliminar el área afectada, y proceder a la comercialización del resto de la canal para su consumo (Calero, 2011).

El principal problema de que se presente un parásito en las carnes da como efecto problemas de salud en el consumidor. Estos parásitos afectan de manera determinante a los seres humanos, y requieren altas temperaturas para morir, por lo cual en ocasiones no se logra eliminarlos dentro del proceso de cocción y pueden terminar siendo consumidos por las personas (REDVET,2008).

En el caso de los hígados se presenta de manera diferente, puesto que estos al momento de la venta consumo humano si presentan algún tipo de parásito o quiste, este será decomisado por completo dado que no se puede retirar solo la parte que se encuentre infectada (REDVET,2008). El Ministerio de agricultura, ganadería, acuacultura y pesca (2016) hace referencia a este decomiso de los hígados por completo impidiendo su venta.

El consumo de alimentos contaminados en este caso hígados está prohibido según lo establecido por (Constitución del Ecuador, 2008) en el siguiente artículo.

**Art 281.-** *“la soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiado de forma permanente, para ellos es responsabilidad del Estado prevenir y proteger a la población del consumo de alimentos contaminados o que pongan en riesgo su salud o que la ciencia tenga incertidumbre sobre sus efectos”* (Constitución del Ecuador, 2008).

A través de un proceso de biodigestión, esta clase de desechos puede ser aprovechada para generar energía a partir de su biomasa. La alternativa de biodigestión se presenta con el objetivo principal no solo producir energía, si no para poder aprovechar un desecho que de otro modo generará contaminación atmosférica y un potencial a la salud pública.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Obtención del desecho y el residuo (Hígado decomisado y estiércol de vaca)**

El hígado decomisado fue recolectado en el camal municipal del DMQ ubicado en la calle Orejuela y Gabriel Galarza, mediante permisos del jefe de planta y el veterinario de la línea de decomiso.

Como se puede evidenciar en la figura 11 el hígado presentó cetosis causado por la nutrición del animal.

El desecho se obtuvo el día 9 de septiembre a las 10 am después del desposte en el camal y fue conservado en un frigorífico para su transporte a una temperatura de 4°C (U. S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), 2001). La fracción de hígado sobrante se colocó en una bolsa roja y se la entregó al centro de faenamiento



*Figura 11.*Hígado decomisado de la faena de bovinos.

El estiércol de vaca para el inóculo y los tratamientos fueron recolectados en la Hacienda la Moca, ubicada en el cantón Rumiñahui, parroquia Rumipamba. La hacienda se dedica a la producción de leche mediante ordeño mecánico, las vacas son de raza Holstein y sus dietas son a base de pastos, bananos y afrechos. La recolección de la muestra de estiércol se realizó en el momento del ordeño, este momento es óptimo porque sus residuos frescos caen en una superficie de cemento en donde facilita su recolección con una pala.

Se recolectó 5 kg de estiércol fresco que haya sido excretado en el momento del ordeño y se retiró las piedras (Macias-Corral et al., 2008). La muestra fue colocada en un recipiente de plástico y transportada en un frigorífico, después fue llevada inmediatamente al laboratorio y se armó los reactores con inóculo. El estiércol fue conservado en una refrigeradora a 4 °C (U. S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), 2001) para ser utilizado en los tratamientos después de que esté preparado el inóculo y este ya no genere biogás.

### **3.2. Preparación del hígado decomisado.**

El hígado fue cortado con un cuchillo para obtener cortes iguales de hígado, después se trituró para disminuir el tamaño de la partícula con la ayuda de una

licuadora, como factor importante en la fermentación en los reactores es el tamaño de la partícula del sustrato orgánico es por esto que se recomienda que la partícula sea menor a 10mm (Verein Deutscher Ingenieure, 2016).



*Figura 12.* Hígado tras ser cortado con un cuchillo.



*Figura 13.* Disminución de la partícula con una licuadora.

### **3.3. Determinación de las propiedades físicas del hígado decomisado y estiércol.**

Para la caracterización de sólidos volátiles y totales de los sustratos se tomó en cuenta los métodos 2540 G de S. Methods para sólidos volátiles, fijos y totales en muestras semi sólidas (Carranzo, 2012) y el método 1684 de la EPA para biosólidos (U. S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), 2001).

### 3.3.1. Sólidos totales

El análisis de sólidos totales de las muestras se realizó por triplicado para un mejor resultado, los crisoles se colocaron en la estufa a 105°C durante 1 hora, después los crisoles se les colocó en un desecador durante 15 minutos con la ayuda de las pinzas, fueron pesados en la balanza analítica previamente calibrada y se colocó 25 g de muestra en cada uno de los crisoles. Posteriormente las muestras fueron introducidas a la estufa a 105°C durante 16 horas, después los crisoles fueron colocados en un desecador por 15 minutos con la ayuda de pinzas, luego fueron pesados. Para determinar el porcentaje de sólidos totales, con los datos obtenidos se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ sólidos totales} = \frac{(A-B)*100}{(C-B)} \quad (\text{Ecuación 1})$$

A= peso de la muestra seca + crisol (g)

B= peso del crisol (g)

C= peso de la muestra húmeda + crisol (g)

### 3.3.2. Sólidos volátiles

Luego de calcular los sólidos totales se colocó los mismos crisoles dentro de una mufla a 550°C durante 4 horas. Después con la ayuda de las pinzas se colocó los crisoles en un desecador por 15 minutos y finalmente fueron pesados. Para determinar los sólidos volátiles se empleó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ sólidos volátiles} = \frac{(A-D)*100}{(A-B)} \quad (\text{Ecuación 2})$$

2)

A= peso de la muestra seca + crisol (g)

B= peso del crisol (g)

D= peso de la muestra + crisol después de la ignición (g)

### **3.3.3. Potencial de hidrógeno (pH)**

Con el método NEMI 4500-H+ B se realizó la medición del pH. Se utilizó el potenciómetro Hanna HI 2210 antes y después de la experimentación en los 3 tratamientos y el blanco. Para la medición del pH de los reactores después de que se haya dado la digestión anaeróbica se tomó en cuenta el método 9045 D establecido por la USEPA en donde se explica que se debe colocar 20 g del lodo de cada reactor con 20 ml de agua destilada y mezclar con un agitador de vidrio durante 5 minutos, luego se esperó una hora hasta obtener un sobrenadante, después se insertó el electrodo en él y se midió (CEF, 2004). Si el pH es menor a 6.5 se debe agregar 1  $\mu$ l de NaOH a una concentración de 8 ppm.

### **3.4. Obtención del inóculo**

Para la preparación del inóculo se realizó una mezcla 1:1 de estiércol-agua (Vögeli et al., 2014) para potenciar la actividad microbiana en el estudio. La mezcla contiene 200 g de estiércol 200 ml de agua destilada, esta mezcla se colocó en un Erlenmeyer de 1000 ml cerrado con un tapón, el cual tendrá un agujero en donde se colocó un racor para que la manguera del equipo tenga un mejor agarre y no exista fugas en la circulación del biogás, además se selló con silicona. Luego se colocaron en una estufa de laboratorio a 35 °C por 14 días (FAO et al., 2011; Vögeli et al., 2014). Se realizó 6 reactores para que exista suficiente inóculo para todos los tratamientos, para la caracterización del inóculo se utilizó la metodología antes mencionada.



Figura 14. Inóculo.

### 3.4.1. Medición de Biogás del inóculo.

Para la medición de biogás producido por el inóculo durante 14 días de digestión anaeróbica se utilizó el equipo milligascounter. Para armar el sistema de medición se unieron dos mangueras a una "T" luego un regulador de caudal que evita que se regrese la solución limpiadora del milligascounter y finalmente se conectó a los equipos.

### 3.5. Preparación de reactores a escala de laboratorio

Los reactores a escala de laboratorio fueron implementados en matraces Erlenmeyer de 500 ml y tapones de caucho, para la medición de metano se utilizó la técnica de desplazamiento volumétrico mediante probetas de 100 ml. Los vasos de precipitación usados fueron de 600 ml y contenía NaOH 2M para la captura de CO<sub>2</sub> en el biogás y liberación de CH<sub>4</sub>.





*Figura 15.* Tratamientos 1,2,3 y 4.



*Figura 16.* Equipo para medir metano mediante desplazamiento volumétrico.

Los reactores Batch se armaron con una mezcla líquida de 200 ml (25 ml de sustrato y 175 ml de inóculo) (Angelidaki et al., 2009). Como lo recomienda la norma alemana la relación de sustrato-inóculo debe ser  $0.5 \leq \text{SV}_{\text{sustrato}}/\text{SV}_{\text{inóculo}}$  (Verein Deutscher Ingenieure, 2016). Las proporciones Estiércol: Hígado fueron obtenidas a partir de la relación C/N de cada sustrato

las cuales son 1E:1H; 1E:2H y 1. 5E:1H además de un tratamiento blanco que contenía solo inóculo para poder comparar, los tratamientos se realizaron por triplicado para un mejor resultado estadístico.

Los reactores fueron colocados a una temperatura a 35°C (FAO et al., 2011; Vögeli et al., 2014) durante 25 días (Verein Deutscher Ingenieure, 2016) y cada 5 días se realiza una agitación para evitar la formación de costras.

*Tabla 5*  
*Relación Carbono/Nitrógeno de cada sustrato.*

	<b>Carbono</b>	<b>Nitrógeno</b>
<b>Estiércol</b>	25	1
<b>Hígado</b>	15	1

Adaptado de (FAO et al., 2011).

La relación C/N es un factor importante para que exista una digestión anaeróbica. La relación óptima de C/N en digestión anaeróbica debe ser entre 20-30 a 1 (FAO et al., 2011).

*Tabla 6*  
*Relación para cada tratamiento.*

	<b>Relación E-H</b>	<b>C/N</b>	<b>Estiércol</b>	<b>Hígado</b>	<b>Inóculo</b>	<b>Repeticiones</b>
<b>Tratamiento 1</b>	1:1	20:1	6.25%	6.25%	87.5%	X3
<b>Tratamiento 2</b>	1:2	27.5:1	4.16%	8.33%	87.5%	X3
<b>Tratamiento 3</b>	1.5:1	26.25:1	7.5%	5%	87.5%	X3
<b>Tratamiento 4 (Blanco)</b>					100%	X3

Con los resultados de porcentaje SV y ST de las repeticiones de cada uno de los sustratos e inóculo, se realiza un promedio para cada sustrato y uno para el inóculo. Con este valor se puede determinar el porcentaje de sólidos volátiles de toda la muestra de cada uno de los sustratos e inóculo con la siguiente fórmula:

$$\frac{ST_{(I,E,H)} * SV_{(I,E,H)}}{10000} = SVM_{(I,E,H)} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

$ST_{(I,E,H)}$  = Porcentaje de sólidos totales.

$SV_{(I,E,H)}$  = Porcentaje de sólidos volátiles.

$SVM_{(I,E,H)}$  = Porcentaje de sólidos volátiles de toda la muestra.

Para determinar los gramos de los sustratos e inóculo a colocar (GTS), la norma alemana recomienda que el inóculo debe estar en un 70-90% (Verein Deutscher Ingenieure, 2016). Con este resultado se puede conocer los gramos de sólidos volátiles (GVS) en el tratamiento con la siguiente fórmula:

$$GVS_{(I,E,H)} = GTS_{(I,E,H)} * STM_{(I,E,H)} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

$GVS_{(I,E,H)}$  = Gramos de sólidos volátiles.

$GTS_{(I,E,H)}$  = Gramos de cada sustrato en el tratamiento.

$STM_{(I,E,H)}$  = Porcentaje de sólidos totales de toda la muestra.

Para cumplir con la relación sustratos – inóculo,  $0.5 \leq SV_{\text{Sustrato}} / SV_{\text{inóculo}}$ , se determinó el GVS (Ecuación 4) como lo recomienda la norma alemana (Verein Deutscher Ingenieure, 2016). Se determina con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{(GVS_E + GVS_H)}{GVS_I} \quad (\text{Ecuación 5})$$

5)

Donde

R = relación sustratos – inóculo.

$GVS_i$  = gramos de sólidos volátiles del inóculo.

$GVS_E$  = gramos de sólidos volátiles del estiércol.

$GVS_H$  = gramos de sólidos volátiles del hígado.

En la tabla 7 se presenta la composición exacta de cada uno de los tratamientos que fueron realizados para 200 ml.

*Tabla 7*  
*Composición de los tratamientos.*

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
	<b>(g)</b>	<b>(g)</b>	<b>(g)</b>	<b>(g)</b>
<b>INÓCULO</b>	175	175	175	200
<b>ESTIÉRCOL</b>	12.5	8.33	15	
<b>HÍGADO</b>	12.5	16.67	10	

Para determinar los Sólidos totales iniciales de los tratamientos se utilizó la siguiente fórmula:

(Ecuación 6)

$$ST_i = (P_{inóculo} * ST_{inóculo}) + (P_{estiércol} * ST_{estiércol}) + (P_{hígado} * ST_{hígado})$$

Donde:

ST<sub>i</sub>=Sólidos totales iniciales del tratamiento.

P<sub>(I,E,H)</sub>= Peso de cada uno de los sustratos en el tratamiento.

ST<sub>(I,E,H)</sub>= Sólidos totales de cada uno de los sustratos.

Para determinar los Sólidos volátiles de los tratamientos se utilizó la siguiente fórmula:

(Ecuación 7)

$$SV_i = (P_{inóculo} * ST_{inóculo} * SV_{inóculo}) + (P_{estiércol} * ST_{estiércol} * SV_{estiércol}) + (P_{hígado} * ST_{hígado} * SV_{hígado})$$

Donde:

SV<sub>i</sub>=Sólidos volátiles iniciales del tratamiento.

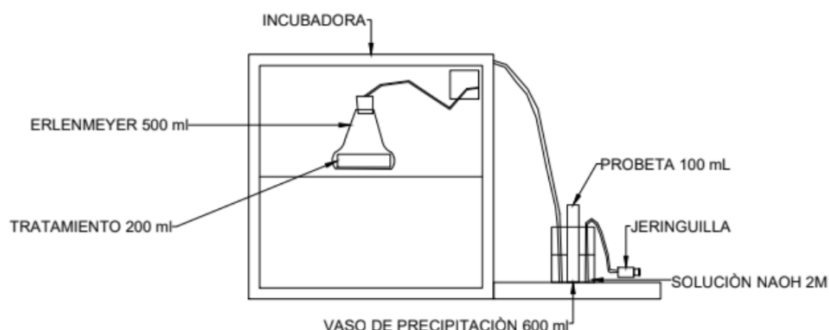
P<sub>(I,E,H)</sub>= Peso de cada uno de los sustratos en el tratamiento.

ST<sub>(I,E,H)</sub>= Sólidos totales de cada uno de los sustratos.

SV<sub>(I,E,H)</sub>= Sólidos volátiles de cada uno de los sustratos.

### 3.6. Medición de metano.

Para la medición diaria de  $\text{CH}_4$  se utilizó la técnica de desplazamiento volumétrico en donde se colocó probetas invertidas de 100 ml en los vasos de precipitación que contenían una solución base de  $\text{NaOH}$  2M la misma que captura el  $\text{CO}_2$  del biogás formado y libera el  $\text{CH}_4$  para poder medirlo como se observa en la figura 17 (Salazar-Rojas et al., 2017). Además, se utilizó mangueras de laboratorio que se introdujeron en las probetas para determinar la cantidad de  $\text{NaOH}$  desplazado la misma que es proporcional al metano producido en la experimentación, también se colocó otra manguera en la probeta para poder retirar el metano y que la probeta contenga de nuevo 100 ml de la solución para los siguientes días. En la figura 17 se observa el sistema de medición de metano. Debido al volumen que ocupa el gas en cada reactor antes de salir por la manguera se sumaron 400 ml de metano en el primer día de cada reactor.



*Figura 17.* Sistema de medición volumétrica de metano.

Después de conocer la mejor proporción que generó más metano se procedió a determinar la porción de  $\text{CH}_4$  en el biogás. Para esta prueba se realizó la mezcla del reactor que generó más metano, se utilizó el mismo hígado y estiércol caracterizado y se armó el reactor con la metodología antes mencionada. La manguera fue conectada al milligascounter para que mediante pulsos cuantifique el biogás luego la salida del mismo fue conectada a una

botella limpiadora de gases que contenía NaOH a 2M para que pase el metano y se capture el CO<sub>2</sub> en la solución, la salida de la botella fue conectado a otro equipo de milligascounter para que cuantifique el metano producido.



Figura 18. Sistema de cuantificación de metano en el biogás.

### 3.7. Transformación de resultados a condiciones normales.

La temperatura y presión ambiental fueron registradas en el momento de la medición, otros datos como la presión de vapor de agua fueron obtenidas por tablas, con estos datos se transformó el volumen de metano generado a condiciones normales (273.15°K y 1013.25 hPa) con la siguiente fórmula:

$$V_{CN} = V_x * \frac{P_a - P_v + P_L}{P_N} * \frac{T_N}{T_a} \quad (\text{Ecuación 8})$$

8)

Donde:

V<sub>cn</sub>=Volumen de metano en condiciones normales (L)

V<sub>x</sub>= Volumen de metano en (L)

P<sub>a</sub>= Presión Atmosférica en (mbar)

P<sub>v</sub>= Presión parcial de vapor de agua (mbar)

T<sub>n</sub>= Temperatura a condiciones normales =273.15 °K.

P<sub>l</sub>= Presión de la columna de agua sobre la cámara de medición =1 (mbar)

T<sub>a</sub>= Temperatura actual (°K)

P<sub>n</sub>= Presión normal =1013.25 (mbar)

### 3.8. Remoción de la materia orgánica

Para cuantificar la remoción de sólidos totales y volátiles de cada uno de los tratamientos se empleó las siguientes fórmulas:

$$S_{(T,V)} = SF_{(T,V)} - SI_{(T,V)} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

$SI_{(T,V)}$  = Porcentaje de sólidos iniciales.

$SF_{(T,V)}$  = Porcentaje de sólidos finales

$S_{(T,V)}$  = Resta del porcentaje de sólidos finales menos iniciales.

$$PR_{(T,V)} = \frac{(S_{(T,V)} * 100)}{SI_{(T,V)}} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

$S_{(T,V)}$  = Resta del porcentaje de sólidos finales menos iniciales.

$SI_{(T,V)}$  = Porcentaje de sólidos iniciales.

$PR_{(T,V)}$  = Porcentaje de remoción de sólidos con respecto a sólidos iniciales.

$$\frac{PR_{(T)} * PR_{(V)}}{100} = STM_{(T1,T2,T3)} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

$PR_{(T)}$  = Porcentaje de remoción de sólidos totales.

$PR_{(V)}$  = Porcentaje de remoción de sólidos volátiles.

$STM_{(T1,T2,T3)}$  = Porcentaje de remoción de sólidos totales de toda la muestra de cada uno de los tratamientos.

$$\frac{(SVM_{(T1,T2,T3)} - (SVM_{(T1,T2,T3)} - STM))}{SVM_{(T1,T2,T3)}} = RSV_{(T1,T2,T3)} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

$SVM_{(T1,T2,T3)}$ = Porcentaje de sólidos volátiles de toda la muestra de cada uno de los tratamientos.

$STM_{(T1,T2,T3)}$ = Porcentaje de remoción de sólidos totales de toda la muestra de cada uno de los tratamientos.

$RSV_{(T1,T2,T3)}$ =Porcentaje de remoción de sólidos volátiles de toda la muestra de cada uno de los tratamientos.

## **4. RESULTADOS**

El presente capítulo describe los resultados de la investigación a escala de laboratorio que están en base al cumplimiento de los objetivos.

### **4.1. Inóculo (Estiércol- Agua).**

#### **4.1.1. Potencial de hidrógeno (pH).**

El pH del inóculo fue de 7.43 por lo cual no se realizó una regulación con NaOH. El inóculo después de los 15 días de digestión anaeróbica registró un pH de 6.84.

#### **4.1.2. Producción de Biogás del inóculo.**

La producción de biogás de los 3 milligascounters fueron diferentes debido a que cada uno estaba conectado a dos reactores. A cada uno de los resultados se les sumó 600ml debido a que es la parte vacía en el Erlenmeyer que va a ser ocupada por el biogás antes de su medición en el milligascounter.



Tabla 8  
*Medición de biogás del inóculo.*

	I1(ml)	I2(ml)	I3(ml)
<b>Día 0</b>	0	0	0
<b>Día 1</b>	0	0	0
<b>Día 2</b>	0	0	0
<b>Día 3</b>	0	0	645
<b>Día 4</b>	631	0	687
<b>Día 5</b>	660	629	722
<b>Día 6</b>	688	654	752
<b>Día 7</b>	714	676	782
<b>Día 8</b>	738	696	809
<b>Día 9</b>	761	713	835
<b>Día 10</b>	780	728	859
<b>Día 11</b>	797	741	881
<b>Día 12</b>	811	752	901
<b>Día 13</b>	824	763	919
<b>Día 14</b>	834	773	935

#### 4.1.3. Sólidos totales y volátiles.

Los sólidos totales del inóculo en promedio después de la formación de biogás corresponden a 5.74%, además los sólidos volátiles corresponden al 79.40% de sólidos totales.

#### 4.2. Cantidad del sustrato en cada reactor.

La cantidad (g) de hígado decomisado y estiércol colocada en cada reactor Batch a escala de laboratorio se puede observar en la tabla 9.

Tabla 9  
Cantidad de sustrato (g).

Reactor	Cantidad de estiércol (g)	Cantidad de hígado (g)
Tratamiento 1 Relación: 1E-1H	12.5	12.5
Tratamiento 2 Relación: 1E-2H	8.33	16.67
Tratamiento 3 Relación: 1,5E-1H	15	10
Tratamiento 4 100% Inóculo		

#### 4.3. Propiedades físicas del material orgánico.

##### 4.3.1. Propiedades físicas antes de la digestión anaerobia.

En la tabla 10 se puede observar los porcentajes de sólidos totales y sólidos volátiles antes de la digestión anaerobia de cada sustrato, además de los porcentajes alcanzados por el inóculo, estos resultados fueron obtenidos a partir de la metodología antes mencionada.

Tabla 10  
Propiedades físicas del inóculo y sustrato.

	Inóculo	Estiércol de vaca.	Hígado decomisado.
Sólidos totales (%)	5.75	13.89	21.91
Sólidos volátiles(%)	79.40	78.89	78.33
Sólidos con respecto a la muestra(%).	5	11	17
pH	6.67	7.24	6.87

Los datos iniciales de los tratamientos con respecto a sólidos totales y sólidos volátiles fueron calculados utilizando la (Ecuación 6) y la (Ecuación 7) (Ver tabla 11). Además, se identificó el pH de cada tratamiento con la metodología antes mencionada.

*Tabla 11*  
*Sólidos totales y sólidos volátiles antes de la digestión anaerobia.*

	<b>Unidad</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
<b>INÓCULO</b>	g	175	175	175	200
<b>ESTIÉRCOL</b>	g	12.5	8.33	15	
<b>HÍGADO</b>	g	12.5	16.67	10	
<b>Total ST</b>	g	14.53	14.87	14.33	11.49
<b>Total SV</b>	g	11.50	11.76	11.35	9.13
<b>Total ST</b>	%	58.13	59.47	57.33	45.97
<b>Total Sv</b>	%	20.86	20.90	20.84	20.60
<b>Sólidos con respecto a la muestra.</b>	%	12.1	12.4	11.9	9.5

*Tabla 12*  
*Sólidos totales y volátiles del T5 (Tratamiento que fue identificado con diferente metodología) antes de la digestión anaerobia.*

	<b>Unidad</b>	<b>T5</b>
<b>INÓCULO</b>	g	175
<b>ESTIÉRCOL</b>	g	8.33
<b>HÍGADO</b>	g	16.67
<b>Total ST</b>	g	14.87
<b>Total SV</b>	g	11.76
<b>Total ST</b>	%	59.47
<b>Total Sv</b>	%	20.90
<b>Sólidos con respecto a la muestra.</b>	%	12.43

Potencial de hidrógeno de cada tratamiento y sus repeticiones.

En la Tabla 13 se presenta el valor inicial del pH de cada reactor.

Tabla 13  
*Valores iniciales de pH.*

<b>Reactor</b>	<b>Repetición</b>	<b>pH</b>
<b>Tratamiento 1</b>	T1.1	7.02
<b>Relación: 1E-1H</b>	T1.2	7
	T1.3	7.13
	T2.1	7.06
<b>Tratamiento 2</b>	T2.1	7.06
<b>Relación: 1E-2H</b>	T2.2	7.12
	T2.3	7.04
	T3.1	7.25
<b>Tratamiento 3</b>	T3.1	7.25
<b>Relación: 1,5E-1H</b>	T3.2	7.2
	T3.3	7.33
	T4.1	7.13
<b>Tratamiento 4</b>	T4.1	7.13
<b>100% Inóculo</b>	T4.2	7.13
	T4.3	7.13

En la Tabla 14 se presenta el valor inicial del pH del Tratamiento 5.

Tabla 14  
*Valores iniciales de pH.*

<b>Reactor</b>	<b>Repetición</b>	<b>pH</b>
<b>Tratamiento 5.</b>	T5	7.20
<b>Relación: 1E-2H</b>		

#### 4.3.2. Propiedades físicas después de la digestión anaeróbica.

Sólidos totales y volátiles.

En la Tabla 15 se presenta los valores finales de sólidos totales y volátiles después de la digestión anaeróbica.

Tabla 15  
Valores finales en cada tratamiento.

Tratamientos	T1			T2			T3			T4		
	T1.1	T1.2	T1.3	T2.1	T2.2	T2.3	T3.1	T3.2	T3.3	T4.1	T4.2	T4.3
<b>Peso del crisol (g)</b>	37.29	32.33	41.79	36.29	38.53	37.23	39.86	38.55	39.9	40.41	38.33	38.99
<b>Muestra (g)</b>	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
<b>Peso de la muestra húmeda + crisol (g)</b>	62.29	57.33	66.79	61.29	63.53	62.23	64.86	63.55	64.9	65.41	63.33	63.99
<b>Peso de la muestra seca + crisol (g)</b>	48.95	44.39	53.69	47.84	50.59	48.56	51.85	50.93	52.86	50.01	48.21	48.95
<b>Peso del desecho + crisol después de la ignición (g)</b>	47	42.5	51.86	46.01	48.75	46.85	49.75	48.75	50.74	48.3	46.34	47.12
<b>Sólidos totales (%)</b>	46.64	48.24	47.60	46.20	48.24	45.32	47.96	49.52	51.84	38.40	39.52	39.84
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<b>Sólidos volátiles (%)</b>	16.72	15.67	15.37	14.65	15.25	15.09	17.51	17.60	16.35	17.81	18.92	18.37
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<b>Sólidos con respecto a la muestra (%)</b>	7.8%	7.6%	7.3%	6.8%	7.4%	6.8%	8.4%	8.7%	8.5%	6.8%	7.5%	7.3%

En la Tabla 16 se presenta los valores finales de sólidos totales y volátiles después de la digestión anaeróbica del Tratamiento 5.

Tabla 16  
Valores finales en el Tratamiento 5.

	<b>T5</b>
<b>Tratamiento</b>	
<b>Peso del crisol (g)</b>	35.95
<b>Muestra (g)</b>	25
<b>Peso de la muestra húmeda + crisol (g)</b>	60.95
<b>Peso de la muestra seca + crisol (g)</b>	47.55
<b>Peso del desecho + crisol después de la ignición (g)</b>	45.85
<b>Sólidos totales (%)</b>	46.40%
<b>Sólidos volátiles (%)</b>	14.66%
<b>Sólidos con respecto a la muestra(%).</b>	6.80%

#### 4.3.2.1. Porcentaje de remoción de sólidos totales y volátiles.

La tabla 17 presenta los resultados de remoción de sólidos totales y volátiles calculados con la metodología antes propuesta.

Tabla 17

*Resultados de remoción de sólidos totales y volátiles.*

<b>Reactor</b>	<b>Repetición</b>	<b>Porcentaje de remoción de ST%</b>	<b>Porcentaje de remoción de SV%</b>	<b>Porcentaje de remoción de Sólidos volátiles con respecto a la muestra.</b>
<b>Tratamiento 1</b> <b>Relación: 1E-1H</b>	T1.1	19.76%	19.83%	32.32%
	T1.2	17.01%	24.88%	34.90%
	T1.3	18.11%	26.28%	39.26%
<b>Tratamiento 2</b> <b>Relación: 1E-2H</b>	T2.1	22.31%	24.19%	43.43%
	T2.2	18.88%	27.00%	41.02%
	T2.3	23.79%	27.79%	53.19%
<b>Tratamiento 3</b> <b>Relación: 1,5E-1H</b>	T3.1	16.34%	15.94%	21.80%
	T3.2	13.62%	15.49%	17.65%
	T3.3	9.57%	21.49%	17.22%
<b>Tratamiento 4</b> <b>100% Inóculo</b>	T4.1	16.47%	13.52%	23.51%
	T4.2	14.04%	8.10%	12.01%
	T4.3	13.34%	10.79%	15.21%

La tabla 18 presenta los resultados de remoción de sólidos totales y volátiles calculados del tratamiento 5.

Tabla 18

*Resultados de remoción de sólidos totales y volátiles.*

<b>Reactor</b>	<b>Repetición</b>	<b>Porcentaje de remoción de ST%</b>	<b>Porcentaje de remoción de SV%</b>	<b>Porcentaje de remoción de Sólidos volátiles con respecto a la muestra.</b>
<b>Tratamiento 5</b> <b>Relación: 1E-2H</b>	T5	21.97%	29.88%	52.83%

#### 4.3.2.2. Potencial de hidrógeno de cada tratamiento.

La Tabla 19 presenta los resultados finales de pH.

Tabla 19

*pH después de la digestión anaerobia.*

<b>Reactor</b>	<b>Repetición</b>	<b>pH</b>
<b>Tratamiento 1</b>	T1.1	7.71
<b>Relación: 1E-1H</b>	T1.2	7.66
	T1.3	7.95
	T2.1	7.2
<b>Tratamiento 2</b>	T2.1	7.2
<b>Relación: 1E-2H</b>	T2.2	7.32
	T2.3	7.56
	T3.1	7.82
<b>Tratamiento 3</b>	T3.1	7.82
<b>Relación: 1,5E-1H</b>	T3.2	7.5
	T3.3	7.63
	T4.1	5.96
<b>Tratamiento 4</b>	T4.1	5.96
<b>100% Inóculo</b>	T4.2	6.09
	T4.3	6.43

La Tabla 20 presenta los resultados finales de pH del tratamiento 5.

Tabla 20

*pH después de la digestión anaerobia.*

<b>Reactor</b>	<b>Repetición</b>	<b>pH</b>
<b>Tratamiento 5</b>	T5	7.95
<b>Relación: 1E-2H</b>		

#### 4.4. Producción de metano.

La Tabla 21 presenta la producción de metano acumulada de cada uno de los tratamientos y sus réplicas durante 25 días a las condiciones climáticas de

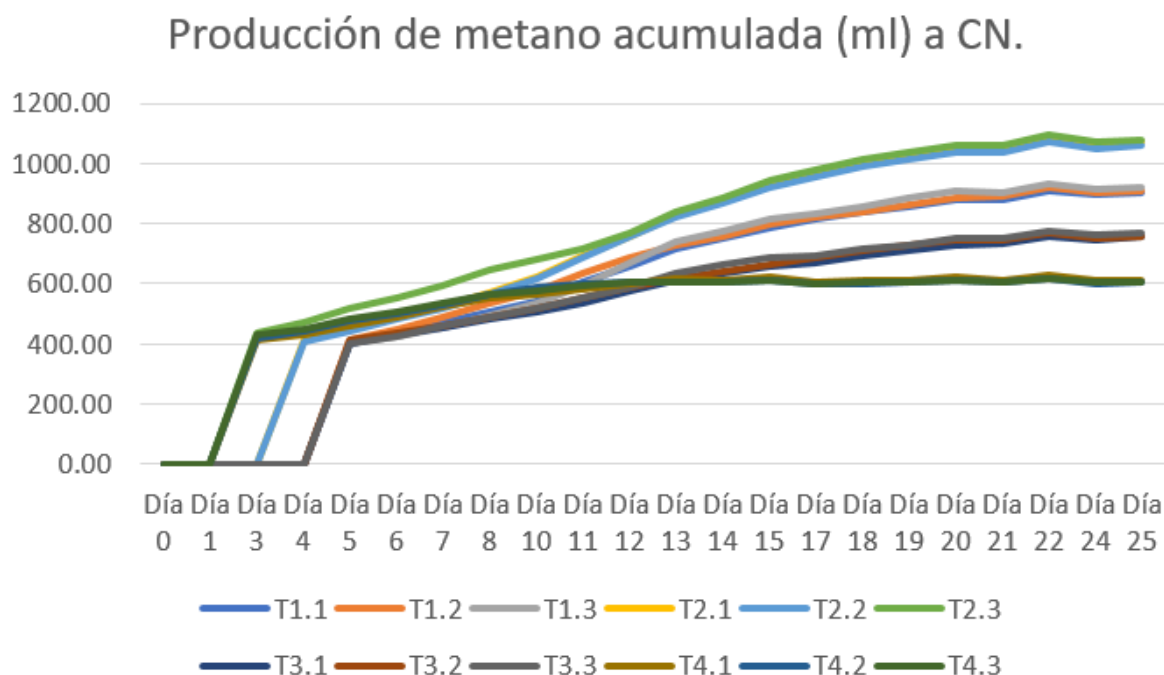


Quito y a condiciones normales. Además, la figura 19 presenta la producción diaria de metano a condiciones normales.

Tabla 21

*Producción de metano (ml) de los tratamientos generado en 25 días a condiciones climáticas de Quito y a condiciones normales de temperatura y presión.*

<b>Reactor</b>	<b>Repetición</b>	<b>Producción de metano (ml) a condiciones climáticas de Quito.</b>	<b>Producción de metano (ml) a condiciones normales.</b>
<b>Tratamiento 1</b> <b>Relación: 1E-1H</b>	T1.1	976	902.20
	T1.2	985	910.52
	T1.3	994	918.84
<b>Tratamiento 2</b> <b>Relación: 1E-2H</b>	T2.1	1159	1071.36
	T2.2	1144	1057.49
	T2.3	1167	1078.75
<b>Tratamiento 3</b> <b>Relación: 1,5E-1H</b>	T3.1	817	755.22
	T3.2	820	757.99
	T3.3	833	770.01
<b>Tratamiento 4</b> <b>100% Inóculo</b>	T4.1	662	611.94
	T4.2	652	602.70
	T4.3	654	604.55



*Figura 19.* Producción de metano acumulada (ml) a condiciones normales.

Medición de biogás y metano del tratamiento 5.

La Tabla 22 presenta la producción de biogás y metano acumulada del tratamiento 5 durante 25 días a las condiciones climáticas de Quito y a condiciones normales. Además, la figura 20 presenta la producción diaria de biogás y metano a condiciones normales.

Tabla 22 Producción de biogás (ml) y metano (ml) de los tratamientos generado en 25 días a condiciones climáticas de Quito y a condiciones normales de temperatura y presión.

*Producción de biogás (ml) y metano (ml) de los tratamientos generado en 25 días a condiciones climáticas de Quito y a condiciones normales de temperatura y presión.*

Reactor	Repetición	Producción de biogás (ml) a condiciones climáticas de Quito.	Producción de biogás (ml) a condiciones normales.	Producción de metano (ml) a condiciones climáticas de Quito.	Producción de metano (ml) a condiciones normales.
Tratamiento 5	T5	1618	1541.77	1016	968.13
<b>Relación: 1E-2H</b>					

### Producción de biogas y metano a condiciones normales.

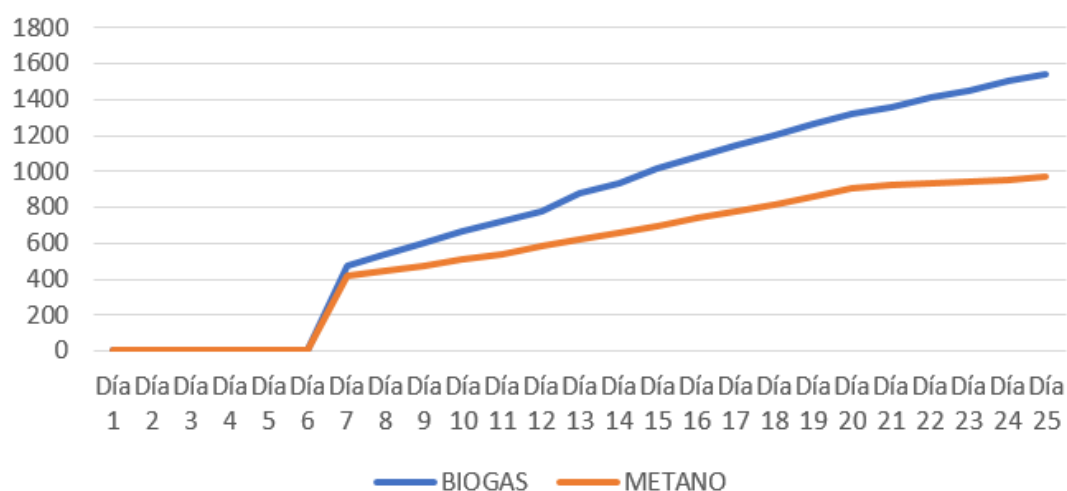


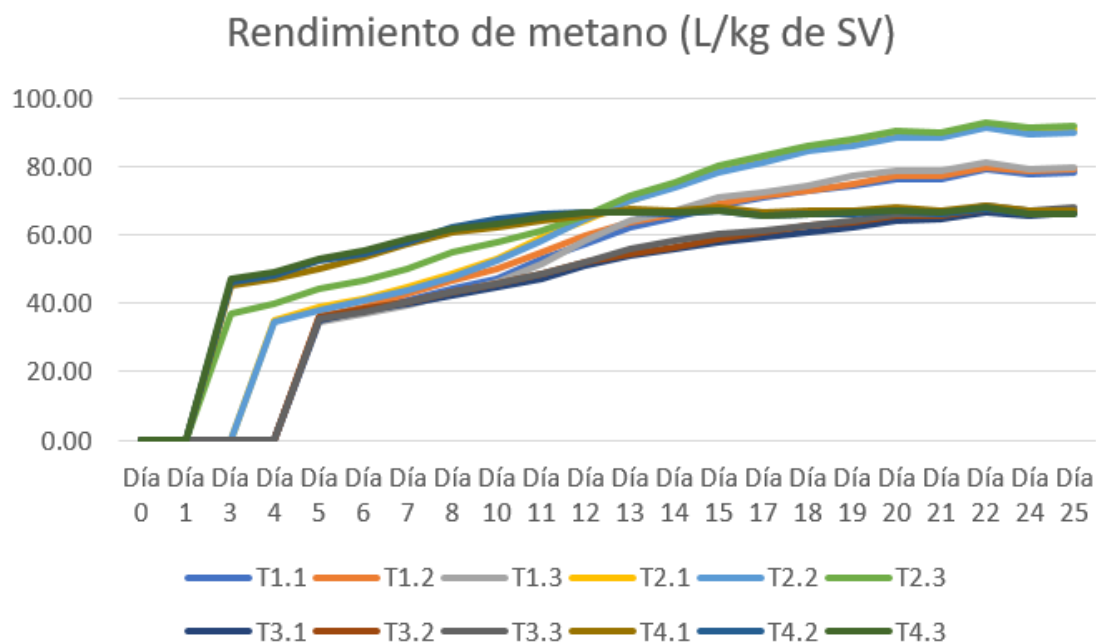
Figura 20. Producción de metano acumulada (ml) a condiciones normales de presión y temperatura.

En la Tabla 23 se presenta el rendimiento de metano (L/kg de Sv) de cada tratamiento a condiciones climáticas de Quito y a condiciones normales. Además, en la figura 21 se evidencia los valores de rendimiento de metano durante 25 días en condiciones normales.

Tabla 23

Valores finales de rendimiento de metano a condiciones climáticas de Quito y a condiciones normales.

Reactor	Repetición	Litros de metano/ kg de Sv (condiciones climáticas de Quito).	Litros de metano/ kg de Sv (condiciones normales).
<b>Tratamiento 1</b> <b>Relación: 1E-1H</b>	T1.1	84.87	78.45
	T1.2	85.65	79.17
	T1.3	86.43	79.90
<b>Tratamiento 2</b> <b>Relación: 1E-2H</b>	T2.1	98.56	91.10
	T2.2	97.28	89.93
	T2.3	99.24	91.73
<b>Tratamiento 3</b> <b>Relación: 1,5E-1H</b>	T3.1	72.01	66.57
	T3.2	72.28	66.81
	T3.3	73.42	67.87
<b>Tratamiento 4</b> <b>100% Inóculo</b>	T4.1	72.54	67.05
	T4.2	71.44	66.04
	T4.3	71.66	66.24



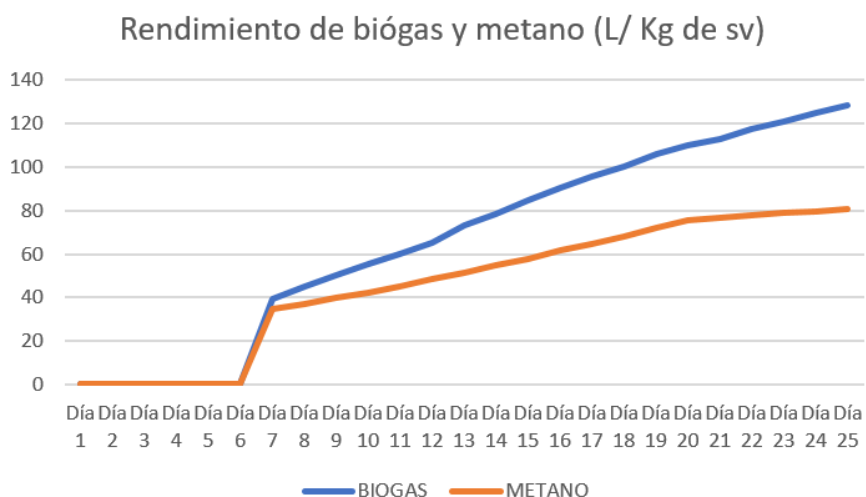
*Figura 21.* Rendimiento de metano (L/kg de Sv) a condiciones normales de presión y temperatura.

En la Tabla 24 se presenta el rendimiento de metano (L/kg de Sv) del tratamiento 5 a condiciones climáticas de Quito y a condiciones normales de presión y temperatura. Además, en la figura 22 se evidencia los valores de rendimiento de metano durante 25 días en condiciones normales de presión y temperatura.

Tabla 24

*Valores finales de rendimiento de metano del tratamiento 5 a condiciones climáticas de Quito y a condiciones normales.*

Reactor	Repetición	Litros de biogás/ de Sv (condiciones climáticas de Quito).	Litros de biogás/ de Sv (condiciones normales).	Litros de metano/ de Sv (condiciones climáticas de Quito).	Litros de metano/ de Sv (condiciones normales).
Tratamiento 5	T5	134.83	128.48	84.66	80.67
Relación: 1E-2H					



*Figura 22.* Rendimiento de biogás y metano (L/kg de Sv) a condiciones normales de presión y temperatura.

En la tabla 25 se presenta el promedio de generación de metano de los tratamientos a condiciones climáticas de Quito y condiciones normales. Además, del promedio de rendimiento de metano a condiciones normales. También en la figura 23 se evidencia el promedio diario de rendimiento de metano a condiciones normales.

Tabla 25.

*Promedio de generación y rendimiento de metano.*

Reactor	Promedio de metano (ml) a condiciones climáticas de Quito.	Promedio de metano (ml) a condiciones normales.	Promedio de rendimiento de metano (L/kg de Sv) a condiciones normales.
<b>Tratamiento 1</b> <b>Relación: 1E-1H</b>	985.00	910.52	79.17
<b>Tratamiento 2</b> <b>Relación: 1E-2H</b>	1156.67	1069.20	90.92

<b>Tratamiento 3</b>	823.33	761.08	67.08
<b>Relación: 1,5E-1H</b>			
<b>Tratamiento 4</b>	656.00	606.40	66.45
<b>100% Inóculo</b>			

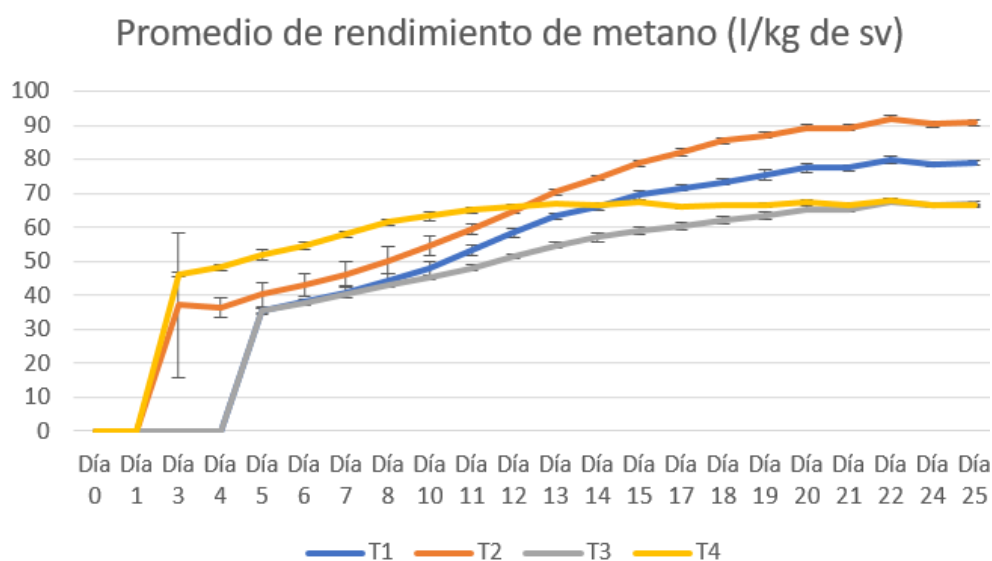


Figura 23. Promedio de rendimiento de metano de cada tratamiento.

## 5. DISCUSIÓN

En la experimentación se trabajó con una digestión mesofílica (35°C) debido a que la cantidad de metano producida alcanza un mayor rendimiento a temperaturas de 35 a 37°C (Wijffels et al., 2003). El proceso de digestión anaerobia se lo desarrolló en 25 días como lo recomienda Verein Deutscher Ingenieure (2016).

En cuanto al potencial de hidrógeno, los tratamientos presentaron un pH inicial neutro de entre 7 a 7.5, los cuales son óptimos para el proceso de biodigestión (Montes, 2008). Después de la digestión anaerobia, el tratamiento 4.1 presentó un pH final de 5.96; dicho valor puede deberse a un sobrecargo en el sistema,

en donde se interrumpió la actividad metanogénica; además se pudo producir una acumulación de  $H_2$  y ácido acético provocando que los microorganismos no remuevan ácidos orgánicos volátiles e hidrógeno (Siegert & Banks, 2005). Por otro lado, según (FAO et al., 2011), para lograr un buen funcionamiento del proceso de digestión anaerobia se recomienda que los reactores discontinuos, como los reactores Batch no posean una carga superior al 40 – 60% de sólidos totales como es el caso en esta experimentación.

En este estudio se utilizó una relación  $0.5 \leq SV_{\text{sustrato}}/SV_{\text{inóculo}}$  como lo recomienda Verein Deutscher Ingenieure (2016), debido a que los tratamientos con una relación menor a 0.5 evidencian un mayor rendimiento de metano, también asegura que se puede apreciar condiciones acidificantes y acumulación de ácidos en la fase hidrolítica lo que causa una reducción del pH cuando el sustrato es muy bajo con relación al inóculo. También según el estudio de (Lü et al., 2012), evidencia que valores superiores a 0.5 en la relación  $SV_{\text{sustrato}}/SV_{\text{inóculo}}$  dan como resultado una reducción de los microorganismos degradadores.

Relacionando las curvas alcanzadas por cada tratamiento en el gráfico del promedio de rendimiento de metano a condiciones normales de temperatura y presión (figura 23), con las curvas de la figura 24, se puede constatar que los tratamientos con diferentes cantidades de hígado y estiércol presentan un proceso de degradación retardada debido a su alto contenido en proteína y grasa que se degradan con dificultad. Por otra parte el T4 que contenía 100% inóculo presenta un proceso de degradación normal (Verein Deutscher Ingenieure, 2016).

El hígado bovino es un órgano glandular, compuesto en mayor proporción por proteínas, grasas y agua (Greenfield, 2006) que, si no son controlados, producen una degradación retardada, como los sustratos que poseen lignina y grasas (Verein Deutscher Ingenieure, 2016). Por tal motivo sería conveniente el uso de pretratamientos químicos o biológicos además del pretratamiento físico

para aumentar la cantidad de metano producido. En este estudio se realizó el proceso de molienda, el cual elimina o añade inhibidores al proceso de digestión anaerobia (Eiroa et al., 2012). Uno de los pre tratamientos usados en sustratos con proteína y grasa es la co-digestión, con el fin de incrementar el rendimiento de metano y lograr un balance entre proteínas y carbohidratos (Mshandete et al., 2004), también se logra sinergia entre los sustratos logrando diluir inhibidores en los sustratos a digerir, aumentando la degradación y la producción de  $\text{CH}_4$  (Eiroa et al., 2012). Se ha encontrado que un pretratamiento enzimático sobre un sustrato rico en grasas da como resultado una cantidad de metano superior a lo reportado en este estudio (Nges et al., 2012). A diferencia de otros experimentos, esta investigación utilizó una relación 1:1 de estiércol y agua como inóculo.

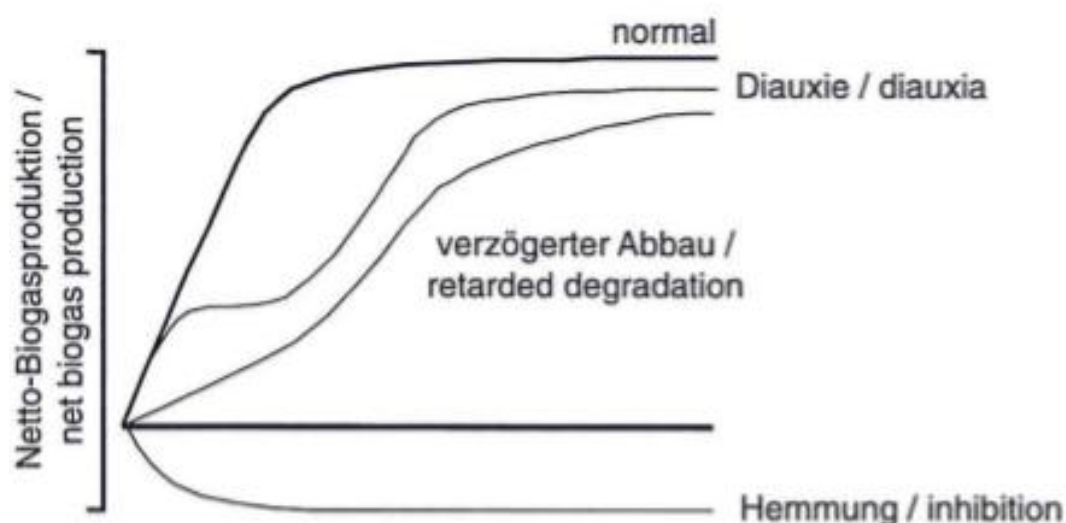


Figura 24. Curvas de degradación.

Tomado de (Verein Deutscher Ingenieure, 2016).

Los tratamientos contenían diferentes cantidades de hígado y estiércol, pero igual cantidad de inóculo. Todos produjeron metano en diferentes cantidades. Los reactores que se detuvieron a partir del día 11 al 13, fueron los del tratamiento 4, los cuales contenían 100% inóculo. Este decaimiento de la producción de metano se pudo evidenciar al final del estudio cuando se caracterizó el potencial de hidrógeno final, en donde las repeticiones



alcanzaron valores de pH menores a los iniciales, provocados por un desequilibrio en el sistema, el cual aumenta los ácidos volátiles y detiene la generación de biogás (Perry L McCarty, 1964). En cuanto al pH de los tratamientos 1, 2 y 3, se evidenció un aumento al valor de potencial de hidrógeno inicial y se mantuvieron siempre en el rango óptimo sin llegar a la alcalinidad.

Los reactores del tratamiento 2 mostraron una mayor eficiencia para generar metano. El tratamiento 2.3, con una relación de (1E:2H), fue el reactor que generó mayor cantidad de metano a condiciones normales de temperatura y presión, logrando producir 1078.75 ml de metano durante 25 días. El rendimiento de metano de este reactor fue de 91.73 L CH<sub>4</sub>/ Kg de Sv; este valor no se lo puede comparar debido a que no existe un estudio similar que use como sustrato un hígado bovino decomisado junto con estiércol, y como inóculo una relación 1:1 de estiércol y agua. Sin embargo, este valor es superior a lo reportado por (SALAS, 2016), en donde su estudio a partir de vísceras de pescado y desechos fileteado alcanzó un rendimiento de metano de su tratamiento de 15.2 L CH<sub>4</sub>/ Kg de Sv. Por otra parte, el rendimiento de metano del tratamiento 2, con una relación (1E:2H), resulta inferior a los resultados reportados por (Vögeli et al., 2014), en donde se presenta que el mejor sustrato de países en desarrollo para generar CH<sub>4</sub> a partir de la digestión anaerobia es el residuo de aceite de palma con un rendimiento de metano de 610 L/ Kg de Sv, seguido por los residuos municipales, residuos de fruta y vegetales, restos de comida, paja de arroz, y residuos orgánicos ricos en lignina, con valores de rendimiento de metano de 530, 420, 396, 350 y 200 L/ Kg de Sv respectivamente; valores superiores a los reportados en este estudio.

Por otra parte, la elección del inóculo influye mucho en la cantidad de rendimiento de metano alcanzada, ya que se recomienda que el inóculo contenga propiedades similares al sustrato que será motivo de estudio (Drosg et al., 2013). Vögeli et al. (2014) proponen el estudio del potencial de lodos activados como inóculo, sin embargo, el uso de estiércol bovino como inóculo es recomendado mientras este se mantenga fresco y no contenga antibióticos.

En cuanto a la composición del biogás generado por el tratamiento 5, que es una repetición del tratamiento 2 con el mismo estiércol e hígado y con la misma relación de (1E:2H), se puede evidenciar en la figura 22 que éste generó 1541.77 ml de biogás y 968.13 ml de metano, siendo el metano el 62.79% del biogás generado; y un rendimiento de metano de 80.67 L/ Kg de Sv. El autor (Levlin et al., s.f.) afirma que las vísceras de animales poseen enzimas digestivas que aumentan la producción metanogénica y fragmentan las macromoléculas en moléculas más sencillas. La gran porción de metano en el biogás de este tratamiento se puede atribuir a las bacterias metanogénicas en el hígado, que tenían disponible la materia orgánica contenida en el hígado y la del estiércol.

Para analizar la remoción de sólidos en los tratamientos se utilizó la (ecuación 9) descrita en la metodología, a partir de la cual se pudo evidenciar que la relación que removió mayor cantidad de sólidos con respecto a la muestra fue el tratamiento 2. Este tratamiento obtuvo un promedio de remoción de sólidos con respecto a la muestra de 45.88%, además de un promedio de remoción de sólidos totales y volátiles de 21.66 y 26.33% respectivamente. El tratamiento 5, que se realizó para conocer la composición del metano en el biogás, obtuvo un porcentaje de remoción de sólidos con respecto a la muestra de 52.83%, además de un porcentaje de remoción de sólidos totales y volátiles de 21.97% y 29.88% respectivamente. Cabe mencionar que los tratamientos 1 y 3 también generaron metano sin detenerse durante 25 días con un promedio de remoción de sólidos con respecto a la muestra de 35.49% y 18.89% respectivamente. Por otra parte, el tratamiento 4 obtuvo el menor porcentaje de remoción de sólidos con respecto a la muestra con 16.91% y un promedio de remoción de sólidos totales y volátiles de 14.62% y 10.80% respectivamente. Este tratamiento se detuvo por una disminución del pH provocado por un desequilibrio en el sistema y la interrupción del crecimiento de bacterias metanogénicas (Vögeli et al., 2014) lo cual provocó una disminución de generación de metano y remoción de sólidos.

En el análisis estadístico, se lo realizó a partir del valor de rendimiento de metano (L/kg de Sv) a condiciones normales de presión y temperatura. Se aplicó un análisis de varianza ANOVA que obtuvo un valor de p de  $<0.0001$  el cual es menor al nivel de significancia de 0.05, se comprobó que existe una diferencia significativa entre los tratamientos, ya que se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la alternativa. También, se aplicó una prueba de TUKEY, a partir de la cual se determinó que estadísticamente los tratamientos 4 y 3 no son significativamente diferentes y que sí existe diferencia entre los tratamientos 1 y 2. Por otra parte, se evidenció que el mejor tratamiento para la generación de metano fue el T2 Con una relación de 1E:2H.

Tabla 26

*Análisis de varianza ANOVA y prueba de Tukey de los tratamientos 1,2,3 y Blanco (Tratamiento 4).*

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
L CH <sub>4</sub> /Kg de SV	12	1.00	1.00	0.96

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	1210.43	3	403.48	759.67	$<0.0001$
<b>Tratamiento</b>	1210.43	3	403.48	759.67	$<0.0001$
<b>Error</b>	4.25	8	0.53		
<b>Total</b>	1214.68	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS1.90556**

**Error: 0.5311 gl: 8**

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
<b>4</b>	66.44	3	0.42	A
<b>3</b>	67.08	3	0.42	A
<b>1</b>	79.17	3	0.42	B
<b>2</b>	90.92	3	0.42	C

**Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )**

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones.

Se ha concluido que la generación de biogás a partir de este desecho se produce siempre y cuando se controlen los factores influyentes en la digestión anaerobia, sin embargo, el rendimiento de metano alcanzado fue bajo comparado con otros tipos de residuos como aceites de palma, residuos municipales, y alto comparado con estudios que utilizaron desechos parcialmente similares como vísceras de pescado. Los resultados fueron comparados con los desechos antes mencionados debido a que no existe un estudio donde se utilice hígado bovino decomisado para la producción de biogás.

En cuanto a la caracterización física de los tratamientos se pudo evidenciar que presentaron porcentajes de ST iniciales entre 40-60% y SV iniciales entre 20-25%, además, valores iniciales de pH entre 7 y 8, debido a que en esta investigación se usó la relación de SVsustrato/SVinóculo. En la caracterización final los valores de ST y SV se redujeron debido a la generación de biogás y los valores de pH se mantuvieron entre el rango óptimo a excepción del T4 que presentó valores de pH ácidos.

La mejor relación de SVsustrato/SVinóculo utilizada para la digestión anaerobia de hígados bovinos decomisados fue el tratamiento 2 con una relación (1E:2H), este tratamiento fue sometido a una temperatura de 35 °C durante 25 días y generó una cantidad de metano de 90.92 (L/ Kg de Sv), este resultado de rendimiento de metano es mayor al reportado por experimentaciones con vísceras de pescado, sin embargo, es menor a resultados reportados por aceite de palma, residuos alimenticios, etc. Esto quizá por la influencia de los factores en la digestión anaerobia, ya que el tratamiento 2 fue sometido a un proceso de biodigestión de 25 días y algunos autores recomiendan tiempos de biodigestión de 30 a 50 días.

Por otro lado, el tratamiento 2 presentó el mayor porcentaje de remoción de materia orgánica del estudio, obtuvo un porcentaje de remoción de sólidos 45.89% de toda la muestra y un porcentaje de remoción de sólidos volátiles y totales de 26.33%,21.66% respectivamente.

El tratamiento 5 presentó un rendimiento de biogás de 128.48 (L/Kg de Sv) y un rendimiento de metano de 80.67 (L/Kg de Sv) en cuanto a generación y obtuvo un porcentaje de remoción de sólidos 52.89% de toda la muestra, así como un porcentaje de remoción de sólidos volátiles y totales de 29.88% y 21.97% respectivamente. Además, se pudo evidenciar en este reactor con relación (1E:2H) está presente con un 62.79% en la composición del biogás en la digestión anaerobia de hígado bovino decomisado.

Estadísticamente se comprueba que existen diferencias entre el tratamiento 2 y 1, sin embargo, ambas relaciones pueden ser usadas para generar biogás mediante la digestión anaerobia.

## **6.2. Recomendaciones**

El tamaño de la partícula es un factor importante en la digestión anaerobia, por lo cual se recomienda realizar pretratamientos físicos, biológicos o químicos para incrementar el potencial del sustrato a digerir, además de usar como inóculo materia orgánica que tenga las mismas características del sustrato a digerir, caso contrario se puede recurrir a la relación (1E:1A) como inóculo. También se recomienda que el estiércol se mantenga fresco, que no contenga antibióticos y que el método de recolección sea al instante que el bovino expulse sus heces.

Se recomienda utilizar la relación  $0.5 \leq SV_{\text{sustrato}}/SV_{\text{inóculo}}$  para obtener un pH neutro antes y durante de la digestión anaerobia. Esta relación producirá un aumento del biogás siempre y cuando se cumpla.

Se sugiere realizar una caracterización de C/N, debido a que es un factor influyente en el proceso de digestión. Por otro lado, se recomienda medir el pH de la solución alcalina de NaOH 2M con fenolftaleína para que no exista un daño en los equipos medidores de pH.

Finalmente, se recomienda realizar un análisis más profundo acerca de la composición del biogás generado por el hígado decomisado en la digestión anaerobia y desarrollar estudios de biogás con este sustrato a escala industrial para determinar su viabilidad a largo plazo.

## REFERENCIAS

- Acosta, Alberto; Martín, F. (2013). Situación económica y ambiental del Ecuador en un entorno de crisis internacional :: FLACSO :: Universidad de Postgrado Internacional Líder en Ciencias Sociales. *FLACSO, Sede Ecuador*, 1(Situación económica y ambiental del Ecuador en un entorno de crisis internacional), 141. <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/54215.pdf><https://www.flacso.edu.ec/portal/publicaciones/detalle/situacion-economica-y-ambiental-del-ecuador-en-un-entorno-de-crisis-internacional.4041>
- Agencia Europea de Medio Ambiente.(2017).Mitigación del cambio climático. Recuperado el 18 de Febrero de 2020 de: <https://www.eea.europa.eu/es/themes/climate/intro>
- Angelidaki, I., Alves, M., Bolzonella, D., Borzacconi, L., Campos, J. L., Guwy, A. J., Kalyuzhnyi, S., Jenicek, P., & Van Lier, J. B. (2009). Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: A proposed protocol for batch assays. *Water Science and Technology*, 59(5), 927–934. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.040>
- Barrera, A. (2013). *Agricultura y cambio climático: Nuevas tecnologías en la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático*. Santiago de Chile: Las Naciones Unidas. Obtenido de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/7069/1/LCL3714\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/7069/1/LCL3714_es.pdf)
- Biodigestores Ecuador. (2018). *biodigestoresecuador.com*. Recuperado el 17 de Octubre de 2019, de <https://biodigestoresecuador.com>
- Biogás. (16 de Septiembre de 2016). *www.biogas.es/*. Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de [/digestion-anaerobica/](https://www.biogas.es/digestion-anaerobica/): <https://www.biogas.es/digestion-anaerobica/>
- Bruno, L. (2019). GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA DEGRADACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE FRIGORÍFICOS. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- CAF.(2015). Para qué sirve la bioenergía. Recuperado el 18 de Febrero de 2020 de : <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2015/11/para-que-sirve-la-bioenergia/?parent=14092>
- CALERO R. 2011. Normas procedimentales del matadero municipal del cantón Olmedo y su repercusión en la salud pública. Escuela Superior Politécnica Agropecuarias de Manabí. Manuel Félix López. MFL. Tesis de grado para optar por el título de Médico Veterinario. Calceta. Manabí. 273. P
- Campos, E; Flotats, X.(2004).Procesos biológicos: La digestión anaeróbica y el compostaje. Recuperado el 17 de Enero de 2020 de: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/TVERCaptulo9\\_1X.Elias2003Procesosbiologicos.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/TVERCaptulo9_1X.Elias2003Procesosbiologicos.pdf)
- Carranzo, I. V. (2012). APHA, AWWA, WEF. "Standard Methods for examination of water and wastewater." *Anales de Hidrología Médica*, 5(2), 185–186. [https://doi.org/10.5209/rev\\_ANHM.2012.v5.n2.40440](https://doi.org/10.5209/rev_ANHM.2012.v5.n2.40440)
- CEF. (2004). SOIL AND WASTE pH. *CWL Publishing Enterprises, Inc., Madison*, 2004(November), 352. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.200490137/abstract>
- Constitución del Ecuador. (2008). *Soberanía Alimentaria*. Quito: Asamblea constituyente.
- Corona, I. (2007). Biodigestores. Recupera el 18 de Febrero de 2020 de: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/362>
- Cps.unizar.es. (2012). Pirólisis.Recuperado el 15 de enero del 2019 de: <http://www.cps.unizar.es/~proter/Gasificaci%F3n.htm>
- Creutzig, F., Ravindranath, N. H., Berndes, G., Bolwig, S., Bright, R., Cherubini, F., ... Masera, O. (2015). Bioenergy and climate change mitigation: An assessment. *GCB Bioenergy*, 7(5), 916–944. <http://doi.org/10.1111/gcbb.12205>
- Drosg, B., Braun, R., Bochmann, G., & Al Saedi, T. (2013). Analysis and characterisation of biogas feedstocks. In *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications*. <https://doi.org/10.1533/9780857097415.1.52>



- Eiroa, M., Costa, J. C., Alves, M. M., Kennes, C., & Veiga, M. C. (2012). Evaluation of the biomethane potential of solid fish waste. *Waste Management*, 32(7), 1347–1352. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.03.020>
- Estructuras Bioclimáticas avanzadas. (2016). <http://ebasl.es>. Recuperado el 15 de octubre de 2019, de /producir-energia-con-la-biomasa/: <http://ebasl.es/producir-energia-con-la-biomasa/>
- EMGIRS, (2017). INFORME DE GESTIÓN 2017. Recuperado el 17 de Enero de 2020, de: [http://emgirs.gob.ec/informe2017/rendicion\\_de\\_cuentas\\_2017.pdf](http://emgirs.gob.ec/informe2017/rendicion_de_cuentas_2017.pdf)
- FAO, MINENERGIA, PNUD, & GEF. (2011). Manual del Biogás. *Proyecto CHI/00/G32*, 120. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>
- FAO.(2016).El trabajo de la FAO sobre el cambio climático. Recupero el 18 de Febrero de 2020 de : <http://www.fao.org/3/b-i6273s.pdf>
- Fundación Hábitat. (2005). Biodigestores una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. Quimbaya: Fundación Hábitat.
- Gonzáles, G., Rustrian, E., y Houbron E. (2008). Impacto de la tasa de humedad en la biodegradación de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Veracruz, México. *Latinoamericana de Recursos Naturales*, 345-346.
- Greenfield, H. (2006). *Datos de composición de alimentos*.
- Guerrero, L. (1 de Agosto de 2019). [www.aboutspanol.com](http://www.aboutspanol.com). Recuperado el 16 de Octubre de 2019, de: /que-es-el-biogas-3417682: <https://www.aboutspanol.com/que-es-el-biogas-3417682>
- Huacani Torres, L. (2017). *UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN-TACNA Facultad de Ciencias Agropecuarias Presentada por: Bach. Lourdes Consuelo Apaza Cama Para optar el Título Profesional de: MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA*. 88. [http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/1653/162\\_2013\\_apaza\\_cama\\_lc\\_fcag\\_veterinaria.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/1653/162_2013_apaza_cama_lc_fcag_veterinaria.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Islas Sampeiro, J., & Martínez Jiménez, A. (2010). *Jorge Islas Sampeiro y*

- Alfredo Martínez Jimenez bioenergía. 30–39.  
[https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61\\_2/PDF/Bioenergía.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/Bioenergía.pdf)
- Larrieu, E., Frider, B., Del Campo, M., Salvitti, J., & Mercapide, C. (2013). Portadores asintomáticos de hidatidosis. *Revista Panamericana*, 250-256.
- Levlin, E., Faculty, C., & Engineering, W. R. (n.d.). *Biogas production from fish wastes in co - digestion with sewage sludge*. 7–14.
- Lü, F., Hao, L., Zhu, M., Shao, L., & He, P. (2012). Initiating methanogenesis of vegetable waste at low inoculum-to-substrate ratio: Importance of spatial separation. *Bioresource Technology*, 105, 169–173.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.104>
- Macias-Corral, M., Samani, Z., Hanson, A., Smith, G., Funk, P., Yu, H., & Longworth, J. (2008). Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and the effect of co-digestion with dairy cow manure. *Bioresource Technology*, 99(17), 8288–8293.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.057>
- (MAE)., M. del A. (2017). *Tercera Comunicación Nacional del Ecuador*.
- Martí, N. (2006). Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process. Digestión. Boca Raton: Dissertation.
- Martins, A (2 de Mayo de 2019). Que es el cambio climático: 10 terminos fundamentales para entender el fenomeno. BBC news mundo. Recuperado el 14 de Octubre de 2019, de:  
<https://www.bbc.com/mundo/noticias48134021>
- Mayoral, F. (2013). *Situación económica y ambiental del ecuador* . Quito.
- McCarty, P L. (2000). The development of anaerobic filter and its future. *Water Science and Technology*, 44(8), 149–156.
- McCarty, Perry L. (1964). Anaerobic Waste Treatment Fundamentals. *Public Works*, 95, 91–94.
- Mccarty, T. (2001). *the development of anaerobic treatment and its future*.

- Ministerio de agricultura, ganadería, acuicultura y pesca. (2016). *MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA LA VIGILANCIA Y CONTROL DE LA INSPECCIÓN ANTE Y POST MORTEM DE ANIMALES DE ABASTOS DE MATADEROS*. Quito. Recuperado el 18 de octubre de 2019, de [http://www.agrocalidad.gob.ec/documentos/dia/Manual-de-Inspeccion-antemortem-y-postmortem\\_APROBADO\\_01-AGOSTO-2016.pdf](http://www.agrocalidad.gob.ec/documentos/dia/Manual-de-Inspeccion-antemortem-y-postmortem_APROBADO_01-AGOSTO-2016.pdf)
- Ministerio del Ambiente. (2015). Aprovechamiento energético de residuos un aporte a la lucha contra el cambio climático. Recuperado el 10 de Febrero de 2020 de <http://www.ambiente.gob.ec/aprovechamientoenergetico-de-residuos-un-aporte-a-la-lucha-contra-el-cambioclimatico/>
- Ministerio de Energía. (2012). <http://www.minenergia.cl>. Recuperado el 16 de Octubre de 2019, de: [http://www.minenergia.cl/autoconsumo/?page\\_id=524](http://www.minenergia.cl/autoconsumo/?page_id=524)
- Ministerio del Ambiente. (Septiembre de 2017). <http://www.ambiente.gob.ec>. Obtenido de </wp-content/uploads/downloads/2017/10/TERCERA-COMUNICACION-BAJA-septiembre-20171-ilovepdf-compressed1.pdf>: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/TERCERA-COMUNICACION-BAJA-septiembre-20171-ilovepdf-compressed1.pdf>
- Montes, M. (2008). *Estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de biogás*. 287.
- Mota, N. (2015). *slideplayer.es*. Recuperado el 16 de Octubre de 2019, de </slide/3420105/>: <https://slideplayer.es/slide/3420105/>
- Mshandete, A., Kivaisi, A., Rubindamayugi, M., & Mattiasson, B. (2004). Anaerobic batch co-digestion of sisal pulp and fish wastes. *Bioresource Technology*, 95(1), 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.01.011>
- Naciones Unidas.(s.f).Cambio climático. Recuperado el 18 de Febrero del 2020 de:<https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>

- Nges, I. A., Mbatia, B., & Björnsson, L. (2012). Improved utilization of fish waste by anaerobic digestion following omega-3 fatty acids extraction. *Journal of Environmental Management*, 110, 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.06.011>
- Organización Mundial de la Salud. (1 de Febrero de 2018). *www.who.int*. Obtenido de /es/news-room/fact-sheets/detail/cambio-climático-y-salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cambio-climático-y-salud>
- Parra, R. (11 de Diciembre de 2015). <http://www.scielo.org.co>. Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de /scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S1909-04552015000200014: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552015000200014](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000200014)
- Ramírez, M. E., & Chávez Norma, J. J. (2012). Biodiesel , un combustible renovable- Biodiesel , a renewable fuel. *Investigación y Ciencia*, 55, 1–9. [http://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.uaa.mx%2Finvestigacion%2Frevista%2Farchivo%2Frevista55%2FArticulo%25208.pdf&ei=0-pTVOeaAoWmNpeGg-AI&usg=AFQjCNHUoltc56eDOoNtVOKj-kx\\_TTc4Ow&](http://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.uaa.mx%2Finvestigacion%2Frevista%2Farchivo%2Frevista55%2FArticulo%25208.pdf&ei=0-pTVOeaAoWmNpeGg-AI&usg=AFQjCNHUoltc56eDOoNtVOKj-kx_TTc4Ow&)
- REDVET.(2008). Revista electrónica de Veterinaria 1695-7504 2008. Vol. IX N° 10B.
- SALAS, M. E. C. (2016). *ANÁLISIS DE ACTIVIDAD METANOGENICA DE INÓCULOS Y POTENCIAL METANOGENICO DE BIOMASA RESIDUAL*.
- Salazar-Rojas, T., Porrás-Acosta, M., Vaquerano-Pineda, N., & Quirós-Rojas, A. (2017). Estimación del potencial metanogénico de la codornaza considerando las variables de dilución, adición de nutrientes y codigestión. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(4), 102. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i4.3041>
- Salinas, E., & Gasca, V. (2009). Los biocombustibles. *El Cotidiano*, 157, 75–82.

<http://www.redalyc.org/pdf/325/32512739009.pdf>

- Serna, F., Barrera, L., & Montiel, H. (2011). Impacto social y económico en el uso de biocombustibles. *Journal of Technology Management and Innovation*, 6(1), 100–114. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242011000100009>
- Siegert, I., & Banks, C. (2005). The effect of volatile fatty acid additions on the anaerobic digestion of cellulose and glucose in batch reactors. *Process Biochemistry*, 40(11), 3412–3418. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.01.025>
- Sisternas, Pau.(2018).Que es el Biogás.Recuperado el 15 de enero del 2020 de: <https://ecotrendies.com/que-es-el-biogas.html>
- Steinhauser, D. D. (2008). *Biogás from waste and renewable resources*.
- Sueker, J. K. (2006). Comment on “Elevated tungsten and cobalt in airborne particulates in Fallon, Nevada: Possible implications for the childhood leukemia cluster” by P.R. Sheppard, G. Ridenour, R.J. Speakman and M.L. Witten. *Applied Geochemistry*, 21(6), 1083–1085. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2006.04.002>
- U. S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). (2001). Method 1683: Specific Oxygen Uptake Rate in Biosolids. *Science And Technology, EPA-821-R*-(January), 13.
- Urien-Pinedo, A. (2013). Obtención de biocarbonos y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual. *Tesis De Máster*, 83. [http://digital.csic.es/handle/10261/80225%0Ahttp://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOCARBONES\\_CENIM\\_CSIC.pdf](http://digital.csic.es/handle/10261/80225%0Ahttp://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOCARBONES_CENIM_CSIC.pdf)
- Verein Deutscher Ingenieure. (2016). Fermentation of organic materials - Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure. In *VDI-Gesellschaft Energietechnik*.
- Vögeli, Y., Riu, C., Gallardo, A., Diener, S., & Zurbrügg, C. (2014). Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries. In *Sandec: Department of Water and Sanitation in Developing Countries*. <http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/swm/dl/biowaste>.

pdf

Wijffels, R. H., Barten, H., & Reith, R. H. (2003). *Bio\_methane & Bio-hydrogen*.

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1: Índice de abreviaturas.**

Hígado o bovino decomisado: Órgano que presenta anomalía en sus características físicas que no es apto para el consumo humano y su disposición final es la incineración.

Canal: Cuerpo del animal desprovisto de sus vísceras.

CH<sub>4</sub>: Metano

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono

CN: Condiciones normales de temperatura y presión.

NaOH: Hidróxido de sodio

2M: Dos molar

Sv: Sólidos volátiles

St: Sólidos totales

pH: Potencial de hidrógeno

C/N: Relación carbono/ nitrógeno.

Anaerobia: Sin oxígeno.

Inóculo: Cantidad de microorganismos capaces de iniciar un proceso de fermentación.

USCUSS: Sector uso del suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura.



