



**Diseño y construcción de un biodigestor tubular continuo para la obtención de biogás a partir de residuos fecales caninos de la Fundación Acción Animal, Pintag – Ecuador**

López Artieda, Paulina Mireya

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Biotecnología

M. Sc. Vargas Verdesoto, Rafael Eduardo

10 de septiembre del 2021

## Curiginal

### Document Information

Analyzed document	TESIS Paulina López corregida 22.08.2021 URKUND.docx (D111575527)
Submitted	8/23/2021 3:54:00 AM
Submitted by	
Submitter email	revargas@espe.edu.ec
Similarity	7%
Analysis address	revargas.espe@analysis.orkund.com

### Sources included in the report

W	URL: <a href="https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/del_1.2_biodigestores_latinoamerica.pdf">https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/del_1.2_biodigestores_latinoamerica.pdf</a> Fetched: 8/23/2021 3:55:00 AM	1
W	URL: <a href="https://docplayer.es/83181529-Diseno-de-un-biodigestor-domestico-para-el-aprovechamiento-energetico-del-estiercol-de-ganado.html">https://docplayer.es/83181529-Diseno-de-un-biodigestor-domestico-para-el-aprovechamiento-energetico-del-estiercol-de-ganado.html</a> Fetched: 7/1/2021 6:27:25 PM	1
W	URL: <a href="https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/11627/1/PFC_Nadia_deLaTorre_Caritas.pdf">https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/11627/1/PFC_Nadia_deLaTorre_Caritas.pdf</a> Fetched: 5/31/2020 5:33:32 AM	1
W	URL: <a href="https://rid.unrn.edu.ar/jspui/bitstream/20.500.12049/644/1/Palomo-.pdf">https://rid.unrn.edu.ar/jspui/bitstream/20.500.12049/644/1/Palomo-.pdf</a> Fetched: 5/9/2020 7:34:20 PM	1
W	URL: <a href="https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ANDRADE%20SOLORZANO%20DIEGO%20ANTHONY_compressed(2).pdf">https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ANDRADE%20SOLORZANO%20DIEGO%20ANTHONY_compressed(2).pdf</a> Fetched: 8/23/2021 3:55:00 AM	2
W	URL: <a href="http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v13n24/v13n24a06.pdf">http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v13n24/v13n24a06.pdf</a> Fetched: 8/23/2021 3:55:00 AM	1
W	URL: <a href="https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7488/1/IV_PG_MCMGADS_TE_Giraldo_Valentin_2019.pdf">https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7488/1/IV_PG_MCMGADS_TE_Giraldo_Valentin_2019.pdf</a> Fetched: 7/13/2020 11:56:22 PM	1
W	URL: <a href="http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/114944/Memoria%20de%20T%C3%ADtulo.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/114944/Memoria%20de%20T%C3%ADtulo.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a> Fetched: 8/23/2021 3:55:00 AM	5
SA	<b>TESIS-YOJAN ZAMBRANO.docx</b> Document TESIS-YOJAN ZAMBRANO.docx (D107447299)	1
W	URL: <a href="http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/172781/Efecto_de_las_heces_caninas_.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=yAGROCALIDAD">http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/172781/Efecto_de_las_heces_caninas_.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=yAGROCALIDAD</a> Fetched: 8/23/2021 3:55:00 AM	1
W	URL: <a href="http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1768069580001_PINTAG%20Diagnostic">http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1768069580001_PINTAG%20Diagnostic</a> Fetched: 8/23/2021 3:55:00 AM	1



Escaneado y controlado digitalmente por:  
RAFAEL EDUARDO  
VARGAS VERDESOTO

M.Sc. Vargas Verdesoto, Rafael Eduardo

Director



**Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura**

**Carrera de Ingeniería en Biotecnología**

**Certificación**

Certifico que el trabajo de titulación: **"Diseño y construcción de un biodigestor tubular continuo para la obtención de biol a partir de residuos fecales caninos de la Fundación Acción Animal, Pintag – Ecuador"** fue realizado por la señorita **López Artieda Paulina Mireya**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 02 de septiembre de 2021**



**M.Sc. Vargas Verdesoto, Rafael Eduardo**

C. C.1708200538



**Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura**

**Carrera de Ingeniería en Biotecnología**

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, **López Artieda, Paulina Mireya**, con cédula de ciudadanía n°1716266414, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Diseño y construcción de un biodigestor tubular continuo para la obtención de biol a partir de residuos fecales caninos de la Fundación Acción Animal, Pintag – Ecuador** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, agosto de 2021**

**López Artieda, Paulina Mireya**

C.C.: 1716266414



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura**

**Carrera de Ingeniería en Biotecnología**

**Autorización de Publicación**

Yo, **López Artieda, Paulina Mireya**, con cédula de ciudadanía n°1716266414, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diseño y construcción de un biodigestor tubular continuo para la obtención de biol a partir de residuos fecales caninos de la Fundación Acción Animal, Pintag – Ecuador** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Sangolquí, agosto de 2021**

**López Artieda, Paulina Mireya**

C.C.:1716266414

## Dedicatoria

A mi hija Denisse, que es mi motivación e inspiración para seguir adelante, que aprenda a nunca rendirse.

A mi madre, presencia y fuerza constante en mi vida, que reciba algo de lo mucho que ha entregado.

A mis amados hermanos, porque siempre vamos a estar ahí.

A mi padre, que sepa que estoy bien y que sé que está conmigo.

A mis abuelitos, quienes fueron luz durante toda su vida.

A Esteban, quien me ha dado su apoyo incondicional.

A mis amigos, que con su presencia y alegría han sabido ayudarme en los momentos más duros.

Con amor...

## **Agradecimiento**

Agradezco de corazón a todas las personas que de una u otra manera han sabido alentarme y ayudarme para concluir este proyecto, que, aunque me haya tomado más tiempo y esfuerzo del que hubiera deseado, hoy puedo decir que es una realidad.

A Dios y a la vida por haberme permitido llegar hasta aquí y por todo lo que vendrá.

A mi hija, siempre pendiente de mí, siempre entregándome su amor.

A mi familia por todas sus oraciones, buenos deseos y apoyo siempre.

Agradecer también a quienes con su colaboración han hecho posible la culminación de esta tesis, de manera especial al M.Sc. Rafael Vargas quien ha sabido guiarme con sus conocimientos y ha estado pendiente de cada paso de este proceso para brindarme su ayuda oportuna.

Al Dr. Petronio Gavilanes y a la Dra. Karina Ponce docentes de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología, por su apoyo para poder culminar la carrera.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por todo el aporte para mi formación académica.

## Índice de contenidos

Hoja de resultados de la herramienta prevención y/o verificación de similitud de contenidos .....	2
Certificación.....	3
Declaración de responsabilidad .....	4
Autorización de publicación .....	5
Dedicatoria .....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenidos .....	8
Índice de figuras .....	13
Resumen .....	14
Abstract.....	15
Planteamiento del problema .....	16
Antecedentes .....	17
Justificación e importancia .....	18
Objetivos de la investigación.....	20
Objetivo General.....	20
Objetivos Específicos .....	20
Hipótesis .....	20
Capítulo II: Marco teórico .....	21
Biodigestores.....	21

Biodigestores de tipo tubular .....	22
Biomasa .....	24
Biol .....	25
Biogás .....	26
Digestión anaerobia .....	28
Hidrólisis .....	30
Acidogénesis .....	31
Acetogénesis .....	32
Metanogénesis .....	33
Parámetros Operacionales del Biodigestor.....	33
Temperatura .....	34
pH.....	35
Sólidos Totales y Volátiles .....	35
Nutrientes y Relación Carbono/Nitrógeno .....	36
Tiempo de Retención .....	37
Sustancias perjudiciales .....	38
Capítulo III: Materiales y Métodos.....	39
Zona de Estudio.....	39
Clima .....	40
Procedimientos .....	40
Toma de muestras.....	40

	10
Determinación de la carga diaria de residuos fecales caninos .....	41
Determinación del pH .....	42
Determinación del porcentaje de humedad en las heces caninas .....	43
Cálculo de la mezcla necesaria heces/agua .....	44
Cálculo de sólidos totales en la mezcla .....	45
Determinación de las dimensiones para la construcción del biodigestor .....	45
Tiempo de retención .....	45
Volumen del biodigestor .....	46
Dimensiones de la zanja.....	46
Análisis de la composición del biol producido .....	50
Determinación del contenido de Nitrógeno .....	50
Determinación del contenido de Fósforo.....	51
Determinación del contenido de Potasio.....	51
Determinación de sólidos totales en el biol producido.....	51
Análisis microbiológico del biol producido.....	51
Determinación del pH del biol.....	51
Análisis estadístico .....	52
Diseño Experimental .....	52
Operatividad de las variables .....	52
Capítulo IV: Resultados.....	54
Toma de muestras.....	54

	11
Carga diaria de heces caninas.....	54
Determinación del pH de las heces .....	54
Determinación de la humedad .....	55
Cálculo de la mezcla necesaria heces/agua .....	56
Dimensionamiento del biodigestor .....	56
Tiempo de retención.....	56
Volumen del biodigestor.....	57
Dimensiones de la zanja .....	57
Construcción del biodigestor.....	58
Análisis de la composición del biol producido .....	62
Determinación del contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio .....	62
Determinación de ST.....	63
Análisis microbiológico .....	63
Determinación del pH del biol .....	63
Diseño experimental.....	64
Verificación de la hipótesis.....	65
Capítulo V: Discusión.....	66
Capítulo VI: Conclusiones .....	69
Capítulo VII: Recomendaciones .....	70
Capítulo VIII: Referencias .....	71
Apéndices.....	76

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Características generales del biogás .....	27
<b>Tabla 2</b> Microorganismos anaerobios encontrados en diferentes rangos de temperatura.	28
<b>Tabla 3</b> Rangos de temperatura y tiempos de fermentación anaerobia.....	34
<b>Tabla 4</b> Características físico químicas de algunos tipos de estiércol .....	36
<b>Tabla 5</b> Relación entre temperatura y tiempo de retención recomendado para lograr producciones de biogás aceptables.....	38
<b>Tabla 6</b> Características climáticas de la parroquia Pintag .....	40
<b>Tabla 7</b> Longitudes mínima, máxima y óptima de biodigestores tubulares según circunferencias.....	49
<b>Tabla 8</b> Parámetros de dimensionamiento de zanjas de biodigestores tubulares a partir del ángulo $\alpha$ y el radio de la circunferencia disponible de manga tubular .....	50
<b>Tabla 9</b> Valores de las dimensiones de la zanja determinados para el estudio.....	57
<b>Tabla 10</b> Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio del biol.....	62
<b>Tabla 11</b> Resultados del análisis microbiológico del biol.....	63

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Esquema básico de un biodigestor tubular .....	23
<b>Figura 2</b> Proceso de la digestión anaerobia .....	29
<b>Figura 3</b> Etapas de la digestión anaeróbica en un biodigestor, con producción de biogás y biofertilizante .....	30
<b>Figura 4</b> Ubicación del Refugio.....	39
<b>Figura 5</b> Perros rescatados que viven en el Refugio de Yurac.....	41
<b>Figura 6</b> Procedimiento para la recolección y pesado de heces.....	42
<b>Figura 7</b> Procedimiento para la medición del pH .....	42
<b>Figura 8</b> Procedimiento para determinar el porcentaje de humedad en heces .....	44
<b>Figura 9</b> Esquema de una zanja trapezoidal .....	47
<b>Figura 10</b> Resultado de la medición del pH de las heces caninas mediante tiras de pH ...	54
<b>Figura 11</b> Preparación del terreno para la zanja .....	59
<b>Figura 12</b> Excavación de la zanja con maquinaria .....	60
<b>Figura 13</b> Proceso de armado del biodigestor.....	60
<b>Figura 14</b> Instalación del biodigestor .....	61
<b>Figura 15</b> Armado de entrada y salida del biodigestor .....	61
<b>Figura 16</b> Adaptación de una cubierta para proteger el biodigestor.....	62
<b>Figura 17</b> Medición del pH del biol obtenido.....	64

## Resumen

Las tecnologías para el aprovechamiento de los desechos como fuentes renovables de energía son cada vez más utilizadas en los países latinoamericanos, así como en Ecuador, en donde estas aplicaciones toman cada vez más fuerza; esto, junto con la concientización sobre el correcto tratamiento de los desechos hacen de este proyecto un método aplicable y útil para obtener energía limpia y ayudar a disminuir el impacto ambiental. El objetivo de este estudio fue el de diseñar y construir un biodigestor tubular continuo en base a heces fecales caninas para la obtención de biol o biofertilizante con unos parámetros microbiológicos que se ajusten a la Normativa Ecuatoriana de calidad para fertilizantes orgánicos. En el refugio canino en donde se llevó a cabo la construcción e implementación del proyecto se producen diariamente un total aproximado de 62,142 Kg de heces las cuales no eran tratadas y eran desechadas directamente al ambiente. Después de concluir el dimensionamiento del biodigestor se obtuvieron los datos para el montaje con una longitud de 10m de largo y una capacidad de 13,7 m<sup>3</sup> (volumen líquido del biodigestor). Con el funcionamiento del digestor se pudo comprobar que estaba trabajando adecuadamente mediante los valores de pH esperados, desde el inicio del tratamiento con pH 6,8 para la mezcla de heces/agua en la entrada hasta pH 8 del biol a la salida del tratamiento. De igual forma se pudo comprobar que al final del tiempo de retención RT establecido de 55 días se obtuvo un biol con la calidad microbiológica adecuada para aplicarse en cultivos, forraje o nutrir terrenos pobres en nutrientes.

*Palabras clave:* biodigestor tubular continuo, biol, parámetros microbiológicos.

### **Abstract**

Technologies for the utilization of waste as renewable energy sources are increasingly used in Latin American countries, as well as in Ecuador, where these applications are gaining more and more strength, this, together with the awareness of the correct treatment of waste, makes this project an applicable and valuable method for obtaining clean energy and helping to reduce the environmental impact. The objective of this study was to design and build a continuous tubular biodigester based on canine feces to obtain biol or biofertilizer, with microbiological parameters that comply with Ecuadorian quality standards for organic fertilizers. In the dog shelter where the construction and implementation of the project took place, a total of approximately 62,142 kg of feces were produced daily, which were not treated and were disposed of directly into the environment. After completing the sizing of the biodigester, the data for the assembly were obtained with a length of 10 m long and a capacity of 13.7 m<sup>3</sup> (liquid volume of the biodigester). With the operation of the digester, it was possible to verify that it was working properly through the expected pH values, from the beginning of the treatment with pH 6.8 for the feces/water mixture at the inlet to pH 8 of the biol at the exit of the treatment. It was also possible to verify that at the end of the established RT retention time of 55 days, a biol with the appropriate microbiological quality was obtained for application on crops, forage, or to nourish nutrient-poor soils.

*Keywords:* continuous tubular biodigester, biol, microbiological parameters.

## Capítulo I: Introducción

### Planteamiento del problema

En las últimas décadas se ha incrementado el uso de formas alternativas de energía y también la concientización del correcto tratamiento de desechos a fin de disminuir la contaminación ambiental y por ende ayudar a desacelerar el cambio climático. Desde la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro en 1992, gran parte de los países del mundo, incluyendo a América Latina y el Caribe se comprometieron a ejecutar políticas para disminuir la contaminación ambiental proveniente de las emisiones de gases de efecto invernadero y de la polución de las fuentes hidrográficas con desechos generados en las urbes. En 1997 se da lugar el Protocolo de Kioto, acuerdo internacional en el ámbito de las Naciones Unidas para intentar frenar el cambio climático causado por las actividades humanas en el planeta; uno de los principales objetivos es la reducción de las emisiones de los gases que aceleran el calentamiento global, llamados GEI (gases de efecto invernadero): dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), que según se menciona en el Protocolo contribuyen con el 50, 18 y 6% a nivel mundial respectivamente (Ordaz, Ramírez, Mora, Acosta, & Serna, 2010)

A partir de que en 1987 en la Asamblea General de las Naciones Unidas se redactara el Informe Brundtland o “Nuestro Futuro Común”, surgió el término “desarrollo sostenible” el cual concluía que se tenía que dejar de ver al desarrollo y al medio ambiente como cuestiones separadas, y que para lograr un equilibrio es fundamental trabajar en tres aspectos básicos: el crecimiento económico, la inclusión social y la protección del medio ambiente (Unidas, 1987). En la actualidad, el desarrollo sostenible, se ha convertido en el punto de partida para implementar proyectos que tengan bajo impacto en el medio ambiente alrededor del mundo. En este contexto, se han implementado muchas tecnologías a nivel global que permitan disminuir el impacto de las

actividades del ser humano sobre la naturaleza; dentro de ellas se encuentra el uso de biodigestores para gestión de residuos y generación de energía limpia (Viguera, Martínez Rodríguez, Donatti, Harvey, & Alpizar, 2017).

### **Antecedentes**

Con el objetivo de implementar la tecnología de biodigestión para ayudar a mitigar el impacto de la contaminación sobre el medio ambiente, muchos países han adaptado este tipo de tratamiento de residuos a procesos agrícolas e incluso municipales, logrando así dos beneficios al mismo tiempo, la disposición y manejo adecuado de residuos, así como también la obtención y aprovechamiento de productos beneficiosos como fuentes de energía. Estos sistemas como método de tratamiento de residuos, permiten disminuir la carga de materia orgánica contaminante al lograr estabilizarla, como en el caso del biol y la obtención de fuentes alternativas de energía como el biogás, para disminuir el uso de combustibles fósiles (MINENERGIA/PNUD/FAO/GEF, 2011).

En los últimos años se ha incrementado significativamente la difusión y aplicación de biodigestores en América Latina dándoles distintos usos a los productos que de ellos se obtienen, por ejemplo, generación de biogás para combustible en cocinas, calefacción o iluminación a pequeña escala, y a gran escala para motores de combustión interna que generen electricidad; otro beneficio es la utilización de fertilizantes de origen natural para el mejoramiento de la producción agrícola y obtención de alimentos más sanos a largo plazo (Caribe, 2020).

La aplicación de la tecnología de biodigestores en Ecuador ha repuntado durante los últimos años, en los que en parte gracias a los Planes Nacionales de Desarrollo y de la mano con diferentes ministerios del país como el MAE (Ministerio del Ambiente); el MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) y el MERNNR (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables) se han apoyado proyectos para la construcción e

implementación de biodigestores en diversas áreas como agrícola, tratamiento de aguas residuales y producción de bioinsumos. Por otra parte, existe también una Red de profesionales vinculados a los biodigestores (REDBIOEC) que se encargan de impartir talleres de instalación de este tipo de sistemas en las provincias de Imbabura, Azuay y Guayas, y que están dirigidos a pequeños y medianos productores (Martí Herrero, Experiencias Latino Americanas en la implementación de estrategias para democratizar los biodigestores entre pequeños y medianos productores agropecuarios, 2019).

En la actualidad en el país, los biodigestores tubulares son los más utilizados dentro de fincas de pequeños y medianos productores lecheros y porcícolas, debido a su bajo costo de instalación y fácil manejo; para su construcción por lo general se utiliza polietileno tubular plástico y si la producción es mayor se utiliza geomembrana de PVC (Martí Herrero, Experiencias Latino Americanas en la implementación de estrategias para democratizar los biodigestores entre pequeños y medianos productores agropecuarios, 2019).

La implementación y uso de los biodigestores está medianamente difundido dentro del ámbito de la producción agropecuaria en el Ecuador; sin embargo, su uso para otros fines tales como tratamiento de desechos de diferente origen, como en el caso de este proyecto, que trata residuos fecales caninos no se ha extendido y existen pocos trabajos al respecto en el país.

### **Justificación e importancia**

La importancia de este proyecto radica en la posibilidad de generar productos útiles a partir de materia orgánica de desecho y contribuir de esa manera a disminuir la contaminación ambiental. Según (MINENERGIA/PNUD/FAO/GEF, 2011) la aplicación de la tecnología de biodigestión es hoy en día considerada como un medio de producción de

energía renovable y además permite la obtención de biofertilizantes ricos en nutrientes para la agricultura, disminuyendo así el uso de fertilizantes y agroquímicos nocivos para los suelos y para los ecosistemas, y que además son más costosos.

En base al TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente), el tratamiento de este tipo de desechos fecales es importante debido a que las heces no deben ser eliminadas hacia el medio ambiente sin un tratamiento previo ya sea primario o secundario, en el que se incluyen medios de tratamiento biológico para disminuir la carga contaminante y estabilizarla, como en el caso de la biodigestión; cabe recalcar que si no se controla y regula el vertido de este tipo de desechos, estos contribuyen a la contaminación de suelos y fuentes de agua con microorganismos perjudiciales, y también se pierde o no se aprovecha la materia prima para la generación de sustancias beneficiosas tales como el biol y el biogás (Ecuador, 2006).

Por otra parte, es un gran beneficio para los sitios en donde se instalan biodigestores, ya que les brinda la capacidad de gestionar de manera adecuada los desechos animales que de otra forma generarían problemas sanitarios, dando la oportunidad de mejorar las condiciones de mantenimiento y manejo de este tipo de instalaciones, como es el caso de la Fundación Acción Animal Ecuador.

El presente proyecto pretende aumentar y mejorar la capacidad de tratamiento de desechos de origen animal, específicamente las heces generadas diariamente. Mediante este trabajo se puede otorgar al Refugio canino una manera adecuada de dar disposición final a sus desechos, mientras se cuida del medio ambiente y se evita la producción de malos olores y posibles enfermedades que se podrían presentar. Al mismo tiempo se puede obtener un producto útil de este tratamiento, mismo que con las condiciones adecuadas, podrá utilizarse como biofertilizante en campos de cultivo cercanos, favoreciendo la producción agrícola de la zona.

## **Objetivos de la investigación**

### ***Objetivo General***

Diseñar y construir un biodigestor tubular continuo para obtener biol a partir de residuos fecales caninos de la Fundación Acción Animal en Pintag – Ecuador.

### ***Objetivos Específicos***

- Determinar los parámetros de diseño del biodigestor según la carga de heces fecales diarias, cantidad de animales y condiciones del lugar.
- Construir el biodigestor tubular continuo con el material y protección adecuados a partir de la carga de heces fecales.
- Analizar la calidad microbiológica y de pH del biol obtenido del proceso de digestión, según la Normativa Ecuatoriana de fertilizantes orgánicos, para garantizar la ausencia de patógenos y óptimo funcionamiento del biodigestor.

### ***Hipótesis***

El biodigestor tubular continuo alimentado con heces fecales de perros produce un biol de buena calidad microbiológica según Norma INEN.

## Capítulo II: Marco teórico

### Biodigestores

(Martí Herrero, Biodigestores Tubulares Guía de Diseño y Manual de Instalación, 2019) resume de forma sencilla lo que es un biodigestor mencionando que es un sistema que produce biogás y fertilizante a partir de materia orgánica y que su función es comparable con el sistema digestivo animal, en el cual la materia orgánica que es consumida es digerida por bacterias y como resultado se produce gas y subproductos líquidos con gran contenido de nutrientes.

Así también (Perez Medel, 2010) se refiere a los biodigestores como digestores de desechos orgánicos; contenedores cerrados, herméticos e impermeables, dentro de los cuales se deposita el material orgánico que se pretende tratar (excrementos animales, desechos vegetales, etc.) que deben encontrarse diluidos a cierta concentración para que se descompongan de forma adecuada, produciendo biogás y biofertilizante rico en nitrógeno, fósforo y potasio, entre otros nutrientes. A estos sistemas también se les puede añadir una cámara o contenedor previo de carga y nivelación; así como un contenedor post tratamiento para captar y almacenar el biol resultante de la digestión, el cual en la mayoría de casos es de material plástico resistente.

Un aspecto crucial dentro del proceso de descomposición radica en la importancia de los microorganismos dentro de este proceso anaerobio, como lo mencionan (Rodríguez Pachón & García Cepeda, 2017), sin los cuales no sería posible la obtención de los productos deseados de la digestión, el biogás y el biol.

Es grande la importancia de la aplicación de esta tecnología relativamente nueva en varias áreas, como por ejemplo dentro de comunidades agrícolas, en donde las mismas pueden generar energía y fertilizantes con sus propios desechos, en lugar de

depender de recursos externos los cuales les significan elevar los costos de sus producciones o simplemente no realizar ciertos procesos por falta de recursos. Así, la implementación de la tecnología de biodigestión les proporciona un panorama más amplio en lo que se refiere a auto sustentabilidad.

En cuanto a los tipos existentes de biodigestores podemos mencionar dos de mayor importancia y mejor aplicación. Los biodigestores de domo fijo y los biodigestores tubulares. En el presente proyecto se utilizará el segundo tipo.

### ***Biodigestores de tipo tubular***

Como lo menciona (*Toscano Sanguil, 2016*), recientes desarrollos han llevado al uso de digestores tubulares fabricados en polietileno los cuales han resultado en disminución de costos y eficiencias considerables. Estas unidades, las cuales varían en tamaño, son fáciles de transportar, sencillas de instalar y baratas de construir, lo cual beneficia sobre todo a los agricultores y ganaderos.

(Saavedra García, Alamo, & Marcelo, 2017) reseñan un poco de historia sobre el desarrollo de este tipo de biodigestores, los cuales fueron ideados en Taiwán por Chung Po en los años 60, utilizando goma de neopreno. La idea era combinar en un solo diseño la cámara de digestión, el tanque de sedimentación y el gasómetro; mientras va ocurriendo la fermentación del sustrato, la bolsa se va inflando paulatinamente con el biogás producido. Este modelo trabaja con tecnología de flujo pistón, por la forma en que se desplaza la carga dentro de él.

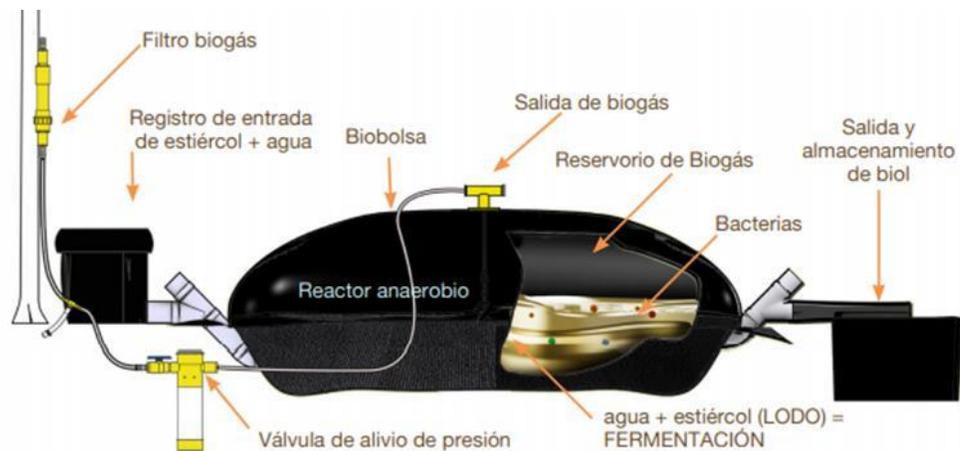
Este tipo de biodigestor se alimenta diariamente, es decir que tiene un flujo continuo, con la mezcla adecuada de agua y el material orgánico que se desea descomponer. Por lo general la cámara en donde se almacena el biogás está hecha de polietileno, el plástico para invernadero es el más utilizado, el cual es instalado en una

zanja excavada en el terreno, que funciona como aislante térmico y que además puede forrarse con otra capa de plástico para mantener el calor; consta de una entrada que suele ser un tubo de PVC para el ingreso del afluente y un tubo, igualmente de PVC para la salida del efluente y también tiene colocado un tubo con una válvula en la parte superior central para la salida del biogás.

El biodigestor tubular continuo (Figura 1) puede ser alimentado con todo tipo de materia orgánica para ser descompuesta anaerómicamente, como residuos animales, tejidos, sangre, grasa, heces y orina; con un tiempo de retención que puede variar entre 25 a 50 días o más dependiendo del sitio de la instalación y requerimientos del sistema (Saavedra García, Alamo, & Marcelo, 2017).

### Figura 1

*Esquema básico de un biodigestor tubular*



Nota. Tomado de *Diseño y construcción de un prototipo de digestor, para la producción de biogás y biofertilizante a partir de estiércol bovino u cobayo, en el cantón Guano, provincia del Chimborazo*, por Pilco, 2020, Repositorio ESPE.

## **Biomasa**

(Martí Herrero, Biodigestores Tubulares Guía de Diseño y Manual de Instalación, 2019) califica a la biomasa como bioenergía o como una fuente de energía renovable, ya que es la parte biodegradable de los residuos de varias áreas de producción como la agricultura, la ganadería, algunas industrias y también de los desechos municipales; los cuales pueden ser aprovechados para generar energía en lugar de utilizar combustibles fósiles, por lo cual se considera a la biomasa como una fuente de energía limpia y un aliado para la lucha contra el cambio climático.

Como lo menciona (Vignote Peña, 2016), existen muchas ventajas de la utilización de la biomasa entre las que señala: el balance de dióxido de carbono que se emite es neutro; no se emiten contaminantes sulfurados o nitrogenados; la biomasa es un recurso desaprovechado y puede tener un importante impacto social y económico sobre todo en el área rural; disminuye la dependencia externa para abastecerse de combustible; disminución de vertidos y de los riesgos ambientales que conllevan; contribuye al desarrollo sostenible de las regiones, al ser la energía renovable más barata de producir.

Según (De la Torre, 2008), lo recomendable para un correcto aprovechamiento de la biomasa mediante digestión anaerobia es que posea alto contenido de humedad, alrededor del 80-90%, esto facilita el trabajo de las bacterias para degradar los polisacáridos, proteínas, lípidos y lignina contenidos en el sustrato.

En el caso del aprovechamiento de excretas como biomasa, se denominan purines a la mezcla de estas con agua. Por lo general en las granjas se producen volúmenes considerables de excretas animales diariamente; lo que se ha acostumbrado es que los agricultores esparzan estos residuos directamente en el campo para utilizarlos como abono, pero esto puede provocar un exceso de fertilización en el suelo y también

producirse la contaminación de fuentes de agua cercanas. Al utilizar la tecnología de biodigestión se evitan estos efectos no deseados en los suelos y el agua, ya que el producto que se obtiene para la fertilización de los campos es inocuo para el medio ambiente.

### ***Biol***

El biol o biofertilizante es otro subproducto derivado de la digestión anaerobia de la biomasa, es rico en macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio. (*De la Torre, 2008*) menciona algunas de sus propiedades tales como, que es de color oscuro, no tiene olores fuertes ni desagradables y tiene un pH aproximadamente neutro. Los efluentes que salen del biodigestor se caracterizan por no tener mal olor debido a que las sustancias que lo producen son reducidas casi en su totalidad en el proceso, en función al tiempo de retención.

En la actualidad se conoce que el biol mejora las propiedades del suelo ya que aumenta el porcentaje de materia orgánica en el mismo, según menciona (Martí Herrero, *Biodigestores Tubulares Guía de Diseño y Manual de Instalación, 2019*), esto además de contribuir con una mejora en los cultivos que se realicen en ese suelo, ayuda a su cuidado y conservación.

Estos beneficios que el biol proporciona a los suelos se dan gracias a que el proceso de digestión previo convierte el nitrógeno de los materiales orgánicos en amonio, el cual es una forma de molécula más estable; como lo dice (*De la Torre, 2008*), el amonio que se fija en el suelo es absorbido fácilmente por las plantas, mientras que otras formas de abono utilizadas, como el estiércol colocado directamente, contienen nitrógeno oxidado en nitritos y nitratos, los cuales no se fijan en el suelo y por lo tanto son arrastrados más fácilmente por el agua de lluvia o riego.

Hace unos años el biol era considerado un subproducto, pero en la actualidad se lo considera de gran importancia para la agricultura por el hecho de que proporciona muchos beneficios, al ser un fertilizante natural de bajo costo y fácil acceso para las comunidades campesinas, les ayuda para aumentar el rendimiento de sus cosechas. Se ha observado que el biol es una fuente rica en fitorreguladores y elementos nutritivos como nitrógeno, fósforo y potasio que potencian a las plantas y aumentan la productividad; también es rico en humus y posee baja carga de patógenos (Pilco, 2020).

Otro punto importante es que cuando se realiza una buena digestión, se garantiza que exista una carga baja de microorganismos patógenos, además de ausencia de metales pesados con los que puedan ser contaminados los cultivos, como consta en el estudio realizado por (De la Torre, 2008).

### **Biogás**

Como se menciona en el Manual de Biogás de la FAO (2011), el biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), además de otros gases en menor cantidad como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ); la composición del biogás depende del tipo de materia que es digerida y de otros factores como son el funcionamiento del proceso, la temperatura y del tiempo de descomposición. Como se aprecia en la Tabla 1, entre las características de este gas se pueden mencionar que es inflamable cuando supera un 45% de metano en su composición, y que cuando contiene  $\text{H}_2\text{S}$  tiene un perceptible olor a huevos podridos, cuando carece de este compuesto, es decir es desulfurado, su olor es imperceptible (MINENERGIA/PNUD/FAO/GEF, 2011).

**Tabla 1***Características generales del biogás*

<b>Composición</b>	55 – 70% metano (CH <sub>4</sub> ) 30 – 45% dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Trazas de otros gases
<b>Contenido energético</b>	6.0 – 6.5 kW h m <sup>-3</sup>
<b>Equivalente de combustible</b>	0.60 – 0.65 L petróleo/m <sup>3</sup> biogás
<b>Límite de explosión</b>	6 – 12% de biogás en el aire
<b>Temperatura de ignición</b>	650 – 750°C (con el contenido de CH <sub>4</sub> mencionado)
<b>Presión crítica</b>	74 – 88 atm
<b>Temperatura crítica</b>	-82.5°C
<b>Densidad normal</b>	1.2 Kg m <sup>-3</sup>
<b>Olor</b>	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
<b>Masa molar</b>	16.043 Kg Kmol <sup>-1</sup>

*Nota.* Recuperado de Manual de biogás, FAO, 2011.

En la Guía sobre biogás de FNR (2010), también se describe ampliamente su composición, sus etapas de formación gracias a la acción de una gama de distintos microorganismos los cuales son principalmente bacterias anaerobias las cuales trabajan en serie o grupo para degradar la materia orgánica; en la Tabla 2 se pueden observar los diferentes tipos de microorganismos anaerobios que actúan en la degradación de la biomasa durante estos procesos. A su vez, durante el proceso de descomposición por parte de estos microorganismos esencialmente bacterias, son transformados a minerales algunos de los compuestos orgánicos degradables, los cuales pueden ser utilizados como fertilizantes para cultivos (Perez Medel, 2010).

**Tabla 2***Microorganismos anaerobios encontrados en diferentes rangos de temperatura*

<b>Rango de temperatura en °C</b>	<b>Tipo de microorganismo</b>	<b>Microorganismos encontrados</b>
10 – 15	Psicrófilos	<i>Bacillus</i> spp.
20 – 30	Psicrótrofos	<i>Clostridium</i> spp. <i>Clostridium</i> spp.
30 – 37	Mesófilos	<i>Methanococcus</i> spp. <i>Methanobacterium</i> spp. <i>Methanococcus</i> spp.
42 – 46	Termótrofos	<i>Methanobacterium</i> spp. <i>Clostridium</i> spp. <i>Lactobacillus</i> spp.
50 - 80	Termófilos	<i>Thermus</i> spp. <i>Thermococcus</i> spp.

*Nota.* Recuperado de *Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta*, por Corrales et al.,2015, Scielo.

### **Digestión anaerobia**

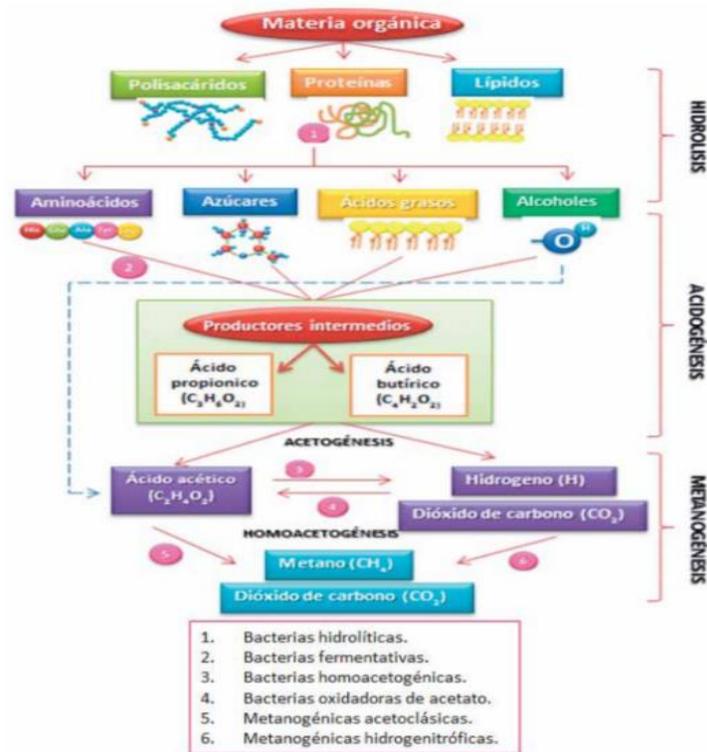
El proceso de fermentación por parte de las bacterias anaerobias comprende una serie de etapas, que interactúan entre sí; una serie de reacciones metabólicas complejas que se dan en ausencia de oxígeno. define a la digestión anaerobia como una fermentación microbiana en ausencia total o parcial de oxígeno que produce a una mezcla de gases, en su mayor parte compuesta por metano y dióxido de carbono.

En el proceso de degradación anaerobia trabajan en paralelo un gran número de microorganismos degradando la materia orgánica en etapas sucesivas. En las Figuras 2 y

3 podemos apreciar estas etapas o niveles tróficos que son cuatro: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu, 2005).

**Figura 2**

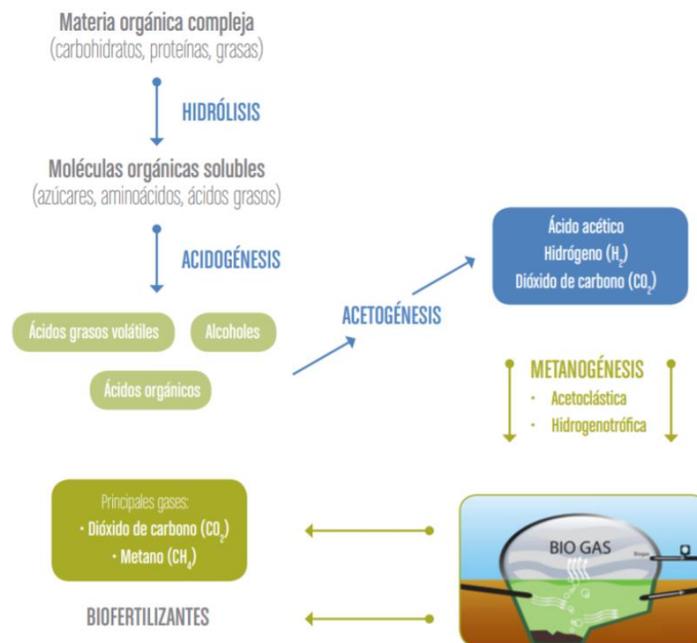
*Proceso de la digestión anaerobia*



*Nota.* Tomado de *Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta*, por Corrales et al., 2015, Scielo.

**Figura 3**

*Etapas de la digestión anaeróbica en un biodigestor, con producción de biogás y biofertilizante*



*Nota.* Tomado de *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores*, por FAO, 2019.

### **Hidrólisis**

La hidrólisis es el primer paso de la descomposición biológica de los polímeros orgánicos que están presentes en la biomasa hacia moléculas más pequeñas, las cuales tienen la capacidad de atravesar la membrana de las células, esta fase se da gracias a enzimas llamadas hidrolasas, que, en presencia de agua son capaces de romper enlaces específicos de las moléculas (Corrales, Antolinez, Bohórquez, & Corredor, 2015). Las responsables de este proceso son las bacterias hidrolíticas, las cuales excretan las enzimas necesarias para solubilizar los compuestos orgánicos; estas enzimas actúan en el exterior de las células, por lo que son consideradas como exoenzimas. Considerando lo

mencionado, la hidrólisis es en resumen la conversión de polímeros en sus respectivos monómeros (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu, 2005). Esta primera etapa es muy importante debido a que las grandes moléculas orgánicas presentes en el sustrato no pueden ser absorbidas y utilizadas directamente por los microorganismos como fuente de alimento debido a su gran tamaño, al disminuir la dimensión de las moléculas se puede dar este fenómeno; en este primer paso la velocidad de descomposición depende de la naturaleza del sustrato (Parra Huertas, 2015) .

Dentro de las bacterias anaerobias, que participan en las fases de hidrólisis y acidogénesis, se encuentran los géneros *Peptostreptococcus*, *Propionibacterium*, *Bacteroides*, *Micrococcus* y *Clostridium* que interactúan con algunas bacterias de la familia *Enterobacteriaceae* (Corrales, Antolinez, Bohórquez, & Corredor, 2015).

### **Acidogénesis**

En esta etapa los monómeros, producto de la hidrólisis, son absorbidos por diferentes bacterias facultativas y obligatorias, las que convierten a estas moléculas de pequeño tamaño en ácidos orgánicos de cadena corta como ácido acético, butírico, propiónico, alcoholes, acetato, hidrógeno y CO<sub>2</sub>. De todos estos productos obtenidos en la fermentación de los carbohidratos, los principales son los ácidos grasos volátiles, que son los intermediarios para la posterior producción de metano CH<sub>4</sub> en la fase de metanogénesis (Corrales, Antolinez, Bohórquez, & Corredor, 2015).

La concentración de hidrógeno formado como producto intermedio en esta etapa influye en el tipo de producto final formado durante el proceso de fermentación. Por ejemplo, si la presión parcial de hidrógeno fuera demasiada alta, esta podría disminuir la cantidad de componentes reducidos. Durante esta fase los azúcares simples, ácidos grasos y aminoácidos son convertidos en ácidos orgánicos y alcoholes (Parra Huertas, 2015).

### **Acetogénesis**

Esta fase también conocida como acidogénesis intermediaria, los productos correspondientes son convertidos en ácido acético, hidrógeno y  $\text{CO}_2$  (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu, 2005).

En esta fase los microorganismos presentes y adecuados (bacterias homoacetogénicas) consumen como sustrato los productos obtenidos en la fase acidogénica. Las bacterias homoacetogénicas son anaerobios estrictos los cuales, a partir de hidrógeno y  $\text{CO}_2$ , catalizan la formación de acetato (Corrales, Antolinez, Bohórquez, & Corredor, 2015); el cual es un sustrato metanogénico para dar paso a la formación posterior de  $\text{CH}_4$ , este acetato proviene de los ácidos grasos volátiles y alcoholes los cuales son oxidados (Parra Huertas, 2015).

Es importante que los microorganismos los cuales llevan a cabo las reacciones de oxidación anaeróbica colaboren con el siguiente grupo que son los microorganismos formadores de metano o metanógenos. Esta colaboración depende de la presión parcial de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) presente en el sistema; bajo condiciones de oxidación, los protones son utilizados como aceptores finales de electrones que conllevan a la producción de  $\text{H}_2$ . Estas reacciones de oxidación solamente pueden ocurrir si la presión parcial de  $\text{H}_2$  es baja, lo que explica por qué la colaboración con los metanógenos es muy importante ya que continuarán consumiendo el  $\text{H}_2$  para producir metano (Parra Huertas, 2015).

Dentro de los géneros más sobresalientes de las bacterias homoacetogénicas se encuentran *Clostridium aceticum*, *Clostridium formicoaceticum* y *Acetobacterium woodii* (Corrales, Antolinez, Bohórquez, & Corredor, 2015).

## **Metanogénesis**

La metanogénesis es la última etapa de la digestión anaerobia, cuyo fin es el obtener metano CH<sub>4</sub> como producto final. El metano se produce en esta etapa metabólica a partir de los productos de la anterior, como el ácido acético y de mezclas de H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, aunque también puede formarse a partir de otros sustratos como el ácido fórmico y metanol (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu, 2005).

En esta fase las bacterias metanogénicas son las encargadas la producción de metano y dióxido de carbono a partir de productos intermedios, esta etapa metabólica se da bajo condiciones anaeróbicas estrictas. Mediante análisis del ARNr 16S se han podido identificar aproximadamente unas 90 especies de bacterias metanogénicas distribuidas en 5 clases: *Methanobacteria*, *Methanococci*, *Methanomicrobiota*, *Methanopyri* y *Methanosarcinales* (Corrales, Antolinez, Bohórquez, & Corredor, 2015).

La metanogénesis es un paso crítico en la totalidad del proceso de digestión anaeróbica, ya que es la reacción bioquímica más lenta del proceso. A los microorganismos metanogénicos se los puede dividir a su vez en dos tipos: metanógenos acetotróficos, los cuales utilizan el acetato como sustrato y producen el 70% del metano de la digestión (*Methanosaeta concilii* o *Methanosarcina acetivorans*), y metanógenos hidrogenotróficos que utilizan el CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> como sustratos (*Metanobacterium bryantii* ó *Metanobrevibacter arboriphilus*) (Parra Huertas, 2015).

## **Parámetros Operacionales del Biodigestor**

El proceso de biodigestión anaerobia es un proceso complejo que está sujeto a ciertas condiciones de operación entre estos tenemos: temperatura, pH (potencial de hidrógeno), sólidos totales y volátiles, nutrientes disponibles y relación carbono/nitrógeno, tiempo de retención y sustancias que pueden resultar perjudiciales para el proceso.

## **Temperatura**

Al igual que en todos los procesos biológicos, la temperatura juega un rol importante dentro de la digestión anaerobia ya que influye directamente con la velocidad de crecimiento de las bacterias en cada parte del proceso, también con los rendimientos de producción de biogás y con los tiempos de retención (Gajardo Alarcón, 2013).

Cuando los biodigestores se encuentran instalados en lugares en donde la temperatura promedio es de al menos 18°C o más aún por sobre los 20°C, su funcionamiento es eficiente. La producción de gas decae cuando la temperatura está por debajo de los 15°C y en algunos casos se requiere de calefacción extra, lo que aumenta el costo y por lo tanto disminuye la rentabilidad (Gajardo Alarcón, 2013). En la Tabla 3 constan los rangos de temperaturas para el funcionamiento de biodigestores anaerobios y los tiempos requeridos para la fermentación en cada caso.

**Tabla 3**

*Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica*

<b>Fermentación</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Óptimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Tiempo de fermentación</b>
Psicrófila	4 – 10°C	15 – 18°C	20 – 25°C	Sobre 100 días
Mesófila	15 – 20°C	25 – 35°C	35 – 45°C	Entre 30 y 60 días
Termófila	25 – 45°C	50 – 60°C	75 – 80°C	Entre 10 y 15 días

*Nota. Adaptado de Estudio de la producción de biogás en función de la temperatura, en un biodigestor tipo chino, por Gajardo, 2013, Repositorio Universidad de Chile.*

## **pH**

El pH es un indicador de la acidez de la materia orgánica; las bacterias que trabajan en la digestión anaerobia prefieren ambientes con pH entre 6.5 y 7.5, por ejemplo, las bacterias acidogénicas y acetogénicas trabajan mejor con pH de 5.5 y 6.5, mientras que las bacterias metanogénicas prefieren un rango de 7.8 a 8.2, rango al cual se ajustan la mayoría de estiércoles (Martí Herrero, Biodigestores Tubulares Guía de Diseño y Manual de Instalación, 2019). Se debe tener cuidado de que el pH dentro del biodigestor no descienda demasiado ya que en ese caso las bacterias metanogénicas no pueden producir metano.

## **Sólidos Totales y Volátiles**

Los sólidos totales ST se refieren a la parte seca o materia seca del sustrato con el que se alimenta al biodigestor, están formados por sólidos inertes y sólidos orgánicos; de manera general se puede decir que los estiércoles tienen entre un 15 a 25% de sólidos inertes dentro de los sólidos totales y entre 75 a 85% restante corresponden a los sólidos volátiles SV, que son en sí la materia orgánica presente, la cual se convertirá en metano al finalizar el proceso (Martí Herrero, Biodigestores Tubulares Guía de Diseño y Manual de Instalación, 2019).

El porcentaje de ST que debe contener la mezcla con la cual se carga un biodigestor es uno de los factores más importantes para su funcionamiento, ya que de esto depende la movilidad del consorcio bacteriano y aún más de las bacterias metanogénicas, puesto que si el contenido de sólidos es muy alto la movilidad se ve afectada y por lo tanto esto puede afectar la producción de biogás (Gajardo Alarcón, 2013).

Lo ideal es que la carga de entrada a un biodigestor tubular, es decir la mezcla de estiércol y agua, tenga entre 3 y 16% de sólidos totales ST, no es recomendable ingresar

valores mayores de ese porcentaje (Martí Herrero, Biodigestores Tubulares Guía de Diseño y Manual de Instalación, 2019). En la Tabla 4 se pueden observar algunos valores de ST y SV para algunos estiércoles típicos.

**Tabla 4**

*Características fisicoquímicas de algunos tipos de estiércol*

<b>Estiércol</b>	<b>%ST</b>	<b>SV (%ST)(base seca)</b>	<b>%SV (base húmeda)</b>
Vaca	(10 – 17)	(70 – 80)	(7 – 13.6)
Cerdo	(20 – 35)	(60 – 75)	(12 – 26.25)
Cabra/Oveja	(50 – 70)	(70 – 75)	(35 – 52.5)
Llama	(55 – 65)	(70 – 75)	(38.5 – 48.75)

*Nota.* Adaptado de *Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación*, por Martí, 2019, Redbiolac.

### **Nutrientes y Relación Carbono/Nitrógeno**

Las necesidades nutricionales del consorcio bacteriano que trabaja en el proceso de fermentación anaerobia son simples, ya que generalmente pueden encontrarse fácilmente en los estiércoles animales en cantidades adecuadas; esto requerimientos son carbono, nitrógeno, fósforo y cantidades pequeñas de azufre, vitaminas, ácidos grasos, aminoácidos y elementos minerales tales como potasio, sodio, calcio, magnesio y hierro (Pilco, 2020). El carbono y nitrógeno son los macronutrientes más importantes y principal fuente de alimentación del consorcio bacteriano, ya que con el primero obtienen su fuente de energía y con el segundo obtienen material para formar nuevas células (MINENERGIA/PNUD/FAO/GEF, 2011).

Por otra parte, la relación de C/N que debe existir dentro del biodigestor en el que se desarrollan las bacterias anaerobias debe estar en torno a 20:1 a 30:1 respectivamente; una óptima relación de carbono/nitrógeno favorece el proceso de fermentación, necesitando en casos en los que no se cumplen estos valores, adecuar la mezcla para obtener buenos resultados (Pilco, 2020).

Es importante mantener la relación C/N en valores adecuados ya que si la relación es mayor a 35:1 la materia orgánica se descompondrá de forma lenta, y la producción de biogás tomará mayor tiempo; o en caso contrario, si la relación C/N es menor a 8:1, se da una inhibición de la actividad bacteriana porque se forma amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) en el medio, lo que en cantidades altas llega a ser tóxico para el proceso (Gajardo Alarcón, 2013).

### ***Tiempo de Retención***

Según (Martí Herrero, Biodigestores Tubulares Guía de Diseño y Manual de Instalación, 2019), se puede decir que el tiempo de retención (TR) es el tiempo que necesita el consorcio bacteriano para producir biogás, entonces también se lo puede calificar como el tiempo que tarda la carga diaria en cruzar completamente el biodigestor, hasta que alcanza la salida para ser evacuado. El tiempo de retención debe ajustarse a la temperatura a la que se va a trabajar con el biodigestor, es decir de la temperatura del ambiente en donde se lo coloca. Si el tiempo de retención es menor al que requieren las bacterias, se producirá baja cantidad de metano o puede ser que solamente se produzca dióxido de carbono; por otro lado, se puede construir biodigestores más grandes para sacar todo el potencial de biogás de la carga diaria, pero esto implica aumentar los costos. En la Tabla 5 se puede observar la relación entre temperatura y tiempo de retención TR, mientras menor es la temperatura más TR es necesario.

**Tabla 5**

*Relación entre temperatura y tiempo de retención recomendado para lograr producciones de biogás aceptables*

<b>TEMPERATURA</b>	<b>TIEMPO DE RETENCIÓN (TR)</b>
35 °C	25-30 días
30 °C	30-40 días
25 °C	35-50 días
20 °C	50-65 días
15 °C	65-90 días
10 °C	90-125 días

*Nota.* Tomado de *Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación*, por Martí, 2019, Redbiolac.

### **Sustancias perjudiciales**

Como se mencionó previamente existen algunos compuestos que pueden provocar la inhibición de la actividad bacteriana, dentro de los cuales se encuentra el amonio ( $\text{NH}_4$ ) y otros elementos como el oxígeno ( $\text{O}_2$ ) en concentraciones mayores al 7% (v/v); el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) concentraciones mayores a los 1.500 mg/l; ácidos volátiles desde 2.000 ppm; antibióticos; pesticidas; metales pesados; desinfectantes como el peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ); el cloro ( $\text{Cl}_2$ ), etc. (Abarza Villalobos, 2014).

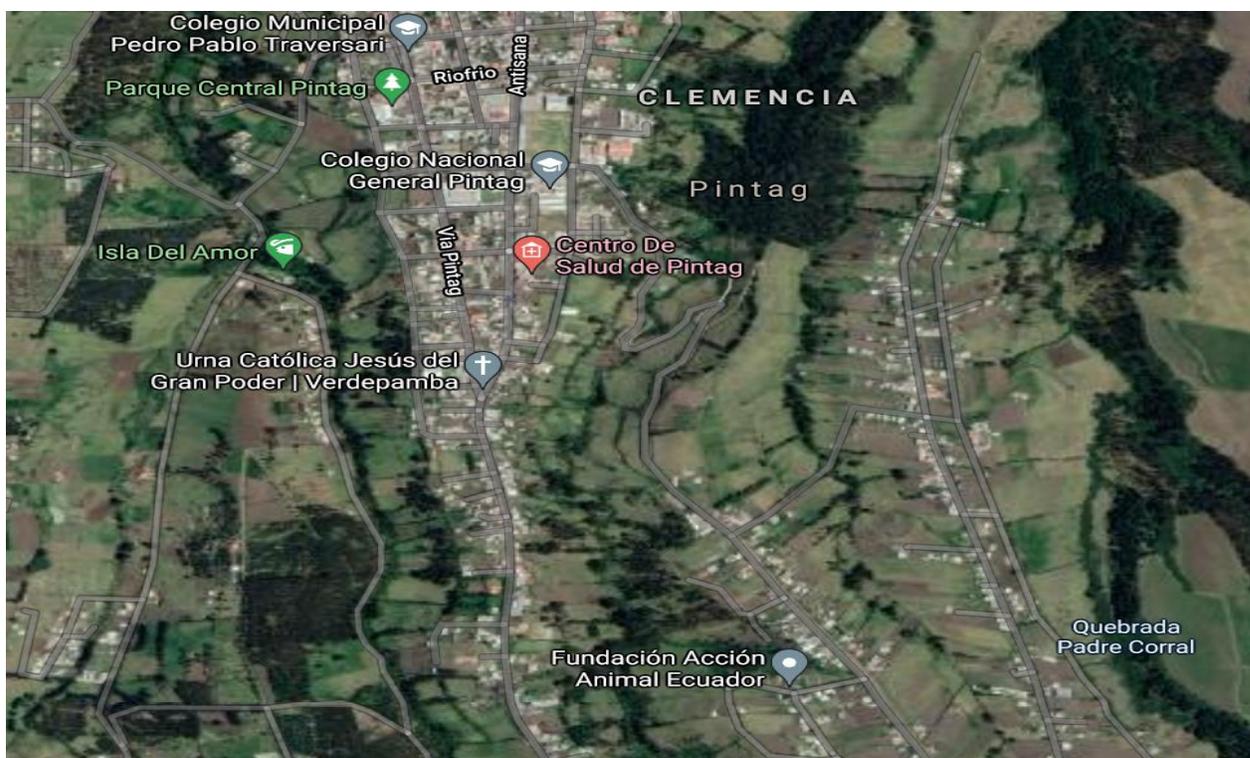
### Capítulo III: Materiales y Métodos

#### Zona de Estudio

El proyecto de investigación se implementó en las instalaciones del Refugio para rescate de perros de la Fundación Acción Animal (Figura 4), ubicada en la parroquia Pintag, sector de Yurac, entre calle B y calle C, cantón Quito, provincia Pichincha, Ecuador. La parroquia de Pintag está ubicada al suroriente de Pichincha, es parte del Distrito Metropolitano de Quito y se encuentra a unos 35 Km de distancia de la capital, cerca del Valle de los Chillos (Pintag, 2015).

#### Figura 4

*Ubicación del Refugio*



*Nota.* En el mapa se muestra la ubicación del Refugio de la Fundación Acción Animal Ecuador, imagen tomada de Google Maps, 2021.

## Clima

El clima que predomina en esta zona es templado húmedo; se pueden distinguir dos estaciones marcadas, el período de lluvias, que va desde el mes de septiembre hasta abril y un período seco, que va desde mayo hasta agosto, aunque estos períodos han sufrido variaciones debido al cambio climático (Pintag, 2015).

**Tabla 6**

*Características climáticas de la parroquia Pintag*

<b>Temperatura anual promedio</b>	<b>Altitud</b>	<b>Precipitación fluvial</b>
12°C, pudiendo llegar hasta los 18°C	2.400 m.s.n.m.	Entre 500 – 2.000 mm

*Nota.* Adaptado de la página del GAD Pintag, 2015.

## Procedimientos

### ***Toma de muestras***

En la Fundación Acción Animal Ecuador existen actualmente alrededor de 200 perros rescatados que viven dentro de las instalaciones del Refugio ubicado en Yurac, los cuales son alimentados diariamente con croquetas (alimento balanceado para perros) y alternado también con una preparación tipo colada de avena, cabezas y vísceras de pollo.

Las heces son recogidas diariamente de los 36 caniles por personal de la Fundación para ser tratadas en un biodigestor pre existente que actualmente se encuentra sin funcionamiento, y que por lo tanto eran evacuadas al desagüe que conduce a la quebrada adyacente al Refugio.

Para la recolección de las muestras de heces se utilizaron palas, recogedor y un balde plástico el que se fue llenando con las heces producidas en los caniles, con ayuda del personal que labora en el Refugio.

### **Figura 5**

*Perros rescatados que viven en el Refugio de Yurac*



*Nota.* Fotografías de la autora

### ***Determinación de la carga diaria de residuos fecales caninos***

Para determinar la carga diaria de residuos fecales para el nuevo biodigestor, se cuantificó la producción de heces por caniles durante 3 días (en peso) utilizando una balanza electrónica, dato que luego se dividió para el número de perros en los caniles muestreados, para determinar la producción de heces por cada perro, y ese valor se multiplicó por el número de perros que viven en el refugio.

**Figura 6**

*Procedimiento para la recolección y pesado de heces*



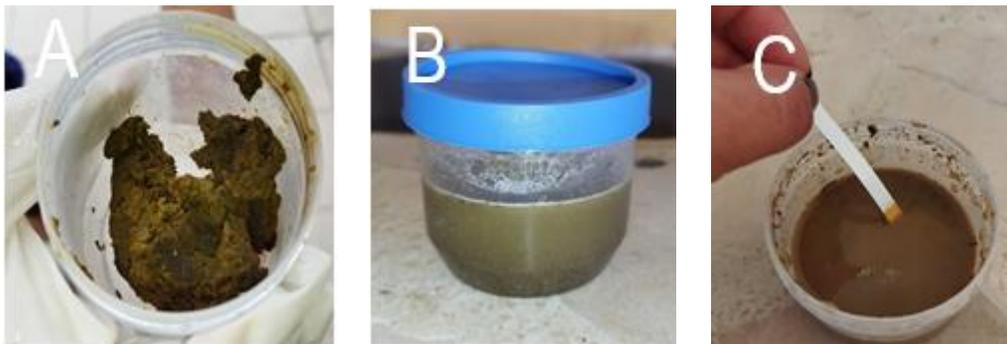
*Nota.* A) Recolección de heces caninas en balde plástico. B) Pesado de las heces recolectadas.

***Determinación del pH***

Para determinar el pH de las muestras de heces fecales caninas se utilizaron tiras medidoras de pH; para lo cual se tomaron 10g de heces en recipientes plásticos para muestreo de 50ml y se las mezcló con un poco de agua para poder obtener una solución.

**Figura 7**

*Procedimiento para la medición del pH*



*Nota.* A) Muestra de heces. B) Disolución en agua. C) Medición de pH de las heces

### ***Determinación del porcentaje de humedad en las heces caninas***

En primer lugar, se cuantificó el porcentaje de humedad existente en las heces caninas y luego se determinó la cantidad de agua que se necesita para lograr una dilución con el contenido de sólidos totales ST deseado. Para obtener el dato del porcentaje de humedad en las heces se utilizó un método casero debido a la falta de posibilidad de acceder a un laboratorio donde realizar los ensayos; se pesaron 10g de muestra de heces húmedas en un recipiente plástico previamente pesado. Se colocó la muestra exponiéndola a la luz solar durante tres días aproximadamente, hasta que se encontraba totalmente seca y se obtuvo un peso constante en la balanza.

La diferencia de peso corresponde a la humedad de la muestra y se expresa en porcentaje respecto al peso de la muestra húmeda (Martí Herrero, Biodigestores Tubulares Guía de Diseño y Manual de Instalación, 2019). Y el cálculo se da según la siguiente fórmula:

$$\%H_2O = \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} * 100$$

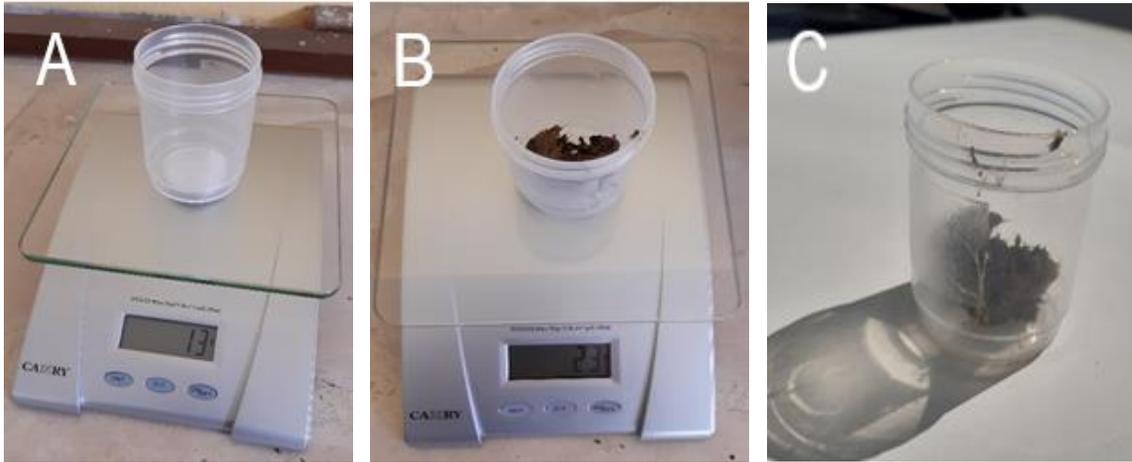
P<sub>1</sub>= (peso del crisol vacío)

P<sub>2</sub>= (peso del crisol con la muestra húmeda)

P<sub>3</sub>= (peso del crisol con la muestra seca)

## Figura 8

*Procedimiento para determinar el porcentaje de humedad en heces*



*Nota.* A) Peso del recipiente vacío. B) Peso con la muestra húmeda. C) Peso con la muestra seca.

### ***Cálculo de la mezcla necesaria heces/agua***

Con los datos de humedad obtenidos se pudo determinar la cantidad de agua que se debe introducir al biodigestor para lograr la mezcla adecuada para la digestión, manteniendo el porcentaje requerido de sólidos totales, así:

En base al Manual de Diseño de Biodigestores de Martí (2019), para obtener un porcentaje de sólidos del 7,5% a partir del 30% de ST, se realizó la siguiente dilución:

$$100 \left( \frac{300}{4000} \right) = 7,5\%$$

Esto quiere decir que por cada kilogramo de heces introducidas en el biodigestor se deben agregar 3 litros de agua. Con este porcentaje de ST y en base a las características de las heces a tratar, es posible una digestión adecuada.

### ***Cálculo de sólidos totales en la mezcla***

Los sólidos totales (ST) se determinan sobre muestras de mezcla del biodigestor. Se realizará de acuerdo con el método normalizado APHA por gravimetría; como primer paso, se pesa el crisol vacío, luego se coloca la muestra dentro del crisol y se pesa para posteriormente ser colocado en la estufa a una temperatura de 105°C por 24 horas. Transcurrido ese tiempo se saca el crisol de la estufa, se deja a temperatura ambiente hasta que se enfríe y se pesa. El cálculo de los sólidos totales se obtiene mediante la siguiente ecuación (Pilco, 2020):

$$ST = \frac{m1 - m0}{v}$$

Donde;

ST= Sólidos totales (mg/l)

m1= peso residuo seco + crisol (mg)

m0 = peso crisol (mg)

V= volumen de la muestra (l)

### ***Determinación de las dimensiones para la construcción del biodigestor***

Para realizar el diseño y determinar las dimensiones del biodigestor tubular se deben tomar en cuenta varios factores importantes que intervienen en el proceso, mediante valores encontrados en tablas y el cálculo de fórmulas encontradas en bibliografía.

Tiempo de retención

El tiempo de retención TR se establecerá de acuerdo a bibliografía y se basará en la Tabla 5 (Martí,2019), en la cual se puede determinar la relación entre la temperatura

ambiental del lugar en donde se construye el biodigestor y el tiempo de retención recomendado para potenciar el óptimo funcionamiento del mismo.

#### Volumen del biodigestor

El volumen del biodigestor se puede dividir en dos partes, volumen que ocupa la fase líquida (estiércol + agua) y el volumen de la fase gaseosa (acumulación de biogás generado).

Para la determinación del volumen líquido del digestor se considerará la carga diaria y el tiempo de retención según la siguiente ecuación (Martí, 2019):

$$V_L = TR \times CD$$

Donde;

$V_L$ =Volumen líquido  $m^3$

TR=tiempo de retención (días)

CD= Carga diaria  $m^3/d$

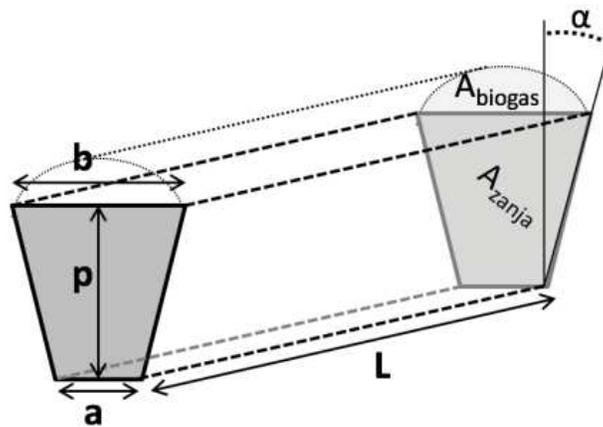
- El volumen que se toma en cuenta para los cálculos del dimensionamiento del biodigestor es el  $V_L$ , no el  $V_T$  (Volumen Total, que es la suma del  $V_L$  + el Volumen del biogás  $V_B$ ).

#### Dimensiones de la zanja

Las dimensiones de un biodigestor tubular vienen determinadas por las dimensiones de la zanja, la que contendrá la fase líquida del biodigestor. Por lo general se utilizan zanjas trapezoidales como se muestra en la Figura 9.

**Figura 9**

Esquema de una zanja trapezoidal



Nota. Tomado de *Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación*, por Martí, 2019, Redbiolac.

- El área del trapecio, indica los metros cúbicos que alberga el biodigestor, por metro lineal de zanja.

$$A_{zanja} = p \times \frac{(a + b)}{2}$$

Dónde;

$A_{zanja}$  = área del trapecio de la zanja  $m^2$

$p$  = profundidad  $m$

$a$  = ancho inferior  $m$

$b$  = ancho superior  $m$

- El volumen de la zanja es el volumen líquido del biodigestor según Martí, 2019:

$$V_{zanja} = V_L = A_{zanja} \times L$$

$$\frac{V_L}{A_{zanja}}$$

Dónde;

$V_{zanja}$  = volumen de la zanja ( $m^3$ )

$V_L$  = volumen del líquido ( $m^2$ )

$L$  = longitud de la zanja (m)

Para la construcción del biodigestor se utilizó plástico de invernadero de forma tubular calibre 10; el ancho del mismo se determinó según las dimensiones existentes en el mercado. Las dimensiones del plástico son un factor limitante en el proceso de dimensionamiento del biodigestor, ya que la circunferencia del plástico tubular siempre debe ser mayor que el perímetro del área trapezoidal de la zanja (Martí Herrero, Biodigestores Tubulares Guía de Diseño y Manual de Instalación, 2019).

En la Tabla 7 se pueden observar las diferentes longitudes para la construcción de biodigestores tubulares dependiendo del diámetro de la circunferencia del plástico a utilizar.

**Tabla 7***Longitudes mínima, máxima y óptima de biodigestores tubulares según circunferencias*

Circunferencia(m)	Ancho del rolo(m)	Radio(m)	Diámetro(m)	Biodigestor Tubular		
				Longitud Mínima	Máxima	Óptima
2	1	0.32	0.64	3.2	6.4	4.8
3	1.5	0.48	0.95	4.8	9.5	7.2
4	2	0.64	1.27	6.4	12.7	9.5
5	2.5	0.80	1.59	8.0	15.9	11.9
6	3	0.95	1.91	9.5	19.1	14.3
7	3.5	1.11	2.23	11.1	22.3	16.7
8	4	1.27	2.55	12.7	25.5	19.1
9	4.5	1.43	2.86	14.3	28.6	21.5
10	5	1.59	3.18	15.9	31.8	23.9
14	7	2.23	4.46	22.3	44.6	33.4

*Nota.* Tomado de *Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación*, por Martí, 2019, Redbiolac.

**Tabla 8**

*Parámetros de dimensionamiento de zanjas de biodigestores tubulares a partir del ángulo  $\alpha$  y el radio de la circunferencia disponible de manga tubular*

$\alpha^\circ$ (desde vertical)	a (m)	b (m)	p (m)	$A_{zanja}$ (m <sup>2</sup> )
0	1.49 x r	1.49 x r	1.57 x r	2.34 x r <sup>2</sup>
0	1.41 x r	1.41 x r	1.57 x r	2.22 x r <sup>2</sup>
0	1.34 x r	1.34 x r	1.57 x r	2.10 x r <sup>2</sup>
7.5	1.23 x r	1.63 x r	1.54 x r	2.20 x r <sup>2</sup>
15	1.02 x r	1.82 x r	1.49 x r	2.12 x r <sup>2</sup>
30	0.72 x r	2.26 x r	1.33 x r	1.98 x r <sup>2</sup>
45	0,43 x r	2.57 x r	1.07 x r	1.61 x r <sup>2</sup>

*Nota.* Tomado de *Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación*, por Martí, 2019, Redbiolac.

### **Análisis de la composición del biol producido**

Los análisis para determinar la composición del biol producido en el biodigestor tubular se realizarán de manera externa en Laboratorios LASA, siendo los parámetros a determinar los siguientes: contenido de macronutrientes Nitrógeno (N); Fósforo (P) y Potasio (K). Según estos resultados se determinará si el biol producido sirve como biofertilizante para cultivos según datos bibliográficos.

#### *Determinación del contenido de Nitrógeno*

El nitrógeno presente en la muestra de biol se determinó mediante el método de Volumetría APHA 4500 Norg C como NTK (Nitrógeno Total Kjeldahl). Anexo 1

#### *Determinación del contenido de Fósforo*

El contenido de fósforo total de la muestra de biol se determinó mediante Espectrofotometría APHA 4500-P B y E. Anexo 1

#### *Determinación del contenido de Potasio*

El contenido de potasio presente en la muestra de biol se determinó mediante el método de Absorción Atómica – Llama. Anexo 1

#### *Determinación de sólidos totales en el biol producido*

El contenido de ST en la muestra de biol se determinó mediante Gravimetría APHA 2540 B en Laboratorios LASA. Anexo 1

#### *Análisis microbiológico del biol producido*

El análisis microbiológico se basó en el cumplimiento de la Norma INEN 0211 para fertilizantes orgánicos, la que indica que debe haber ausencia de microorganismos patógenos (*E. coli* y *Salmonella* spp.) para que un biofertilizante pueda utilizarse en cultivos (INEN, 1998).

Para determinar la ausencia o presencia de los mencionados microorganismos se utilizó la técnica del Número más probable NMP realizada por LASA. Anexo 2

#### *Determinación del pH del biol*

Para la determinación del pH del biol obtenido en el biodigestor se utilizaron tiras medidoras de pH. Se tomó una muestra de 50ml de biol en la cual se sumergió la tira que se comparó con el cuadro referencial de color después de 15 segundos.

## **Análisis estadístico**

Para realizar el análisis estadístico se hicieron pruebas rápidas de siembra del biol obtenido en medios 3M™ Petrifilm *Salmonella* Express Discos de confirmación (prueba bioquímica para confirmación de *Salmonella*) y en placas de recuento *E. coli*/Coliformes Petrifilm 3M™ incubando durante 24 horas a 41,5°C para determinar presencia o ausencia de los microorganismos en las muestras.

Se recolectaron tres muestras de biol en tres días diferentes desde que empezó el funcionamiento del biodigestor, las tres primeras a los TR 25 días; las segundas a los TR 40 días y las terceras a los TR 55 días. Las muestras fueron trasladadas en envases plásticos dentro de un cooler y fueron procesadas en el menor tiempo posible para evitar alteración en los resultados.

### *Diseño Experimental*

Se utilizó el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con tres repeticiones. Con este diseño se pudo comparar 3 tratamientos que estuvieron basados en el tiempo de residencia dentro del biodigestor y así se determinó el mejor tratamiento para la obtención de un biol con calidad microbiológica adecuada que cumpla con las normativas Ecuatorianas para fertilizantes orgánicos.

### *Operatividad de las variables*

Variable: Tiempo de residencia

Niveles: 3 (número de días)

Factor por determinar: Presencia/Ausencia de patógenos (*E. coli* y *Salmonella* spp.)

<b>VARIABLES</b>	<b>NIVELES</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>FACTOR POR DETERMINAR</b>
Tiempo de residencia	25	Días	Presencia-Ausencia de patógenos según Norma Ecuatoriana
	40	Días	
	55	Días	

## Capítulo IV: Resultados

### Toma de muestras

#### *Carga diaria de heces caninas*

Se obtuvo como resultado que en el Refugio se producen diariamente alrededor de 0,3613 Kg de heces por perro, es decir aproximadamente 62,142 Kg diarios de heces totales de los 172 perros, lo cual constituye la carga diaria de heces para colocar en el biodigestor. El volumen correspondiente a este peso se lo calcula posteriormente en la mezcla de heces/agua necesaria.

#### *Determinación del pH de las heces*

El pH que se obtuvo de la muestra de heces caninas del refugio es de 6,5 a 6,8 aproximadamente. Según bibliografía, estos valores se encuentran dentro del rango recomendable (de 6,5 a 7,5) para empezar el tratamiento en el biodigestor (Martí, 2019).

### Figura 10

*Resultado de la medición del pH de las heces caninas mediante tiras de pH*



*Nota.* Fotografía tomada por la autora.

### *Determinación de la humedad*

Para lograr un tratamiento óptimo en el biodigestor es necesario establecer la cantidad de agua que se requiere para lograr una mezcla homogénea y adecuada para que entre a la fase de digestión.

Según datos bibliográficos obtenidos de (Nuñez Bosch, 2016), el porcentaje de sólidos para tratamiento de heces en un biodigestor tubular debe estar entre el 7 y 9%, en otras fuentes bibliográficas por ejemplo Martí (2019) el porcentaje de sólidos totales que se debe utilizar para los biodigestores tubulares debe estar entre el 3 y 16%.

En primer lugar, se requiere calcular el porcentaje de humedad de la muestra de la siguiente manera:

$P_1 = 13\text{g}$  (peso del crisol vacío)

$P_2 = 23\text{g}$  (peso del crisol con la muestra húmeda)

$P_3 = 16\text{g}$  (peso del crisol con la muestra seca)

Así:

$$\%H_2O \text{ Heces} = \frac{23\text{g} - 16\text{g}}{23\text{g} - 13\text{g}} * 100$$

$$\%H_2O \text{ Heces} = 70\%$$

Se determinó que el porcentaje de humedad en las heces es en promedio del 70%, esto quiere decir que por cada 10g de heces habrán 7g de agua y 3g de sólidos totales, lo correspondiente al 30% restante.

- Con este resultado, el siguiente paso es determinar la mezcla correcta de heces/agua para introducir al biodigestor.

### *Cálculo de la mezcla necesaria heces/agua*

Como se mencionó previamente, para obtener la proporción adecuada de heces:agua se debe determinar el porcentaje de sólidos totales a los cuales se requiere que trabaje el biodigestor, entonces:

En base al Manual de Diseño de Biodigestores de Martí (2019), para obtener un porcentaje de sólidos del 7,5% a partir del 30% de ST calculado, se realizó la siguiente dilución:

$$100 \left( \frac{300}{4000} \right) = 7,5\%$$

Esto quiere decir que por cada kilogramo de heces (con 30% de ST) introducidas en el biodigestor, en el que por cada Kg representaría ingresar 300g de ST, se deben agregar 3 litros de agua. Con este porcentaje de ST y en base a las características de las heces a tratar, es posible una digestión adecuada; para diluir toda la carga diaria de heces obtenida en el refugio (62,14 kg) se requieren de 186,42 litros de agua. Con esto se obtienen 248,56 litros de mezcla diaria con 7,5% de ST, que es lo recomendado por Martí (2019) quien menciona que el valor de ST debe encontrarse entre 3 y 16%.

### **Dimensionamiento del biodigestor**

#### *Tiempo de retención*

En base a la Tabla 5 y a las condiciones climáticas locales, se determinó que el tiempo de retención TR para el biodigestor del Refugio sea de 55 días, correspondiendo a los datos proporcionados por (Martí Herrero, Biodigestores Tubulares Guía de Diseño y Manual de Instalación, 2019), en el que para una temperatura aproximada de 20°C el TR recomendado sea de 50 a 65 días.

### *Volumen del biodigestor*

El volumen líquido del biodigestor es el valor con el cual se trabaja para determinar las dimensiones del mismo. Se considera que la parte más importante es el volumen líquido, que es el que va asociado a la carga diaria y al tiempo de retención (Martí Herrero, Biodigestores Tubulares Guía de Diseño y Manual de Instalación, 2019).

$$V_L = TR \times CD$$

$$V_L = 55d \times 0,249m^3/d$$

$$V_L = 13,695 m^3$$

### *Dimensiones de la zanja*

Para dimensionar la zanja de forma correcta se utilizaron datos obtenidos previamente, como el  $V_L$ ; la carga diaria de heces; circunferencia del plástico disponible; longitud óptima (Tabla7); longitudes y área de la zanja (Tabla 8); así se obtuvieron las siguientes dimensiones para la zanja del biodigestor:

**Tabla 9**

*Valores de las dimensiones de la zanja determinados para el estudio*

$\alpha^\circ$	C (m)	D (m)	r (m)	a (m)	b (m)	p (m)	A <sub>zanja</sub> (m <sup>2</sup> )	L (m)	L/D
15	4	1.28	0.64	0.65	1.16	0.95	0.87	10	7.81

*Nota.* Valores obtenidos por la autora.

$\alpha^\circ$  = ángulo de inclinación del talud medido desde la vertical

C = circunferencia de la manga de plástico

D = Diámetro de la circunferencia

r = radio de la circunferencia

a = ancho inferior de la zanja

b = ancho superior

p = profundidad

$A_{zanja}$  = área de la zanja

L = longitud de la zanja

L/D = relación entre longitud y diámetro de la manga de plástico (debe encontrarse entre 5 y 10 según Martí 2019, para un biodigestor tubular).

### **Construcción del biodigestor**

Una vez realizado el dimensionamiento de la zanja se procedió a realizar la excavación en el terreno en forma de trapecio manteniendo lo mejor posible la inclinación de las paredes de la zanja y aplanando la base en donde se asienta el biodigestor. La excavación se realizó con una gallineta o retroexcavadora, además se realizó una zanja para el tubo de la salida del biodigestor también con ayuda de la maquinaria debido a la dureza del terreno. Una vez realizado este trabajo se procedió al armado del biodigestor, para lo cual se utilizaron dos rollos de plástico tubular para invernadero de 2m de ancho, con calibre 10 y una longitud de 12m, dos metros extras para dar espacio al inicio y al final para la instalación de los tubos de entrada y salida, se utilizó doble capa del plástico para darle mayor resistencia al biodigestor. Para armar los extremos del biodigestor se realizaron amarres del plástico doblado en forma de acordeón con caucho de neumáticos alrededor de los tubos de PVC de 4"; en la parte central de la manga se perforó una pequeña abertura en la cual se colocó una válvula de PVC conectada a una manguera de media pulgada, la cual sirve para sacar el biogás que se produce dentro del biodigestor. Para el proceso de inflado se utilizó una manga de plástico negro de polietileno la cual se conecta al tubo de uno de los extremos del biodigestor y a la cual se la llena de aire, que

es introducido a la bolsa del biodigestor aplastando todo el aire contenido en la manga externa. Una vez que se encuentra totalmente inflado, se procede a sellarlo hidráulicamente, para lo cual se llena de agua el biodigestor hasta aproximadamente un cuarto del volumen o hasta que los extremos internos de las tuberías de PVC estén cubiertos por el agua, evitando así que el aire se escape. Cuando se encuentra totalmente instalado se procede a introducir la carga diaria de heces en el biodigestor; como ya fue determinado en los cálculos la dilución de heces o mezcla heces/agua será de 1:3 (1 parte de heces 3 partes de agua) que son colocadas mediante un balde plástico en el cual son recolectadas las heces desde los caniles por personal del refugio. La carga hacia el biodigestor se la realiza diariamente al terminar la limpieza de los caniles, pueden existir variaciones en el volumen de entrada ya que el peso de heces no es siempre constante, sin embargo, se realizaron los cálculos más cercanos a la realidad en base a un promedio obtenido durante tres días. Para finalizar la etapa de construcción se procedió a armar una cubierta para proteger el plástico del biodigestor de los factores ambientales como sol, agua y viento, además de evitar daños por parte de los perros del refugio. La cubierta se construyó con ramas de árboles cortadas del bosque aledaño, planchas de zinc y clavos de acero de 4 pulgadas.

### **Figura 11**

*Preparación del terreno para la zanja*



*Nota.* Fotografía tomada por la autora.

**Figura 12**

*Excavación de la zanja con ayuda de maquinaria*



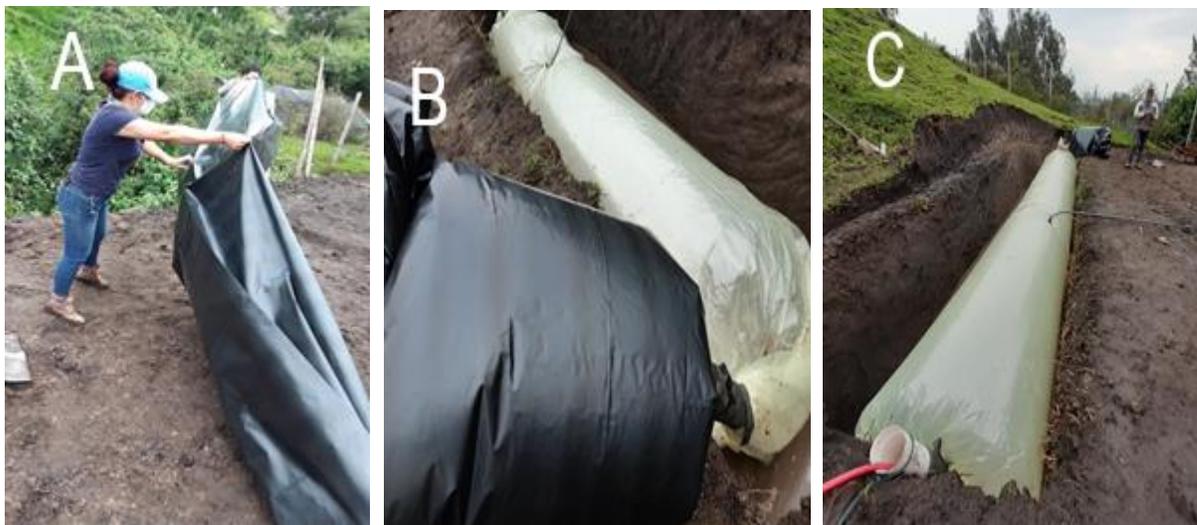
*Nota.* Fotografía tomada por la autora.

**Figura 13**

*Proceso de armado del biodigestor*



*Nota.* A) Colocación de tubería dentro de la bolsa del biodigestor. B) Amarre de los extremos con caucho de neumáticos. Fotografías tomadas por la autora.

**Figura 14***Instalación del biodigestor*

*Nota.* A) y B) Proceso de inflado del biodigestor por medio de mangas de plástico. C) Biodigestor inflado colocado en la zanja. Fotografías tomadas por la autora.

**Figura 15***Armado de entrada y salida del biodigestor*

*Nota.* A) y B) Adaptación de la entrada. C) Adaptación de la salida del biodigestor con tuberías y codos de PVC. Fotografías tomadas por la autora.

## Figura 16

*Adaptación de una cubierta para proteger el biodigestor*



*Nota.* A), B) y C) Construcción de la cubierta del biodigestor con ayuda de estudiantes de vinculación de la ESPE. Fotografías tomadas por la autora.

## Análisis de la composición del biol producido

*Determinación del contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio*

Los análisis físico químicos del biol producido en el biodigestor tubular dieron los siguientes resultados:

**Tabla 10**

*Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio del biol*

Producto	Composición mg/l		
	NTK	P total	K
BIOL a partir de heces caninas	719,46	237,5	105,47

*Nota.* Datos obtenidos del análisis físico químico del biol, Anexo 1.

### *Determinación de ST*

El análisis mediante Gravimetría APHA 2540 B realizado por Laboratorios LASA dio como resultado que el biol contenía 15258 mg/l de concentración de ST; es decir, que tenía un 1,6% p/v de sólidos totales. Anexo 1

### *Análisis microbiológico*

Los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos realizados en LASA con el método NMP son los siguientes:

#### **Tabla 11**

##### *Resultados del análisis microbiológico del biol*

<b>Producto</b>	<b>Parámetro</b>	
	<b><i>Escherichia coli</i></b>	<b><i>Salmonella</i></b>
BIOL a partir de heces caninas	< 3	Ausencia

Nota. Recuento y determinación de presencia/ausencia de microorganismos patógenos mediante análisis microbiológico, Anexo 2.

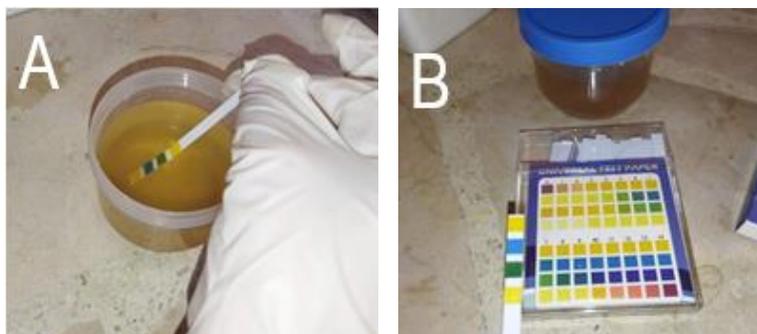
### *Determinación del pH del biol*

El pH que se determinó en el biol producido fue aproximadamente de 7,5 a 8.

Medición realizada con tiras medidoras de pH.

## Figura 17

Medición del pH del biol obtenido



Nota. Fotografías tomadas por la autora.

## Diseño experimental

Una vez realizados los análisis microbiológicos correspondientes a las muestras de biol recolectadas en los días planificados se pudieron obtener los siguientes datos:

Tratamiento (Tiempo de retención)	Bloque		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
25 días (TR)	Presencia <i>E. coli</i> /coliformes	Presencia <i>E. coli</i> /coliformes	Presencia <i>E. coli</i> /coliformes
40 días (TR)	Presencia <i>E. coli</i> /coliformes	Ausencia de patógenos	Presencia <i>E. coli</i> /coliformes
55 días (TR)	Ausencia de patógenos	Ausencia de patógenos	Ausencia de patógenos

En base a los datos obtenidos se puede determinar al tercer tratamiento (TR 55 días) como el óptimo para la producción de biol de buena calidad microbiológica bajo la

normativa ecuatoriana, existiendo en este tratamiento Ausencia de los patógenos indicadores (*E. coli* y *Salmonella* spp.) en cada una de las repeticiones. Ninguna de las muestras presentó crecimiento de *Salmonella* spp., llegando a la conclusión de que no existía contaminación por este tipo de bacteria en el biol. Se detectó la presencia de patógenos en todas las repeticiones del primer tratamiento (TR 25 días) concluyendo así que es un tiempo insuficiente para eliminar este tipo de bacterias en el proceso de biodigestión. Como se puede apreciar, a los TR 40 días la presencia de contaminación existe aún, pero va disminuyendo con el tiempo de permanencia dentro del biodigestor.

### **Verificación de la hipótesis**

Una vez realizado el procesamiento, análisis e interpretación de los resultados obtenidos, se acepta la hipótesis planteada para este estudio que dice que el biodigestor tubular continuo alimentado con heces fecales de perros, produce un biol de buena calidad microbiológica según la normativa Ecuatoriana para fertilizantes orgánicos.

## Capítulo V: Discusión

Una vez realizada la construcción del biodigestor y concluidos los análisis de pH; contenido de humedad y ST; contenido de nutrientes Nitrógeno; Fósforo y Potasio, y microbiológicos del biol obtenido; se puede decir que se obtuvieron resultados favorables para la utilización del producto como biofertilizante para cultivos o forraje.

En cuanto al pH se puede verificar la variación del mismo desde el inicio del proceso con un pH de 6,5 a 6,8 de las heces caninas introducidas al biodigestor hasta un pH de 7,5 a 8 al finalizar la digestión anaerobia, según datos bibliográficos esta variación es correcta y favorece a la actividad del consorcio bacteriano acidogénico y metanogénico; según menciona (Osorio Saraz, 2007) un rango óptimo de pH para el proceso de digestión está entre 7 y 8, pero también puede funcionar correctamente entre 6,5 y 7,5, lo importante es que se mantenga dentro de esos rangos ya que si el pH cae por debajo de 6,5 el proceso puede dañarse y dejar de producir metano y biol de buena calidad.

El porcentaje de sólidos totales ST iniciales se calculó en 30% lo cual se encuentra dentro de los valores típicos de ST en varios tipos de estiércoles, asemejándose más al estiércol porcino que contiene entre 20 y 35% de ST (Martí Herrero, Biodigestores Tubulares Guía de Diseño y Manual de Instalación, 2019). Existe escasa información sobre los valores fisicoquímicos del estiércol canino, por lo que se han comparado valores con otros tipos de estiércol semejantes. Al realizar la dilución de 1:3 con agua se obtuvo una mezcla con 7,5% de ST para ser ingresada al biodigestor como carga de entrada, lo que se encuentra dentro del porcentaje óptimo para lograr un buen trabajo y movilidad del consorcio bacteriano (Gajardo Alarcón, 2013). Una vez que se produjo el proceso de digestión anaerobia, se pudo evidenciar una disminución sustancial en el % de ST de la

mezcla dentro del reactor; los valores obtenidos fueron de 1,6% de ST lo cual, según (Rivas Solano, Faith Vargas, & Guillén Watson, 2010) se debe a la degradación de la materia orgánica presente y su conversión hacia biogás. En una pequeña parte también se debe a factores físicos tales como posibles sedimentaciones dentro del biodigestor tubular, ya que los valores de sólidos totales también pueden incluir algo de material inerte presente en las muestras, como tierra, por ejemplo.

En cuanto a los porcentajes de Nitrógeno (0,75%), Fósforo (0,25%) y Potasio (0,11%) en el biol resultante se puede observar que son bajos con respecto a otro tipo de bioles obtenidos de diferentes estiércoles, tal como lo mencionan (Bernal Vélez & Quintero Garzón, 2016), la composición promedio de un biol es de 2,6% de Nitrógeno, 1,5% de Fósforo, 1% de Potasio; esta diferencia puede deberse al tipo de alimentación que reciben los canes en el refugio, dado que se basa netamente en preparado de avena, vísceras y también croquetas, absorbiéndose la mayor parte, dejando las heces para la biodigestión con menor contenido de nutrientes. Según (Aparcana Robles & Jansen, 2008), los valores pueden variar dependiendo de la clase de animal, su dieta, el método de almacenamiento y aplicación del tratamiento.

Debido a que la calidad del biol se debe a una serie de factores, también puede deberse a los días de retención a los que fue sometido, en este caso 55 días, ya que como menciona en su Manual de Biogás la FAO 2011, a mayor tiempo se asegura una mejor descomposición. Puesto que el clima en el sitio de construcción del biodigestor es muy variable y la temperatura puede descender en ocasiones hasta los 10°C, se requeriría un mayor tiempo de retención para el metabolismo del consorcio bacteriano, según (Martí Herrero, Biodigestores Tubulares Guía de Diseño y Manual de Instalación, 2019) a ese rango de temperatura se necesitarían de aproximadamente 65 a 90 días (Tabla 5).

Los análisis microbiológicos obtenidos aseguran un biol libre de patógenos peligrosos para la salud humana en este caso *Escherichia coli* ( $< 3 \text{ NMP g}^{-1}$ ) y *Salmonella* spp. (Ausencia); debido a que estos dos microorganismos son indicadores de contaminación en productos orgánicos y cumplen con los parámetros de Agrocalidad del Ecuador (Ganadería, 2020), que, en sus criterios de evaluación de fertilizantes de origen orgánico, en el apartado de evaluación microbiológica establece que en el fertilizante debe haber ausencia de *Salmonella* spp. y para *E. coli* se acepta un límite de 1000 UFC ( $\text{g}^{-1}$  o  $\text{ml}^{-1}$ ).

(Morales Flores, 2014) menciona que una de las ventajas del proceso de biodigestión anaerobia es que se produce la eliminación de microorganismos patógenos y parásitos, así como la inactivación de algunos virus patógenos (enterovirus y parcovirus), ya que la mayor parte de ellos prefieren temperaturas por debajo de los  $40^{\circ}\text{C}$ , pues normalmente viven a la temperatura corporal de humanos y animales, por lo tanto, la mayor parte muere si son expuestos a temperaturas mayores a las de su ambiente habitual.

## Capítulo VI: Conclusiones

En base a la normativa NTE INEN 211:98 (INEN, 1998) (Anexo 3) que establece los límites máximos y mínimos de contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio para fertilizantes, se puede concluir que el contenido de estos macronutrientes en el biol obtenido es bajo, esto se debe a la calidad de la materia prima, es decir a las heces recolectadas diariamente y está directamente relacionada al tipo de alimentación que reciben los canes en el refugio.

Los rangos de pH que se mantienen el todo el proceso de biodigestión son óptimos para el desarrollo y trabajo del consorcio bacteriano, lo cual favorece a cada una de las fases desde la hidrólisis hasta la metanogénesis.

Se dio una disminución significativa del porcentaje de Sólidos Totales medidos desde la entrada de la carga al biodigestor hasta el valor obtenido de ST en el biol, esto se debe a la degradación de la materia orgánica presente por las bacterias y en otra parte a fenómenos físicos de sedimentación dentro del reactor.

Las heces caninas utilizadas en el presente estudio pueden ser utilizadas para la producción de biofertilizante; basando los resultados en los análisis realizados, el producto es inocuo según la normativa microbiológica de Agrocalidad (Ganadería, 2020) (Anexo 4).

## Capítulo VII: Recomendaciones

Realizar otros análisis de las heces caninas tales como su composición fisicoquímica y bioquímica para establecer mejor sus características y potencial para producción de biol y biogás.

Con el objetivo de aumentar el porcentaje de macronutrientes (N, P y K) en el biol que se obtiene, se puede adicionar otro tipo de materia prima a la entrada del biodigestor tal como otro tipo de estiércol, ya sea vacuno o porcino, para así aumentar la cantidad de nutrientes presentes en el proceso.

Es necesario colocar algún tipo de agitación dentro del biodigestor para evitar la formación de sedimentos en el fondo y para lograr una homogenización de la mezcla interna.

Debido a que la Norma INEN no es muy amplia en cuanto a los requerimientos microbiológicos, se tomó la Normativa de Agrocalidad Ecuatoriana (Anexo 4) que señala que además de la determinación del *E. coli* y *Salmonella* spp., se deben realizar análisis también para otros microorganismos como *Listeria monocitogenes*, *Shigella* spp., *Staphylococcus aureus* y fitopatógenos.

Es importante capacitar al personal que maneja el biodigestor, sobre todo si es personal nuevo ya que deben saber bien como realizar la mezcla correcta de heces/agua para introducir en el reactor y así evitar problemas futuros en el funcionamiento del mismo.

## Capítulo VIII: Referencias

- Abarza Villalobos, F. I. (2014). *Efecto de las heces caninas sobre la producción de biogás*. Universidad de Chile, Santiago de Chile. Obtenido de [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/172781/Efecto\\_de\\_las\\_heces\\_caninas\\_.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/172781/Efecto_de_las_heces_caninas_.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Aparcana Robles, S., & Jansen, A. (2008). *Estudio sobre el Valor Fertilizante de los productos del proceso "Fermentación Anaeróbica" para producción de Biogás*. ProfEC Professional Energy and Environmental Consultancy, Alemania. Obtenido de [http://www.german-profec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas\\_ntz.pdf](http://www.german-profec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas_ntz.pdf)
- Bernal Vélez, D., & Quintero Garzón, D. (2016). *Desarrollo de una propuesta para la mejora de un modelo de biodigestor anaerobio convencional a escala banco a partir de una mezcla de residuos bovinos y lodos en la finca El Recodo de Tabio, Cundinamarca*. Fundación Universidad de América, Bogotá. Obtenido de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/819/1/6112726-2016-2-IQ.pdf>
- Caribe, R. d. (2020). *Redbiolac.org*. Obtenido de <http://redbiolac.org/los-biodigestores/>
- Corrales, L., Antolinez, D., Bohórquez, J., & Corredor, A. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *Revista Científica SciELO*, 55-81. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v13n24/v13n24a06.pdf>

De la Torre, N. (Octubre de 2008). *Digestión Anaerobia en Comunidades Rurales*.

Obtenido de Repositorio Universidad Carlos III de Madrid: [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11627/PFC\\_Nadia\\_deLaTorre\\_Caritas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11627/PFC_Nadia_deLaTorre_Caritas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ecuador, M. d. (2006). *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente*.

Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>

Gajardo Alarcón, N. L. (2013). *Estudio de la producción de biogás en función de la temperatura, en un biodigestor tipo chino*. Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/114944/Memoria%20de%20T%203%20aditulo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ganadería, M. d. (2020). *Manual Técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola*. Ecuador. Obtenido de

<https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/ac6.pdf>

INEN, I. E. (1998). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 211:98*. Obtenido de

[https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/Documento\\_Base%20Legal%20NTE%20INEN%20211%20Fertilizantes%20o%20Abonos%20Tolerancias\\_1.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/Documento_Base%20Legal%20NTE%20INEN%20211%20Fertilizantes%20o%20Abonos%20Tolerancias_1.pdf)

Lorenzo Acosta, Y., & Obaya Abreu, M. C. (2005). La Digestión Anaerobia. Aspectos teóricos. Parte 1. *Redalyc. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 35-48. Obtenido de

<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>

Martí Herrero, J. (2019). *Biodigestores Tubulares Guía de Diseño y Manual de Instalación*.

Ecuador: Redbiolac. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Jaime-Marti-Herrero/publication/337064154\\_Biodigestores\\_Tubulares\\_guia\\_de\\_diseno\\_y\\_manual\\_de\\_instalacion\\_2019\\_J\\_Marti\\_Herrero/links/5dc34f10a6fdcc2d2ff7d067/Biodigestores-Tubulares-guia-de-diseno-y-manual-de-instalacio](https://www.researchgate.net/profile/Jaime-Marti-Herrero/publication/337064154_Biodigestores_Tubulares_guia_de_diseno_y_manual_de_instalacion_2019_J_Marti_Herrero/links/5dc34f10a6fdcc2d2ff7d067/Biodigestores-Tubulares-guia-de-diseno-y-manual-de-instalacio)

Martí Herrero, J. (2019). *Experiencias Latino Americanas en la implementación de estrategias para democratizar los biodigestores entre pequeños y medianos productores agropecuarios*. Obtenido de ctc-n.org: [https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/del\\_1.2\\_biodigestores\\_latinoamerica.pdf](https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/del_1.2_biodigestores_latinoamerica.pdf)

MINENERGIA/PNUD/FAO/GEF. (2011). *Manual de Biogás*. Santiago de Chile.

Morales Flores, D. (2014). *Identificación de microorganismos patógenos e indicadores de contaminación en un biodigestor alimentado con heces de rumiantes*. Sonora: Universidad de Sonora. Obtenido de <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/20.500.12984/4365/1/moralesfloresdemetriol.pdf>

Núñez Bosch, O. M. (2016). Diseño y construcción de un digestor para la generación de biogás y fertilizante orgánico. *Revista científica SciELO*, 35-42. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v43n2/caz04216.pdf>

Ordaz, J. L., Ramírez, D., Mora, J., Acosta, A., & Serna, B. (2010). Honduras: Efectos del cambio climático sobre la agricultura. *Eclac*, 5, 6, 7.

Osorio Saraz, J. A. (2007). Evaluación de un sistema de biodigestión en serie para clima frío. *Redalyc, Revista científica*, 4145-4162. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1799/179914078017.pdf>

- Parra Huertas, R. A. (2015). Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria . *Revista Científica SciELO*, 142-159. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v10n2/v10n2a14.pdf>
- Perez Medel, J. A. (2010). *Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros*. Obtenido de [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103926/cf-perez\\_jm.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103926/cf-perez_jm.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Pilco, M. F. (2020). *Diseño y construcción de un prototipo de digestor, para la producción de biogás y biofertilizante a partir de estiércol bovino u cobayo, en el cantón Guano, provincia del Chimborazo*. Obtenido de Repositorio ESPE: [www.repositorio.espe.edu.ec](http://www.repositorio.espe.edu.ec)
- Pintag, G. P. (2015). *sni.gob.ec*. Obtenido de [https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/1768069580001\\_PINTAG%2028-10\\_revisado\\_30-10-2015\\_02-14-59.pdf](https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1768069580001_PINTAG%2028-10_revisado_30-10-2015_02-14-59.pdf)
- Rivas Solano, O., Faith Vargas, M., & Guillén Watson, R. (2010). Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. *Revista Tecnología en Marcha*, 39-46. Obtenido de [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/132/131](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/132/131)
- Rodríguez Pachón, D. A., & García Cepeda, A. F. (2017). *Diseño y construcción de un biodigestor para la producción de biogás a partir de heces caninas*. Obtenido de Universidad Distrital Francisco José de Caldas: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6949/DavidAlexanderRodriguezPach%c3%b3n2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Saavedra García, R., Alamo, M., & Marcelo, M. (2017). *Diseño de un biodigestor tubular para zonas rurales de la Región Piura*. Obtenido de XXIV Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente : [https://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Garcia-Rafael\\_biodigestor.pdf](https://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Garcia-Rafael_biodigestor.pdf)

Toscano Sanguil, T. C. (2016). *Diseño de un biodigestor anaeróbico para la obtención de biogás, a partir de las excretas de ganado vacuno en el Rancho Guadalupe, en el cantón Mocha provincia de Tungurahua en el año 2015*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4898/1/236T0186.pdf>

Unidas, A. G. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo "Nuestro futuro común"*.

Vignote Peña, S. (2016). *La biomasa, importancia, características y formas de preparación*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Santiago-Pena-5/publication/311171316\\_La\\_biomasa\\_Importancia\\_tipos\\_y\\_caracteristicas\\_y\\_formas\\_de\\_preparacion/links/583ecc5d08ae8e63e617d4dc/La-biomasa-Importancia-tipos-y-caracteristicas-y-formas-de-preparacion.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Santiago-Pena-5/publication/311171316_La_biomasa_Importancia_tipos_y_caracteristicas_y_formas_de_preparacion/links/583ecc5d08ae8e63e617d4dc/La-biomasa-Importancia-tipos-y-caracteristicas-y-formas-de-preparacion.pdf)

Viguera, B., Martínez Rodríguez, R., Donatti, C., Harvey, C., & Alpízar, F. (2017). *Impactos del cambio climático en la agricultura de Centroamérica, estrategias de mitigación y adaptación*. Turrialba, Costa Rica.

