

**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**TEMA**

**CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL FUNCIONAMIENTO  
DE UN BIODIGESTOR TUBULAR ALIMENTADO CON  
ESTIÉRCOL PORCINO.**

**AUTOR**

**COLLAHUASO GONZÁLEZ EDWIN MARIANO**

**DIRECTOR**

**Dr. PÉREZ MARTÍNEZ AMAURY**

**CODIRECTOR**

**MSc. KAREL DIÉGUEZ SANTANA**  
**Dr. JAIME MARTI HERRERA**

**Puyo – Ecuador**  
**2018**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Y

## CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Edwin Mariano Collahuaso González, con cedula de identidad 060498772-7, declaro que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La universidad Estatal Amazónica. Puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Edwin Mariano Collahuaso González

0604987727

[marianocollahuaso4@gmail.com](mailto:marianocollahuaso4@gmail.com)

Dr. Pérez Martínez Amaury

1757150766

[amperez@uea.edu.ec](mailto:amperez@uea.edu.ec)



## AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de grado fue realizado bajo la dirección y asesoría del Dr. PÉREZ MARTÍNEZ AMAURY, MSc. KAREL DIÉGUEZ SANTANA y Dr. JAIME MARTI HERRERA. A quien me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento por hacer posible la realización de este magno proyecto de investigación. Así mismo agradecer de su paciencia, tiempo, y dedicación, gracias por su apoyo por ser la base de este proyecto de grado.

A la Universidad estatal Amazónica que me brindo el conocimiento y las herramientas necesarias para cumplir con los objetivos del trabajo de grado.

A cada uno de los profesores del transcurso de la carrera quienes nos brindaron su sabiduría en cada uno de los campos del conocimiento, formándonos como ingenieros íntegros.

A los funcionarios administrativos del área de laboratorio, de seguridad y de servicio de la Universidad Estatal Amazónica, por su apoyo y colaboración en las diferentes actividades que se realizaron para el óptimo desarrollo del proyecto

A familiares y amigos, quienes construyeron, gozaron y sufrieron con mi presencia en esta etapa de formación profesional, a todos aquellos que de una u otra forma hicieron parte de la realización y culminación de este proyecto de investigación.



## DEDICATORIA

A mi sr. de la Justicia, niño Jesús, San Antonio, Virgen del Quinche, San Miguel Arcángel, San Francisco de Asís. Son quienes me cuidan, protegen e intercede por mí ante Dios por darme la oportunidad de poder cumplir mis objetivos y mis metas que me he propuesto has el presente, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por su infinita bondad y amor y por haber puesto en mi camino a personas que han sido mi soporte y compañía en todo el periodo de estudio.

.... Dame tu virtud que ostenta  
Toda la fuerza de Dios,  
Que en hermosa unión los dos  
Capearemos la tormenta.

Rafael Marañón  
1988.

A mi Madre Piedad González

La mejor mujer, la mejor Mamá, por haberme dado la vida, por ser una mujer emprendedora y luchadora, porque gracias a su ejemplo, a sus consejos, a su esfuerzo, sus valores, por su tolerancia he podido cumplir con los objetivos que me he propuesto, por hacer cumplir cada uno de mis sueños, de mis caprichos, enseñarme que todo se consigue con esfuerzo, pero más que nada por amarme incondicionalmente.

A mi Padre Roberto Collahuaso

Por apoyarme en cada uno de mis sueños, por su paciencia y ayuda en el transcurso de mi carrera, pero especialmente porque me enseñó que todo en la vida no es fácil.

A mi Hermano Luis Roberto Collahuaso

Por ser mi fortaleza en todo lo que he necesitado, por ser el motor de mi vida que ha estado presente en todas las etapas de mi vida, por ser más que mi padre hermano es la personita que me motivo a luchar por la vida y es quien me motiva para seguir adelante en cada una de las metas que me propongo, por ser mí fuerza cuando me siento decaer y ante todo por ser mi gran apoyo.

A la persona que estuvo a mi lado cuando más lo necesitaba, por su apoyo incondicional, por su fe en mí, porque con ese primer granito de arena me fue posible culminar mi carrera profesional.

A mi Hermano Vinicio Collahuaso

Por su compañía, tolerancia, por su absoluta comprensión, por sus consejos, valores, por darme fuerza y motivación para seguir adelante en mis proyectos de vida

A mi Hermana Clelia Machoa

Por su apoyo y más que nada por su absoluta confianza para seguir estudiando y lograr mis sueños propuestos.

A mis Tíos y tías

Por su apoyo incondicional y compañía en todo el periodo de estudio.

**“Gracias a todos ustedes por ser mi apoyo para lograr y culminar esta etapa”,  
“Dios los bendiga”**



## RESUMEN

Los desechos de estiércol animal son hoy en día generadores de una de las principales problemáticas ambientales. Grandes volúmenes son asociados con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y elevados riesgos de contaminación de aguas superficiales y subterráneas, que contiene nutrientes y patógenos. La digestión anaeróbica es considerado como el proceso biológico más frecuente en el tratamiento de residuos con fines energéticos, además, de ser una opción a los combustibles fósiles en las zonas rurales aisladas como fuente de cocción y adicionalmente abastecer fertilizantes (bioles) que pueden ser empleados en los cultivos locales. Este trabajo tuvo como finalidad caracterizar el funcionamiento de un biodigestor tubular instalado en el Centro de Investigación y Posgrado para la conservación Amazónica (CIPCA) de la Universidad Estatal Amazónica. Durante ocho semanas fueron cuantificadas las cantidades alimentadas de agua de lavado y estiércol de los corrales, así como digestatos y gases obtenidos. Se compararon las características físico-químico de las mezclas de entrada y de salida y se discutieron los efectos del uso de desechos animales en el proceso de digestión anaeróbica. Los valores de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y nutrientes secundarios son bajos comparados con otros estudios similares, pero existe una disminución de las cargas orgánicas durante el proceso anaeróbico. Finalmente, se sugieren realizar otros estudios que determinen la composición del biogás que se genera y las cargas microbianas de los digestatos para permitir su uso en cultivos.

### Palabras claves

Materia orgánica, nutrientes, digestión anaeróbica, contaminación, biodigestor, digestato, biogás.



## ABSTRACT

The waste of animal manure is today a factor of one of the main environmental problems. Large volumes are associated with greenhouse gas (GHG) emissions and high risks of contamination of surface and groundwater, given the loads of nutrients and pathogens which it represents. Anaerobic digestion is considered as the most frequent biological process in the treatment of waste for energy purposes also from being an option to fuels in isolated rural areas as a source of cooking and additionally supply fertilizer (bioles) that can be used in local crops. The purpose of this work was to characterize the functioning of a tubular biodigester installed in the Amazonian Research and Postgraduate Center of Concervation (CIPCA) of de State University of Amazonia. For eight weeks, the amounts of feed water and manure from the pens were quantified, as well as digestates and obtained gases. The physico-chemical characteristics of the input and output mixtures were compared and the effects of the use of animal waste in the anaerobic digestion process were discussed. The values of nitrogen (N), phophorus (P), potassium (K) and secondary nutrients are low, compared with other similar studies, but there is a decrease in organic loads during the anaerobic process. Finally, we suggest to realice other studies to determine the composition of the biogas which is generated and the microbial loads of the digestates to allow their use in crops.

### Keywords

Organic material, nutrients, anaerobic digestion, contamination, biodigester, digestate, biogas.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>5</b>
<b>1.5 OBJETIVOS</b> .....	<b>5</b>
1.5.1. OBJETIVO GENERAL .....	<b>5</b>
1.5.2. OBJETIVO ESPECÍFICO .....	<b>5</b>
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>6</b>
<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1. ANTECEDENTES</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2. PRODUCTOS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA</b> .....	<b>8</b>
2.2.1. BIOGÁS .....	<b>8</b>
2.2.2. BIOABONO.....	<b>9</b>
<b>2.3. PROCESO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA</b> .....	<b>9</b>
<b>2.4. PROCESO MICROBIOLÓGICO Y BIOQUÍMICO DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA</b> .....	<b>11</b>
2.4.1 Fase hidrólisis.....	<b>11</b>
2.4.2. Fase acidogénesis .....	<b>12</b>
2.4.3. Fase acetogénesis .....	<b>13</b>
2.4.4. Fase metanogénesis .....	<b>13</b>
<b>2.5. PARÁMETROS OPERACIONALES Y DE CONTROL</b> .....	<b>14</b>
2.5.1. Temperatura .....	<b>15</b>
2.5.2. Materia prima .....	<b>16</b>
2.5.3. Carga diaria .....	<b>16</b>
2.5.4. Tiempo de retención hidráulica (TRH) .....	<b>16</b>
2.5.5. Potencial de hidrógeno (pH) .....	<b>17</b>
2.5.6. Tóxicos e inhibidores .....	<b>18</b>
2.5.6.1. Clorofenoles .....	<b>18</b>
<b>2.6. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA</b> .....	<b>19</b>
2.6.1 Sólidos totales (ST) .....	<b>19</b>
2.6.2. Sólidos volátiles (SV).....	<b>19</b>
2.6.3. Demanda biológica de oxígeno (DBO).....	<b>20</b>
2.6.4. Demanda química de oxígeno (DQO).....	<b>20</b>
2.6.5. Nitrógeno total de Kjeldhal (TKN) .....	<b>21</b>
2.6.6. Nutrientes .....	<b>21</b>
2.6.7. Detección de coliformes fecales.....	<b>21</b>
<b>2.7. PARÁMETROS OPERACIONES PARA EVALUAR LA EFICIENCIA DEL BIORREACTOR</b> .....	<b>21</b>
2.7.1. Tasa de carga orgánica (TCO) .....	<b>22</b>
2.7.2. Producción específica de biogás (PSB).....	<b>22</b>
2.7.3. Tasa de producción de biogás (TPB) .....	<b>22</b>



<b>CAPITULO III .....</b>	<b>23</b>
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1. LOCALIZACIÓN.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>24</b>
3.3.1. CUANTIFICACIÓN DE LA CANTIDAD DE SUSTRATO PRESENTE EN CADA SECCIÓN PORCINA .....	25
3.3.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA REACTOR, EL INFLUENTE Y EFLUENTE. ....	27
3.3.3. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL BIODIGESTOR TUBULAR EN FUNCIÓN DE LOS PARÁMETRO OPERACIONALES DEL PROCESO DE DA. ....	37
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>38</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1. CUANTIFICACIÓN DE LOS SUSTRATOS EN FUNCIÓN DE LA         PRODUCCIÓN DIARIA DE CADA SECCIÓN PORCICOLA .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2. PARÁMETROS AMBIENTALES Y DE CONTROL.....</b>	<b>42</b>
4.2.1. Temperatura .....	43
4.2.2. Carga diaria .....	44
4.2.3. Tiempo de retención hidráulico.....	45
4.2.4. Determinación del pH .....	46
4.2.5. Determinación de la conductividad.....	47
4.2.6. Tóxicos inhibidores .....	47
<b>4.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL         REACTOR, EL INFLUENTE Y EL AFLUENTE.....</b>	<b>48</b>
<b>4.4. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES .....</b>	<b>53</b>
4.4.1. Tasa de carga orgánica .....	53
4.4.2. Producción específica de biogás .....	55
4.4.3. Tasa de producción de biogás .....	56
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>58</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>58</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES .....</b>	<b>58</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>59</b>
<b>CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>60</b>
<b>CAPITULO VII ANEXOS .....</b>	<b>68</b>



## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación del proyecto de investigación dentro de las instalaciones del CIPCA. ....	69
Anexo 2. Puntos del muestreo para controlar los parámetros de control. ....	70
Anexo 3. Flujograma del funcionamiento del biodigestor tubular instalado en el CIPCA. ....	71
Anexo 4. Datos recopilados durante la elaboración del proyecto en el campo. ....	72
Anexo 5. Análisis físicos in-sito en los diferentes puntos del biorreactor .....	74
Anexo 6. Análisis de laboratorio de los parámetros de la DQO y DBO <sub>5</sub> .....	77



## ÍNDICE DE ECUACIONES

( 1) Determinación de la carga diaria .....	25
( 2) Dterminación del Tiempo de retención hidráulico .....	26
( 3) determinación de ST .....	29
( 4) Determinación de los SV o SO .....	30
( 5) Determinación del nitrógeno Total .....	32
( 6) Determinación del nitrógeno amoniacal .....	33
( 7) Determinación de la demanda química de oxígeno .....	34
( 8) Determinación de la demanda biológica de oxígeno .....	35
( 9) Determinación de coliformes.....	36



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del proceso de digestión anaerobia en cada una de sus fases, hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis, metanogénesis.....	10
Figura 2. Bacterias que interviene en el proceso de fermentación por bacterias hidrolíticas.....	12
Figura 3. Rangos de temperatura de la digestión anaerobia.....	15
Figura 4. Esquema de la digestión anaerobia en los rangos de ph en cada fase.....	18
Figura 5. Multi-parámetro portátil PC60 Premium Multi-Parameter Tester (pH/EC/TDS/Salinity/Temp.).	31
Figura 6. Proceso para la terminación de Coliformes totales y Escherichia Coli en el laboratorio de biología.....	36
Figura 7. Utilización de los gasómetros para la medición diaria del biogás producido. ....	38
Figura 8. Determinación de la cantidad de sustrato producido al en cada una de las secciones. ....	42
Figura 9. Condiciones de temperatura en los meses del monitoreo durante la elaboración del proyecto.....	43
Figura 10. Temperatura de la geomembrana, con la temperaturas de entrada y salida del biodigestor durante los 43 días de monitoreo.....	44
Figura 11. Determinación de la carga diaria mediante la combinación de agua más estiércol. ....	45
Figura 12. Determinación del TRH en base a la carga diaria el volumen del biodigestor. ....	46
Figura 13. Determinación de los sólidos totales y sólidos volátiles que se desintegran por acción de las bacterias. ....	49
Figura 14. Determinación de las unidades formadoras de colonias de cada punto de muestreo: A aguas residuales que son emitidos por el lavado de los corrales, B poza de carga y C efluente del digestato. ....	52
Figura 15. Dimensiones del biodigestor instalado en el CIPCA. ....	54
Figura 16. Producción diaria de materia orgánica (estiércol), recolectada de cada sección porcina. ....	55
Figura 17. Determinación de la línea de tendencia de la producción de biogás medido por el gasómetro. ....	56



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del biogás .....	8
Tabla 2. Características de las bacterias metanogénicas que interactúan en el proceso de digestión anaeróbica. ....	13
Tabla 3. Rangos de temperatura mínimos, óptimos y máximos.....	16
Tabla 4. Tiempo de retención hidráulico con relación a la temperatura de cada región. ....	16
Tabla 5. Concentración inhibidora de tóxicos comunes durante el proceso de DA.....	18
Tabla 6. Métodos para realizar la caracterización fisicoquímica de la composición de la biomasa biogás y biol. ....	27
Tabla 7. Fundamento del método del fósforo.....	33
Tabla 8. Parámetros operacionales para la caracterización de la eficiencia del biodigestor tubular en el CIPCA. ....	37
Tabla 9. Producción diaria de las excretas porcinas en kg. ....	39
Tabla 10. Determinación de pH en el afluente del biodigestor instalado en el CIPCA. ....	47
Tabla 11. Representación de los análisis físicos químicos en los diferentes puntos de muestreo que son las PARL, PC, PAB. ....	48
Tabla 12. Comparación de datos analizados en laboratorio. ....	51
Tabla 13. Valores para la descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce o agropecuario.....	53



## SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

CIPCA = Centro de Investigación y  
Posgrado para la conservación  
Amazónica

P = Fósforo

GEI = Gases de efecto invernadero

K = Potasio

N = Nitrógeno

CH<sub>4</sub> = Metano

CO<sub>2</sub> = Dióxido de carbono

H<sub>2</sub>S = Sulfuro de hidrógeno

THR = Tiempo de retención hidráulico

O<sub>2</sub> = Oxígeno

pH = Potencial de hidrógeno

ATP = Adenosina de trifosfato

H = Hidrógeno

DBO<sub>5</sub> = Demanda biológica de oxígeno  
en 5 días.

DQO = Demanda química de oxígeno

PC = Monoclorofenoles

DCP = Diclorofenoles

TCP = Triclorofenoles

DCP = Pentaclorofenoles

ST = Sólidos Totales

SV = Sólidos Volátiles

K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> = Dicromato de potasio

TKN = Nitrógeno total Kjeldahl

OLR = Tasa de carga orgánica (OLR),

SBP = Producción específica de biogás

BPR = Tasa de producción de biogás

UEA = Universidad Estatal Amazónica

Ha = Hectárea

TA = Temperatura Ambiente

TG = Temperatura de la Geomembrana

Mg = Magnesio

Ca = Calcio

PARA = Poza de acumulación de aguas  
residuales

PC = Poza de carga

PSB = Poza de salida del biol

MPN = con siglas en English (número  
más probable)



# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**



## 1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La búsqueda de fuentes de energías renovables y materias primas es la atención de muchos países en el mundo que buscan modificar su energía y matriz productiva (Collahuaso González, Pérez-Martínez, Loureiro Salabarría, & Diéguez-Santana, 2017).

La producción porcícola en el Ecuador ha provocado que los productores arrojen los residuos líquidos y sólidos directamente a los afluentes o partes bajas de los establos causando serios problemas de contaminación al aire, suelo y agua por la presencia de patógenos o exceso de nutrientes en las excretas (Iván, José, Melitón, & Agustina, 2014). El estiércol contiene nutrientes (N, P, K) que los cultivos pueden asimilar, pero poseen altas concentraciones de coliformes que producen enfermedades infecciosas, capaces de causar hasta la muerte en los humanos. Por ello, para utilizar como fertilizante, es necesario darles un tratamiento que elimine estos agentes infecciosos. Una forma de hacer, es mediante la biodigestión. Al usar un biodigestor se utilizan los nutrientes contenidos en las excretas, que a su vez, se convierten en residuos útiles, además, de reducir la contaminación ambiental (Ramón, Romero, & Simanca, 2013).

Generalmente los residuos generados en las secciones porcinas tienen diversos métodos de tratamiento, (compost, lagunas de oxidación y la digestión anaerobia mediante los biodigestores) (Taiganides & R Girón Sánchez, 1996), una alternativa para el manejo de los excrementos humanos y animales es el tratamiento anaeróbico mediante la digestión anaerobia que permite la recuperación de nutrientes (fertilizante) y energía (metano). De esta manera se pretende mitigar los gases de efecto invernadero (GEI), por ejemplo el grado de olores de amoníaco en las granjas porcinas y coliformes (Frattini et al., 2016).

La digestión anaerobia de diferentes sustratos es uno de los procesos más estudiados. No solo con el objetivo de generar una fuente de energías renovables sino también mediante el uso de los residuos generados en la industria, la agricultura y hogares. Además es un proceso natural conocida como fermentación o degradación anaeróbica en el cual actúan microorganismos en ausencia de oxígeno.

En este proceso las bacterias descomponen la materia orgánica a través de cuatro etapas diferentes (hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis, metanogénesis) (Mata-Alvarez, Macé, & Llabrés, 2000), como resultado de este proceso se obtiene dos productos el biogás y biol (Alfa et al., 2014). El biogás se produce por la degradación de los desechos orgánicos (Boopathy, 1998; Osorio Saraz, Ciro Velásquez, & González Sánchez, 2007) que normalmente son conocidos como biocombustibles y está compuesto por Metano ( $\text{CH}_4$ ),



Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) y pequeñas cantidades de Sulfuro de Hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Sin embargo, se puede utilizar como fuente de cogeneración y cocción (Abatzoglou & Boivin, 2009; C. Rodriguez, Alaswad, Mooney, Prescott, & Olabi, 2015). El biol es un fertilizante rico en nutrientes que contiene Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K). Según estudios anteriores, mencionan que la degradación del estiércol porcino a biofertilizante es un 90 % beneficioso para ser aplicado en los cultivos agropecuarios (Pampillon-Gonzalez et al., 2017).

Los productos obtenidos del proceso de digestión anaerobia han resultado muy eficientes en la descomposición de residuos (porcinos, vacunos, humanos y desechos orgánicos) (Gunaseelan, 1997). Esto ha permitido que productores porcícolas adquieran la tecnología de los biodigestores tubulares por su bajo costo de construcción, económico, fácil manejo y mantenimiento (Botero & Preston, 1987).

La sección porcina del Centro de Investigación y Posgrado para la conservación Amazónica (CIPCA) de la Universidad Estatal Amazónica (UEA) cuenta con un biorreactor que es alimentado principalmente con estiércol porcino, más aguas residuales del lavado de los corrales que a su vez será degradado mediante la fermentación del proceso de digestión anaerobia. Este proceso dependerá de varios parámetros como la temperatura, TRH, pH, carga diaria, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Estos factores permitirán caracterizar el funcionamiento del biodigestor que se ve reflejada en la producción diaria del biofertilizante como fuente de nutrimento para las plantas de naranja y banano y el biogás como fuente de energía.

Los parámetros operacionales del biorreactor son factibles al momento de predecir la producción de biogás por kilogramo de estiércol, es decir, este proceso influyen directamente en la calidad del biogás y del digestato que se produce. Además, influye en el rendimiento del proceso de fermentación.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La producción de residuos sólidos que genera el programa porcino del CIPCA, se ha convertido en un problema ambiental mayor, ya que la falta de medidas para la estabilización y disposición de estos residuos que contiene concentraciones altas de patógenos, combinado con otros compuestos que le hacen altamente contaminante, es decir, causan impactos negativos sobre el medio ambiente. Por esta razón los estiércoles deben ser pretratados o estabilizados antes de ser usados en los campos agrícolas.



## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

El presente proyecto de investigación refleja la necesidad de conocer la incidencia de los parámetros fisicoquímicos en el influente y efluente del reactor anaeróbico que es alimentado con residuos de excremento de cerdo. De esta manera, poder evaluar preliminarmente el funcionamiento de los parámetros operacionales del biodigestor tubular a través del proceso de digestión anaerobia que es una opción para prevenir la degradación de los suelos, atenuación del cambio climático, prevención del recurso hídrico y la biodiversidad.

## **1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

La escasa información sobre los parámetros de control y operación del digestor tubular instalado en el CIPCA y de sus efluentes.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el funcionamiento del biodigestor tubular instalado en el CIPCA a través de los parámetros fisicoquímicos y operacionales del proceso de digestión anaeróbica.

### **1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1 Cuantificar la producción de sustratos presentes en cada sección porcina con que se alimenta al biodigestor.
- 2 Caracterizar el proceso de digestión anaerobia en el influente y efluente del biodigestor mediante los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del digestato.
- 3 Determinar los parámetros operacionales del proceso de digestión anaeróbica.



## **CAPITULO II**

# **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**



## 2.1. ANTECEDENTES

En la historia el proceso de digestión anaerobia tiene su origen desde su naturaleza. En 1630, Van Helmont registró la emanación de un gas inflamable de materia orgánica en descomposición (Brakel, 1980). En 1667 Shirley descubrió este gas más precisamente. Sin embargo, en el siglo XVIII cuando Volta estudio el gas combustible que se formaba en pantanos y aguas residuales (Schoell, 1980).

Dalton en 1804 estableció la composición química del metano, y en 1806 Henry confirmó que el gas de la ciudad era muy similar a la del gas pantano. En 1808, Davy estableció que el metano se producía a partir de la descomposición del estiércol de ganado (Gunnerson & Stuckey, 1986). Además, no fue que hasta finales del siglo XIX que se descubrió que la metanogénesis estaba relacionada con la actividad microbiana. En 1857 Bechamp estudiante de Pasteur llamado “organismo” responsable del metano y producción de etanol. Este organismo aparentemente era una población mixta ya que Bechamp fue capaz de demostrar que dependiendo del sustrato y diferentes productos de fermentación se formaban (Gosling, 1980).

Popoff, en 1875. Fue el primer investigador sistemáticamente de la formación del metano utilizando diferentes complejos sustratos, y descubrió que de la celulosa los productos finales eran metano, dióxido de carbono y algo de hidrógeno, mientras que con acetato no se produjo metano. En 1876 Herter un colaborador de Hoppe-Seyler, informó que el acetato en los lodos de aguas residuales se convirtió en cantidades iguales de metano y dióxido de carbono (Zehnder, Ingvorsen, & Marti, 1982).

En 1884 Gayon, otro estudiante de Pasteur, fermentó abono a 35 °C, obteniendo 100 litros de metano por metro cúbico de estiércol. El concluyó que la fermentación podría ser una fuente de gas para la calefacción e iluminación, y la “Compagnie des Omnibus” en París solicitó que Gayon diseñara una instalación en la que el estiércol de varios caballos podría ser digeridos al metano. No obstante, en 1896 el gas de las aguas residuales se utilizó para iluminar calles en Exter, Inglaterra, y el gas de desechos humanos en el asilo Matinga Leper en Bombay, y en la India en 1897 se utilizó para proporcionar iluminación (Buswell & Neave, 1930).

En la parte aplicada, Buswell comenzó a estudiar la digestión anaeróbica a fines de la década de 1920 y desarrolló una sólida base de información sobre tales cuestiones como el destino del nitrógeno en la digestión anaeróbica, además de la producción de energía de los residuos agrícolas (Pohland & Bloodgood, 1963). Los estudios de Barker contribuyeron

significativamente al conocimiento de la bacteria del metano (Barker, 1956). Schenellen fue el primer trabajador para asilar dos bacterias de metano en 1947, *Methanosarcina barkeri* y *Methanobacterium formicium*. Gran parte de este trabajo sigue siendo relevante hoy en día (Neish, 1952).

En la actualidad se sigue estudiando la tecnología de los biodigestores mediante el proceso de digestión anaerobia, su diseño, tamaño y las condiciones ambientales donde se realice las investigaciones. Existe un renovado interés en la digestión anaerobia hoy en día como un medio sostenible tecnológico para reducir los GEI que conllevan al calentamiento global (Gavilanes-Terán et al., 2015).

## 2.2. PRODUCTOS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA

### 2.2.1. BIOGÁS

El biogás es el producto de la fermentación anaerobia de compuestos orgánicos donde actúan microorganismos para degradar la materia orgánica (estiércol), con la finalidad de transformar sustratos en forma de azúcares, aminoácidos, alcoholes y ácidos grasos que posteriormente producirán gas metano (Varnero, Carú, Galleguillos, & Achondo, 2012). El biogás producido es una mezcla principalmente de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  cuya composición puede variar según el tipo de sustrato utilizado. La composición química del biogás, el componente más abundante es el  $\text{CH}_4$ ; este es el primer hidrocarburo de la serie de los alcanos y un GEI. La mezcla de  $\text{CH}_4$  con el aire es un combustible y arde a llama azul (Cepero et al., 2012).

La composición del biogás puede variar según la temperatura y el TRH. En la Tabla 1 se observa la composición del biogás.

Tabla 1. Composición química del biogás

Compuestos	Simbología	Volumen %
Metano	$\text{CH}_4$	55 – 70
Dióxido de carbono	$\text{CO}_2$	35 - 40
Nitrógeno	$\text{N}_2$	0.5 - 5
Sulfuro de hidrógeno	$\text{H}_2\text{S}$	0.1
Hidrógeno	$\text{H}_2$	1 - 3
Oxígeno	$\text{O}_2$	0.1

Fuente: (Varnero et al., 2012).



## 2.2.2. BIOABONO

Es un abono orgánico, también llamado biol, resultado de un proceso de fermentación de residuos orgánicos vegetales y animales (estiércol, residuos agropecuarios e industriales o mercados). Contiene nutrientes de alto valor nutritivo (nitrógeno, nitrógeno amoniacal, fósforo, potasio, magnesio, calcio y aminoácidos) que estimulan el crecimiento, desarrollo y producción en las plantas de la agricultura. Su producción es un proceso relativamente simple y de bajo costo, ya que los insumos de preparación son locales y rurales (Bustos Barrera et al., 2017).

Adicionalmente el biofertilizante debe estar sujetos a medidas de control sanitario y la administración de nutrientes que a su vez debe realizarse de acuerdo con un plan de fertilización aprobado, donde la aplicación diaria de 1 m<sup>3</sup> de biol puede fertilizar más de 2 ha de tierra por años y proporcionar 200 kg de nitrógeno por hectárea. También cabe destacar que el bioabono no deja residuos tóxicos en el suelo, al contrario eleva su calidad y puede considerarse como un biofertilizante que puede remplazar el uso de fertilizante químicos (Bustos Barrera et al., 2017; Ponce, Cosío, Vega, & Guevara, 2017).

El biol contiene dos componentes principales: una parte sólida y otra líquida. La primera es conocida como biosol y se obtiene como productos de la descarga del biodigestor donde produce el biol. La parte líquida es conocida como abono foliar. Sin embargo, para su elaboración se utiliza diferentes tipos de residuos orgánicos (porcinos, industriales, restos de mercado, vacunos) (Bustos Barrera et al., 2017).

## 2.3. PROCESO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA

La literatura estudiada sobre la digestión anaerobia, contiene información relacionado a la microbiología, bioquímica, factores ambientales, biodegradabilidad, cinética y aspectos de salud. Dicho lo anterior la digestión anaerobia es útil debido a su proceso que ocurre normalmente en diferentes condiciones ambientales, por ejemplo, en el estómago de una vaca, cerdo, llama, humano, vertederos, pantanos, es aquí donde actúan diferentes microorganismos que se alimentan de residuos orgánicos como por ejemplo residuos agrícolas, forestales, residuos animales, residuos de industrias, los residuos sólidos urbanos, y aguas residuales (Moraes, Zaiat, & Bonomi, 2015). Estas bacterias trabajan en ausencia de oxígeno que al alimentarse con la materia orgánica se transforma en dos productos valiosos renovables como el metano y digestato (Appels et al., 2011).

Los microorganismos (bacterias) requieren de un ambiente apropiado para sobrevivir y poder multiplicarse hasta alcanzar una población suficientemente aceptable, para esto se necesita de ciertas condiciones como:

1. La ausencia de oxígeno ( $O_2$ ), esto es uno de los principales requisitos de la digestión anaerobia, que permitirá la supervivencia de las bacterias en la parte interior del reactor.
2. Las características fundamentales como; tipo de sustrato o residuo donde habitan los microorganismos. El tiempo de retención hidráulico que está en conjunto con la temperatura que en estudios anteriores debe de ser mayor a  $25\text{ }^\circ\text{C}$  para poder obtener productos de calidad. El pH al ser muy ácido o básico puede causar la existencia de las bacterias en el cual afectaría el funcionamiento del biodigestor (Triolo, Sommer, Møller, Weisbjerg, & Jiang, 2011).

En la actualidad existe dos principales diferencias entre la digestión natural y artificial, como por ejemplo, las plantas industriales de biogás, biodigestores a pequeña y gran escala. Donde el proceso de digestión anaerobia es deliberadamente controlada para lograr la máxima producción de metano (Al Seadi & Lukehurst, 2012). El proceso de digestión anaerobia consta de cuatro fases consecutivas, estas son: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis

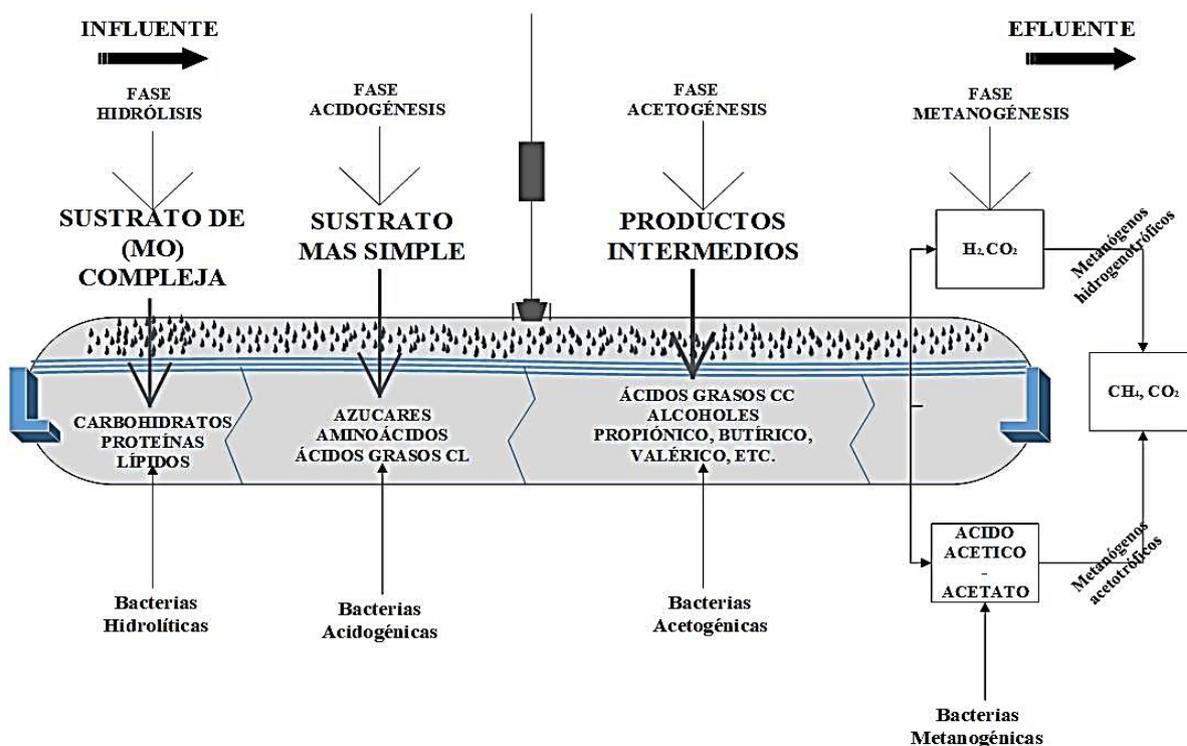


Figura 1. Esquema del proceso de digestión anaerobia en cada una de sus fases, hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis, metanogénesis.

Fuente: (Gashaw, 2016), y modificado por Collahuaso E. (2018).



En la Figura 1, podemos observar que las bacterias intervienen en el proceso de digestión anaerobia en dependencia de las distintas fases que comienza con las bacterias que hidrolizan polímeros orgánicos complejos, como los carbohidratos, proteínas y lípidos.

En el proceso de acidogénesis el sustrato complejo es convertido en monómeros más simple como aminoácidos, azúcares, ácidos grasos de cadena larga. Estos monómeros serán metabolizados por las bacterias acidogénicas dando lugar, principalmente, a ácidos grasos de cadena corta, alcohol, y otros productos intermedios. Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético y  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ , mediante la acción de los microorganismos acetogénicos (Jha, Li, Nies, & Zhang, 2011). En la etapa final del proceso de fermentación es la metanogénesis donde actúan dos grupos metanógenos; Metanógenos acetotróficos dividen al acetato en metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxidos de carbono ( $\text{CO}_2$ ) aproximadamente un 70%, mientras que los metanógenos hidrogenotróficos usan  $\text{H}_2$  y  $\text{CO}_2$  para producir metano en un 30 % (Mani, Sundaram, & Das, 2016).

## **2.4. PROCESO MICROBIOLÓGICO Y BIOQUÍMICO DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA**

### **2.4.1 Fase hidrólisis**

Al iniciar el proceso de digestión anaerobia, los microorganismos *fermentativos* utilizan las excretas orgánicas como fuente de materia y energía para su células, esto consiste en una transformación controlada por enzimas extracelulares en la que las moléculas orgánicas complejas y no disueltas son hidrolizadas hasta romperse en compuestos simples solubles, estas serán metabolizados por las bacterias anaeróbicas en el interior de las células (Li, Park, & Zhu, 2011). En dependencia todo sustrato orgánico está compuesto básicamente de tres tipos de macromoléculas; hidratos de carbono, proteínas y lípidos (Liu, Zhang, Chen, Buisman, & ter Heijne, 2016), por lo tanto, el grado de hidrólisis y la velocidad del proceso van a depender de varios factores como; pH, la temperatura, la concentración de la biomasa, el tipo de materia orgánica particulado y el tamaño de la partícula (Onojo et al., 2013). En la Figura 2 se observa el comportamiento de esta fase.

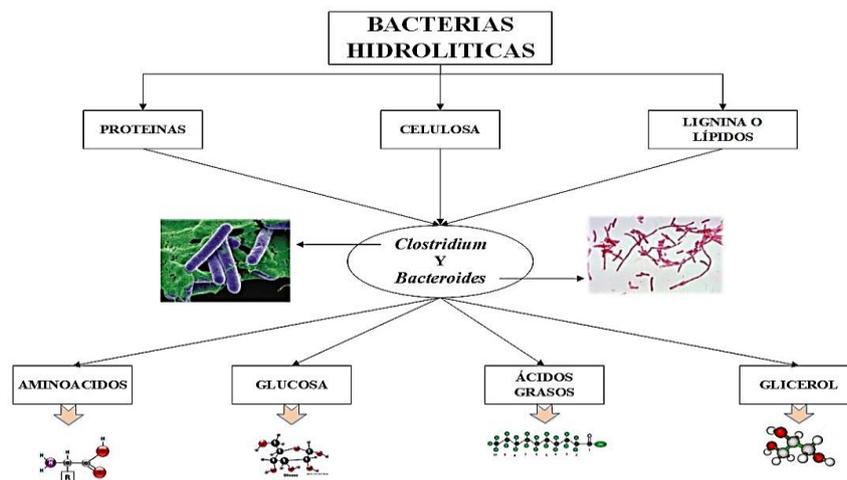


Figura 2. Bacterias que interviene en el proceso de fermentación por bacterias hidrolíticas.  
Elaborado por: Collahuaso Edwin. 2018.

## 2.4.2. Fase acidogénesis

En la segunda fase es donde las bacterias acidogénicas romperán los azúcares, ácidos grasos y aminoácidos en presencia de varios organismos fermentativos, pero las bacterias metanogénicas transforman directamente estas moléculas orgánicas en (acéticos, fórmico,  $H_2$ ) (J. Zhang, Zhang, Quan, & Chen, 2015).

Es decir, en esta fase interactúan diversos grupos de microorganismos, que tienen diferentes rutas metabólicas, entre ellos, *Clostridium*, *Lactobacillus* y *Bacillus*, que van en función del organismo responsable, estos a la vez son importantes no solo porque producen nutrientes para los productos del metano, sino que además remueven cualquier espacio de oxígeno disuelto que queda en la materia orgánica y de esta manera obtienen los productos finales de esta etapa (Zahedi, Solera, Micolucci, Cavinato, & Bolzonella, 2016).

Las principales bacterias son las que producen butírico o butanol, básicamente del género *Clostridium*, que convierten la glucosa y aminoácidos en ácido butírico, acético,  $CO_2$  e  $H_2$ . La glucosa se transforma en piruvato y el mismo se desdobra a Acetil-CoA y  $CO_2$ . El Acetil-CoA se reduce en los productos fermentados (Pilarska et al., 2016).

Los productos fermentados varían en función del consumo de  $H_2$  (Wang et al., 2014) porque las bacterias utilizan el hidrógeno. Cuando el  $H_2$  es eliminado de forma eficiente los microorganismos no producen compuestos reducidos como el etanol, sino favorece a la producción de hidrógeno y la liberación de energía en forma de ATP (Gruhn, Frigon, & Guiot, 2016).

### 2.4.3. Fase acetogénesis

La penúltima etapa es la fase acetogénica, que generalmente incluye los productos acidogénicos de la fase anterior que sirve como sustrato para las bacterias acetogénicas (Zahedi et al., 2016).

Estas solo se desarrollan como productoras de H<sub>2</sub> junto con otras bacterias consumidoras, la *Syntrophobacter wolini*, especializada en la oxidación de propionato y *Syntrophomonas wolfei*, que oxida ácidos grasos de 4 a 8 átomos de carbono, convierten el propiónico, butírico y algunos alcoholes en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono el cual se utiliza en la metanogénesis (Batstone & Virdis, 2014).

Los procesos acetogénicos son energéticamente difíciles de fermentar, por lo que necesitan ser ayudados por los organismos metanogénicos u otros organismos consumidores de hidrógeno.

Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados homoacetogénicos, que consumen H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> y producen acetato. Los principales exponentes son *Acetobacterium woodii* o *Clostridium aceticum*. Este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotróficamente en azúcares (Fernández-Naveira, Abubackar, Veiga, & Kennes, 2016).

### 2.4.4. Fase metanogénesis

El paso final de la digestión anaerobia es la metanogénesis (Corrales, Romero, Macías, & Vargas, 2015), donde una variedad de bacterias metanogénicas consumen acetato, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> para producir metano y anhídrido carbónico. En la Tabla 2 se consigue observar las bacterias que interactúan en este proceso.

Tabla 2. Características de las bacterias metanogénicas que interactúan en el proceso de digestión anaeróbica.

TAXONOMÍA	ESPECIE	DESCRIPCIÓN	METABOLISMO
Género: <i>Acetobacterium</i>	<i>A. woodii</i> <i>A. paludosum</i>	El género <i>Acetobacter</i> comprenden un grupo de bacilos Gram negativos, móviles que realizan una oxidación incompleta de alcoholes, produciendo una acumulación de ácidos orgánicos como	Reducen autotróficamente compuestos poliméricos, oligómeros, monómeros y CO <sub>2</sub> , utilizando el hidrógeno como fuente de electrones. Estos microorganismos hacen posible la descomposición de los ácidos grasos y

		productos finales	compuestos aromáticos.
Género:	<i>E. rectale</i>	El género	La mayoría de las bacterias
<i>Eubacterium</i>	<i>E. siraeum</i>	<i>Eubacterium</i> consiste	sacarolíticas producen
	<i>E. plautii</i>	en un grupo de	butirato como el principal
	<i>E.</i>	bacterias anaeróbicas	producto de su
	<i>cylindroides</i>	obligadas Gram-	metabolismo.
	<i>E. brachy</i>	positivo	Muchas de las especies son
	<i>E. desmolans</i>		capaces de descomponer
	<i>E. callandrei</i>		sustratos complejos a través
	<i>E. limosum</i>		de mecanismos especiales.
			Algunas especies se
			desarrollan
			autotróficamente, es decir,
			son capaces de cumplir
			funciones específicas en la
			descomposición anaeróbica.

Fuente: (Rodríguez, Muñoz, & Pérez, 2015).

En este proceso los microorganismos adquiere una elevada importancia en la concentración del hidrógeno debido a que permite controlar la cantidad de los productos (Vanwonterghem, Jensen, Ho, Batstone, & Tyson, 2014). Por lo tanto, al aumentar el hidrógeno por sobre carga o al menor el tiempo de retención, produce metano a partir de ácido propiónico o barítico y no a partir del ácido acético como es lo normal (Amani, Nosrati, & Sreekrishnan, 2010).

Según estudios realizados mencionan que no en todas las etapas de la digestión ocurre disminución de la DBO<sub>5</sub>, es así, que en la hidrólisis ocurre sin variación detectable de la DBO<sub>5</sub>. En general, durante la acidificación la disminución de la DBO<sub>5</sub> es mínima. Por lo que, en la metanogénesis es donde ocurre la mayor disminución de la DBO<sub>5</sub> (De Clercq et al., 2017).

Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio *Archea*, y *Eubacterium*, donde morfológicamente pueden ser bacilos cortos, largos y cocos de varias ordenaciones celulares, sea esta en forma de placas y metanogénos filamentosos de gram positivo como gram negativo. La mayoría de los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el H<sub>2</sub> como aceptor de electrones (Ghimire et al., 2015).

## 2.5. PARÁMETROS OPERACIONALES Y DE CONTROL

Para mantener un sistema anaerobio que establezca eficientemente un residuo y obtener la máxima producción de energía a partir de la conversión biológica, las bacterias

metanogénicas deben estar en un estado de equilibrio dinámico, es decir, el contenido del reactor debe estar libre de oxígeno disuelto, sin concentraciones inhibidores de amoniaco libre, no debe contener componentes como metales pesados y sulfitos (J Martí-Herrero, Flores, Alvarez, & Perez, 2016).

### 2.5.1. Temperatura

La temperatura es uno de los parámetro más importantes de la digestión anaerobia, por que determina la velocidad de conversión durante el proceso anaeróbico, principalmente en las etapas de hidrólisis y metanogénesis (Weiland, 2010).

Existen tres rangos de temperaturas diferentes, los psicrófilos que están por debajo de los 25 °C, los mesófilos permanecen en un rango de 30 a 40 °C y los termófilos que están entre los 50 y 60 °C Figura 3 (Deepanraj, Sivasubramanian, & Jayaraj, 2015), en la figura 3 se observan los rangos de temperatura.

Sin embargo, el rango termófilico sea el más idóneo para obtener una rápida velocidad del proceso y mayor eliminación de patógenos, suele ser más inestable a cualquier cambio de las condiciones de operaciones, además, presenta mayores problemas de inhibición por la mayor toxicidad a elevadas temperaturas (Arikan, Mulbry, & Lansing, 2015). Existen poblaciones metanogénicas que tiene su mayor rendimiento a 70 °C de temperatura, es decir, que aumenta su temperatura en el interior del biodigestor. Sin embargo, existen otras bacterias que tienen un óptimo rango donde trabajan a temperaturas de 30 a 35 °C como se observa en la Tabla 3, es decir, estas temperaturas pueden alcanzar en zonas tropicales de manera natural (Azman, Khadem, Van Lier, Zeeman, & Plugge, 2015).

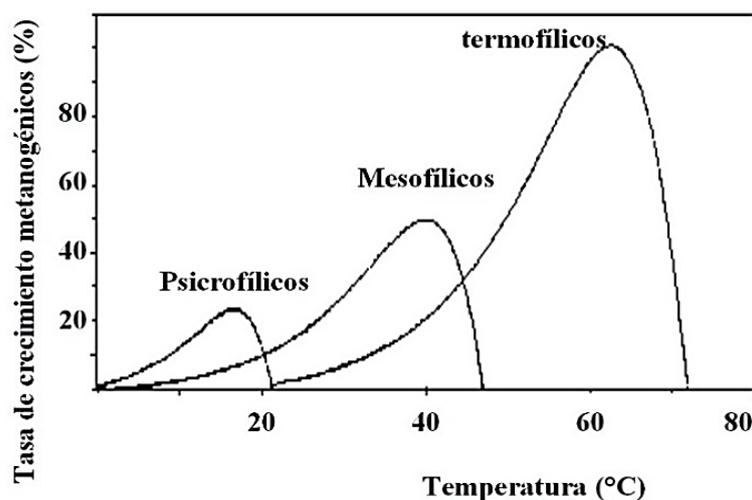


Figura 3. Rangos de temperatura de la digestión anaerobia.  
Fuente: (Latif, Mehta, & Batstone, 2017; Riggio et al., 2017).

Tabla 3. Rangos de temperatura mínimos, óptimos y máximos.

<b>Fermentación</b>	<b>mínimo</b>	<b>óptimo</b>	<b>máximo</b>
Psicrophilica	4 – 10 °C	15 – 18 °C	20 – 25 °C
Mesophilica	15 – 20 °C	25 – 35 °C	35 – 45 °C
Termophilica	25 – 45 °C	50 – 60 °C	75 – 80 °C

Fuente: (Lindner, Zielonka, Oechsner, &amp; Lemmer, 2015).

### 2.5.2. Materia prima

El estiércol es la principal fuente de abono orgánico, no solo por su alta capacidad de producir metano, sino también por su mayor concentración de nutriente que ofrece a las plantas, esto a su vez, puede mejorar los parámetros físicoquímicas de los suelos, por esta razón cerca del 1,3 % de sus excretas contienen (nitrógeno, fósforo y potasio), que son fertilizantes primarios, otros 1,2 % están constituido por fertilizantes secundarios como (Calcio, Magnesio) (Guardia-Puebla, Jiménez-Hernández, Pacheco-Gamboa, Rodríguez-Pérez, & Sánchez-Girón, 2016). Además, es una mezcla de materia fecal y alimento rechazado, procedente del tracto digestivo de los animales, esto indica que las excretas es el principal nutriente y apropiado para las plantas que a su vez puede mejorar las características físicas y químicas del suelo (Medina & Poleth, 2014).

### 2.5.3. Carga diaria

La dilución es una mezcla de materia o desechos con agua. Por lo general, las diluciones son compuestas por excrementos de (cerdos, ganado y cualquier desecho generado por el humano debido a sus actividades). Esta dilución, por lo general, está dividida en un 30 % sólida o materia orgánica y un 70 % de agua (Iván et al., 2014).

### 2.5.4. Tiempo de retención hidráulica (TRH)

El tiempo de retención hidráulica es la duración del proceso de digestión anaerobia, es decir, el tiempo que requieren las bacterias para digerir el lodo y producir biogás. Por lo tanto, el TRH dependerá de la temperatura de la región donde se instale el biodigestor.

Tabla 4. Tiempo de retención hidráulico con relación a la temperatura de cada región.

<b>Características de cada región</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>TRH (días)</b>
Trópico	30	20
Valle	20	30
Altiplano	10	60

Fuente: (J Martí-Herrero et al., 2016).

Es así, que a menor temperatura se requiere un mayor tiempo de retención, por lo que, las bacterias tendrán un menor tiempo de actividad para convertir el sustrato en biodigestato y metano. Los tiempos de retención varía con la temperatura a medida de cada región Tabla 4 (Sun, Luo, Jin, & He, 2015).

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

El pH es el parámetro más importante del proceso de digestión anaerobia. Porque representa el grado de acidez presente en el biodigestor, su valor óptimo oscila entre 6,8 y 7,9, cuyo rango es el adecuado para que el reactor opere correctamente (Horiuchi, Shimizu, Tada, Kanno, & Kobayashi, 2002). Con valores de pH por debajo de 6,2 y por encima de 8 es un riesgo de inhibir el proceso de fermentación o incluso detenerlo (De Vrieze et al., 2015).

Los valores de pH pueden ser corregidos dentro de un rango óptimo para el proceso de fermentación (Latif et al., 2017), cuando el pH es alto se retira frecuentemente una pequeña cantidad del efluente y se agrega materia orgánica fresca en la misma cantidad o bien si el pH es bajo se puede agregar fertilizante, ceniza o agua amoniacal diluida, este último se conoce como tampón bicarbonato (T. Zhang, Mao, Zhai, Wang, & Yang, 2015).

Los factores que afectan la acidificación en la parte líquida del biodigestor (Lindner et al., 2015) son: la cantidad de agua utilizada, alimentación con productos tóxicos, fluctuaciones bruscas en las temperaturas, por otra parte afecta a los diferentes equilibrios químicos existentes en el medio (De Vrieze, Pinto, Sloan, & Ijaz, 2018), por ejemplo al aumentar el pH favorece la formación de amoníaco que en elevadas concentraciones es inhibidor del crecimiento microbiano (Yang et al., 2015).

Existen diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaerobia Figura 4, que presentan unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad, el óptimo es entre 5.5 y 6.5 para acidogénicos y entre 7.8 y 8.2 para metanogénicos. El pH óptimo para cultivos mixtos se encuentra en el rango entre 6.8 y 7.4, siendo el pH neutro e ideal para su funcionamiento (Castro et al., 2017).

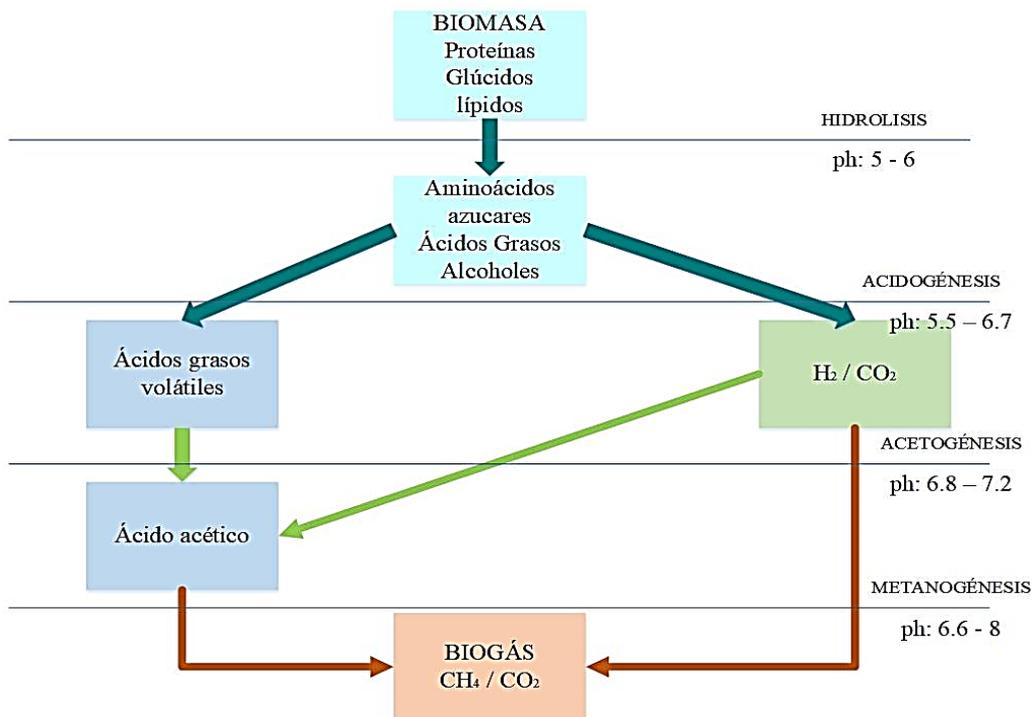


Figura 4. Esquema de la digestión anaerobia en los rangos de pH en cada fase.  
Fuente: (Kinyua, Rowse, & Ergas, 2016).

## 2.5.6. Tóxicos e inhibidores

Los tóxicos son sustancias que a partir de una cierta concentración inhiben las bacterias, esto provoca la reducción de la velocidad de fermentación e interrumpe los procesos de digestión anaerobia durante su funcionamiento (Yuan & Zhu, 2016), estos tóxicos son los que se muestran en la Tabla 5.

### 2.5.6.1. Clorofenoles

Los Clorofenoles son un grupo de químicos producidos al agregar cloro al fenol, e incluye monoclorofenoles (PC), diclorofenoles (DCP), triclorofenoles (TCP), y pentaclorofenoles (PCP). Los Clorofenoles son usados ampliamente como pesticidas, herbicidas, antisépticos y fungicidas, así como conservantes para madera, pegamento, pintura, fibras vegetales y cuero (Chen, Ortiz, Steele, & Stuckey, 2014).

La toxicidad de los cloroformes en general el nivel de inhibición aumenta con la cantidad de sustituciones de cloro, por ejemplo lo TCP son significativamente más inhibidores que los DCP, mientras que PCP se considera el más tóxico que causa la inhibición a los acidogénicos y metanogénicos (Chen et al., 2014).

Tabla 5. Concentración inhibidora de tóxicos comunes durante el proceso de DA.

INHIBIDORES	CONCENTRACIONES INHIBIDORA
-------------	----------------------------

---

SO <sub>4</sub>	5000 ppm
NaCl	400000 ppm
Nitrato (según contenido de N)	0.05 mg/l
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200 – 500 mg/l
CN	25 mg/mg/l
Detergente sintético	20 - 40 mg/l
Na	3500 – 4500 mg/l
K	2500 – 4500 mg/l
Ca	1000 – 1500 mg/l

---

Fuente: (González-Hermoso & Segovia, 2017)

## **2.6. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICOS DEL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA**

### **2.6.1 Sólidos totales (ST)**

Toda materia orgánica que está compuesta de agua y una fracción sólida llamada ST. El porcentaje de ST contenidos en la mezcla, es la carga diaria que se alimenta al digestor. Además, es un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se efectúe satisfactoriamente. La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que aumenta el contenido de sólidos, por lo tanto, puede verse afectada la eficiencia y producción de biogás (Triolo et al., 2011).

### **2.6.2. Sólidos volátiles (SV)**

Los SV o SO se refiere a la parte de los ST, que se volatilizan durante la calcinación a temperaturas de 550 °C. En teoría, los SV contiene todos los compuestos orgánicos que puede convertirse en metano a través del proceso de digestión anaerobia. En otras palabras, el rendimiento de un biodigestor está caracterizado en gran parte por el contenido de materia orgánica que es el % de ST, es decir, la carga con elevado por ciento de materia orgánica degradable, será transformado, mediante el procesos de digestión anaerobia en biogás (Lee & Nikraz, 2014).

En este caso el proceso tendrá una elevada producción de biogás traduciéndose en un buen rendimiento del proceso. Obviamente para que la producción de biogás sea la adecuada y la esperada, es necesario controlar todos los parámetros de operación del proceso y

asegurar que dichos parámetros no sobrepasen sus límites u óptimos de operación (Sun et al., 2015).

### **2.6.3. Demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La DBO se define como la cantidad de oxígeno usado por los microorganismos no fotosintéticos a temperatura de 25 °C, para metabolizar los compuestos orgánicos degradables biológicamente, se ha demostrado que gran parte de los microorganismos metabolizan anaeróbicamente todos los sustratos orgánicos, tales como (lípidos, azúcares, alcoholes o proteínas) (Orzi et al., 2015).

Además, es un parámetro indispensable cuando se necesita determinar el estado o la calidad de agua de ríos, lagos, lagunas o efluentes. Cuando mayor cantidad de materia orgánica contiene la muestra, más oxígeno necesitan los microorganismos para oxidarla (degradarla). Como el proceso de descomposición varía según la temperatura (Van Doren, Posmanik, Bicalho, Tester, & Sills, 2017), estos análisis se realizan de forma estándar durante cinco días a 25 °C, con esto se indica la DBO<sub>5</sub> (Arnell et al., 2016). El método pretende medir, exclusivamente la concentración de contaminantes orgánicos. Sin embargo, la oxidación de la materia orgánica no es la única causa del fenómeno, sino que también intervienen en la oxidación de nitratos y de sales amoniacales, esto debe de ser también oxidadas por las bacterias en disolución (Ghimire et al., 2015).

### **2.6.4. Demanda química de oxígeno (DQO)**

La DQO es un parámetro de calidad que mide de forma indirecta la cantidad de materia orgánica en una muestra, además, se define como la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar completamente por medios químicos los compuestos orgánicos a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O (Lee & Nikraz, 2014; Machado, Marquetti, Molina, Gusils, & Quايا, 2016).

La DQO se obtiene al digerir por 120 min a 150 °C un volumen conocido de muestra a analizar, con dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), o agentes fuertemente oxidantes, en un medio ácido. Esto permite que la materia orgánica presente en la muestra se oxide, consumiendo el dicromato de potasio, cuyo valor de absorbancia es conocido, además de generar el ion crómico, donde posee una absorbancia diferente, por lo tanto, permitirá determinar la medición de las muestras recolectadas (Garzón-Zúñiga & Buelna, 2014).

El cambio de valores de la DQO antes y después del proceso de digestión anaerobia puede indicar la eficiencia del proceso (Huertas, 2016). La DQO al ser un parámetro conservativo, es decir, al mantener el valor de la entrada y salida, permite conocer de



manera indirecta la cantidad de materia orgánica que es fermentado en metano (Hernández & López, 2016).

### **2.6.5. Nitrógeno total de Kjeldhal (TKN)**

El nitrógeno total Kjeldahl indica el contenido de nitrógeno de una materia prima. El monitoreo del contenido de nitrógeno de las materias primas puede ser importante porque en un cambio de mezclas de materias primas pobres en nitrógeno a nitrógeno altos puede causar inestabilidades severas del proceso. La razón de esto es que las materias primas ricas en nitrógeno conducirán a la acumulación de amoníaco en el digestor, lo que puede causar la inhibición del amoníaco (Santamaría, Albizuri, Nussbaum, Zhao, & Lemaire, 2016).

### **2.6.6. Nutrientes**

Las bacterias en el proceso de digestión anaerobia requieren nutrientes como: fósforo, nitrógeno, sulfuro, potasio, calcio, magnesio. (Moset, Poulsen, Wahid, Højberg, & Møller, 2015). Sin embargo, estos elementos son necesarios en concentraciones extremadamente bajas, su ausencia de nutrientes tiene efectos adversos sobre el crecimiento y rendimiento microbiano. Es así que, las bacterias formadoras de metano tienen concentraciones internas relativamente mayores (Huertas, 2016).

### **2.6.7. Detección de coliformes fecales**

Son bacterias patógenas que están presentes en el intestino humano y de los animales de sangre caliente, es decir, son bacilos cortos de gram negativo (Pardo, Moral, & del Prado, 2017). También son conocidos como coliformes termotolerantes. Por lo tanto, tiene la capacidad de fermentarse a temperaturas de 45 °C incluye el género *Escherichia* y algunas especies de *Klebsiella* (Van Doren et al., 2017).

## **2.7. PARÁMETROS OPERACIONES PARA EVALUAR LA EFICIENCIA DEL BIORREACTOR**

Para evaluar el proceso de digestión anaerobia, es necesario considerar los parámetros de control y operación del biodigestor tubular. Los parámetros de control son: temperatura, pH, alcalinidad, Sólidos totales, sólidos volátiles, DQO, DBO<sub>5</sub>. Algunos estudios describen que los parámetros de operación permiten establecer el funcionamiento del proceso de digestión. Estos criterios a tomar en consideración son: tasa de carga orgánica (OLR), producción específica de biogás (SBP) y la tasa de producción de biogás (BPR).



### **2.7.1. Tasa de carga orgánica (TCO)**

La tasa de carga orgánica con sus siglas en Ingles (Organic Loading Rate) (OLR), es la cantidad de materia orgánica susceptible a ser degradada por medio de bacterias biológica después de un proceso específico. Esto quiere decir la cantidad de materia orgánica introducida diariamente por metro cúbico de volumen de biodigestor ( $\text{kg o SV/m}^3_{\text{reactor d}}$ ) o  $\text{DQO}_{\text{alimentación}}/\text{m}^3_{\text{reactor día}}$  (Triolo et al., 2011).

### **2.7.2. Producción específica de biogás (PSB)**

La producción específica de biogás con sus siglas en Inglés (Specific Biogas Production) (SBP) ( $\text{m}^3\text{biogás/kgSV}$ ), es un indicador de la eficiencia de conversión del sustrato en biogás (Garfí, Martí-Herrero, Garwood, & Ferrer, 2016; Hernández & López, 2016). El valor correspondiente a SBP está influenciado por el grado de biodegradabilidad del sustrato alimentado (Medina & Poleth, 2014).

### **2.7.3. Tasa de producción de biogás (TPB)**

La tasa de producción de biogás con sus siglas en Inglés (Biogas Production Rate) (BPR), es el rendimiento volumétrico que tiene el biodigestor expresado en el volumen de biogás que produce por cada unidad de volumen (Garfí et al., 2016; J. Martí-Herrero et al., 2015).



## CAPITULO III

# METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1. LOCALIZACIÓN

El centro de Investigación, Posgrado y Conservación de la Biodiversidad Amazónica (CIPCA) de la Universidad Estatal Amazónica (UEA), está compuesta por un bosque primario y secundario, en su mayor parte creado con el objetivo de desarrollar la investigación y conservación de los recursos naturales de la Amazonia ecuatoriana, a través de la docencia, producción y vinculación con la comunidad.

El proyecto de investigación estuvo enfocado en el biorreactor del programa porcino Anexo 1, El mismo que está localizado a una altura de 523 msnm, en la Provincia de Napo, Cantón Carlos julio Arosemena Tola, Sector: Confluencias de los ríos Piatúa y Anzu.



EL estudio de investigación está entre los límites del CIPCA, el cual posee una extensión de 2848,20 hectáreas (ha), su temperatura varía entre los 23.33 a 24.15 °C, la precipitación media anual están entre los 405.14 a 486.75 mm, presenta un clima tropical lluvioso y corresponde a una formación de selva pluvial amazónica formado por un bosque Pluvial Montano (Andrade-Yucailla, Fuentes, Vargas-Burgos, Lima-Orozco, & Jácome, 2016).

### **3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El presente proyecto de investigación se basó en la caracterización de los parámetros de control y operación del biorreactor instalado en el CIPCA. Por lo que, fue necesario recopilar la información sobre los factores que afectan al proceso de digestión anaerobia, para ello, se investigó en artículos científicos publicados en bases de datos de revistas como: (Scopus, Scielo, Scienedirect y Redalyc).

Por tal razón, el trabajo de investigación se basó en datos cuantificativos, que fueron utilizados en el programa SPSS 23.0, ANOVA básica, donde se consiguió analizar el comportamiento y variación de los parámetros de control.

Es así, que esta investigación es de tipo exploratorio y descriptivo, el cual permitió establecer los métodos adecuados a seguir según los parámetros fisicoquímicos, además, evaluar las operaciones del biorreactor, en función del número de muestras tomadas durante los 43 días de estudio.

Durante la investigación se procedió a describir los parámetros de control y operación del proceso de digestión anaerobia, a través, de la cantidad de residuos más el agua residual, la temperatura, el tiempo de retención hidráulico y el pH. Esto permitió analizar el comportamiento de degradación del proceso de digestión anaerobia a partir de los ST y SV que fueron utilizados en los parámetros operacionales donde se logró estimar la producción de biogás por día.

### **3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

Los métodos utilizados durante la elaboración del proyecto son de campo, analítico y comparativo con estudios ya realizados anteriormente. En el método de campo se realizó en el CIPCA, aquí fue el punto de partida para la recolección y muestreo de los datos. El método de análisis estadístico se desarrolló, a partir de los parámetros fisicoquímicos obtenidos de forma in situ y ex situ para describir el proceso de digestión anaerobia por medio de los parámetros de control y operacionales. Para el método comparativo se utilizó citas bibliográficas que fue similar al tema de estudio, esto con el fin de justificar y comparar con los datos obtenidos durante la elaboración del proyecto.



Para el cumplimiento de la investigación se desarrolló en tres fases correspondientes a los objetivos específicos que son: cuantificación de la producción de sustratos presentes en cada sección porcina que se alimenta al biodigestor, caracterización del proceso de digestión anaerobia en el influente y efluente del biodigestor mediante los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del digestato, además, de determinar los parámetros operacionales del proceso de digestión anaeróbica.

### **3.3.1. CUANTIFICACIÓN DE LA CANTIDAD DE SUSTRATO PRESENTE EN CADA SECCIÓN PORCINA**

Para determinar la producción de biomasa se estableció primero la información recolectada en el campo de trabajo, ya sea esta, por unidad de peso que tenga cada cerdo y el número de animales presentes en cada sección. Seguidamente se realizó el pesaje de las excretas frescas en una balanza de 100 kg, además, de estimar la cantidad de agua a utilizar en la mezcla diaria, es decir, se recolecta en 5 puntos de muestreo Anexo 2, dando seguimiento a los parámetros de control y operación del proceso de digestión anaerobia. Dicho lo anterior se estableció los siguientes puntos:

#### **1 Tipo de animales**

Se seleccionó la materia prima de los establos de cada sección porcina.

#### **2 Tiempo del lavado de los corrales, pasillos**

Se procedió a medir los tiempos de: un balde de 20 ltrs durante el tiempo que tarda en llenar, el tiempo de lavado de cada corral, además, del tiempo total de todos los corrales y el tiempo de los pasillos. Todo lo mencionado anterior sirvió para determinar la cantidad de agua que se consume por cada área porcícola.

#### **3 Volumen necesario para la homogenización**

Se determinó la proporción de 4:1, esto quiere decir que por cada 10 kg de estiércol de cerdo se aplicará 40 L de agua residual del lavado de los corrales.

#### **4 Temperatura**

En este apartado se realizó la medición de tres tipos de temperatura, estos son: la temperatura ambiente (TA), temperatura de la geomembrana (TG) y la temperatura en el influente y efluente de biorreactor.

#### **5 Carga diaria**

Para estimar la carga diaria se procedió a realizar mediante el siguiente cálculo que se observa a continuación:

$$CD = EF + H_2O \quad (1)$$

Donde:



CD = carga diaria (kg).

EF= estiércol fresco (kg).

H<sub>2</sub>O = agua 4:1 (L).

## 6 Tiempo de retención hidráulico

El TRH fue determinado por la siguiente ecuación:

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

Donde:

TRH = tiempo de Retención Hidráulico (d).

V = Volumen del digestor (m<sup>3</sup>).

Q = Caudal volumétrico diario de alimentación (m<sup>3</sup>/d).

## 7 Potencial de hidrógeno (pH)

La medición del pH se determinó en los puntos de muestreo tanto en el influente como en el efluente.

## 8 Tóxicos inhibidores

Se consideró los días de vacunación que se lo aplicaba a los cerdos.

Por ello la investigación de campo se realizó el muestreo de forma in situ, donde los datos se registraron en un documento manual que posteriormente fueron tabulados en Excel. La medición de pH, conductividad, se lo realizó de forma in situ con un multi-parámetro portátil PC60 Premium Multi-Parameter Tester (pH/EC/TDS/Salinity/Temp.) APERA INSTRUMENTS, LLC, calibrado y comprobado en el laboratorio por métodos (APHA, 2012). En el caso del pH se recolectó la cantidad de 400 ml de muestra en la entrada y salida del reactor, donde se procedió a realizar la medición, posteriormente se lavó con agua destilada. Para la conductividad, la calibración se ejecutó para 1413  $\mu$ S y 12.88  $\mu$ S, luego el muestreo se efectuó en los tres estanques Anexo 2, cada muestra contuvo 400 ml, al igual que el paso anterior se procedió a la limpieza con agua destilada.

La ANOVA básica se realizó en SPSS 23.0 para determinar la diferencia de cada parámetro entre el contenido de muestras de cada día de análisis, esto con el fin de relacionar el comportamiento y la variación de los mismos.

### 3.3.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL REACTOR EN EL INFLUENTE Y EFLUENTE.

Para determinar los parámetros fisicoquímicos se recogió y se homogenizaron las excretas de los corrales hasta obtener una materia homogénea, donde se tomó una muestra de 1 kg de estiércol de cerdo y se deposita en un vaso hermético de plástico para su posterior análisis en el laboratorio de aguas y suelos de la Universidad Estatal Amazónica. Los principales parámetros que fueron evaluados en el proceso de digestión anaeróbica se encuentran en la Tabla 6. Por lo tanto, los factores a controlar durante el proceso son:

- 1 Control de temperatura
- 2 Contenido de sólidos totales y de sólidos volátiles (materia prima y digestato obtenido).
- 3 Elementos principales como macronutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y micronutrientes: magnesio (Mg), calcio (Ca) del biodigestato obtenido.
- 4 DQO
- 5 DBO<sub>5</sub>
- 6 Coliformes totales

El nitrógeno total en un Kjeltex Nitrogen Analyzer. Por su parte, los elementos metálicos (incluyendo K, Mg, Ca) de los desechos porcinos y el biodigestato fue analizado por EAA (espectrofotómetro de absorción atómica, Perkin Elmer Analyst 800, basados en técnica de atomización por llama y principalmente según el método 3111b del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA AWWA WEF, 22<sup>o</sup> Edición, 2012.

Mediante la toma de muestras, se estableció tres puntos de muestreo, siendo este la poza de acumulación de aguas residuales (PAAR), poza de carga (PC), y en la poza de salida (PSB) que es del biol Anexo 2. Una vez recolectadas el contenido de muestras se procedió a realizar los análisis en el laboratorio ambiental de la Universidad Estatal Amazónica donde se determinó el Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal, fósforo, potasio, sólidos totales, sólidos volátiles, calcio, magnesio y coliformes. Por lo mencionado anteriormente se describe cada uno de los procedimientos a realizar:

Tabla 6. Métodos para realizar la caracterización fisicoquímica de la composición de la biomasa biogás y biol.

Elementos a evaluar	Unidad de Medida	de	Método o técnica analítica.
---------------------	------------------	----	-----------------------------

---

Sólidos totales (ST)	(%)	Gravimetría Standard Methods No. 2540 B. Total de sólidos secos a 103-105 ° C.
Sólidos volátiles (SV)	(%)	Gravimetría (Standard Methods No. 2540 E. sólidos fijos y volátiles calcinación a 550°C)
pH		Standard Methods Ed. 22, 2012, 4500 H-B. Método electrométrico.
Nitrógeno total	(%)-(mg. L <sup>-1</sup> )	Standard Methods No. 4500-N. orgánico por Kjeldahl.
Fósforo total- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	(%)-(mg. L <sup>-1</sup> )	Espectrofotometría UV-Visible. Método de Olsen o Standard Methods Ed-22-2012, 4500 P- B & C. Método colorimétrico del Ácido fosfórico Vanadio Molibdeno.
Potasio Total (K <sub>2</sub> O)	(%)-(mg. L <sup>-1</sup> )	Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama
N- NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	(%)-(mg. L <sup>-1</sup> )	electro selectivo a amonio
Magnesio total (MgO) Mg	(%)	Complejometría. O Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama
Calcio total Ca	(%)	Complejometría. O Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama
DQO	(mg. L <sup>-1</sup> )	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220-D. Método Colorimétrico Reflujo Cerrado.
DBO <sub>5</sub>	(mg. L <sup>-1</sup> )	PRO TEC 066 / HACH 8043 +0- al 3.72 %.
Coliformes totales	MPN mL <sup>-1</sup>	Standard Methods Ed. 22, 2012, Método 9221B Filtración de Membrana

---

Fuente: (Rice, Baird, Eaton, & Lenore, 2012)

### 3.3.2.1. Determinación de los sólidos totales (ST)

Los sólidos totales o (TS), por sus siglas en Inglés, se refiere al peso del material seco, después de un proceso de secado a 105 °C por 24 horas o hasta que no se encuentra pérdida de peso (Arnell et al., 2016). Este valor es de gran importancia porque podemos conocer y generar las mezclas necesarias, para alimentar al biorreactor. Este método fue obtenido a través del método o técnica analítica de Gravimetría Standard Methods No. 2540 B. Total de sólidos secos a 103 - 105 ° C. a través del siguiente procedimiento.

#### **Procedimiento:**

Las condiciones ambientales no son críticas para la realización de este ensayo. Se preparó las cápsulas a utilizar en la evaporación. Se encendió la estufa a 103-105 °C, luego se



introdujo cada una de cápsulas limpia durante una hora, una vez transcurrido el tiempo se trasladó las cápsulas al desecador hasta que alcance su enfriamiento y se pueda registrar el pesaje de las cápsulas vacías a usar. Tener en cuenta que las muestras deben de estar a temperatura ambiente, posteriormente se seleccionó el volumen de muestra de acuerdo al aspecto de la misma, habitualmente se estuvo entre 25 y 100 mL. Homogenizar bien las muestras y depositar el volumen seleccionado en la cápsula de evaporación previamente tratada. Calentar a 320 °C en el calentador hasta que se evapore toda el agua, después de la evaporización nuevamente se transporta a la estufa, donde permanecerán alrededor de una hora y media o más. Posterior enfriar las cápsulas en el desecador. Rápidamente pesar para evitar cambios en el peso por exposición al aire o degradación del residuo y registrar los datos. Repetir el calentamiento solo por una hora, hasta que la diferencia con la pesada previa sea  $< 4\%$   $0 < 0.5$  mg (seleccionar el valor que resulte menor), con lo cual se considera se obtuvo peso constante. El peso finalmente obtenido será Peso B.

Para el cálculo y la presentación de los resultados se aplicó la siguiente ecuación:

$$ST_{mg/L} = \frac{(B - A) \times 100}{V_{\text{volumen de la muestra}} (ml)} \quad (3)$$

Donde:

A: peso de la cápsula de evaporación vacía (en mg).

B: peso de la cápsula de evaporación + residuo seco (en mg).

Para el peso B, se empleó el promedio de los dos valores que cumplan el requisito de peso constante antes enunciado. Resultados inferiores a 10 mg/l, donde se lograra obtener una cifra decimal.

### 3.3.2.2. Determinación de sólidos volátiles (SV)

Los sólidos volátiles o sólidos totales orgánicos se refieren a la parte de los sólidos totales que se volatilizo durante la calcinación a una temperatura de 550 °C (Castro et al., 2017). En teoría, los sólidos volátiles contienen todos los compuestos orgánicos que pueden oxidarse (Castro et al., 2017). Los SV se obtienen mediante la calcinación de la muestra seca a partir del procedimiento de los ST. El método o técnica analítica es por gravimetría (Standard Methods No. 2540 E. sólidos fijos y volátiles calcinación a 550 °C). Por lo tanto, se eligió la metodología a definir la fracción (totales, disueltos o suspendidos) sobre la cual quieren determinarse los SV o SO. Se procedió según la preparación del filtro o la cápsula de evaporación, pero cambiando el calentamiento a 103 0 108 °C, por incineración en la

mufla a 550 °C durante una hora. Guardar la cápsula o el filtro en desecador y pesar inmediatamente antes de utilizarlo (Peso A). Determinar la fracción desecada según la IE correspondiente, luego incinerar el residuo obtenido a 550 °C durante 15 minutos, dejar la cápsula o el filtro, según sea el caso, al aire hasta que disminuya algo su temperatura y luego depositarlo dentro del desecador hasta que alcance la temperatura ambiente. Pesar el filtro o la cápsula y registrar los datos. Repetir las etapas hasta que la diferencia con la pesada previa sea <4% o <0,5 mg.

Para el cálculo y la presentación de los resultados se aplicó la ecuación siguiente:

$$SV (mg/L) = \frac{(B - C) \times 1000}{V_{\text{volumen de la muestra}}(ml)} \quad (4)$$

Donde:

B: peso del filtro o la cápsula + residuo seco, antes de ignición (en mg).

C: peso del filtro o la cápsula + residuo seco, después de ignición (en mg).

### 3.3.2.3. Determinación del pH

Para la medición del pH se realizó en el campo de forma in situ para ello se utilizó el multi-parámetro portátil PC60 Premium Multi-Parameter Tester (pH/EC/TDS/Salinity/Temp.) APERA INSTRUMENTS, LLC, calibrado y comprobado en el laboratorio por métodos (APHA, 2012), Figura 5.

#### Procedimiento:

Operar el equipo que resumidamente consiste en: conectar el aparato, verificar o realizar su ajuste, introducir el electrodo en la muestra de agua, agitar suavemente para garantizar su homogeneidad y facilitar el equilibrio entre electrodo y muestra, presionar el botón de medida, esperar que se establezca el valor y leerlo. El resultado se obtendrá directamente de la pantalla del equipo y se expresará con dos cifras decimales.



Figura 5. Multi-parámetro portátil PC60 Premium Multi-Parameter Tester (pH/EC/TDS/Salinity/Temp.).  
Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

### 3.3.2.4. Determinación de la Conductividad

El mismo procedimiento que el método anterior se utilizó en este apartado. Por lo tanto, para aguas residuales debe verificarse el funcionamiento del equipo mediante lectura frecuente de la solución de Kcal (Frattini et al., 2016). Para la presentación de los resultados se tomó en consideración la comparación automática de temperatura, la lectura es automáticamente, por lo que debe informarse el resultado que aparece en la pantalla del equipo.

### 3.3.2.5. Determinación del Nitrógeno total

Se basó en la digestión en húmedo de la muestra por calentamiento con ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores metálicos y de otro tipo para reducir el nitrógeno orgánico de la muestra hasta amoníaco el cual quedó en solución en forma de sulfato de amonio (Hilkiah Igoni, Ayotamuno, Eze, Ogaji, & Probert, 2008). Pesar 1gr de muestra previamente molida en papel graso y colocar en el tubo de digestión en forma de paquete de tal forma que no se adhiera al tubo de la muestra. Luego adicionar la pastilla Kjeldahl y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado, colocar los tubos en el digestor el cual debe estar a 370-400 °C, abrir la llave de extracción de gases al vacío y digerir por 2 horas, retirar los tubos del digestor, dejar enfriar evitando que se endurezca, si eso ocurre caliente los tubos en baño maría, añadir 65 ml de agua destilada y agitar suavemente, dejar enfriar. En una fiola de 250 ml agregue 35 ml de ácido Bórico al 2 % y 3 gotas de indicador Tashiro y

colocar en el aparato destilador de tal forma que el tubo de condensado quede sumergido en dicha solución, luego añadir 60 ml de hidróxido de sodio al 45,4 % al tubo de digestión y colocar en el equipo destilador. Destilar por 10 minutos hasta que se halla recogido aproximadamente 100 - 150 ml en la fiola, titular con ácido sulfúrico 0.2 N hasta el cambio de color verde a púrpura, anotar el consumo y realice los cálculos.

#### **Fórmula para el obtener el resultado**

$$N = \frac{V \times N \times 14 \times 100}{m} = \frac{mg}{100 \text{ g muestra}} \quad (5)$$

Donde:

V= Volumen de ácido sulfúrico 0.2N.

14= Factor de amoniac.

M= Peso de la muestra.

N= Normalidad del ácido.

#### **3.3.2.6. Determinación del Nitrógeno amoniacal**

Los pasos a seguir para la aplicación de este método son los siguientes. Se empleó el método Kjeldhal, en un intervalo de concentraciones (Kumanowska, Uruñuela Saldaña, Zielonka, & Oechsner, 2017). Después de este método aplicar agua sin amónico. Utilizar Hidróxido de sodio 10 N, solución de NaOH / EDTA, 10 N: disolver 400 g de NaOH en 800 ml de agua. Añadir 45.2 g ácido etilendiaminotetraacético, sal tetrasodiaca, tetrahidrato ( $\text{Na}_4\text{EDTA} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ ) y agitar para disolver. Enfriar y diluir a 1000 ml. Solución blanco de cloruro de amonio: disuelva 3.819 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  anhidro (secado  $100^\circ\text{C}$ ) en agua, y diluir a 1000 ml;  $1.00\text{ml} = 1.00 \text{ mg N} = 1.22 \text{ mg NH}_3$  (Rice et al., 2012). Para determinar se preparó los estándares: prepare una serie de soluciones estándar que cubran las concentraciones de 1000, 100, 10, 1 y 0.1 mg de  $\text{NH}_3/\text{L}$  al hacer diluciones decimales de la solución madre de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  con agua calibrada del electrómetro: coloque 100 ml de cada solución estándar en un vaso de precipitados de 150 ml. Sumergir el electrodo en el estándar de menor concentración y mezclar con un agitador magnético. Límite de la velocidad de agitación para minimizar la posible pérdida de amoniac de la solución. Mantener la misma velocidad de agitación y temperatura de aproximadamente  $25^\circ\text{C}$  durante los procedimientos de calibración y prueba.

#### **Cálculo para determinar el nitrógeno amoniacal**



$$mg NH_3 = \frac{N}{L} = A \times B \times \frac{100 + D}{100 + C} \quad (6)$$

**Donde:**

A = factor de dilución.

B = concentración de NH<sub>3</sub>-n/L, mg/L de la curva de calibración.

C = volumen de NaOH 10N agregado a los estándares de calibración.

D = volumen de NaOH 10N agregado a la muestra, ml.

### 3.3.2.7. Determinación del Fósforo

Se utilizó el espectrofotómetro DR 2800, frascos volumétricos una membrana de filtro de 0,45 mm de ser necesario, utilizar agua desionizada, una bolsa de polvo de reactivo PhosVer<sup>o</sup>3, para 10 ml, celda para muestra y un tapón neopreno número 3 (Rice et al., 2012). Se utilizó el método de solución estándar para validar el procedimiento de ensayo, reactivos y del instrumento Tabla 7.

Tabla 7. Fundamento del método del fósforo

Programa	standard	Precisión	Sensibilidad cambio concentración por cambio 0,010 Abs
490	2,00mg/LPO4-3	1,98-2,02mg/LPO4-3	0,02mg /LPO4-3
492	2,00mg/LPO4-3	1,98-2,02mg/LPO4-3	0,02mg /LPO4-3

Fuente: (Rice et al., 2012).

#### Determinación del fósforo en muestra:

Empezar buscando en programas almacenados, preparar la muestra: llenara una celda muestra con 10 ml de muestra, añadir el contenido de una bolsa de polvo de fósforo de PhosVer<sup>o</sup>3 a la celda de muestra y cierre inmediatamente la celda de muestra.

### 3.3.2.8. Determinación del Potasio, Magnesio, Calcio

Las muestras conservadas se pueden almacenar al menos seis meses a temperatura ambiente. Se utilizó el espectrofotómetro DR 2800, frascos volumétricos y una membrana de filtro de 0,45 mm de ser necesario. El agua a utilizar fue siempre desionizada, más la bolsa de polvo del reactivo de potasio 1, solución estándar de potasio 100 mg/l, celda para muestra, 10 ml y tapón de neopreno número 1. Posteriormente, en el método de solución estándar se realizó una curva de calibración que aproximadamente está pre programada dentro del programa 905. Seguidamente, se preparó los patrones de calibración que

contienen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 mg/l de potasio, diluir hasta la marca con agua desionizada hasta que la homogenización este bien, proceder al programa de usuario en el menú principal. La determinación del potasio en una muestra fue pulsar un almacenados y se seleccionó el programa 905 Potasio, llenar la probeta graduada con 25 ml de muestra, añadir el contenido de una bolsa de reactivo de Potasio 1, tapar y agitar la solución durante 30 segundos. Preparación de la muestra, se consiguió vertir al menos 10 ml de la solución desde el cilindro en una celda de muestra y limpiar las cubetas de análisis (Rice et al., 2012).

### 3.3.2.9. Determinación de la Demanda química de oxígeno

Para la determinación de la DQO se realizó en el laboratorio Lacquanálisis S.A. Anexo 6, siendo el método de reflujo con dicromato es la más aceptado para su determinación debido a su mayor capacidad oxidativa, aplicabilidad a una gran variedad de muestras y fácil manipulación (Rice et al., 2012). Los materiales a utilizar fueron los siguientes: digestor 200, vitrina de extracción, balón de 250 ml de boca esmerilada, condensador, placa de calentamiento, pipetas graduadas y un titulador o bureta graduada. Los reactivos a utilizar fue la solución estándar de dicromato de potasio 0.250 N ( $K_2Cr_2O_7$ ), ácido sulfúrico, sulfato de mercurio, solución indicadora ferroina y el sulfato ferroso amoniacal (FAS) 0.25 N [ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ ]. De este modo se colocó 50 ml de muestra (para muestras con DQO mayor a 900 mg DQO/l, usar una porción más pequeña y diluir a 50 ml) en un balón de reflujo de 500 ml, adicionando un gramo de sulfato de mercurio ( $HgSO_4$ ), varios cuerpos de ebullición y muy lentamente agregar 5.0 ml de reactivo de ácido sulfúrico agitando para disolver el sulfato de mercurio, enfriar mientras se mezcla para evitar pérdida de componentes volátiles, además, se adicionar 25 ml de solución de dicromato de 0.250 N y mezclar. Unir el balón al condensador y poner a circular el agua refrigerante. Adicionar el resto de ácido sulfúrico (70 ml) por el extremo abierto del condensador. Continuar agitando mientras se adiciona el ácido. La demanda química de oxígeno se determinó después de aplicar siguiente cálculo.

$$mg\ DQO/L = \frac{(A - B) \times N \times 8000}{ml\ muestra} \quad (7)$$

Donde:

A = Volumen de FAS usado para el blanco (ml).

B = Volumen de FAS usado para la muestra (ml).

N = Normalidad del FAS.

8000 = miliequivalente peso de oxígeno \* 1000 ml / L.

### 3.3.2.10. Determinación de la demanda biológica de oxígeno

En el presente proyecto de investigación los análisis se lo realizó en el laboratorio Lacquanálisis S.A. Anexo 6, donde las mediciones de oxígeno consumidas en un período de prueba de 5 días. El oxígeno disuelto es medido inicialmente y después de la incubación, y la DBO<sub>5</sub> se calculó a partir de la diferencia entre DO inicial y final, debido a que el DO inicial se determina poco después de la dilución, toda la absorción de oxígeno que ocurre después de esta medición se incluye en la medición de DBO<sub>5</sub>. Los reactivos para la solución son: solución de tampón de fosfato, solución de sulfato de magnesio, solución de cloruro de calcio, solución de cloruro férrico, soluciones ácidas y alcalinas, solución de sulfito de sodio, inhibidor de la nitrificación, solución de ácido glucosa-glutámico, solución de cloruro de amonio, agua de la dilución. Posteriormente el procedimiento es preparar agua de dilución, verificación de ácido glucosa-glutámico, realizar la siembra. Retratamiento de la muestra mediante la técnica de dilución, luego determinación de DO inicial, dilución agua en blanco, incubación y la determinación de la DO final (Rice et al., 2012).

Para el cálculo de la DBO<sub>5</sub> se realizó de la siguiente manera:

$$DBO_5 mg/L = \frac{D_1 \times D_2}{P} \quad (8)$$

Donde:

D1 = DO de la muestra diluida inmediatamente después de la preparación mg/L.

D2 = DO de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20 °C mg/L.

P = Fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada.

### 3.3.2.11. Determinación de coliformes y *Escherichia Coli*

La determinación de coliformes se lo realizo en el laboratorio de biología de la UEA, donde se utilizará agua pectonada y cultivo criterion, dado que es un cultivo selectivo y diferencial adecuado para el crecimiento de las colonias coliformes Figura 6. Las muestras deberán estar a temperatura ambiente. Se estimó la cantidad de H<sub>2</sub>O destilada a utilizar por el contenido de muestra, posteriormente se pesará 13.25 g de cultivo criterion y 6 g de peptone water a cada una se lo aplicó 400 ml a la peptone wáter y 500 ml al cultivo critérium una vez lista la solución se calentó hasta que se disuelva completamente, después con la dilución se tubo precaución que no alcance la temperatura de ebullición.

Los materiales fueron esterilizados en la autoclave a 123 °C, aquí se insertó las cajas petri, tubos y puntas durante 30 min y otros 30 min para que disminuya la temperatura. Posteriormente se realizó la siembra, por lo que, las diluciones de la muestra fueron 9 ml para cada tubo, en la siembra se tubo precaución con los contaminantes por lo que se utilizó un mechero en la Figura 6 se visualiza el procedimiento de aplicación. Sin embargo, la determinación de coliformes T. y *E. coli* se cuantifico el crecimiento de cada colonia y se aplicó el siguiente cálculo.

$$U.F.C = \frac{\# \text{ colonias } \times \text{ dilución}}{V_{\text{volumen de la muestra}}} \quad (9)$$

Donde:

UFC = unidad formadora de colonias.

# Colonias = número de colonias por placa.

Dilución = factor de dilución.

V = volumen de la muestra sembrada (ml).

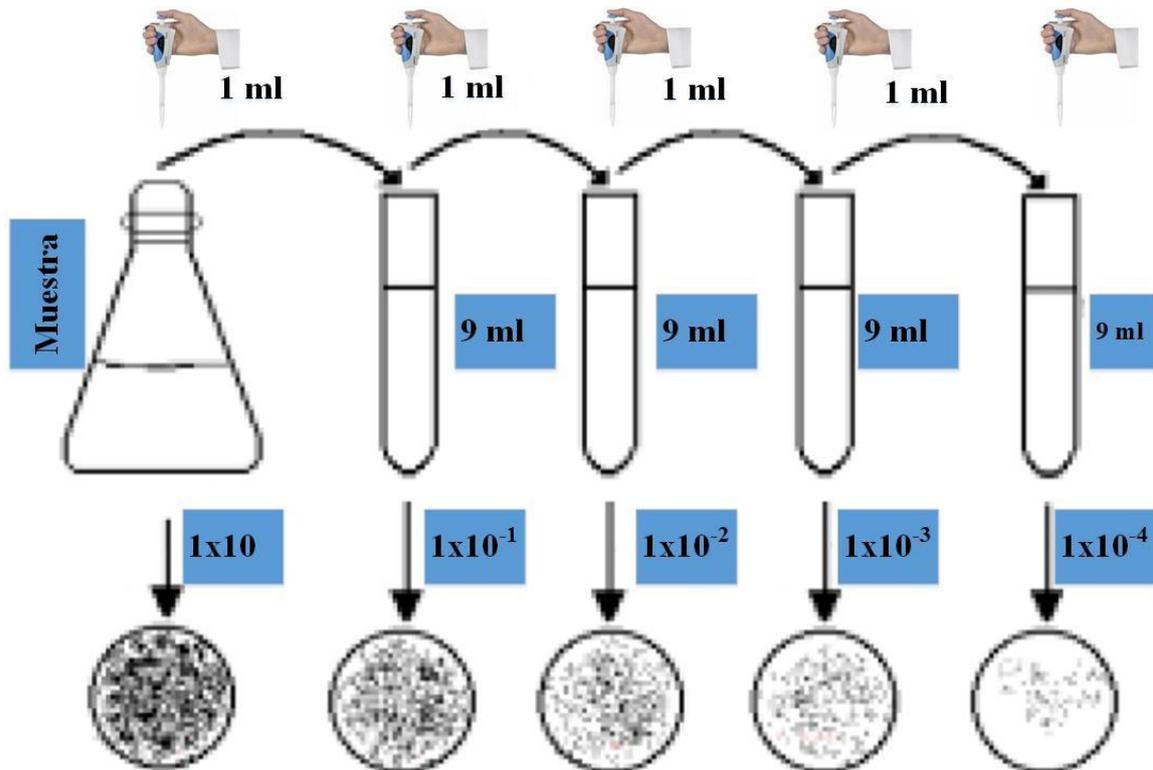


Figura 6. Proceso para la terminación de Coliformes totales y Escherichia Coli en el laboratorio de biología.

Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

### 3.3.3. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES DEL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA

Para la determinación de los parámetros operacionales se consideró la siguiente Tabla 8 que se describe a continuación:

Tabla 8. Parámetros operacionales para la caracterización de la eficiencia del biodigestor tubular en el CIPCA.

PARÁMETROS OPERACIONALES	ECUACIONES	VARIABLE
Tasa de carga orgánica (Khan et al., 2016; Van Doren et al., 2017)	$OLR = \frac{SV}{V}$	SVs = Sólidos Volátiles en el sustrato del afluente (kg/L). Q = Caudal (L/d). V = Volumen del Biodigestor (m <sup>3</sup> ). TRH = Tiempo de retención Hidráulico (d).
Producción específica de biogás (Garfí et al., 2016; Hernández & López, 2016; Medina & Poleth, 2014)	$SBP = \frac{V \text{ bg producido}}{Q * SV \text{ añadidos}}$	[SV añadidos] = Concentración de sólidos volátiles (kg/l) contenido en el influente. Q = Caudal operacional (L/d). V bg = Volumen de biogás producido (m <sup>3</sup> ).
Tasa de producción de biogás (Garfí et al., 2016)	$BPR = \frac{V \text{ bg (m}^3/\text{dia)}}{V \text{ bdg (m}^3)}$	V bg = Volumen de biogás producido (m <sup>3</sup> ). V bdg = Volumen de biodigestor operado (m <sup>3</sup> ).

Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

#### 3.3.3.1. Medidor de gas

Para el monitoreo del biogás se estableció mediante el uso y registro diario de gasómetros marca Humcar G 1.6 Gasmeter (m<sup>3</sup>), los mismos que están colocados al inicio y a la salida del biodigestor tubular. En la Figura 7 se detalla el equipamiento utilizado para el reporte diario de biogás.

**GASOMETRO INICIAL**



**GASOMETRO FINAL**



Figura 7. Utilización de los gasómetros para la medición diaria del biogás producido.  
Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

## **CAPITULO IV**

## **RESULTADOS**



#### 4.1. CUANTIFICACIÓN DE LOS SUSTRATOS MEDIANTE LA PRODUCCIÓN DIARIA DE CADA ÁREA PORCINA

En el Anexo 3, se observa la estructura del funcionamiento del biodigestor tubular instalado en el CIPCA, el mismo que tiene como objetivo producir biocombustible y biofertilizante a partir de las excretas porcinas que generó cada cerdo. La producción de un día de excretas se observa en la Tabla 9, el mismo que se cuantifico mediante una balanza, el cual, estuvo establecido en un promedio de la producción diaria de los 43 días de estudio, con un valor promedio de 6.66 kg de estiércol de la área de gestación y destete, varianza 6.82, y con una desviación estándar de 2.611, en cambio la producción de estiércol en el área de precrianza y engorde tuvo un valor promedio de 3.56 kg, la varianza fue de 3.65, con una desviación estándar de 1.91. Por lo que, la alimentación de los cerdos es a base de balanceado más suplementos de maní forrajero, dos veces al día. En la Tabla 9, se expresa la producción diaria de uno de los días de investigación.

Tabla 9. Producción diaria de las excretas porcinas en kg.

ÁREA DE GESTACIÓN										
	cerdo 1	cerdo 2	cerdo 3	cerdo 4	cerdo 5	cerdo 6	cerdo 7	cerdo 8	cerdo 9	SUBTOTAL
MAÑANA	1.2	0.3	0.3	0.2	0.5	0.7	0.5	0.9	0.5	(kg)
TARDE	0	0	0.2	0.3	0	0.2	0	0	0.	
SIGUIENTE DIA	0	0.2	0.2	0.3	0.5	0.3	0.4	0	1	
TOTAL	1.2	0.5	0.7	0.8	1	1.2	0.9	0.9	1.5	8.7

ÁREA DE MATERNIDAD			
	cerdo 1	cerdo 2	cerdo 3
MAÑANA	0.5	0.5	0.2



TARDE	0	0	0	
SIGUIENTE DIA	0.5	0	0	
TOTAL	1	0.5	0.2	1.7

ÁREA DE PRECRIANZA Y ENGORDE

	sección 1	sección 2	sección 3	
MAÑANA	0.5	1	1	
TARDE	0	0	0.1	
SIGUIENTE DIA	0.5	1	1.2	
TOTAL	1	2	2.3	5.3
				Total carga diaria 15.7

Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

El área de gestación tiene como mínimo de 7 cerdas, y 2 cerdos, aunque el número varía según el plan de manejo que tenga el programa porcino, sea esta con fines de estudios agropecuarios o de comercialización.

El área de maternidad tiene un máximo de 2 a 3 cerdas. Estas tienen 3 partos al año, donde suelen salir 27 a 29 cerdos de maternidad. Actualmente existen 3 hembras con una producción de 29 cerdos en maternidad.

Para calentar y proteger a los lechones recién nacidos, se dispone de unas lámparas eléctricas para abrigar el corral donde descansan. Estas lámparas se usan los cinco primeros días de vida de los lechones, tanto, en la noche como en la mañana.

En el área de precrianza actualmente cuentan con 31 cerdos entre engorde y crianza en cada establo cuentan con (10, 12 y 9) cerdos de un mes y medio a tres meses de edad. El número de lechones de este recinto está en constante comercialización.

El agua utilizada en la sección porcina procede del Río Tetuano que pasa por el programa piscícola, desde ahí tiene una captación y es transportada por gravead hasta los corrales, la misma que es utilizado para el lavado de los establos y corredores con un consumo total de 5576.25 L al día. La opción más factible es reutilizar estas aguas para alimentar al biodigestor en conjunto con el estiércol seco recogido individualmente.

En el mantenimiento de los establos se obtuvo como productos de salida: el estiércol y las aguas residuales mezclado con orina que son transportados directamente por medio de cañerías y el estiércol es recolectado manualmente tanto del establo de gestación, maternidad y precrianza.

En la poza de acumulación y de carga, se obtuvo como resultado la mezcla del estiércol más H<sub>2</sub>O residual de los dos establos, es decir, con los dos productos se logró obtener la biomasa orgánica en un estado de colada listo para alimentar al biodigestor, además, de



ello fue necesario considerar puntos muy importantes como: la cantidad de agua que fue implementado como la cantidad de estiércol en kg, es decir, que por cada 10 kg de estiércol se utilizó 40 L de agua residual, el cual no fue vertido al afluyente que pasa por el programa porcino, por lo que, fue aprovechado para realizar la agitación de los residuos orgánicos.

En la Figura 8 se observó la producción diaria que tiene el programa porcino, donde se evidencio que la cantidad del sustrato depende del tipo de alimentación y de las horas de alimentación, es así que, en los primeros días su rango de producción de fue de 8 a 11 kg diarios, en el día 10 permanece de forma constante con una producción de 10 kg, el día 15 se observa un aumento de 12 kg, pero también disminuye a 7 kg, por lo que, no se recolecto el estiérco del área de maternidad y precrianza, los días 16 y 17 no presentan cambios y su producción de estiércol es de 9 a 11 kg, el día 18 y 19 es donde existe un exceso de carga, siendo este de 10 a 18 kg, el día 34, en el monitoreo se tiene precaución con los inhibidores, por motivo que, este día fueron vacunados los cerdos y no se recolecta los excrementos de la sección de maternidad, precrianza y engorde, por lo tanto, se recogió solo del área de gestación, es así, que al pasar los días los lechones crecían y su producción de excretas ya era mayor entre 10 a 14 kg.

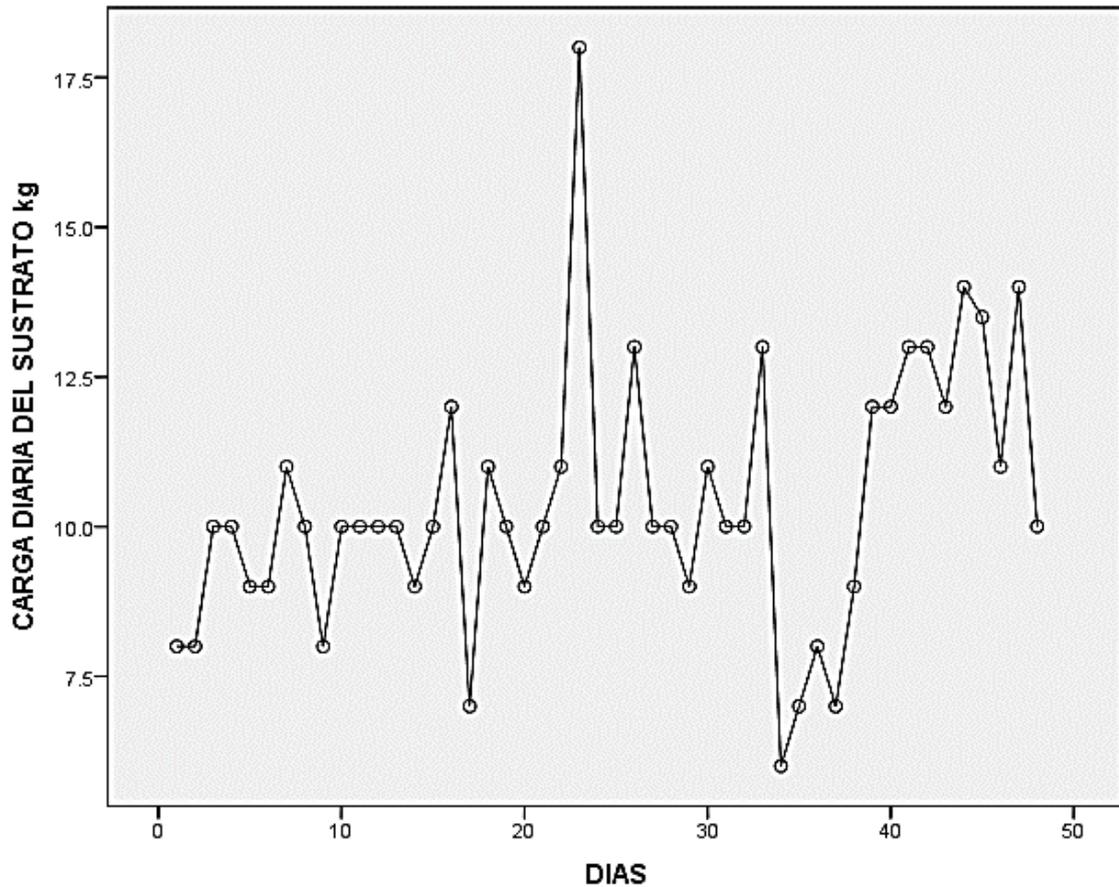


Figura 8. Determinación de la cantidad de sustrato producido al en cada una de las secciones.

Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

En comparación con estudios relacionados de (Braun, 2013), estimaron la producción diaria de estiércol según la etapa fisiológica de los cerdos, donde reportaron que, en la etapa de maternidad la producción de estiércol por animal fue de 6,4 kg/día, hembras gestantes de 3 kg/día, reproductor 2.81 kg/día, engorde 2,3 kg/día. Estos valores reportados fueron mayores a los obtenidos en el presente proyecto de investigación, probablemente debió a factores que afectan la producción diaria de purines como: número de animales, edad, peso de los cerdos, calidad de alimento y volumen del agua consumida.

## 4.2. PARÁMETROS AMBIENTALES Y DE CONTROL

Los parámetros ambientales son muy importantes en el proceso de digestión anaerobia, dado que depende de ello para su respectivo funcionamiento.

### 4.2.1. Temperatura

Para la determinación de la temperatura, estuvo basado en la temperatura ambiente, la temperatura de la geomembrana, además, de las temperaturas de entrada y salida del biodigestor.

En la Figura 9 se expone los datos de temperatura en los meses de julio, agosto y septiembre, tiempo en el que fue realizado el muestreo, es decir, los datos fueron óptimos para caracterizar los parámetros de control y operación del proceso de digestión anaerobia.

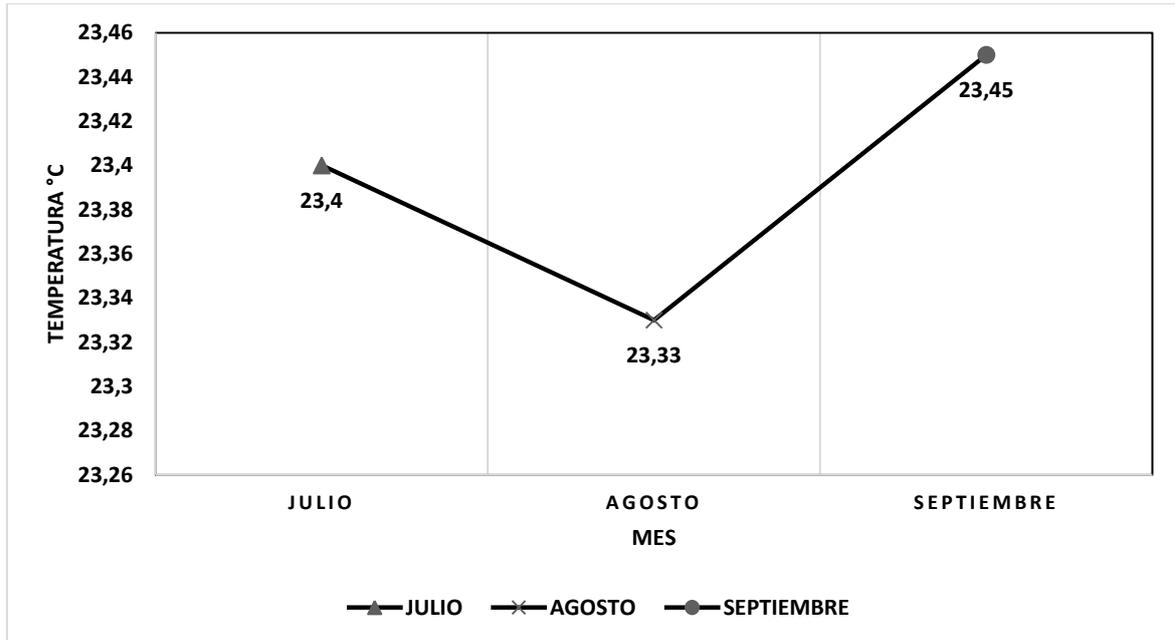


Figura 9. Condiciones de temperatura en los meses del monitoreo durante la elaboración del proyecto.

Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

En la Figura 10 se observa la variación de la temperatura durante los 43 días de estudio, donde, se obtuvo que la geomembrana es la que mayor temperatura tiene en días soleados, por ejemplo, su temperatura máxima alcanzo a 71.6 °C, pero en sombra o presencia de nubes disminuye a 23.6 °C. Es decir que los microorganismos del biorreactor instalado en el CIPCA fueron Psicrófilicos, debido a que la temperatura del influente y efluente oscila entre los 21.1 a 28 °C, este resultado se logró conseguir de la biomasa y del digestato. Por lo que, anteriores demuestran que el sistema está expuesto a temperaturas ambientales psicrófilicas (<25 °C), mesófilicas (30 – 40 °C) y termófilicas (50 – 60 °C) (Garfí et al., 2016). Además, en comparación con estudios anteriores demuestran que los datos de la temperatura interna en el biodigestor desde el inicio hasta los 60 días de la fermentación oscilaban con un promedio de 27.15 °C, con un máximo de temperatura de 31 °C y un mínimo de 24 °C, rangos que son óptimos y similar al presente proyecto de investigación.

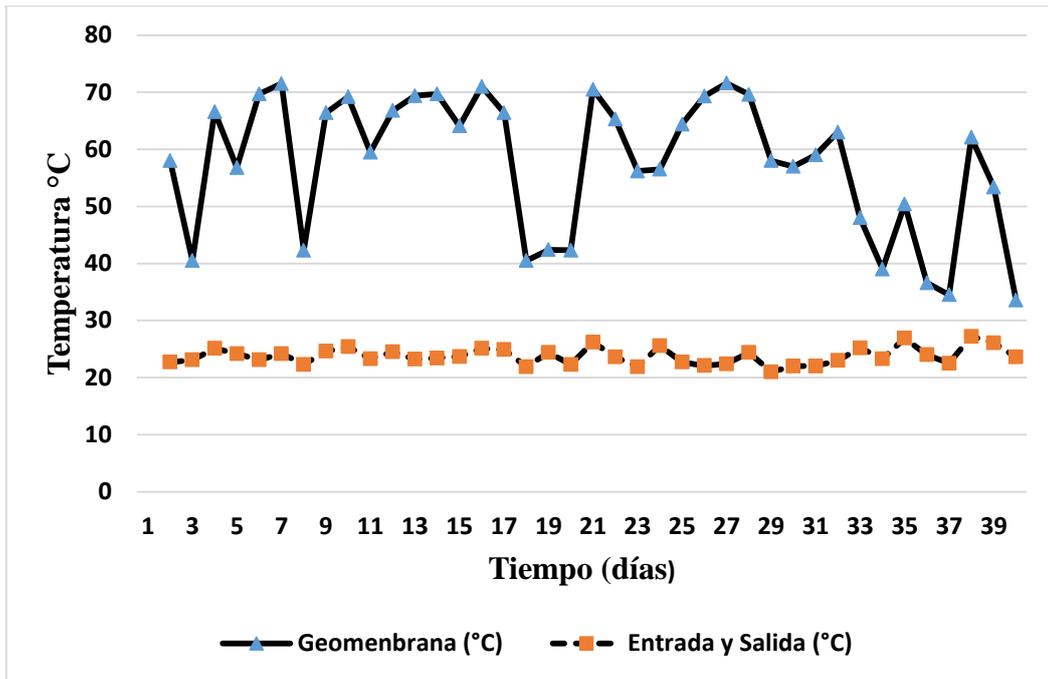


Figura 10. Temperatura de la geomembrana, con la temperaturas de entrada y salida del biodigester durante los 43 días de monitoreo.

Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

#### 4.2.2. Carga diaria

Mediante la cantidad de sustratos que se generó al día, se consiguió determinar la carga diaria que es alimentado el biorreactor instalado en el CIPCA, estas excretas están en combinación con el agua del lavado de los corrales más el estiércol recogido de cada uno de los corrales. Sin embargo, el agua no tiene que ser necesariamente limpia sino puede ser utilizado del proceso de limpieza o de distintos subprocesos que se realiza en los establos porcícolas.

En la Figura 11, se consiguió observar una inestabilidad de sustento que ingresa al reactor. Por lo que, al cuantificar los sustratos se logró estimar la capacidad promedio de 51 L de biomasa que soporta el biorreactor de 11.04 m<sup>3</sup>. Por ejemplo, entre el día 20 y 25, hubo una sobrecarga de 54 a 85 L de biomasa, esto perjudico a la producción de biogás y a la calidad del digestato. Sin embargo, en cantidades menores al rango óptimo, la eficiencia del reactor era satisfactorio con un 72 % de fermentación del sustrato. En comparación con un estudio realizado demuestran una carga diaria de 21,45 kg de estiércol con una dilución 1:638, es decir, que por cada 10 kg le aplicaba 6,38 L de agua, esto para un biodigester de 4,92 m<sup>3</sup> de capacidad máxima (Rodríguez, Regueiro, Carballa, Hospido, & Lema, 2014). Por lo que, existe una variación con el presente proyecto debido a su diseño. Por lo tanto, en la Figura 11 se observa la cantidad diaria en litros que se alimenta al biorreactor.

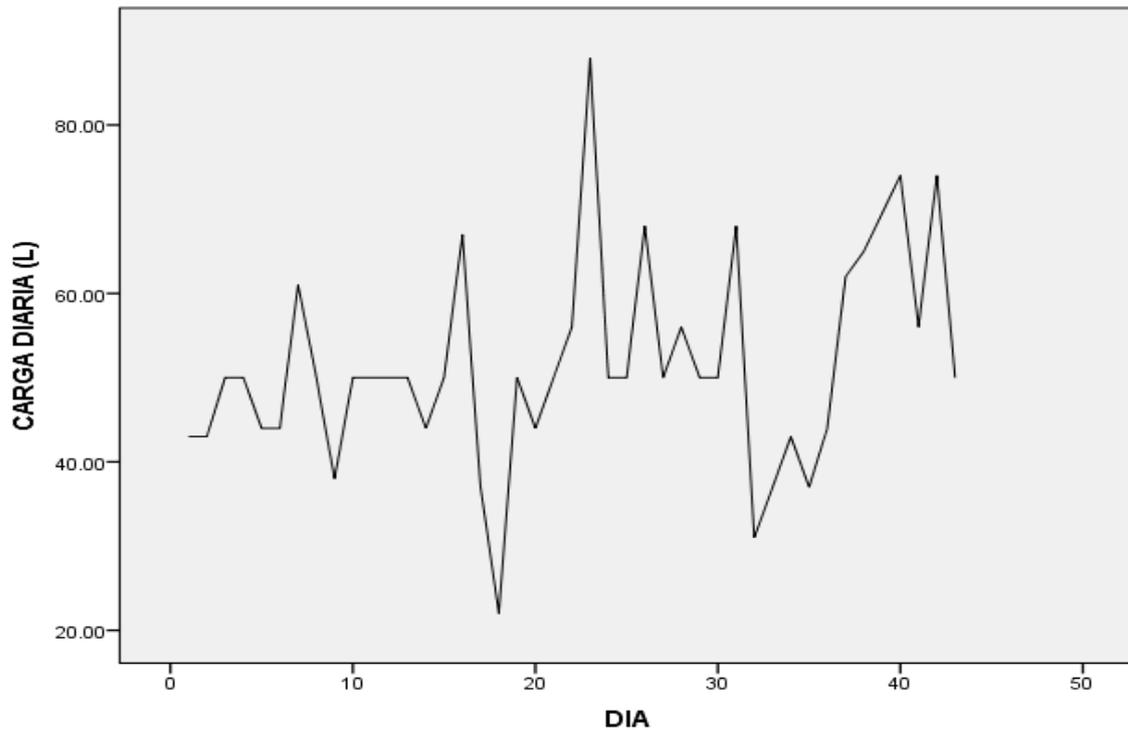


Figura 11. Determinación de la carga diaria mediante la combinación de agua más estiércol.

Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

### 4.2.3. Tiempo de retención hidráulico

Para evaluar el TRH se consideró la carga diaria en kg y el volumen líquido del biorreactor, esto permitió conocer el tiempo que permaneció la materia orgánica (estiércol) en la parte interior del reactor. Los primeros días presentó una variación de 125 a 356 h, esto días fueron diferentes porque los cerdos aún estaban en maternidad, y la producción de estiércol de los cerdos adultos era constante entre 7 a 12 kg diarios. Sin embargo, en entre los días 20 y 25 se logró observar una mayor producción de excrementos, por lo que el tiempo de retención de los residuos alcanzo hasta los 501 días, esto fue por la acumulación de la materia orgánica de tres días que no se alimentó al reactor. Los días de menor tiempo de retención fueron debido al mal manejo de los técnicos y por la presencia de tóxicos inhibidores.

Según estudios anteriores demuestran que la temperatura óptima para el mejor funcionamiento es de 20 a 30 °C en los trópicos donde inhiben microorganismos Psicótrofos (Garfí et al., 2016). Lo mencionado anterior facilitó a la fermentación de los residuos, debido a que el rango óptimo para el funcionamiento sea eficiente entre 25 a 35 °C, donde se obtiene los productos de la digestión anaerobia de mejor calidad. En la Figura

12 podemos observar más detalladamente su variación de TRH que presentó durante los 43 días de muestreo.

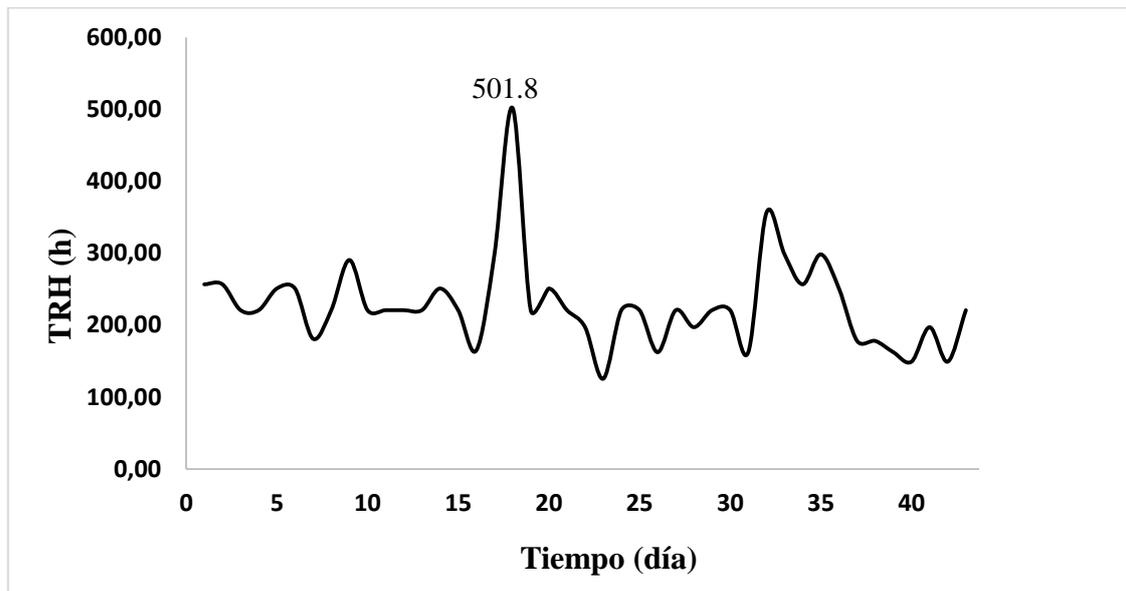


Figura 12. Determinación del TRH en base a la carga diaria el volumen del biodigestor.  
Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

#### 4.2.4. Determinación del pH

La medición del pH se lo realizó en el influente como también en el efluente, donde se observó que los rangos de temperatura eran neutros, lo cual variaba entre 6.66 hasta 8.2. Por lo tanto, en la Tabla 10 se observa que el pH del influente se mantuvo en un ambiente neutro de  $\pm 7.1$ , por lo que, el rango de pH en la poza de acumulación estuvo entre 6.73 a 8,34, en la poza de carga el rango fue de 6,76 a 8.12, y en el efluente el pH era totalmente neutro con 7 a 7.02. Estos rangos se mantuvieron durante los 43 días de monitoreo. Por otro lado el pH afecta al crecimiento de microorganismos, es así que, al aumentar de pH resultaría en aumento de la toxicidad (Pilarska et al., 2016).

El rango de pH ideal para la digestión anaerobia es óptima entre 6.8 – 7.2 de pH. La tasa de crecimiento de los microorganismos se reduce considerablemente por debajo de pH 6.6 (Medina & Poleth, 2014).

Mientras que un pH excesivamente alcalina puede conducir a la desintegración de los gránulos microbianos y su posterior fracaso del proceso (J Martí-Herrero et al., 2016). Aunque el pH óptimo de la metanogénesis es alrededor de 7.0, el pH óptimo de la hidrólisis y acidogénesis se informa que esta entre pH de 5.5 y 6.5. Es por esta razón que algunos diseñadores separan los procesos de digestión anaerobia en diferentes reactores para que el proceso sea eficiente.

Tabla 10. Determinación de pH en el afluente del biodigestor instalado en el CIPCA.

### DESCRIPTIVOS

N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
				Límite inferior	Límite superior			
1	43	7.52	0.36	0.034	7.45	7.59	6.66	8.34
2	43	7.25	0.53	0.049	7.15	7.34	6.93	7.85
Total	86	7.38	0.47	0.031	7.32	7.44	6.66	8.34

### ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4.25	1	4.25	20.38	0.00
Dentro de grupos	47.76	229	0.209		
total	52.016	230			

Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

#### 4.2.5. Determinación de la Conductividad

Los digestatos pueden tener una conductividad que oscila entre los 10 mS/cm a 30mS/cm, lo que indica una elevada conductividad, que puede suponer un problema si se aplica en exceso en suelos con baja precipitación, o en suelos regados con aguas de salinidad (Friedma & McMichael, 1989). En el presente estudio de investigación los rangos de conductividad son bajos de 10 mS/cm.

Esto quiere decir que la conductividad indica la concentración de sales minerales disueltas en el agua, es decir, este parámetro tuvo un valor inicial de 4.6 mS/cm y se redujo en un 29 %, al terminar el proceso con 3.32 mS/cm, lo cual indica que las bacterias van consumiendo los compuestos solubles del sustrato.

#### 4.2.6. Tóxicos inhibidores

Como se mencionó anteriormente los inhibidores en este proyecto de investigación son las sustancias antibióticas y las antibacterianas por ejemplo los minerales (hierro, vitaminas y electrolitos), sedante, analgésicos, antiparasitario para el tratamiento de sarna, piojos, y hormonas. Estos fármacos son aplicados a los cerdos con el fin de evitar enfermedades. Por

lo tonto, los días que son aplicados no se recogieron las excretas ni tampoco las aguas residuales, es así que, se dejó pasar de 3 a 4 días para volver a recolectar las excretas de los establos.

### 4.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL REACTOR, EN EL INFLUENTE Y EFLUENTE.

Tabla 11. Representación de los análisis físicos químicos en los diferentes puntos de muestreo que son las PARL, PC, PAB.

PARÁMETROS	INFLUENTE CARGA INICIAL		EFLUENTE
	POZA DE AGUAS RESIDUALES	POZA DE CARGA	CARGA FINAL POZA DE BIOL
Sólidos totales (mg/L)	506	28212	2450
Cenizas totales (mg/L)	319	22204	1860
Sólidos volátiles totales (mg/L)	187	6008	590
Fósforo (ppm)	53	1275	290
Nitrógeno kjendahl (NKT) (ppm)	229.79	15051.13	373.42
Nitrógeno amoniacal (ppm)	57.44	287.27	201.07
Potasio (ppm)	0.00029	0.001322	0.000546
Magnesio (ppm)	0.0012	0.001172	0.000224
Calcio (ppm)	0.01248	0.00576	0.00123
DQO (mg/L)	2161	7546	1982
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	1113.61	2487.61	1082.11
COLIFORMES T.	2.2x10 <sup>5</sup>	incontables	2.6x10 <sup>5</sup>
E. Coli	1.12x10 <sup>6</sup>	incontables	8.2x10 <sup>5</sup>

Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

El contenido de sólidos totales fue de 21 %, un valor similar con respecto al 28.03 % reportado (Xie, Wu, Lawlor, Frost, & Zhan, 2012). La variación de ST se debe al tipo de alimentación que describe el presente proyecto, donde, el sustento es de balanceado y maní forrajero, mientras que en estudios anteriores el sustento es de maíz y trigo. Es probable que este resultado influya en la velocidad de degradación del material orgánico por parte de las bacterias, afectando de este modo la eficiencia de la producción de biogás.

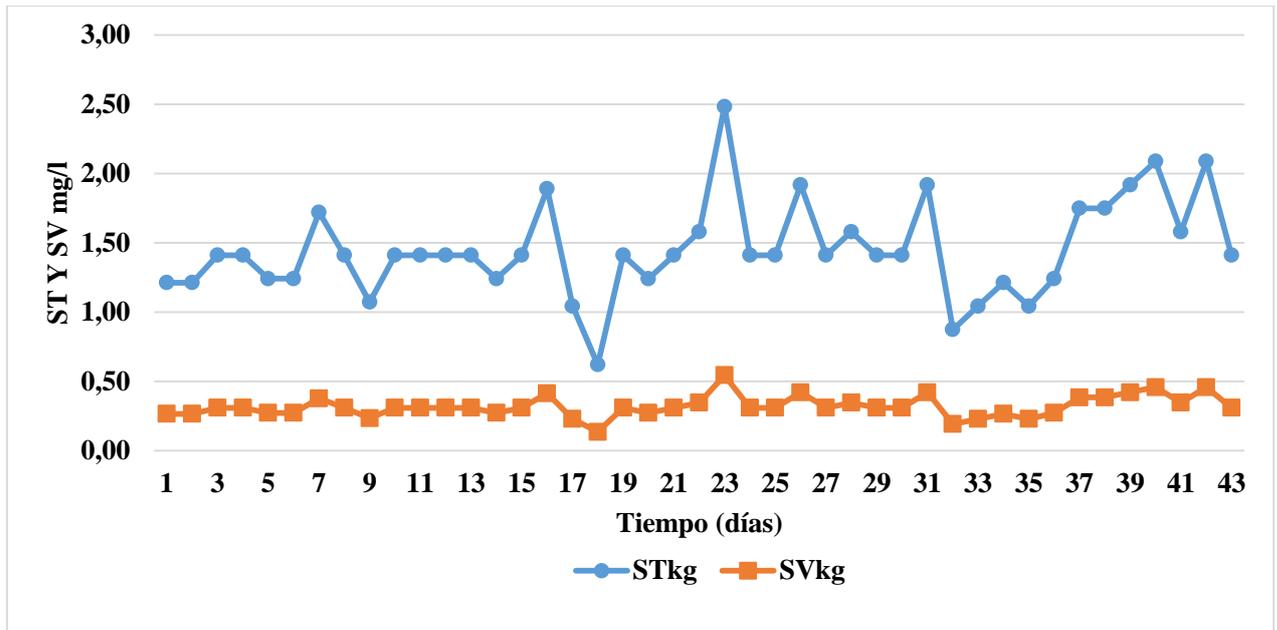


Figura 13. Determinación de los sólidos totales y sólidos volátiles que se desintegran por acción de las bacterias.

Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

En la Figura 13, se observa que los sólidos totales van en relación a la carga diaria pero los sólidos volátiles disminuyen por su grado de temperatura que es a 550 °C, es así que, se obtuvo un 72 % de materia volatilizada. En comparación a otros estudios que se volatilizan a un 90 y 91 % de los sólidos totales, esto permite convertir en metano y obtener elevadas concentraciones de biogás FAO, (2011), (Xie et al., 2012).

En la Tabla 11 se comparan los análisis de laboratorio de los parámetros fisicoquímicos. La DQO registró 7546 mg/L para la poza de carga, en la poza de acumulación de aguas residuales 2161 mg/L y en el biol 1982 mg/L, en comparación con los 2930 mg/L reportado en la bibliografía (Blanco et al., 2015b). Sin embargo, su similitud varía totalmente en las tres pozas, es decir, que está dentro de los rangos (500 a 15900 mg/L) (Garfí et al., 2016). Pero estos resultados están fuera de los rangos permisibles para efluentes de agua dulce y agropecuario, según lo establecido en el acuerdo No. 097-A (Reformase del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente).

No en todas de las etapas de la digestión ocurre disminución de la DBO<sub>5</sub>. Así, la hidrólisis ocurre sin variación detectable de la DBO<sub>5</sub>. En general, durante la acidificación la disminución de la DBO<sub>5</sub> es mínima, por lo tanto, es en la metanogénesis donde ocurren las mayores disminuciones de DBO<sub>5</sub> (Acosta & Abreu, 2005). Este tratamiento a temperaturas superiores a 20 °C permite la eliminación del 60 a 80 % con aguas residuales porcinas en biodigestores. Por lo que, el estudio presentó en el influente valores máximos a diferencia



del digestato que disminuyó de 3601.22 a 1082.11 mg/L en el efluente, el mismo que esta fuera de los rangos permisibles a fuentes de agua dulce y agropecuaria, según lo establecido en el acuerdo No. 097-A (Reformase del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente). Estos resultados se los obtuvieron después de ser analizados en un laboratorio particular acreditado Anexo 6.

El abono o digestato, da como resultado un efluente líquido con un pH neutro, estabilizado químicamente y rico en nutrientes (N, P, K y también en elemento menores) lo que hace que estos elementos sean asimilados fácilmente por las plantas, además, de ser útil como mejorador del suelo, pero al no darle un respectivo uso el biol actualmente es vertido hacia los afluentes que están alrededor, esto provoca a su vez una eutrofización por el alto contenido de nutrientes (Osorio Saraz et al., 2007). En otras palabras, al implementar el biorreactor se logra disminuir la alta carga contaminante que genera el programa porcino en un 28 % de la materia transformada en digestato.

Sin embargo el fósforo en la poza de aguas residuales tiene un 0.005 %, en la poza de carga aumenta a un 0.12 %, pero en la poza del efluente disminuye a un 0.02 % como demuestran los datos en la Tabla 11. El nitrógeno fuente principal de los microorganismos alcanza en la poza de aguas residuales a un 0.023 %, en la poza de carga su aumento es a 1.5 % debido a su mayor concentración en la materia orgánica fresca. El mismo que no cumple con el rango según lo establecido en el acuerdo No. 097-A (Reformase del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente).

El nitrógeno amoniacal disminuye debido a que el nitrógeno aumenta, es así, que en la poza de aguas residuales del mantenimiento de los establos se tiene un 0.006 %, en la poza de carga es de 0.029 %, por último, en la poza del digestato se obtuvo un 0.020 % del sustrato removido. Los demás nutrientes como potasio y calcio presentan rangos mayores a los límites permisibles para descargas de agua dulce y agropecuaria, como se lo demuestra en la Tabla 11, estos resultados fueron analizados en el laboratorio aguas y suelos de la Universidad Estatal Amazónica.

Es importante la disminución del contenido de magnesio en el efluente con respecto al influente, siendo el único parámetro estable según lo establecido en el acuerdo No. 097-A (Reformase del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente) que está por debajo del límite máximo permisible para fuente agua dulce y agropecuaria, la cual es apropiada para las aplicaciones directas a los cultivos y al suelo (Osorio Saraz et al., 2007).

La calidad del efluente obtenido de la biodigestión de la excreta varía de acuerdo con la cantidad de sólidos totales, ya que estos sólidos son los que sirven de alimento para las bacterias responsables de la biodigestión.

La tendencia de los parámetros analizados en estudios anteriores y con el presente mostró una reducción en su contenido (Blanco et al., 2015a; Garzón-Zúñiga & Buelna, 2014; Soria Fregoso et al., 2001). En la tabla 12 se expone una comparación de los digestatos obtenidos en los biodigestores.

Tabla 12. Comparación de datos analizados en laboratorio.

	pH	ST	N	P	K	Mg	Ca	DQO	DBO <sub>5</sub>	UFC
PARÁMETROS		mg/l	%	%	%	%	%	mg/l	mg/l	
<b>Caracterización preliminar del funcionamiento del biodigestor tubular a partir de excretas porcinas</b>	7.2	2450	0.037	0.029	0.0005	0.0002	0.001	1982	1082	2.6x10 <sup>5</sup>
<b>Caracterización de aguas porcinas (Garzón-Zúñiga &amp; Buelna, 2014).</b>	7.58	7916	0.03	0.052	-	-	-	15445	6152	-
<b>Producción de fertilizante mediante biodigestión (Soria Fregoso et al., 2001)</b>	7.05	-	0.058	0.017	0.036	0.059	0.017	1399	172.2	-
(D. Rodríguez, Belmonte, Penuela, Campos, & Vidal, 2011)	7.27		0.063	0.01	0.1	0.18	0.13	-	-	-

Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

Según los análisis del estiércol se puede notar un comportamiento similar entre el flujo de producción en los nutrientes del digestato, ya que la variación de datos es por la cantidad de cerdos que presenta cada estudio, en el caso del presente proyecto se contaba con 12 cerdos con un peso de 17 a 137 kg en pie y en menor peso los de crianza y engorde.

La medición de coliformes y *E. Coli* se utilizó el método por conteo y se observó que la poza de carga contenía un número de microorganismos incontables tanto en coliformes como en *E. coli* siendo así que en la poza de digestato se observó  $2.6 \times 10^5$  UFC de coliformes totales y  $8.2 \times 10^5$  UFC *E. coli*. En la Figura 14 podemos observar los resultados que se obtuvieron tras los análisis realizados en el laboratorio de biología de la Universidad Estatal Amazónica.

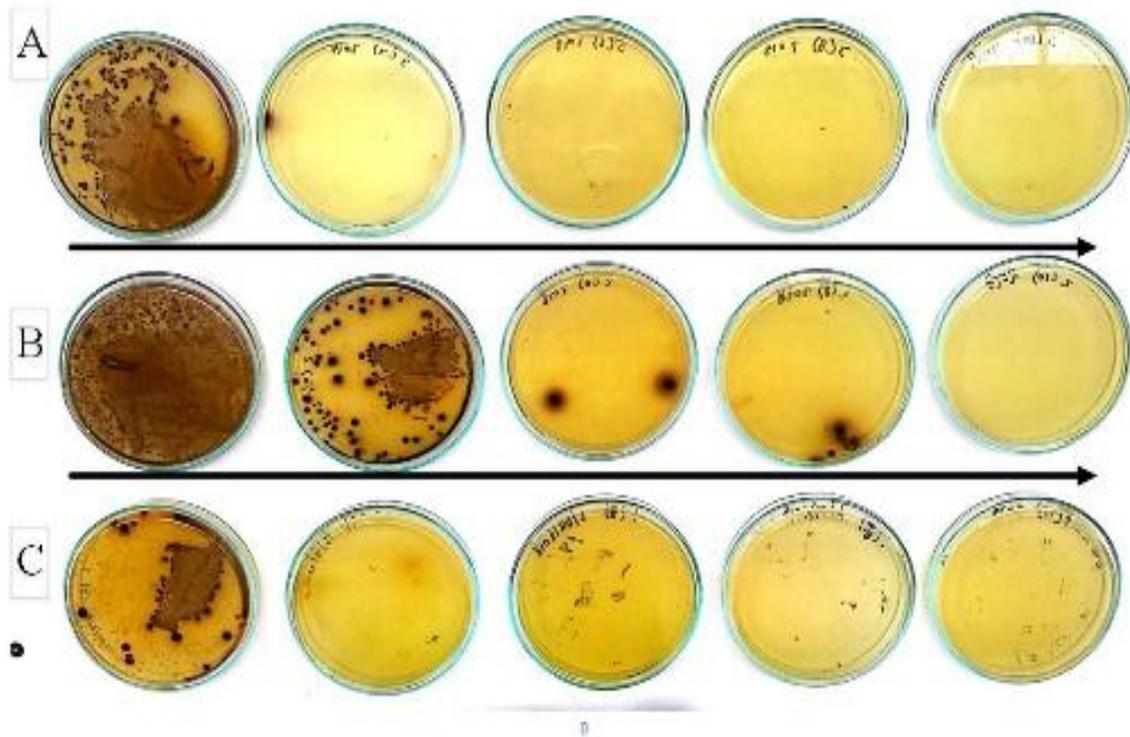


Figura 14. Determinación de las unidades formadoras de colonias de cada punto de muestreo: A aguas residuales que son emitidos por el lavado de los corrales, B poza de carga y C efluente del digestato.

Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

Los valores estándares en la legislación ambiental se expresa en la Tabla 13, donde se podrá verificar si cumplen con los valores obtenidos en el presente proyecto de investigación.

La legislación ambiental con respecto a la descargas de aguas dulces y agropecuarias en el Ecuador está establecido según el acuerdo No. 097-A (Reformase del Texto Unificado de

Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente). (Escobar, Gómez, Barreiro, & Ponce, 2017).

Esta técnica establece o determina los límites permisibles disponibles y prohibiciones para descargar a los cuerpos de aguas dulces o agropecuarios; controlando, previniendo o solucionando los problemas de contaminación. En la tabla 13 se describe los principales parámetros que serán de interés para descargas de afluentes (Escobar et al., 2017) (Mite et al., 2016).

Tabla 13. Valores para la descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce o agropecuario.

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
pH	pH	mg/l	6.5-6.9
Sólidos totales (mg/L)	ST	mg/l	1600
Fósforo (ppm)	P	mg/l	10
Nitrógeno kjedahl (NKT) (ppm)	N	mg/l	15
Nitrógeno amoniacal (ppm)	NH <sub>4</sub>	mg/l	10
Magnesio (ppm)	Mn	mg/l	0.1
DQO (mg/L)	DQO	mg/l	40
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	20
COLIFORMES para riego agropecuario	NMP/100 ml		1x10 <sup>3</sup>

Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

Mediante los límites máximos permisibles para descargas de aguas dulces y agropecuarias, el presente proyecto realizado demuestra que los resultados de las tres posas no están cumpliendo con la normativa 097 establecido por el MAE. Sin embargo, se observó que únicamente el magnesio y el pH cumplen con el rango establecido por la Reforma del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Por lo tanto, el biodigestor instalado en el CIPCA es una de las tecnologías más accesible para combatir el cambio climático y de esta manera conservar la biodiversidad de la Amazonia.

## 4.4. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES

### 4.4.1. Tasa de carga orgánica

En base a estos resultados expresados en la Tabla 11 de los sólidos totales, se procedió a realizar la evaluación de los parámetros operacionales, en base a las dimensiones del

biodigestor, y la sección eficaz Figura 15. Para determinar la capacidad máxima de almacenamiento del reactor se aplicó la siguiente ecuación:

$$\text{sección eficaz} = \frac{p \times (b+a)}{2} = 1.38 \text{ m}^2$$

$$V_1 = \text{sección eficaz} \times \text{longitud del biodigestor} = 1.38 \text{ m}^2 \times 8 \text{ m} = 11.04 \text{ m}^3$$

De este modo se sabe que el volumen del biodigestor es de  $11.04 \text{ m}^3$ , por lo tanto, se aplicó la fórmula planteada anteriormente en la metodología para determinar la tasa de carga orgánica:

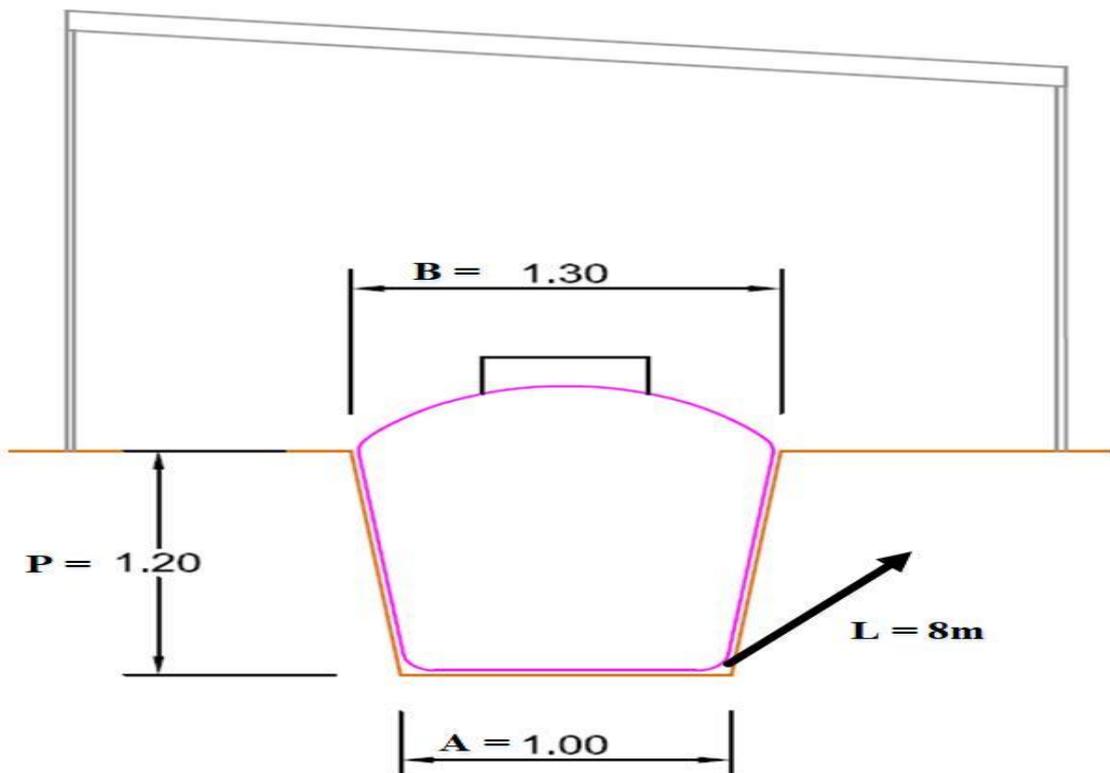


Figura 15. Dimensiones del biodigestor instalado en el CIPCA.

Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

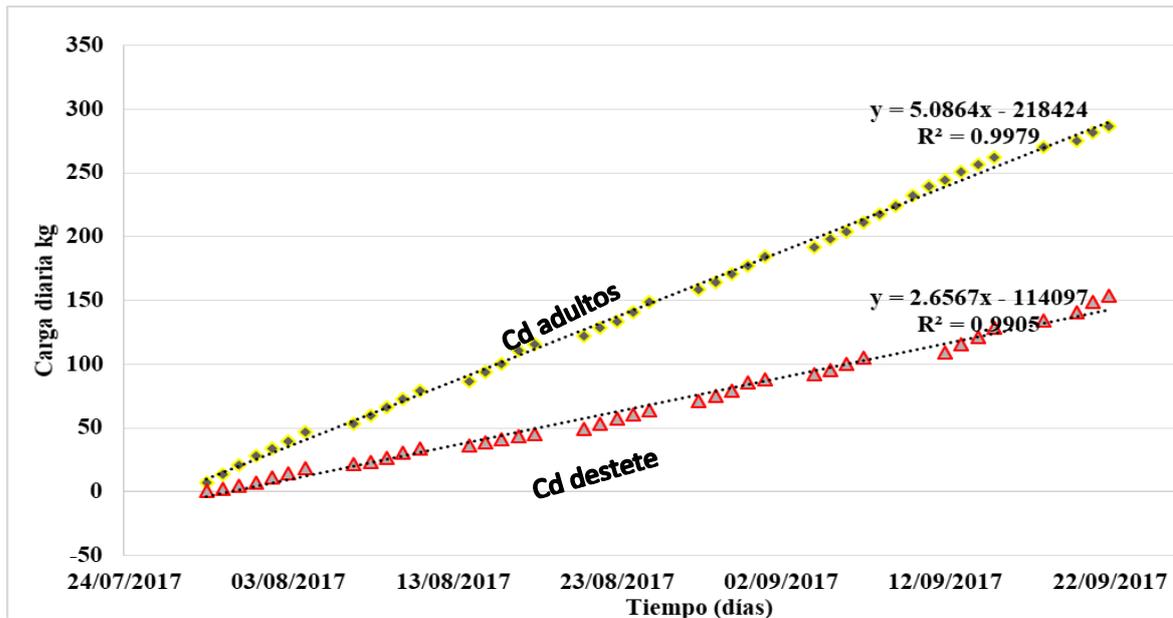


Figura 16. Producción diaria de materia orgánica (estiércol), recolectada de cada sección porcina.

Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

Mediante la Figura 16 se observó la producción diaria acumulada de cada día muestreado, es decir, la suma de producción de la carga diaria del área de gestación, así también, del área de precrianza, de tal manera que, se consiguió determinar la tasa de carga diaria.

$$OLR = \frac{SV}{V} = \frac{1.17}{11.04} = 0.10 \frac{Kg}{m^3}$$

Donde:

SV = sólidos volátiles del influente (kg).

V = Volumen líquido del biodigestor ( $m^3$ ), por día.

Los datos presentaron variabilidad debido a la influencia de la temperatura, crecimiento microbiano, y el TRH. Esto quiere decir la materia orgánica que se ha cargado por metro cubico del biodigestor al día, en un período de 43 días que se monitoreo al reactor. Sin embargo, es poco lo que varía debido a que su carga es constantemente lo mismo por su variación y permanencia de cerdos en los corrales.

#### 4.4.2. Producción específica de biogás

Para la determinación de SBP fue necesario saber la línea de tendencia de la producción acumulada de biogás, para ello se calculó la producción medida con el medidor de gases que está instalado en la parte exterior del biodigestor.

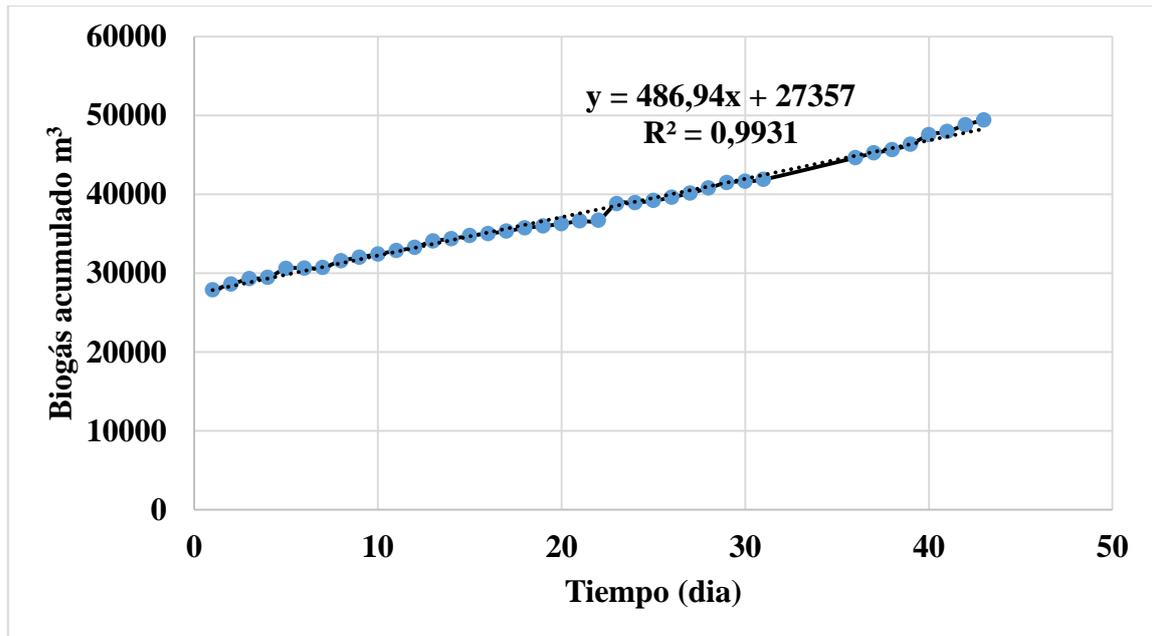


Figura 17. Determinación de la línea de tendencia de la producción de biogás medido por el gasómetro.

Elaborado por: Collahuaso E, (2018).

Una vez conocido la producción de biogás Figura 17, se procede a realizar el cálculo con la siguiente ecuación:

$$SBP = \frac{V \text{ bg producido}}{SV \text{ añadidos}} = \frac{0.4869}{0.10} = 4.86 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Donde:

[SV añadidos] = Concentración de sólidos volátiles (kg/l) contenido en el influente.

V bg = Volumen de biogás producido (m<sup>3</sup>), por día.

Esto quiere decir que durante el día se obtiene 4.86 m<sup>3</sup>/kg.l<sup>-1</sup> recolectado el total de estiércol en cada sección porcina de muestro.

### 4.4.3. Tasa de producción de biogás

$$BPR = \frac{V \text{ bg (m}^3/\text{día)}}{V \text{ bdg (m}^3)} = \frac{0.4869}{11.04} = 0.044 \text{ m}^3\text{b/m}^3\text{b.d}$$

Donde:

V<sub>bg</sub> = Volumen de biogás producido (m<sup>3</sup>b).

V<sub>bdg</sub> = Volumen de biodigestor operado (m<sup>3</sup>\*b.d).

La taza de producción de biogás al día es de 0.044m<sup>3</sup>b/m<sup>3</sup>b.día, esto quiere decir que por cada metro cubico del biodigestor, se obtuvo la producción de biogás diario en base al sustrato degradado y después de cumplirse con el proceso de digestion anaerobia. Según estudios realizados demuestran que en una planta de biogás de 100 m<sup>3</sup> que funciona con



estiércol porcino, con una producción de 2000 cerdos, han obtenido un OLR que varía entre 346 a 1030 kg sólidos volátiles/día, el rendimiento de biogás aumentó de 67 a 202 m<sup>3</sup>/d (Blanco et al., 2015b).

Existe una tasa de alimentación óptima para un tamaño en particular, por lo que, esta producirá según se adicione la cantidad de sustrato. Investigaciones elaborados dan conocer una velocidad de carga diaria de 16 kg sólidos volátiles / m<sup>3</sup> de capacidad del biodigestor, produjo 0.04 a 0.074 m<sup>3</sup> de gas / kg de estiércol alimentado (Khan et al., 2016).



## CAPÍTULO V

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

1. La producción de biomasa fue de 2211 L durante los 43 días de estudio, alimentándose el biodigestor a razón de 51.41 L/d. aproximadamente. Esta cantidad es adecuada para la capacidad de diseño que es de 11.04 m<sup>3</sup>. Se pudo demostrar que al introducir (13 días) una cantidad superior, la producción de biogás tendió a disminuir debido a que no se efectúan las 4 fases de la digestión anaerobia y el efluente contenía sólidos gruesos que no eran degradados por los microorganismos acetogénesis y metanogénesis.
2. Los parámetros fisicoquímicos del digestor (pH, Conductividad, K, Mg, Ca) se encuentran dentro de los límites máximos permisibles para descargas de agua dulce y agropecuaria, según lo establecido en el acuerdo No. 097-A (Reformase del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente). Sin embargo, (ST, N, P, DQO, DBO<sub>5</sub> y coliformes) están ligeramente desviados de los valores recomendados para descargas al afluente debido a la variabilidad de la alimentación.
3. La tasa de producción del biodigestor fue de 0.044m<sup>3</sup> biogás/m<sup>3</sup>biodigestor\*d y la producción específica de biogás es de 4.8 m<sup>3</sup>/kg. l<sup>-1</sup> valores acordes a este diseño de



digestor y que demuestran la eficiencia con la que opera el digestor tubular al día. El TRH es de 15 d estando dentro de los valores para producir biogás y digestato, excepto cuando existió sobrealimentación.

## 5.2. RECOMENDACIONES

1. Que no se incremente la alimentación de los cerdos que provoque una producción de excretas que sobre pase una carga diaria de 51.41 L/d.
2. Que se sistematice y amplíe el control de los parámetros fisicoquímico y microbiológico durante todo el año, a través de proyectos de investigación + desarrollo y de asignaturas afines para la agricultura. Por lo que, al derramar el digestato al afluyente provoque la eutrofización, que está basado en el enriquecimiento de nutrientes que se podría utilizar para mejor los cultivos y el suelo.
3. Que se realice un estudio de cuales pudiesen ser las alternativas de uso que se le puede dar al biogás que se produce en el CIPCA.



## CAPÍTULO VI

# BIBLIOGRAFÍA

- Abatzoglou, N., & Boivin, S. (2009). A review of biogas purification processes. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 3(1), 42-71. doi: 10.1002/bbb.117
- Acosta, Y. L., & Abreu, M. C. O. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 39(1), 35-48.
- Al Seadi, T., & Lukehurst, C. (2012). Quality management of digestate from biogas plants used as fertiliser. *IEA Bioenergy*, 37, 40.
- Alfa, M., Adie, D., Igboro, S., Oranusi, U., Dahunsi, S., & Akali, D. (2014). Assessment of biofertilizer quality and health implications of anaerobic digestion effluent of cow dung and chicken droppings. *Renewable Energy*, 63, 681-686.
- Amani, T., Nosrati, M., & Sreekrishnan, T. (2010). Anaerobic digestion from the viewpoint of microbiological, chemical, and operational aspects—a review. *Environmental Reviews*, 18(NA), 255-278. doi: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/A10-011#.Wvt-GlgvzIV>
- Andrade-Yucailla, V., Fuentes, I., Vargas-Burgos, J., Lima-Orozco, R., & Jácome, A. (2016). Alimentación de cuyes en crecimiento-ceba a base de gramíneas tropicales adaptadas a la Región Amazónica. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(1), 1-7. doi: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n010116/011601.pdf>
- Appels, L., Lauwers, J., Degreè, J., Helsen, L., Lievens, B., Willems, K., . . . Dewil, R. (2011). Anaerobic digestion in global bio-energy production: potential and research challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4295-4301.
- Arikan, O. A., Mulbry, W., & Lansing, S. (2015). Effect of temperature on methane production from field-scale anaerobic digesters treating dairy manure. *Waste Management*, 43, 108-113. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15004171>



- Arnell, M., Astals, S., Åmand, L., Batstone, D. J., Jensen, P. D., & Jeppsson, U. (2016). Modelling anaerobic co-digestion in benchmark simulation model No. 2: parameter estimation, substrate characterisation and plant-wide integration. *Water Research*, 98, 138-146. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135416301956>
- Azman, S., Khadem, A. F., Van Lier, J. B., Zeeman, G., & Plugge, C. M. (2015). Presence and role of anaerobic hydrolytic microbes in conversion of lignocellulosic biomass for biogas production. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(23), 2523-2564. doi: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643389.2015.1053727>
- Barker, H. A. (1956). Bacterial fermentations (Vol. 7a, pp. 87-123). New York : 95 p.nam.
- Batstone, D. J., & Viridis, B. (2014). The role of anaerobic digestion in the emerging energy economy. *Current opinion in biotechnology*, 27, 142-149.
- Blanco, D., Suárez, J., Jiménez, J., González, F., Álvarez, L., Cabeza, E., & Verde, J. (2015a). Eficiencia del tratamiento de residuales porcinos en digestores de laguna tapada. *Pastos y Forrajes*, 38(4), 441-447.
- Blanco, D., Suárez, J., Jiménez, J., González, F., Álvarez, L. M., Cabeza, E., & Verde, J. (2015b). Eficiencia del tratamiento de residuales porcinos en digestores de laguna tapada. *Pastos y Forrajes*, 38, 441-447.
- Boopathy, R. (1998). Biological treatment of swine waste using anaerobic baffled reactors. *Bioresource Technology*, 64(1), 1-6.
- Botero, R., & Preston, T. R. (1987). Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. *Manual para su instalación, operación y utilización*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia, 353-362.
- Brakel, J. (1980). *The Ignis Fatuus of Biogas: Small-scale Anaerobic Digesters ("biogas Plants"): a Critical Review of the Pre-1970 Literature*: Delft University Press.
- Braun, R. (2013). Eliminación mediante impactos ambientales positivos de estiércoles y purines en las empresas porcinas. Producción de biogás. *Informe de actualización técnica*. EEA Marcos Juárez(28).
- Bustos Barrera, E. E., Solís Oba, M. M., Castro Rivera, R., Ocaranza Sánchez, E., Tapia López, L., García Barrera, L. J., & Solís Oba, A. (2017). Estudio comparativo del cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo diferentes esquemas de fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5).
- Buswell, A. M., & Neave, S. L. (1930). Laboratory studies of sludge digestion. *Bulletin (Illinois State Water Survey) no. 30*, 1-84.
- Castro, L., Escalante, H., Jaimes-Estévez, J., Díaz, L., Vecino, K., Rojas, G., & Mantilla, L. (2017). Low cost digester monitoring under realistic conditions: Rural use of biogas and digestate quality. *Bioresource Technology*, 239, 311-317. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417306740>
- Cepero, L., Savran, V., Blanco, D., Díaz Piñón, M., Suárez, J., & Palacios, A. (2012). Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 219-226.
- Collahuaso González, E., Pérez-Martínez, A., Loureiro Salabarría, J., & Diéguez-Santana, K. (2017, 15 February–20 December 2017). *Relationship between the fed substrates and the physical chemical parameters of an anaerobic biodigester in Ecuadorian Amazon Region*. . Paper presented at the MOL2NET 2017, International Conference on Multidisciplinary Sciences.
- Corrales, L. C., Romero, D. M. A., Macías, J. A. B., & Vargas, A. M. C. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *Nova*, 13(24), 55-82. doi: <http://www.unicolmayor.edu.co/publicaciones/index.php/nova/article/view/309>
- Chen, J. L., Ortiz, R., Steele, T. W., & Stuckey, D. C. (2014). Toxicants inhibiting anaerobic digestion: a review. *Biotechnology advances*, 32(8), 1523-1534. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975014001542>



- De Clercq, D., Wen, Z., Lu, X., Caicedo, L., Cao, X., & Fan, F. (2017). Determinants of efficiency in an industrial-scale anaerobic digestion food waste-to-biogas project in an Asian megacity based on data envelopment analysis and exploratory multivariate statistics. *Journal of Cleaner Production*, 168, 983-996. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617320516>
- De Vrieze, J., Pinto, A. J., Sloan, W. T., & Ijaz, U. Z. (2018). The active microbial community more accurately reflects the anaerobic digestion process: 16S rRNA (gene) sequencing as a predictive tool. *Microbiome*, 6(1), 63. doi: <https://microbiomejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40168-018-0449-9>
- De Vrieze, J., Saunders, A. M., He, Y., Fang, J., Nielsen, P. H., Verstraete, W., & Boon, N. (2015). Ammonia and temperature determine potential clustering in the anaerobic digestion microbiome. *Water Research*, 75, 312-323. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135415000986>
- Deepanraj, B., Sivasubramanian, V., & Jayaraj, S. (2015). Kinetic study on the effect of temperature on biogas production using a lab scale batch reactor. *Ecotoxicology and environmental safety*, 121, 100-104. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651315002080>
- Escobar, A. A. H., Gómez, A. J. Q., Barreiro, G. D. M., & Ponce, L. A. M. (2017). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CANTÓN PORTOVIEJO Y SU POTENCIAL IMPACTO AMBIENTAL. *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria. ISSN 2602-8166*, 1(2), 47-58.
- Fernández-Naveira, Á., Abubackar, H. N., Veiga, M. C., & Kennes, C. (2016). Efficient butanol-ethanol (BE) production from carbon monoxide fermentation by Clostridium carboxidivorans. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(7), 3361-3370. doi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-015-7238-1>
- Frattini, D., Cinti, G., Bidini, G., Desideri, U., Cioffi, R., & Jannelli, E. (2016). A system approach in energy evaluation of different renewable energies sources integration in ammonia production plants. *Renewable Energy*, 99, 472-482.
- Friedma, H., & McMichael, P. (1989). Agriculture and the state system: The rise and decline of national agricultures, 1870 to the present. *Sociologia ruralis*, 29(2), 93-117. doi: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-9523.1989.tb00360.x>
- Garfí, M., Martí-Herrero, J., Garwood, A., & Ferrer, I. (2016). Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 599-614. doi: 10.1016/j.rser.2016.01.071
- Garzón-Zúñiga, M. A., & Buelna, G. (2014). Caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos en México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(1), 65-79.
- Gashaw, A. (2016). Co-digestion of municipal organic wastes with night soil and cow dung for biogas production: A Review. *African Journal of Biotechnology*, 15(2), 32-44.
- Gavilanes-Terán, I., Paredes, C., Pérez-Espinosa, A., Ángeles Bustamante, M., Gálvez-Sola, L., & Jara-Samaniego, J. (2015). Opportunities and Challenges of Organic Waste Management from the Agroindustrial Sector in South America: Chimborazo Province Case Study. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46, 137-156. doi: 10.1080/00103624.2014.988584
- Ghimire, A., Frunzo, L., Pirozzi, F., Trably, E., Escudie, R., Lens, P. N., & Esposito, G. (2015). A review on dark fermentative biohydrogen production from organic biomass: process parameters and use of by-products. *Applied Energy*, 144, 73-95. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915000616>
- González-Hermoso, J. P., & Segovia, M. (2017). Efecto de cuatro pretratamientos en la digestión anaeróbica y la remoción de nutrientes de efluentes, de un sistema de recirculación acuícola. *Latin american journal of aquatic research*, 45(2), 276-292. doi: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-560X2017000200004&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-560X2017000200004&script=sci_arttext)



- Gosling, D. L. (1980). *Renewable energy resources in Thailand and the Philippines*: University of Hull.
- Gruhn, M., Frigon, J.-C., & Guiot, S. R. (2016). Acidogenic fermentation of *Scenedesmus* sp.-AMDD: Comparison of volatile fatty acids yields between mesophilic and thermophilic conditions. *Bioresource Technology*, 200, 624-630. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085241501490X>
- Guardia-Puebla, Y., Jiménez-Hernández, J., Pacheco-Gamboa, R. F., Rodríguez-Pérez, S., & Sánchez-Girón, V. (2016). Multiple responses optimization on the anaerobic co-digestion of coffee wastewater with manures. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(3), 54-64. doi: <http://www.redalyc.org/pdf/932/93246970006.pdf>
- Gunaseelan, V. N. (1997). Anaerobic digestion of biomass for methane production: A review. *Biomass and Bioenergy*, 13(1-2), 83-114. doi: 10.1016/S0961-9534(97)00020-2
- Gunnerson, C. G., & Stuckey, D. C. (1986). Anaerobic digestion. *Tech. Pap*, 49, 2181-2187.
- Hernández, C. M. M., & López, Y. G. (2016). Use of basic and specific pre-treatments for the biogas production. Revision and analysis. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(3), 81-92. doi: <http://www.redalyc.org/pdf/932/93246970009.pdf>
- Hilkiah Igoni, A., Ayotamuno, M. J., Eze, C. L., Ogaji, S. O. T., & Probert, S. D. (2008). Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. *Applied Energy*, 85(6), 430-438. doi: 10.1016/j.apenergy.2007.07.013
- Horiuchi, J.-I., Shimizu, T., Tada, K., Kanno, T., & Kobayashi, M. (2002). Selective production of organic acids in anaerobic acid reactor by pH control. *Bioresource Technology*, 82(3), 209-213. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085240100195X>
- Huertas, R. A. P. (2016). Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. *Producción+ Limpia*, 10(2). doi: <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/905/628>
- Iván, V.-R., José, M.-R., Melitón, E.-J., & Agustina, O.-S. (2014). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 15(3), 429-436.
- Jha, A. K., Li, J., Nies, L., & Zhang, L. (2011). Research advances in dry anaerobic digestion process of solid organic wastes. *African Journal of Biotechnology*, 10(64), 14242-14253.
- Khan, M. A., Ngo, H. H., Guo, W. S., Liu, Y., Nghiem, L. D., Hai, F. I., . . . Wu, Y. (2016). Optimization of process parameters for production of volatile fatty acid, biohydrogen and methane from anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 219(Supplement C), 738-748. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.073>
- Kinyua, M. N., Rowse, L. E., & Ergas, S. J. (2016). Review of small-scale tubular anaerobic digesters treating livestock waste in the developing world. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 896-910. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115017074>
- Kumanowska, E., Uruñuela Saldaña, M., Zielonka, S., & Oechsner, H. (2017). Two-stage anaerobic digestion of sugar beet silage: The effect of the pH-value on process parameters and process efficiency. *Bioresource Technology*, 245(Part A), 876-883. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.011>
- Latif, M. A., Mehta, C. M., & Batstone, D. J. (2017). Influence of low pH on continuous anaerobic digestion of waste activated sludge. *Water Research*, 113, 42-49. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135417300775>
- Lee, A. H., & Nikraz, H. (2014). BOD: COD ratio as an indicator for pollutants leaching from landfill. *Journal of Clean Energy Technologies*, 2, 263-266. doi: [https://espace.curtin.edu.au/bitstream/handle/20.500.11937/39491/203582\\_136963\\_137-E30005.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://espace.curtin.edu.au/bitstream/handle/20.500.11937/39491/203582_136963_137-E30005.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Li, Y., Park, S. Y., & Zhu, J. (2011). Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 821-826. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110002224>



- Lindner, J., Zielonka, S., Oechsner, H., & Lemmer, A. (2015). Effect of different pH-values on process parameters in two-phase anaerobic digestion of high-solid substrates. *Environmental Technology*, 36(2), 198-207. doi: <https://iahr.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330.2014.941944#.Wv3SJYgvzIU>
- Liu, D., Zhang, L., Chen, S., Buisman, C., & ter Heijne, A. (2016). Bioelectrochemical enhancement of methane production in low temperature anaerobic digestion at 10 C. *Water Research*, 99, 281-287. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135416302172>
- Machado, W. D., Marquetti, F., Molina, F., Gusils, C., & Quaiá, E. A. (2016). Caracterización de lodos como inoculantes para un reactor anaeróbico para el tratamiento de vinaza. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*, 93(2), 13-17. doi: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-30182016000200003](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30182016000200003)
- Mani, S., Sundaram, J., & Das, K. (2016). Process simulation and modeling: Anaerobic digestion of complex organic matter. *Biomass and Bioenergy*, 93, 158-167.
- Martí-Herrero, J., Alvarez, R., Cespedes, R., Rojas, M. R., Conde, V., Aliaga, L., . . . Danov, S. (2015). Cow, sheep and llama manure at psychrophilic anaerobic co-digestion with low cost tubular digesters in cold climate and high altitude. *Bioresource Technology*, 181, 238-246. doi: 10.1016/j.biortech.2015.01.063
- Martí-Herrero, J., Flores, T., Alvarez, R., & Perez, D. (2016). How to report biogas production when monitoring small-scale digesters in field. *Biomass and Bioenergy*, 84, 31-36. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953415301446>
- Mata-Alvarez, J., Macé, S., & Llabrés, P. (2000). Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*, 74(1), 3-16. doi: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00023-7)
- Medina, F., & Poleth, V. (2014). *Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica para un reactor anaerobio horizontal con material de soporte PET, con efluente de la industria láctea*. Quito: EPN, 2014.
- Mite, R. B., Ochoa, L. S., Osorio, B. G., Suatunce, P., Ocampo, E. D., & Arevalo, L. C. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador/Quality of water intended for human consumption in a canton of Ecuador. *Ciencia Unemi*, 9(20), 109-117.
- Moraes, B. S., Zaiat, M., & Bonomi, A. (2015). Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 888-903.
- Moset, V., Poulsen, M., Wahid, R., Højberg, O., & Møller, H. B. (2015). Mesophilic versus thermophilic anaerobic digestion of cattle manure: methane productivity and microbial ecology. *Microbial biotechnology*, 8(5), 787-800. doi: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1751-7915.12271>
- Neish, A. C. (1952). Analytical methods for bacterial fermentations. *Analytical methods for bacterial fermentations*.(46-8-3).
- Onojo, O., Chukwudebe, G., Okafor, E., Ononiwu, G., Chukwuchekwa, N., Opara, R., & Dike, D. (2013). Estimation Of The Electric Power Potential Of Human Waste Using Students Hostel Soak-Away Pits. *American Journal of Engineering Research*, 02 (9), 198-203. doi: [http://ajer.org/papers/v2\(9\)/Z029198203.pdf](http://ajer.org/papers/v2(9)/Z029198203.pdf)
- Orzi, V., Scaglia, B., Lonati, S., Riva, C., Boccasile, G., Alborali, G. L., & Adani, F. (2015). The role of biological processes in reducing both odor impact and pathogen content during mesophilic anaerobic digestion. *Science of the Total Environment*, 526, 116-126. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715004891>
- Osorio Saraz, J. A., Ciro Velásquez, H. J., & González Sánchez, H. (2007). Evaluación de un sistema de biodigestión en serie para clima frío. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 60(2).
- Pampillon-Gonzalez, L., Marco, L.-G., RUÍZ-VALDIVIEZO, V. M., Franco-Hernandez, O., Fernandez-Luqueno, F., Paredes-Lopez, O., . . . Dendooven, L. (2017). Greenhouse Gas Emissions and



- Growth of Wheat Cultivated in Soil Amended with Digestate from Biogas Production. *Pedosphere*, 27(2), 318-327.
- Pardo, G., Moral, R., & del Prado, A. (2017). SIMSWASTE-AD-A modelling framework for the environmental assessment of agricultural waste management strategies: Anaerobic digestion. *Science of the Total Environment*, 574, 806-817. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716320241>
- Pilarska, A. A., Pilarski, K., Witaszek, K., Waliszewska, H., Zborowska, M., Waliszewska, B., . . . Szwarc-Rzepka, K. (2016). Treatment of dairy waste by anaerobic co-digestion with sewage sludge. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 23(1), 99-115.
- Pohland, F., & Bloodgood, D. (1963). Laboratory studies on mesophilic and thermophilic anaerobic sludge digestion. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 11-42.
- Ponce, A. P., Cosío, E. C., Vega, Á. A., & Guevara, O. C. (2017). Efecto del digestato líquido fermentado sobre el comportamiento productivo de cerdos en ceba. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(9), 1-10.
- Ramón, A., Romero, F., & Simanca, J. (2013). Diseño de un biodigestor de canecas en serie para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de cerdo. *Revista Ambiental agua, aire y suelo*, 1(1).
- Rice, E., Baird, R., Eaton, A., & Lenore, S. (2012). Standard methods: For the examination water and wastewater, 22nd edn. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation: ISBN 978-087553-013-0, ISSN 55-1979.
- Riggio, S., Hernández-Shek, M., Torrijos, M., Vives, G., Esposito, G., Van Hullebusch, E., . . . Escudí, R. (2017). Comparison of the mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of spent cow bedding in leach-bed reactors. *Bioresource Technology*, 234, 466-471. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417301797>
- Rodríguez, Muñoz, A., & Pérez, P. (2015). Caracterización microbiológica de agentes metanogénicos sobre productores de biometano en condiciones mesofílicas para lodos de tenerías. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 1(2), 1963-1967. doi: [http://ojs.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/1876/1029](http://ojs.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/1876/1029)
- Rodríguez, Regueiro, L., Carballa, M., Hospido, A., & Lema, J. (2014). Assessing anaerobic co-digestion of pig manure with agroindustrial wastes: The link between environmental impacts and operational parameters. *Science of the Total Environment*, 497, 475-483.
- Rodríguez, C., Alaswad, A., Mooney, J., Prescott, T., & Olabi, A. (2015). Pre-treatment techniques used for anaerobic digestion of algae. *Fuel processing technology*, 138, 765-779.
- Rodríguez, D., Belmonte, M., Penuela, G., Campos, J., & Vidal, G. (2011). Behaviour of molecular weight distribution for the liquid fraction of pig slurry treated by anaerobic digestion. *Environmental Technology*, 32(4), 419-425.
- Santamaría, A., Albizuri, J., Nussbaum, B., Zhao, H., & Lemaire, R. (2016). Procesos avanzados de eliminación de nitrógeno: Anita Mox con configuración IFAS. *Industria química*(37), 64-72. doi: <http://www.tecnoaqua.es/media/uploads/noticias/documentos/articulo-tecnico-procesos-avanzados-eliminacion-nitrogeno-veolia-tecnoaqua-es.pdf>
- Schoell, M. (1980). The hydrogen and carbon isotopic composition of methane from natural gases of various origins. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44(5), 649-661.
- Soria Fregoso, M. d. J., Ferrera Cerrato, R., Etchevers Barra, J., Alcántar González, G., Trinidad Santos, J., Borges Gómez, L., & Pereyda Pérez, G. (2001). Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoamericana*, 19(4).
- Sun, H., Luo, S., Jin, R., & He, Z. (2015). Multitask lasso model for investigating multimodule design factors, operational factors, and covariates in tubular microbial fuel cells. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 3(12), 3231-3238. doi: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acssuschemeng.5b00820>
- Taiganides, E. P., & R Girón Sánchez, E. (1996). *Manual para el manejo y control de aguas residuales y excretas porcinas en México*: Consejo Mexicano de Porcicultura.



- Triolo, J. M., Sommer, S. G., Møller, H. B., Weisbjerg, M. R., & Jiang, X. Y. (2011). A new algorithm to characterize biodegradability of biomass during anaerobic digestion: influence of lignin concentration on methane production potential. *Bioresource Technology*, *102*(20), 9395-9402.
- Van Doren, L. G., Posmanik, R., Bicalho, F. A., Tester, J. W., & Sills, D. L. (2017). Prospects for energy recovery during hydrothermal and biological processing of waste biomass. *Bioresource Technology*, *225*, 67-74. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416315358>
- Vanwonterghem, I., Jensen, P. D., Ho, D. P., Batstone, D. J., & Tyson, G. W. (2014). Linking microbial community structure, interactions and function in anaerobic digesters using new molecular techniques. *Current opinion in biotechnology*, *27*, 55-64.
- Varnero, M. T., Carú, M., Galleguillos, K., & Achondo, P. (2012). Tecnologías disponibles para la Purificación de Biogás usado en la Generación Eléctrica. *Información tecnológica*, *23*(2), 31-40.
- Wang, H.-L., Hu, Z.-H., Tong, Z.-L., Xu, Q., Wang, W., & Yuan, S. (2014). Effect of arsanilic acid on anaerobic methanogenic process: Kinetics, inhibition and biotransformation analysis. *Biochemical engineering journal*, *91*, 179-185. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369703X14002289>
- Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *85*(4), 849-860. doi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-009-2246-7>
- Xie, S., Wu, G., Lawlor, P. G., Frost, J. P., & Zhan, X. (2012). Methane production from anaerobic co-digestion of the separated solid fraction of pig manure with dried grass silage. *Bioresource Technology*, *104*, 289-297. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852411016877>
- Yang, L., Huang, Y., Zhao, M., Huang, Z., Miao, H., Xu, Z., & Ruan, W. (2015). Enhancing biogas generation performance from food wastes by high-solids thermophilic anaerobic digestion: effect of pH adjustment. *International Biodeterioration & Biodegradation*, *105*, 153-159. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830515300846>
- Yuan, H., & Zhu, N. (2016). Progress in inhibition mechanisms and process control of intermediates and by-products in sewage sludge anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *58*, 429-438. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115016445>
- Zahedi, S., Solera, R., Micolucci, F., Cavinato, C., & Bolzonella, D. (2016). Changes in microbial community during hydrogen and methane production in two-stage thermophilic anaerobic co-digestion process from biowaste. *Waste Management*, *49*, 40-46. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16300162>
- Zehnder, A., Ingvorsen, K., & Marti, T. (1982). *Microbiology of methane bacteria*. Paper presented at the Anaerobic digestion 1981: proceedings of the Second International Symposium on Anaerobic Digestion held in Travemünde, Federal Republic of Germany, on 6-11 September, 1981/editors, DE Hughes...[et al.].
- Zhang, J., Zhang, Y., Quan, X., & Chen, S. (2015). Enhancement of anaerobic acidogenesis by integrating an electrochemical system into an acidogenic reactor: effect of hydraulic retention times (HRT) and role of bacteria and acidophilic methanogenic Archaea. *Bioresource Technology*, *179*, 43-49. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852414017167>
- Zhang, T., Mao, C., Zhai, N., Wang, X., & Yang, G. (2015). Influence of initial pH on thermophilic anaerobic co-digestion of swine manure and maize stalk. *Waste Management*, *35*, 119-126. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X14004255>





## **CAPITULO VII**

### **ANEXOS**

Anexo 1. Ubicación del proyecto de investigación dentro de las instalaciones del CIPCA.

### UBICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN EL CIPCA



1:1,250



0 0.0125 0.025 0.05 Miles



ELABORADO POR: EDWIN COLLAHUASO

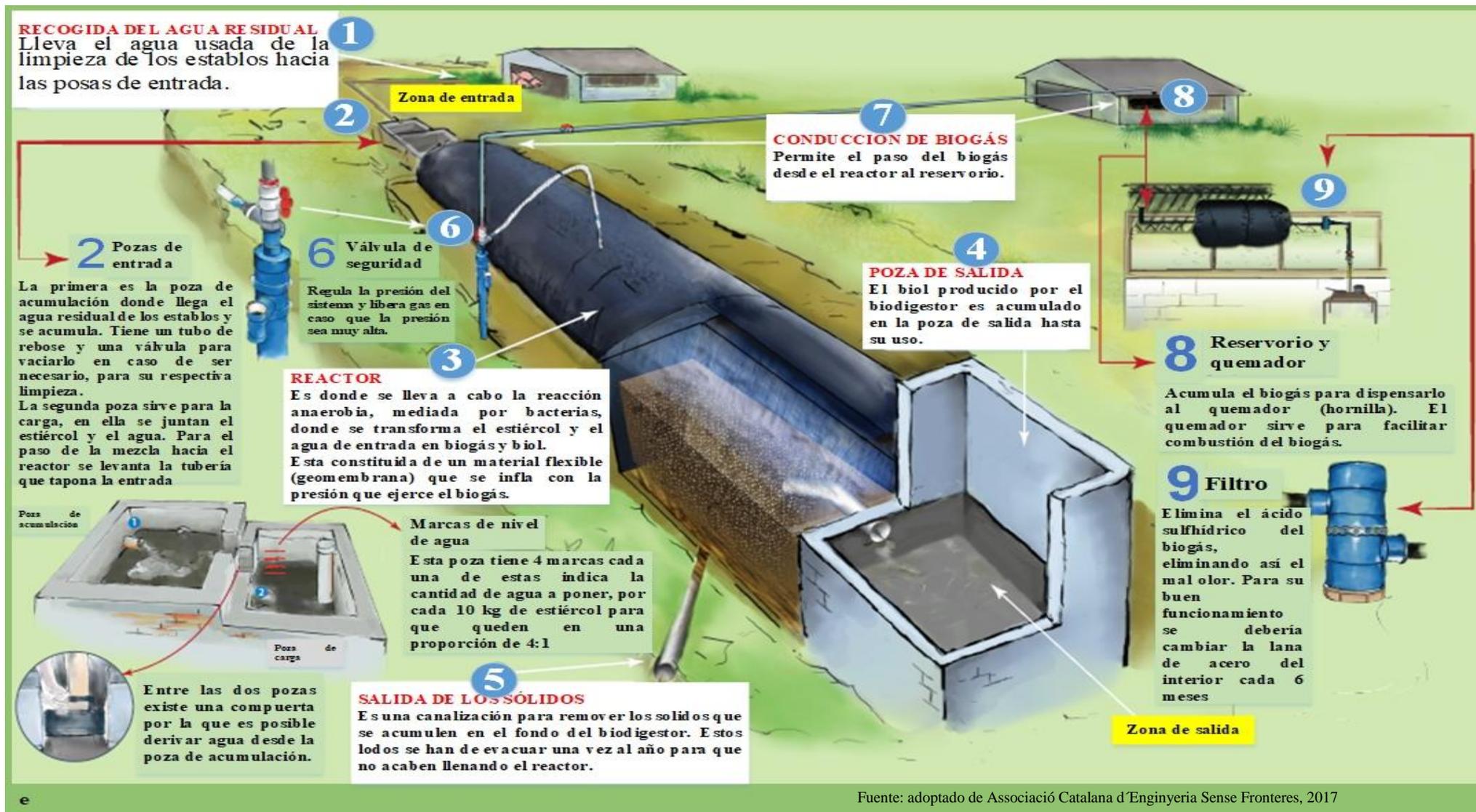
Fuente: Collahuaso E, (2018).

Anexo 2. Puntos del muestreo para controlar los parámetros de control.



Fuente: Collahuaso E, (2018)

Anexo 3. Flujograma del funcionamiento del biodigestor tubular instalado en el CIPCA.





Anexo 4. Datos recopilados durante la elaboración del proyecto en el campo.

DÍA DE LA MUESTRA	HORA	ESTIÉRCOL ADULTO (KG)	ESTIÉRCOL DESTETE (KG)	TOTAL DEL ESTIÉRCOL	CANTIDAD AGUA (L)	LECTURA CONTADOR DE GAS 2 PARTE INTERIOR (M <sup>3</sup> )	LECTURA CONTADOR DE GAS 1 PARTE EXTERIOR (M <sup>3</sup> )	DURACIÓN DE LA QUEMADA DEL BIOGÁS Y OBSERVACIONES				TEMPERATURA DEL BIODIGESTOR	
								Antes	Después	Total consumido		Geomembrana (°C)	Entrada y Salida (°C)
										(M3)	Tiempo		
29/07/2017	09:00	7	1	8	35	27887	14586	27887	28395	508	1:15"13`	58	22.7
30/07/2017	09:00	7	1	8	35	28395	14641	28595	29291	696	1:29"54`	40.5	23.1
31/07/2017	09:00	7	3	10	40	29291	14641	29291	29446	155	0:28"17`	66.6	25.1
01/08/2017	09:00	7.5	2.5	10	40	29446	14641	29446	30096	650	1:26"46`	56.8	24.2
02/08/2017	09:00	5	4	9	35	30096	14641	30596	30622	26	0:15"11`	69.7	23.1
03/08/2017	09:00	6	3	9	35	30622	14696	30622	30722	100	0:25"35`	71.5	24.2
04/08/2017	09:00	7	4	11	50	30722	14714	30722	31322	600	1:23"18`	42.3	22.3
07/08/2017	09:00	7	3	10	40	31577	14840	31577	32007	430	1:11"03`	66.4	24.6
08/08/2017	09:00	6	2	8	30	32007	14881	32007	32432	425	1:09"54`	69.2	25.4
09/08/2017	09:00	7	3	10	40	32432	14933	32432	32852	420	1:08"58`	59.5	23.3
10/08/2017	09:00	6	4	10	40	32852	14989	32852	33286	434	1:10"56`	66.8	34.5
11/08/2017	09:00	7	3	10	40	33286	15043	33286	33705	419	1:07"35`	69.4	23.2
14/08/2017	09:00	7	3	10	40	34082	15467	34082	34343	261	0:35"45`	69.7	23.4
15/08/2017	09:00	7	2	9	35	34343	15527	34343	34767	424	1:07"26`	64.1	23.7
16/08/2017	09:00	7	3	10	40	34767	15527	34767	35024	257	0:32"51`	71	25.1
17/08/2017	09:00	10	2	12	55	35024	15546	35024	35671	647	1:43"13`	66.4	24.9
18/08/2017	09:00	5	2	7	30	35331	15581	35331	35731	400	1:03"42`	40.5	21.9
21/08/2017	09:00	7	4	11	11	35740	15954	35740	35975	235	0:34"45`	38.4	24.4
22/08/2017	09:00	6	4	10	40	35975	15955	35975	36264	289	0:45"34`	42.3	22.3



23/08/2017	09:00	5	4	9	35	36264	16010	36264	36610	346	0:47"37`	70.5	26.2
24/08/2017	09:00	7	3	10	40	36610	16010	36610	36713	103	0:437"17`	65.3	23.6
25/08/2017	09:00	8	3	11	45	36713	16237	36713	36953	240	0:41"23`	56.2	21.9
28/08/2017	09:00	10	8	18	70	38812	16237	38812	38953	141	0:25"56`	56.5	25.6
29/08/2017	09:00	6	4	10	40	38953	16238	38953	39201	248	0:30"42`	64.4	22.7
30/08/2017	09:00	6	4	10	40	39201	16238	39201	39623	422	1:10"54`	69.3	22.1
31/08/2017	09:00	7	6	13	55	39623	16238	39623	40168	545	1:20"38`	71.6	22.4
01/09/2017	09:00	7	3	10	40	40168	16238	40168	40778	610	1:14"09`	69.6	24.4
04/09/2017	09:00	7	4	11	45	40778	16435	40778	41499	721	1:47"36`	58	21
05/09/2017	09:00	7	3	10	40	41499	16435	41499	41658	159	0:38"37`	57	22
06/09/2017	09:00	5	5	10	40	41658	16435	41658	41878	220	0:48"29`	59	22
07/09/2017	09:00	8	5	13	55	41878	16530	41878	42440	562	1:25"17`	63	23
12/09/2017	09:00	5	4	9	35	44640	16578	44640	45175	535	1:13"06`	48	25.2
13/09/2017	09:00	6	6	12	50	45242	16578	45242	45647	405	1:05"18`	29	23.3
14/09/2017	09:00	6	6	12	50	45647	16578	45647	46323	676	1:37"32`	50.4	26.9
15/09/2017	09:00	6	7	13	55	46323	16578	46323	46772	449	0:42"01`	36.6	24
18/09/2017	09:00	8	6	14	60	47547	17178	47547	47963	416	0:48"02`	34.5	22.5
20/09/2017	09:00	5	6	11	45	47963	17182	47963	48802	839	1:38"03`	62.1	27.2
21/09/2017	09:00	6	8	14	60	48802	17195	48802	49426	624	1:19"52`	53.4	26.1
22/09/2017	09:00	5	5	10	40	49426	17195	49426	49821	395	0:34"16`	23.6	23.6

En el siguiente se da a conocer lo análisis realizado in-sito.

Anexo 5. Análisis físicos in-sito en los diferentes puntos del biorreactor

FECHA	ENTRADA DEL BIODIGESTOR															SALIDA DEL BIODIGESTOR														
	MUESTRA 1 Primera poza de acumulación de aguas residuales de los establos					MUESTRA 2 Tubería de entrada en la segunda poza					MUESTRA 3 Mezcla del estiércol con el agua en la poza de carga					MUESTRA 1 Poza de salida del biol flotante					MUESTRA 2 Tubería de análisis sumergido en la poza del biol					MUESTRA 3 Tubería de salida del biodigestor al momento de la producción del biol				
	TE MP 1 (°C)	pH	CON D (ms/ cm)	TS D	SA LI	TE MP 2 (°C)	pH	CON D (ms/ cm)	TS D	SA LI	TE MP 3 (°C)	pH	CON D (ms/ cm)	TS D	SA LI	TE MP 4 (°C)	pH	CON D (ms/ cm)	TS D	SA LI	TE MP 5 (°C)	pH	CON D (ms/ cm)	TS D	SA LI	TE MP 6 (°C)	pH	CON D (ms/ cm)	TS D	SA LI
31/07/ 2017	24.8	6.73	4.45	3.12	2.2	24.8	6.76	4.07	3.01	2.11	24.8	6.66	4.06	3.04	2.13	24.8	7.2	3.35	2.66	1.87	24.8	7.16	3.75	2.71	1.89	24.8	7.17	3.8	2.7	1.9
01/08/ 2017	25.8	7.07	3.58	2.56	1.8	25.5	7.12	3.54	2.54	1.8	25.5	7.07	3.61	2.56	1.78	24.4	7.19	3.75	2.68	1.88	23.8	7.2	3.81	2.63	1.87	23.8	7.23	3.69	2.51	1.8
02/08/ 2017	25.5	7.1	3.55	2.5	1.78	25.4	7.13	3.6	2.68	1.85	25.5	7.08	3.6	2.55	1.7	25.6	7.2	3.7	2.6	1.7	25.9	7.18	3.79	2.8	1.92	24.8	7.08	3.73	2.6	1.85
03/08/ 2017	25	7.12	4.08	3	2.14	24.6	7.12	4.38	3.08	2.16	24.6	7.09	4.4	3.17	2.14	24.7	6.93	4.15	2.94	2.01	24.7	7.01	4.15	2.9	2	24.7	6.91	3.91	2.7	1.99
04/08/ 2017	22.8	7.61	2.72	1.94	1.38	22.8	7.38	3	2.15	1.53	22.7	7.55	2.74	2.04	1.44	23.4	2.27	3.73	2.66	1.87	23	7.3	3.66	2.69	1.83	23.6	6.94	4.1	2.94	2.04
07/08/ 2017	24.5	7.6	3.6	1.95	1.58	24.8	7.4	3.3	2	1.53	24.8	7.42	3.98	2.6	1.78	24.7	7.7	3.55	2.55	1.8	24.7	7.55	3.46	2.51	1.7	24.5	6.98	4.05	2.89	2.06
08/08/ 2017	25.3	7.56	3.55	2.05	1.52	25.4	7.43	3.42	1.98	2.6	25.4	7.25	3.8	2.34	1.92	25.5	7.08	3.6	2.58	1.79	25.5	7.68	3.51	2.58	1.68	25.5	7.03	4.1	2.91	2.07
09/08/ 2017	26.1	7.58	3.62	2.25	1.6	26	7.38	3.6	1.85	2.4	26	7.48	3.35	2.88	1.85	26.3	7.65	3.58	2.6	1.82	25.8	7.62	3.49	2.48	1.75	25.7	7.1	4.03	2.95	2.08
10/08/ 2017	25.6	7.69	3.6	2.3	1.78	25.5	7.35	3.35	1.92	2.38	25.5	7.52	3.52	2.71	1.75	25.5	7.66	3.6	2.45	2.78	25.5	7.58	3.61	2.55	1.73	25.5	7.02	4.02	2.93	2.07



11/08/2017	24.9	7.53	3.91	2.4	1.55	24.5	7.45	3.4	1.94	2.7	24.7	7.6	3.6	2.2	1.92	24.8	7.71	3.4	2.42	1.7	25	7.5	3.57	2.49	1.71	24.8	7.01	4.04	2.88	2.03
14/08/2017	25.9	7.91	2.76	1.94	1.38	24.2	7.98	2.13	1.07	1.51	24.9	7.94	2.86	2.03	1.43	25.2	7.6	3.64	2.57	1.8	25.2	7.58	3.52	2.51	1.77	25.3	7.01	4.14	2.94	2.08
15/08/2017	25.3	7.29	3.23	2.36	1.68	25.1	7.12	3.39	1.08	2.38	25	7.25	3.11	2.19	1.55	24.6	7.61	3.62	2.57	1.81	24.6	7.61	3.47	2.48	1.74	24.9	7.11	4.04	2.88	2.03
16/08/2017	28.7	7.51	3.11	2.2	1.55	26.9	7.78	3.9	2.01	2.83	27	7.66	3.84	2.79	1.98	27.2	7.66	3.56	2.53	1.78	27.3	7.66	3.39	2.43	1.73	27.3	7.7	4.07	2.92	2.07
17/08/2017	26.3	7.43	3.11	2.22	1.57	25.6	7.43	3.3	1.74	2.45	25.3	7.45	3.35	2.39	1.69	25.3	7.68	3.51	2.51	1.77	25.4	7.63	3.57	2.53	1.79	25.5	6.95	4.17	2.95	2.07
18/08/2017	25.7	7.43	3.91	2.78	1.96	25.3	7.43	4.42	2.21	3.13	25.2	7.5	4.3	3.11	2.19	25	7.76	3.55	2.49	1.75	25.5	7.69	3.49	2.48	1.79	25.6	7.03	4.05	2.86	2.02
21/08/2017	25.52	7.29	3.62	2.59	1.83	25.3	7.16	4.2	2.11	2.99	25.4	7.05	3.84	2.74	1.93	25	7.69	3.38	2.4	1.69	25.1	7.85	3.43	2.4	1.67	25.5	6.95	4.33	3.08	2.17
22/08/2017	21.42	7.59	3.6	1.09	0.77	21.9	7.32	2.59	1.31	2.85	21.9	7.63	3.92	2.72	1.9	21.8	7.7	3.38	2.42	1.71	21.8	7.78	3.32	2.34	1.63	22	7.03	4.15	2.96	2.08
23/08/2017	25.1	7.46	3.11	2.51	1.55	25	7.25	3.71	2.63	1.85	24.7	7.66	1.82	2.03	0.91	24.8	7.54	3.41	2.42	1.71	24.8	7.52	3.4	2.42	1.7	25.5	6.97	4.1	2.94	2.07
24/08/2017	25.5	7.4	3.15	2.31	1.57	25.6	7.28	3.75	2.6	1.82	25.5	7.62	3.72	2.35	0.96	25.3	7.55	3.4	2.4	1.7	25.5	7.5	3.42	2.4	1.71	25.5	7.01	4.11	2.96	2.08
25/08/2017	21.11	7.14	8.3	61.4	0.43	21.3	7.3	1.97	1.41	0.98	21.3	7.66	1.55	1.11	0.78	21.2	7.46	3.43	2.46	1.75	21.3	7.48	3.44	2.46	1.72	21.8	6.94	3.97	2.83	2
28/08/2017	24.1	7.63	4.09	29.9	0.3	24.3	7.19	3.75	2.78	1.46	24.5	7.68	1.55	0.95	0.7	24.3	7.25	3.69	2.53	1.8	24.3	7.4	3.54	2.38	1.79	24.2	7.04	4.06	2.9	2.02
29/08/2017	21.1	7.9	3.92	27.4	0.23	21.1	7.25	3.71	2.6	1.45	21	8.12	1.55	0.95	0.67	21.2	7.3	3.62	2.57	1.81	21.2	7.42	3.53	2.6	1.8	21.3	7.02	4.05	2.93	2.03
30/08/2017	22.5	7.94	6.72	47.9	0.34	22.4	7.21	2.93	2.08	1.46	22	7.66	1.55	0.99	0.7	22.2	7.26	3.57	2.54	1.79	22.3	7.31	3.67	2.61	1.83	22.2	6.98	4.1	2.91	2.05
31/08/2017	31.1	7.63	4.08	29.0	0.2	24.2	7.7	1.35	0.96	0.68	23.9	7.54	1.55	1.07	0.75	24	7.25	3.49	2.48	1.74	24.2	7.26	3.47	2.48	1.74	24.1	7.01	4.09	2.9	2.04
01/09/	25.	8.	1.6	1.	0.	23.	6.	1.35	1.	0.	23.	8.	2.2	1.	1.	23.	7.	3.44	2.	1.	23.	7.	3.35	2.	1.	23.	6.	4.22	3	2.



2017	5	25		14	81	4	92	7	36	96	2	12		57	1	2	29		46	75	3	46		38	68	5	92				11
04/09/2017	28.6	7.51	1.175	817	0.57	28.2	6.94	1.357	1.32	0.93	27.7	7.63	1.805	1.29	0.91	27.2	7.29	3.62	2.58	1.82	26.9	7.2	3.65	2.59	1.83	27.7	7.01	4.29	3.04	2.13	
05/09/2017	25.6	7.78	1.18	813	0.61	25.1	6.96	1.357	1.4	0.8	25.1	7.62	1.813	1.3	0.8	25.3	7.31	3.6	2.51	1.86	25.2	7.18	3.6	2.6	1.81	25.4	7.03	4.3	3.12	2.05	
06/09/2017	22.1	8.13	1.508	1.81	0.81	23.1	7.2	1.357	1.32	0.62	22.8	7.68	1.625	1.18	0.79	22.5	7.3	3.68	2.53	1.8	22.3	7.35	3.66	2.71	1.79	22.3	7.01	4.24	3.03	2.07	
07/09/2017	24.4	8.24	1.516	1.07	0.75	25.1	7.16	1.357	795	0.55	24.3	7.64	1.63	1.16	0.81	24.3	7.31	3.66	2.59	1.83	24.3	7.3	3.62	2.57	1.8	24.8	7.07	4.18	2.96	2.08	
12/09/2017	25.5	8.34	1.659	1.18	0.83	25.1	7.99	2.04	1.46	1.03	25.2	7.66	1.628	1.23	0.8	24.9	7.47	3.66	2.6	1.83	24.9	7.41	3.74	2.66	1.18	25.2	7.04	3.98	2.83	1.99	
13/09/2017	25	7.63	6.59	438	0.31	25.1	7.3	2.07	2.6	1.46	24.5	7.61	0.972	690	0.48	24.2	7.46	3.44	2.45	1.79	24.4	7.46	3.67	2.61	1.85	24.4	6.94	4.41	3.13	2.21	
14/09/2017	26.7	7.92	5.82	413	0.29	26.7	7.05	1239	875	0.62	26.5	7.7	1.933	1.37	0.97	26.4	7.54	3.64	2.57	1.81	26.4	7.54	3.66	2.6	1.83	26.4	6.94	4.37	3.1	2.18	
15/09/2017	24.1	8.15	1.208	854	0.6	24.7	6.88	2.01	1.42	1	24.4	7.73	2.15	1.53	1.08	24.4	7.54	3.68	2.61	1.84	24.1	7.59	3.55	2.53	1.79	24.5	7.01	4.4	3.12	2.19	
18/09/2017	24.3	8.13	1.203	823	0.61	24.5	7.7	1.696	1.32	0.96	24.6	7.7	2.33	1.71	1.21	24.5	7.3	3.9	2.71	1.92	24.4	7.29	4.04	2.87	2.04	25.01	7.01	4.29	3.13	2.18	
19/09/2017	25.1	8.33	1.229	926	0.51	25.3	7.86	1.696	1.3	0.9	25.7	7.76	2.29	1.56	1.18	25.2	7.47	3.97	2.86	1.98	25.4	7.4	4.03	2.91	2.08	25.3	6.99	4.3	3.31	2.2	
20/09/2017	29.2	8.11	1.129	800	0.56	27.8	7.74	1.696	1.29	0.91	27.6	7.75	2.3	1.64	1.16	27.6	7.36	3.92	2.79	1.95	27.9	7.38	4.01	2.85	2	27.8	7.08	4.33	3.07	2.16	
21/09/2017	26	8.18	1.318	937	0.66	26	8.12	2.2	1.56	1.1	26.3	7.7	2.34	1.72	1.13	25.8	7.31	4.03	2.87	2.02	25.7	7.38	4.03	2.86	2.03	26.4	7.01	4.53	3.22	2.26	

Anexo 6. Análisis de laboratorio de los parámetros de la DQO y DBO<sub>5</sub>

**Lacquanálisis S.A.**  
soluciones ambientales

\*Contribuimos a la protección ambiental con análisis de laboratorio confiables  
[www.lacquanalisis.com](http://www.lacquanalisis.com)

### INFORME DE RESULTADOS

<b>LABORATORIO DE ENSAYO, ACREDITADO POR OAE CON ACREDITACIÓN NR OAE LE C 11-010</b>	<b>DATOS DEL CLIENTE</b>		<b>Versión:</b> 9
	<b>CLIENTE:</b>	Edwin Collahuaso	<b>Pág.:</b> 1 de 1
	<b>REPRESENTANTE:</b>	-----	<b>Código:</b> REG TEC 018
	<b>DIRECCION:</b>	Ceslaow y Juan de Velasco	<b>Fecha formato:</b> 20/03/2017
	<b>TELEFONO:</b>	-----	<b>NÚMERO DE INFORME:</b>
	<b>CELULAR:</b>	0986789211	LACQUA 1 8- 2  3  5  3
<b>e - mail:</b>	marianocollahuaso4@gmail.com		

<b>CONDICIONES AMBIENTALES</b>	<b>HUMEDAD (%):</b> 47	<b>TEM. AMBIENTE(°C):</b> 21
--------------------------------	------------------------	------------------------------

<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua Residual - Mezclado de orinas y estiércol de cerdo de lavdo de corrales
<b>RESPONSABLE MUESTREO:</b>	Cliente <span style="float: right;"><b>FECHA TOMA DE MUESTRA:</b> 10 de mayo de 2018</span>
<b>TIPO DE TOMA DE MUESTRA:</b>	Puntual
<b>FECHA DE ANALISIS:</b>	Desde el 10 al 21 de mayo de 2018
<b>FECHA EMISION DE INFORME:</b>	21 de mayo de 2018

### INFORME ANALISIS FISICO-QUIMICOS

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO	INCERTIDUMBRE DEL METODO
DQO	mg/l	2161	PRO TEC 014 / APHA 5220 D	± 18,30 %
DBO <sub>5</sub> *	mg/l	1113,61	PRO TEC 066 / HACH 8043	± 3,72 %

\* Parámetro acreditado  
 \*\* Parámetro No acreditado  
 \*\*\* Parámetro Subcontratado Acreditado: N/A  
 \*\*\*\* Parámetro Subcontratado No Acreditado: N/A

**PERSONAL RESPONSABLE:**

Ing. María José Tapia  
**ANALISTA**

**Lacquanálisis S.A.**  
 soluciones ambientales

Dr. Harold Jiménez  
**DIRECTOR TECNICO**

**NOTA:**  
 El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo  
 Teléfono: (03) 2420 106 · Móvil: 099-5363620 · info@lacquanalisis.com  
 Ambato, Ecuador - Sud América

### Actividades de cumplimiento en el lugar de trabajo



### Actividades de trabajo en los puntos de muestreo y toma de datos

