

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y**  
**AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES**



**“OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE REACTORES ANAEROBIOS**  
**CON RESIDUOS EN CENTROS DE FAENAMIENTO EN EL CANTÓN**  
**IBARRA”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**  
**INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**AUTOR:**

**PAÚL ANDRÉS CADENA PAUCAR**

**DIRECTOR**

**Ing. GRANJA RUALES JORGE EDWIN MSc.**

**FEBRERO – 2023**

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios que me a cuidado todos los días, brindándome su protección en esta etapa de mi vida.

Un agradecimiento eterno a mi padre Simón Cadena (+) y mi madre Marianita Paucar por estar siempre a mi lado, cuidándome y consintiendo como solo ellos lo saben hacer, por darme este enorme regalo que es la educación, por guiarme y enseñarme el valor del respeto, amor y gratitud.

A mis hermanas y hermanos Paulina, Bolívar, David, Christian, Andrea y Frank, quienes siempre me brindaron su apoyo, me han motivado y me han levantado en mis peores momentos.

A mi tíos Robert Cadena y Mónica Cadena quienes confiaron en mí y me supieron darme su apoyo incondicional, compartir sus conocimientos, sus consejos y experiencia.

A mis primas y primos María Soledad, Paola, Timoty Toala, Daniel, Melanie Cadena, Steve, Francisco Silva, Marisol, Andrea, Jessica Galeano y Paúl Salazar quienes me brindan su apoyo y cariño, viviendo grandes aventuras juntos.

Un agradecimiento especial a mi director de trabajo de titulación, MSc. Jorge Granja, por acompañarme, preocupación y por compartir sus conocimientos con el fin de culminar mis estudios. A mis asesores Dr. Juan Carlos García, MSc Santiago Cabrera y MSc Luis Álvarez, por compartir sus conocimientos y experiencia a lo largo de esta etapa universitaria.

Un agradecimiento al MSc Pablo Rueda, quien me guio y apoyo para la realización de este trabajo de investigación. Que Dios le bendiga siempre.

A la Universidad Técnica del Norte por brindarme la oportunidad de formarme como un profesional con valores y principios.

Agradecer a mis amigos y amigas por su apoyo dentro y fuera de las aulas, por los momentos vividos que se quedaran guardados en mi memoria para siempre.

## DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios, quien me brinda su amor y protección.

A mi padre Simón Cadena (+) que desde el cielo me cuida y me brinda su protección, a mi madre Marianita Paucar por estar siempre a mi lado, con su gran amor, paciencia y motivación me a brindado la oportunidad de educarme para ser un buen profesional.

A mis hermanos y hermanas, que no han dejado de apoyarme, motivándome día a día para la culminación de mis estudios.

A mis hermanos David y Christian quienes estuvieron en todo momento a mi lado, guiándome y dándome consejos que me formaran como un gran ser humano.

A mi hermana Andrea Mariana Cadena Paucar quien no solo es mi hermana, sino mi mejor amiga, confidente y mi segunda madre. Gracias, hermana mía por ser la persona que nunca me ha dejado solo, por compartir tu amor y cariño conmigo, luchando juntos hasta el fin de nuestras vidas.

A todos mis sobrinas, sobrinos, cuñados y cuñadas quienes forman parte importante en mi vida, especialmente a mi cuñada Yadira Larreta quien con su apoyo y sus ocurrencias siempre me sacan una sonrisa.

A mi sobrina Cristali, mis sobrinos Alan y Simón son lo más importante que tengo en la vida, el amor que me dan es la fuerza que necesito para salir adelante, a pesar de las dificultades del camino.

A mis amigos dentro y fuera del aula quienes me han brindado ese gran don de la amistad, me han acompañado en este largo camino, les estoy eternamente agradecido.

REPUBLICA DEL ECUADOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
CARRERA ENERGÍAS RENOVABLES



**CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Ibarra, 22 febrero 2023.

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: "OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE REACTORES ANAEROBIOS CON RESIDUOS EN CENTROS DE FAENAMIENTO EN EL CANTÓN IBARRA", de autoría del señor Paúl Andrés Cadena Paucar estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA ENERGÍAS RENOVABLES** el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que el autor o autores ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

FIRMA

MSc Jorge Granja  
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

MSc Juan García, PhD  
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc Luis Álvarez  
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

REPÚBLICA DEL ECUADOR



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**CARRERA ENERGÍAS RENOVABLES**



**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA  
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte de manera digital para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA:	1004498406
NOMBRES Y APELLIDOS:	Paúl Andrés Cadena Paucar
DIRECCIÓN:	Abelardo Moncayo 3-99 Juan de Dios Navas
EMAIL:	Andres94.ap3.pac@gmail.com
TELEFONO FIJO Y MOVIL:	0985903013

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE REACTORES ANAEROBIOS CON RESIDUOS EN CENTROS DE FAENAMIENTO EN EL CANTÓN IBARRA”
AUTOR:	Paúl Andrés Cadena Paucar
FECHA:	22 febrero 2023
SOLO PARA TRABAJO DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PRESGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Energías Renovables
DIRECTOR:	Granja Ruales Jorge Edwin, MSc

REPÚBLICA DEL ECUADOR



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**CARRERA ENERGÍAS RENOVABLES**



## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 22 días del mes de febrero del 2023

**EL AUTOR:**

**Nombre:** Paúl Andrés Cadena Paucar

## Índice de Contenido

RESUMEN .....	XIV
ABSTRACT .....	XV
Capítulo I.....	1
Introducción.....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Planteamiento del problema y justificación .....	2
1.3. Pregunta directriz .....	5
1.4. Objetivos de la investigación .....	5
1.4.1. Objetivo general .....	5
1.4.2. Objetivos específicos .....	5
1.5. Hipótesis .....	5
Capítulo II.....	6
Marco Teórico .....	6
2.1 Revisión literaria.....	6
2.1.1 Gestión de Residuos .....	6
2.1.2 Gestión Ambiental de Residuos en Camales .....	6
2.1.3 Composición de Aguas Residuales de Camal .....	6
2.1.4 Características físicas .....	7
2.1.4.1 Sólidos totales .....	7
2.1.4.2 Materia Suspendida .....	7
2.1.4.3 Componentes orgánicos .....	7
2.1.5 Procesos de la Digestión Anaerobia .....	8
2.1.6 Fases de la Fermentación Anaerobia .....	8
2.1.7 Temperatura.....	9
2.1.8 Potencial de Hidrogeno (pH).....	9
2.1.9 Reactores Anaerobios .....	9

2.1.10	Reactor de Flujo Ascendente (UASB).....	10
2.1.11	Variaciones de Flujo y Carga .....	10
2.1.12	Fracción de Material Orgánico no Disuelto .....	10
2.2	Análisis Estadístico.....	11
2.2.1	Análisis de Varianza ANOVA .....	11
2.2.2	Prueba de Normalidad de Shapiro Wilks .....	11
2.2.3	Test LSD de Fisher.....	11
2.3	Marco legal .....	11
2.3.1	Constitución de la República del Ecuador.....	11
2.3.2	Plan de Creación de Oportunidades 2021 - 2025 .....	11
Capítulo III	.....	13
Metodología.....	.....	13
3.1	Área de Estudio.....	13
3.2	Recolección de Residuos Sólidos, Líquidos y Estiércol Vacuno .....	14
3.3	Caracterización de Residuos .....	15
3.4	Preparación de Muestras para el Análisis Elemental .....	16
3.5	Preparación de Muestras para el Análisis Proximal .....	16
3.6	Construcción de los Reactores UASB .....	17
3.6.1	Características de los Reactores UASB.....	17
3.7	Diseño Experimental.....	18
3.7.1	Preparación de la Mezcla.....	18
3.7.2	Mezcla Óptima .....	18
3.7.3	Relación Agua Sustrato .....	19
3.7.4	Monitoreo de Temperatura .....	19
3.7.5	Monitoreo de pH.....	19
3.8	Ensayos de Biodegradabilidad Anaerobia de las Mezclas Residuos-Estiércol Vacuno.....	20



3.9	Medición de Biogás .....	21
3.10	Evaluación de los Procesos Anaerobios en los Reactores .....	22
3.10.1	Operación del Reactor .....	22
3.10.2	Monitoreo .....	22
3.10.3	Producción de Biofertilizante .....	22
3.11	Modelo Estadístico.....	23
3.11.1	Prueba de Normalidad de Shapiro Wilks .....	23
3.11.2	Análisis de Varianza ANOVA .....	23
3.11.3	Test LSD de Fisher .....	24
Capítulo IV .....		25
Resultados y Discusión.....		25
4.1	Análisis físico-químicas de los residuos y estiércol vacuno.....	25
4.1.1	Toma de datos del Centro de Faenamiento .....	25
4.1.2	Clasificación de residuos orgánicos .....	25
4.1.3	Análisis elemental de la materia orgánica .....	26
4.1.4	Análisis proximal de la materia orgánica .....	29
4.2	Mezcla para la generación de biogás .....	31
4.2.1	Características del Reactor .....	31
4.2.2	Sustrato de operación.....	32
4.2.3	Relación Carbono/Nitrógeno.....	34
4.2.4	Sistema de agitación y homogenización del sustrato .....	34
4.3	Comportamiento de la mezcla optima en el funcionamiento de los reactores UASB.....	35
4.3.1	Monitoreo de temperatura .....	35
4.3.2	Monitoreo de pH.....	36
4.3.3	Nutrientes en los Reactores .....	36
4.3.4	Producción de Biogás .....	37

4.4	Análisis estadístico.....	38
4.4.1	Prueba de normalidad Shapiro Wilks .....	39
4.4.2	Análisis de varianza ANOVA .....	39
4.4.3	Test LSD Fisher.....	40
Capítulo V.....		41
Conclusiones y Recomendaciones.....		41
5.1	Conclusiones.....	41
5.2	Recomendaciones .....	42
Referencias .....		43

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Cantidad producida de contenido ruminal, estiércol vacuno y sangre</i> .....	25
<b>Tabla 2</b> <i>Promedio de los residuos orgánicos</i> .....	26
<b>Tabla 3</b> <i>Análisis de carbono, nitrógeno, hidrogeno y azufre</i> .....	26
<b>Tabla 4</b> <i>Contenido de carbono de las muestras</i> .....	27
<b>Tabla 5</b> <i>Contenido de nitrógeno de las muestras</i> .....	27
<b>Tabla 6</b> <i>Contenido de hidrogeno de las muestras</i> .....	28
<b>Tabla 7</b> <i>Contenido de azufre de las muestras</i> .....	29
<b>Tabla 8</b> <i>Análisis de humedad, solidos volátiles y solidos totales</i> .....	29
<b>Tabla 9</b> <i>Contenido de humedad de las muestras</i> .....	30
<b>Tabla 10</b> <i>Características geométricas de los reactores UASB</i> .....	32
<b>Tabla 11</b> <i>Porcentajes de materia orgánica en la mezcla 1</i> .....	32
<b>Tabla 12</b> <i>Porcentajes de materia orgánica en la mezcla 2</i> .....	33
<b>Tabla 13</b> <i>Porcentajes de materia orgánica en la mezcla 3</i> .....	33
<b>Tabla 14</b> <i>Relación C/N de las mezclas</i> .....	34
<b>Tabla 15</b> <i>Características del sistema de homogenización del sustrato</i> .....	35
<b>Tabla 16</b> <i>Porcentajes de nutrientes en los reactores</i> .....	37
<b>Tabla 17</b> <i>Datos ingresados al software INFOSTAT</i> .....	38
<b>Tabla 18</b> <i>Prueba de normalidad Shapiro Wilks</i> .....	39
<b>Tabla 19</b> <i>Análisis de varianza de la producción de biogás</i> .....	39
<b>Tabla 20</b> <i>Comparación LSD de Fisher</i> .....	40

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Fases de la fermentación anaerobia</i> .....	8
<b>Figura 2</b> <i>Área de estudio</i> .....	13
<b>Figura 3</b> <i>Área de estudio para la recolección de la materia orgánica</i> .....	14
<b>Figura 4</b> <i>Recolección del Contenido Ruminal y almacenamiento</i> .....	15
<b>Figura 5</b> <i>Caracterización de Residuos</i> .....	15
<b>Figura 6</b> <i>Toma de muestra de la sangre</i> .....	16
<b>Figura 7</b> <i>Construcción de los reactores AUSB</i> .....	17
<b>Figura 8</b> <i>Mezclas</i> .....	18
<b>Figura 9</b> <i>Termometro Digital</i> .....	18
<b>Figura 10</b> <i>pH/Litmus plus</i> .....	20
<b>Figura 11</b> <i>Bomba manual de diafragma</i> .....	21
<b>Figura 12</b> <i>Medición de biogás</i> .....	22
<b>Figura 13</b> <i>Producción de biofertilizante solido</i> .....	23
<b>Figura 14</b> <i>Porcentaje de carbono en cada muestra</i> .....	27
<b>Figura 15</b> <i>Porcentaje de nitrógeno en cada muestra</i> .....	28
<b>Figura 16</b> <i>Porcentaje de hidrogeno en cada muestra</i> .....	28
<b>Figura 17</b> <i>Porcentaje de azufre en cada muestra</i> .....	29
<b>Figura 18</b> <i>Porcentaje de humedad en cada muestra</i> .....	30
<b>Figura 19</b> <i>Contenido de solidos fijos en cada muestra</i> .....	31
<b>Figura 20</b> <i>Contenido de solidos volátiles en cada muestra</i> .....	31
<b>Figura 21</b> <i>Temperatura de los reactores</i> .....	35
<b>Figura 22</b> <i>pH de las mezclas en los reactores</i> .....	36
<b>Figura 23</b> <i>Producción de Biogás</i> .....	38

## RESUMEN

Ecuador tiene un gran potencial de recursos naturales sin ser aprovechados, si se elaborase un plan para su explotación como fuentes de energía limpia y renovable, Ecuador sería una potencia a nivel mundial de generación de energía limpia, las aguas residuales de los centros de faenamiento del país contienen materia orgánica con alto poder energético y son desaprovechados, la materia orgánica se puede considerar como una fuente renovable de energía con un alto potencial de aprovechamiento. No obstante, la falta de conocimiento sobre el aprovechamiento de la materia orgánica como fuente de energía hace que se desechen este recurso tan valioso para la producción de energía alternativa (biogás) en la mayoría de casos estos recursos son devueltos a la naturaleza sin un previo tratamiento, cargadas de alto material tóxico, nocivo para el ecosistema y el ser humano, ello se evidencia en sistemas ineficientes de manejo de las aguas residuales de los centros de faenamiento, algunos de sus problemas es debido a la ausencia o inadecuado uso de tecnologías de aprovechamiento. El presente estudio se centró en la optimización de la producción de biogás mediante la mezcla de residuos sólidos y líquidos del Centro de Faenamiento de Ibarra y estiércol vacuno en un reactor vertical UASB escala laboratorio, se realizó un experimento con tres reactores con diferentes mezclas con el fin de evaluar su producción, esto en un periodo aproximadamente de 35 días. En la investigación arroja resultados de mayor producción en el reactor tres. Dando a entender que la mayor producción es la mezcla de residuos sólidos, líquidos y estiércol vacuno sin nada de sangre animal.

**Palabras claves:** Reactor UASB, digestión anaerobia, biogás, residuos, estiércol.

**ABSTRACT**

Ecuador has a great potential of natural resources that are not exploited, if a plan for their exploitation as clean and renewable energy sources were drawn up, Ecuador would be a world power in the generation of clean energy, the wastewater from slaughterhouses of the country contain organic matter with high energy power and are wasted, organic matter can be considered as a renewable source of energy with a high potential for use. However, the lack of knowledge about the use of organic matter as a source of energy means that this valuable resource is discarded for the production of alternative energy (biogas). In most cases, these resources are returned to nature without prior treatment, loaded with high toxic material, harmful to the ecosystem and the human being, this is evidenced in inefficient wastewater management systems from slaughterhouses, some of its problems are due to the absence or inadequate use of wastewater treatment technologies. exploitation. For this reason, the present study focused on optimizing biogas production by mixing solid and liquid waste from the Ibarra Slaughterhouse and cattle manure in a vertical laboratory-scale UASB reactor. An experiment was carried out with three reactors with different mixtures in order to evaluate their production, this in a period of approximately 35 days. The investigation yields result of higher production in reactor three. Implying that the greatest production is the mixture of solid, liquid waste and cattle manure without any animal blood.

**Keywords:** UASB reactor, anaerobic digestion, biogas, waste, manure.

## Capítulo I

### Introducción

#### 1.1. Antecedentes

Milton Cun & Álvarez (2017) debido al aumento de la población mundial se ha generado un incremento volumétrico de residuos orgánicos, los cuales en su mayoría no son controlados ni tratados ocasionando gran parte sean vertidos a la intemperie, provocando grandes daños de contaminación ambiental y malestar en la sociedad. El inadecuado manejo y control de los residuos provenientes de los procesos de sacrificio del ganado en los centros de faenamiento han provocado graves consecuencias ambientales como suelos contaminados, malos olores, descargas de aguas residuales con materia orgánica a las cuencas hídricas sin tratamiento previo (Ruiz, 2011).

Obaya & Lorenzo (2006) es de vital importancia el tratamiento de efluentes para evitar la contaminación ambiental, es de gran importancia el desarrollo de procesos biológicos con una alta eficiencia, bajos costos de construcción y de mantenimiento, se elaboraron los reactores UASB, países como Brasil, México, Colombia, China, India, Portugal, han adaptado nuevas tecnologías dirigidos al tratamiento anaerobio, destacando la aplicación de reactores anaerobios con flujo ascendente y manto de lodos, conocido como Reactor UASB por su sigla en inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket, llegando como la mejor opción para el tratamiento de efluentes orgánicos. En el ámbito local las primeras apariciones de los biodigestores tubulares ocurrieron en la provincia de Imbabura en el valle de Intag en el año 2002 gracias a la intervención de la Asociación de Campesinos Agroecológicos de Intag (ACAI).

Durante los años 70, Lettinga y colaboradores desarrollaron los Reactores UASB en los países tropicales para el tratamiento de efluentes, se caracterizan por un flujo ascendente y formación de un manto de lodo granular idóneo para la sedimentación, donde se desarrolla la actividad biológica (Obaya & Lorenzo, 2006). Torres (2012) manifiesta, la existencia de dos procesos primordiales para el tratamiento de efluentes, los físico-químicos o biológicos; en el primer proceso se aplican los principios de separación como sedimentación o flotación, en la parte química se cambian la forma de las partículas mediante la aplicación de productos químicos, para la formación de partículas de mayor densidad y al final ser separadas mediante métodos físicos, en el

segundo proceso acontece de manera natural en lagos, ríos, o suelos, los microorganismos consumen materia orgánica generando nuevo material celular.

Para el proceso de transformación de residuos orgánicos húmedos se hace mediante la digestión anaerobia y obtener productos: biogás (gaseoso), biosol (sólido) y biol (líquido) mediante la intervención de bacterias o microorganismos específicos (MEER, 2014), ha sido aprovechado en los últimos veinticinco años a través de una tecnología competitiva, con la implementación de nuevos sistemas que diferencian al tiempo de retención hidráulico (TRH) con el tiempo de retención celular (TRC) y funcionando con eficiencias del 70% de remoción de DQO y de 85% de DBO (Bermúdez et al., 2003), denominados como reactores de alta eficiencia.

Verdezoto & Viquel (2011) afirman, la caída del petróleo perjudico en la elaboración de nuevas tecnologías de digestión anaerobio perdiendo su interés, a pesar de ello algunos países industrializados vieron la manera de desarrollar importantes plantas anaerobias, fijándose como meta la gestión de residuos, principalmente ganaderos y fomentar las energías renovables duplicando la producción y el continuo aumento hasta el año 2030.

En el Ecuador las aguas residuales provenientes de la industria son descargadas sin tratamiento a los ríos, lagos, corrientes convencionales; afectando a la salud pública y medioambiente (López, 2011). La Organización Mundial de la salud en el año 2010, reconoce el derecho al abastecimiento de agua y saneamiento, disponer de agua suficiente y continua, asequible, accesible, salubre y de calidad, la inadecuada gestión de manejo de aguas residuales industriales, agrícolas y urbanas, ocasionando las personas beban agua peligrosamente contaminada, aproximadamente 842 000 personas fallecen cada año de diarrea por la mala insalubridad del agua o de saneamiento insuficiente (OMS, 2019). Rodríguez-Miranda et al. (2017) países latinoamericanos trabajan arduamente para el control y manejo de suministro de agua, tenga acceso libre para el consumo, existe el riesgo de las aguas residuales sea utilizado para riego de cultivos generando problemas de salud.

## **1.2. Planteamiento del problema y justificación**

El aumento poblacional ha provocado un elevado consumo hídrico consecuentemente un crecimiento de aguas residuales, vertiéndose en las redes de



saneamiento en el caso de existir o en los diferentes tipos de drenaje, del mismo modo los efluentes de los camales son depositados en piscinas o en los canales de desagüe, finalizando la descarga en los cuerpos de agua naturales (lagos, ríos y mares) (Soárez, 2008), Zúniga (2011) afirma, las aguas residuales se volverá el mayor problema para la humanidad en los próximos años, debido a las aguas negras provocan variaciones en los cursos y planos de agua.

Los residuos sólidos y líquidos de los camales son provenientes del faenamiento, vertidos a las piscinas, desagüe y en algunos casos son regados a la intemperie, esto provoca un gran daño ambiental además desperdiciando recursos orgánicos que pueden ser reutilizados (Bonilla, 2007). García (2006) manifiesta, los efluentes de los centros de faenamiento producen grandes cantidades de materias nocivas, deben ser separados del propio matadero, en estos lugares se producen excretas en los corrales, establos, dejando grandes cantidades de sangre, grasas, residuos sólidos como: huesos, intestinos y contenidos de los estómagos.

La contextura de estos efluentes va a depender de su proceso de producción y separación, en cada sección a descargar, las aguas residuales del camal se encuentran particularmente en elevadas temperaturas conteniendo agentes patógenos, a su vez, de altos compuestos orgánicos y nitrógeno (Briceño & Castillo, 2009). Mediante el proceso de faenamiento los animales se encuentran ubicados en corrales, necesitan ser lavados y desinfectados, las aguas residuales que dejan este proceso contienen materias urinarias, fecales, cuernos, pelos entre otros compuestos orgánicos, en los procesos de remoción de intestinos y vísceras por lo general se llenan de agua conteniendo sangre, grasa, pelos, cuernos y desinfectantes (American Water Works Association, 2012).

Las instalaciones donde se depositan los estos efluentes contienen concentraciones de orina, excretas, vísceras, órganos dañados originan olores fuertes y atrayendo aves carroñeras, contaminando el aire y suelo, trae grandes problemas locales además afectando la salud de los trabajadores y la imagen del camal (Ambiente, 2013). En este marco, existen retos para el cuidado del medio ambiente, crisis alimentaria, agroenergía y la degradación ambiental. Se buscan alternativas para el apropiado manejo de residuos orgánicos, constituye un proceso de biodigestión anaerobia, brindando beneficios positivos al ambiente, económicos y sociales (Quintero et al., 2018).

En la presente investigación se justifica a base de políticas nacionales e internacionales buscando soluciones prácticas para frenar la contaminación ambiental ocasionada por los centros de faenamiento. Estudios de la OMS, (2019) y MAE, (2013), señalan, estos centros son uno de los principales contaminantes ambientales y generadores de emisiones de gases a la atmosfera. El mal manejo de los efluentes en los camales es uno de los puntos clave para tomar en cuenta en mitigar esta problemática.

En este contexto, CONAGUA, (2015) y Bermúdez et al., (2003), han realizado estudios permitan beneficiar y encontrar una solución a esta problemática, alternativas para el correcto manejo de estos residuos orgánicos, brindando un apoyo bioenergético. Una de las alternativas es la adaptación de nuevas tecnologías para los centros de faenamiento controlando la descomposición anaerobia mediante los reactores UASB, permitirán un doble beneficio, control sobre sus efluentes gracias al reciclaje de nutriente regresando al suelo en forma de bioabonos y bioles, permite la generación de biogás.

Esta solución fomenta una buena práctica agroecológica especialmente para los centros de faenamiento, permitan el control y manejo de la materia orgánica, satisfacción las necesidades de salubridad y demandas energéticas, relacionadas con las actividades productivas con el fin de utilizar nuevamente las aguas residuales como fertilizante natural para el suelo y generación de biogás. El presente estudio tiene como características la relevancia, innovación, impacto ambiental, social, cultural, originalidad y principalmente se toma con importancia la bioenergía.

La investigación permitirá generar impactos relevantes en el campo de la investigación, apoyando a nuevos estudios enfocados al manejo de las aguas residuales especialmente en los centros de faenamiento, aportar a nuevas investigaciones de la bioenergía. El presente trabajo investigativo aporta a la línea de investigación de la Universidad Técnica del Norte: “Biotecnología, energía y recursos naturales renovables”.

### **1.3. Pregunta directriz**

¿Por qué es importante optimizar la producción de biogás mediante la mezcla de los residuos sólidos, líquidos y estiércol vacuno en un reactor vertical UASB?

### **1.4. Objetivos de la investigación**

#### ***1.4.1. Objetivo general***

Optimizar la producción de biogás mediante la mezcla de los residuos sólidos y líquidos en Centros de Faenamiento de Ibarra y estiércol vacuno en un reactor vertical UASB escala laboratorio.

#### ***1.4.2. Objetivos específicos***

1. Analizar las características físico-químicas de los residuos sólido y líquidos del Centro de Faenamiento de Ibarra.
2. Establecer la mezcla óptima de los residuos sólido, líquidos y estiércol vacuno para la generación de biogás.
3. Interpretar el comportamiento de la mezcla óptima en el funcionamiento de los reactores UASB, escala de laboratorio.

### **1.5. Hipótesis**

La mezcla de aguas residuales de los Centros de Faenamiento de Ibarra con estiércol vacuno como inóculo mejora la producción de biogás.

## Capítulo II

### Marco Teórico

En este capítulo se expone la información utilizada para el desarrollo de la investigación, se tomó referencias de investigaciones, artículos científicos y estudios con enfoque en evaluación energética de residuos orgánicos y digestión anaeróbica.

#### 2.1 Revisión literaria

##### 2.1.1 *Gestión de Residuos*

En los mataderos municipales de Ecuador, el tema ambiental no tiene la relevancia que debería por falta de recursos económicos y desconocimiento de la gestión ambiental, se sigue considerando amigable con el medio ambiente, al cambiar los procesos productivos o introducir tecnologías y/o medidas que requieren un importante incremento en los costos del proceso (Mapfre Empresas, 2005).

La mayoría de los mataderos municipales, los residuos sólidos y líquidos se disponen de forma inadecuada, lo que afecta negativamente a la biodiversidad local y al consumo de agua, con consecuencias directas e indirectas en la descarga de aguas residuales a los cuerpos de agua (Negrão, 2002).

##### 2.1.2 *Gestión Ambiental de Residuos en Camales*

En los centros de faenamiento, casi el 25% del peso total de los animales vivos (estiércol, contenido gástrico, sangre, huesos, pelaje, pezuñas, cuernos, fragmentos grasos, tejido conjuntivo, tejido muscular, etc.) se consideran residuos (Balladares, 2002).

Se estima en los centros de faenamiento de porcino y ternero producen de 2 – 3.5 y 7.5 -30 kg de lodos (principalmente lodos) respectivamente; 4 - 6 y 20 - 35 litros de sangre; 9 y 66 kg de hueso y 0.4 – 1.6 y 40 – 80 kg de estómago, son materias primas ricas en proteínas y grasas, tienen un contenido destacable en nitrógeno, fósforo, potasio y calcio (Bonilla, 2007).

##### 2.1.3 *Composición de Aguas Residuales de Camal*

Las aguas residuales del camal es un problema ecológico grave, tienen altas concentraciones orgánicas, tanto solubles como de suspensión, traducidas principalmente por proteínas y productos en su horario, como el ácido orgánico volátil, amino y otros compuestos de nitrogenados, también tienen una concentración de

grasa importante interviniendo seriamente con el tratamiento biológico, así como la concentración cambiante de productos de lignocelulosa (Duque & Chinchay, 2008).

Las características de las aguas residuales de mataderos dependen de los siguientes factores (Delgadillo, 2010):

- Un tipo de sacrificio animal.
- Equipos para la retención de líquidos y sólidos.
- Proceso de tratamiento y aprovechamiento del agua.
- Nivel de procesamiento; Específicamente, en el estómago, los intestinos, como regla, el contenido del estómago y el moco intestinal está contenido en las aguas residuales.

#### **2.1.4 Características físicas**

##### **2.1.4.1 Sólidos totales**

El total de sólidos se define como el residuo después de la evaporación del agua a 103-105°C y representa el contenido de partículas de impurezas (Romero, 2012).

##### **2.1.4.2 Materia Suspendida**

La presencia de una suspensión indica un contenido heterogéneo de sólidos en el agua; también muestran contaminación orgánica o inorgánica, pero en el caso de las canales se trata principalmente de contaminación orgánica (Quille & Donaires, 2013).

##### **2.1.4.3 Componentes orgánicos**

Se incluyen las sustancias derivadas de sustancias orgánicas, vegetales y/o animales: proteínas, hidratos de carbono, aceites y grasas, también se incluyen moléculas orgánicas sintéticas como los tensioactivos y los fenoles, son responsables del sabor y olor desagradables del agua (Crites, 2000).

- Carbohidratos: Los carbohidratos son sustancias biodegradables en forma de azúcares, almidones, celulosa, fibras (Osorio et al., 2010).
- Grasa: Los aceites y grasas son compuestos que se encuentran en las aguas residuales de los mataderos debido al contenido de grasa del animal, la presencia de grasas en el agua puede interferir con importantes procesos biológicos como la

fotosíntesis, la respiración y la transpiración en algunos organismos vivos (Osorio et al., 2010).

### 2.1.5 *Procesos de la Digestión Anaerobia*

Los procesos de digestión anaerobia se aplican principalmente en residuos con alta carga orgánica y aguas residuales; involucran degradación y estabilización de la materia orgánica en condiciones anaerobias por microorganismos, tiene la capacidad de utilizar espectro de sustratos en la ausencia de oxígeno obteniendo como producto final biogás y digeridos (Parra, 2010). La producción de lodos es baja del cual solamente se obtiene 90% de energía por oxidación transformándose en metano y solo 10% en energía para el crecimiento bacteriano (Moreno et al., 2014).

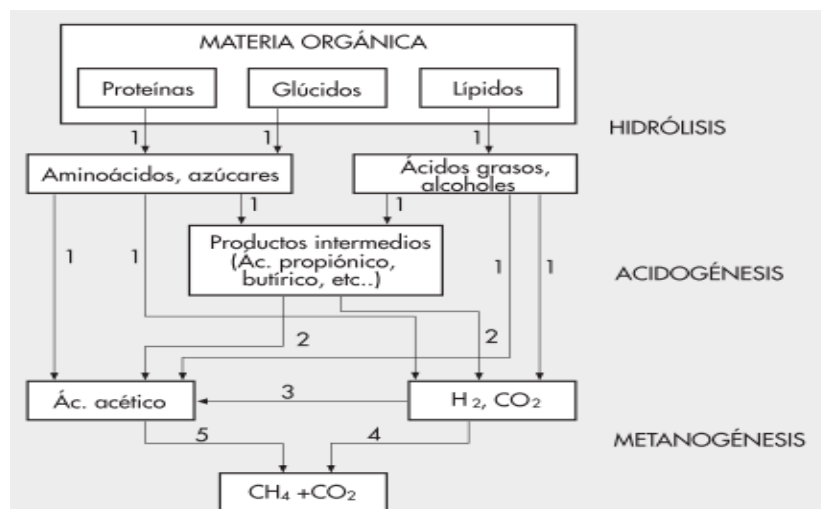
Aguilera (2017) destaca el biogás como una mezcla de gases principalmente de metano y dióxido de carbono, se obtuvo de la fermentación de materia orgánica por ausencia de oxígeno, debido a la intervención de microorganismos, se genera naturalmente o en dispositivos especiales, en reacciones de biodegradación de materia orgánica, de tal manera, el biogás puede usarse como cualquier otro combustible por su alto poder calorífico que varía entre los 16 500 KJ/kg y 21 000 KJ/kg, relacionado con el porcentaje de metano.

### 2.1.6 *Fases de la Fermentación Anaerobia*

La digestión anaerobia está constituida por tres fases en el proceso de degradación del sustrato intervenido por poblaciones de bacterias, de manera que, actúan como catalizadores en los procesos consecutivos: hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis.

**Figura 1**

*Fases de la fermentación anaerobia*



Nota: Diagrama de las diferentes etapas que se producen en la fermentación anaerobia. Tomado de *Procesos biológicos: La digestión anaerobia y el compostaje*, por Campos et al., 2012.

En la etapa inicial de hidrólisis los organismos complejos como son lípidos, proteínas e hidratos de carbono son despolimerizados gracias a las enzimas hidrolíticas, dejando moléculas solubles y degradables como ejemplo azúcares y alcoholes, luego la acidogénesis obtiene los compuestos solubles transformando en ácidos grasos de cadena corta principalmente ácidos acéticos, butírico, valérico, en la etapa final, se tiene la metanogénesis donde los ácidos acéticos, hidrogeno, se transforman a  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  (Campos et al., 2012).

### **2.1.7 Temperatura**

En la digestión anaerobia de aguas residuales es un factor de suma importancia dependerá de la región y clima donde se encuentre, pero existe parámetros óptimos de temperaturas para la digestión anaerobia rangos desde  $30^\circ\text{C}$  a  $35^\circ\text{C}$ , para la fabricación de Reactor UASB se tiene una temperatura que oscilan entre los  $15^\circ\text{C}$  a  $20^\circ\text{C}$ , permitiendo trabajar de 2 a 10 kg DQO/ $\text{m}^3$  (Rovira, 2006). Martí (2019) manifiesta, la eficiencia de la digestión anaerobia dependerá de la temperatura y tiempo, se tiene  $35^\circ\text{C}$  la digestión será rápida, pero si está por debajo de los  $20^\circ\text{C}$  va a requerir de tiempos prolongados en degradar la materia orgánica y la obtención de biogás.

### **2.1.8 Potencial de Hidrogeno (pH)**

Realiza la función de acidificación, afectando a los procesos de digestión anaerobia, el pH tiene su propio rango específico dependiendo a que grupo microbiano pertenece, algunos casos son más eficientes a valores de pH aproximados a la neutralidad, puede tener un pH entre 5.5 y 6.5 unidades, otras veces el pH óptimo se encuentra por 8.2 a 8.4 unidades en esta circunstancia se debe al control de procesos de acidificación va a depender de la producción de metano y a las características del sustrato (Parra et al., 2014).

### **2.1.9 Reactores Anaerobios**

Los procesos anaeróbicos son usados en el tratamiento de aguas residuales, además para residuos agrícolas y de lodos, los compuestos orgánicos son transformados en metano, masa microbiana y bióxido de carbono, el proceso representa una solución viable en el tratamiento de aguas residuales y lodos activados gracias al bajo consumo de

energía con la capacidad de manejar los desechos con alta carga orgánica (CONAGUA, 2015). Iglesias (2015) manifiesta, existen dos tipos de reactores dependiendo el crecimiento bacteriano: reactores de lecho fijo y reactores de crecimiento libre o suspendido, en el primer caso se constituye por bacterias estableciendo una película sobre un soporte fijo, mientras tanto los segundos reactores dependen de microorganismos elaboren gránulos o flóculos en el reactor.

#### ***2.1.10 Reactor de Flujo Ascendente (UASB)***

Contiene un dispositivo en la parte superior del reactor permitiendo la separación internamente de biomasa, efluente tratado y el biogás, acumula cantidades de materia orgánica muy activa, adoptando una estructura con gránulos compactos con elevada capacidad de sedimentación, mientras tanto, su diseño tiene una zona de reacción donde se acumula la biomasa, en la parte inferior la sedimentación y encima los lodos, además, su operación se basa en la autorreguladora de diferentes bacterias que desgradan la materia orgánica desarrollándose de forma interactiva, elaborando lodo biológicamente activo en el reactor (Iglesias, 2015). La recolección de biogás puede estar ubicado ya sea entre dos unidades de sedimentación o en el borde del sedimentador (CONAGUA, 2015). En cierta manera este tipo de reactor puede reemplazar a una planta de tratamiento de aerobio, biodigestores para el tratamiento de lodos, ya que logran grandes eficiencias de remoción entre 60% y 80% de DQO y DBO en concentración inicial del agua residual (Iglesias, 2015).

#### ***2.1.11 Variaciones de Flujo y Carga***

El flujo del afluente y la carga orgánica afectan desbalanceando la fermentación y la metanogénesis, en los sustratos solubles las reacciones acidogénesis son más rápidas a altas cargas incrementando concentraciones de ácidos volátiles y disminución de pH, en concentraciones altas de hidrogeno incide directamente en la conversión de ácido butírico, el bajo pH afecta la metanogénesis, se debe proveer una igualdad de flujo para soportar condiciones de pico de flujo y carga (Márquez & Martínez, 2011).

#### ***2.1.12 Fracción de Material Orgánico no Disuelto***

Los particulados y componentes disueltos llegan afectar el diseño del reactor anaerobio, cuando se tiene alto contenido de sólidos en las aguas residuales, su tratamiento es favorable realizar con procesos de crecimiento suspendido, debido al TRS crecerá para llevar a cabo la hidrólisis, será un limitante con la fermentación acida y la metalogénesis en el tratamiento anaerobio (Márquez & Martínez, 2011).



## **2.2 Análisis Estadístico**

### **2.2.1 Prueba de Normalidad de Shapiro Wilks**

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk se utiliza cuando la cantidad de datos observados son menores a 50. Este método indica que la muestra se distribuye normalmente si hipótesis nula ( $H_0$ ) y si no, la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) son datos que no se distribuyen normalmente. Esto está determinado por el valor de la estadística “p” y nivel de significancia. Si este valor es mayor no se descarta  $H_0$ , y si este valor es menor que “p”, se rechaza la hipótesis nula y la distribución de los datos no es normal (Echeverri, 2015).

### **2.2.2 Análisis de Varianza ANOVA**

El análisis de varianza se basa en un conjunto de métodos estadísticos que tienen como objetivo de analizar las diferentes variables de datos asignadas en el área de estudio. Esto se utiliza para agrupar observaciones en subconjuntos homogéneos para saber cómo se comportan los datos y describirlos como un resumen (Amat, 2016).

### **2.2.3 Test LSD de Fisher**

Este método permite la comparación de múltiples medias de diferentes niveles de un factor, después del rechazo de varianzas iguales por ANOVA. La comparación se basa en un valor común, los que están por encima de ese valor tienen una diferencia significativa y los que están por debajo no tendrán diferencia significativa (Atil, 2001).

## **2.3 Marco legal**

### **2.3.1 Constitución de la República del Ecuador**

En la Constitución de la República del Ecuador, en el Artículo 413, de la Sección: Biosfera, ecología urbana y energía alternativa. Dispone que el Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua. Este estudio, está apegado al marco legal presente, enfatizando el uso de tecnologías como reactores para la generación de energía alternativa (biogás) y residuos con el fin de producir biofertilizantes en el Centro de Faenamiento de Ibarra.

### **2.3.2 Plan de Creación de Oportunidades 2021 - 2025**

En el Eje transición ecológica Objetivo 11 del Plan de Creación de Oportunidades 2021 - 2025 “Conservar, restaurar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos

naturales” propone avanzar las condiciones legales, económicas y de protección ambiental necesaria para lograr el funcionamiento de las actividades humanas en el marco de la transición ecológica, a través de la programación de acciones que permita la conservación de los hábitats (Secretaría Nacional de Planificación, 2021). La gestión eficiente de los recursos naturales y la reparación de los ecosistemas. Por lo que, el presente estudio se complementa con el objetivo 11 del del Plan de Creación de Oportunidades, debido que los reactores anaerobios trabajan con materia orgánica para la generación de biogás. Se busca la reducción de la dependencia de productos derivados de energías fósiles y agregarle un sentido más justo y humano, reconociendo los valores intrínsecos de la naturaleza.

## Capítulo III

### Metodología

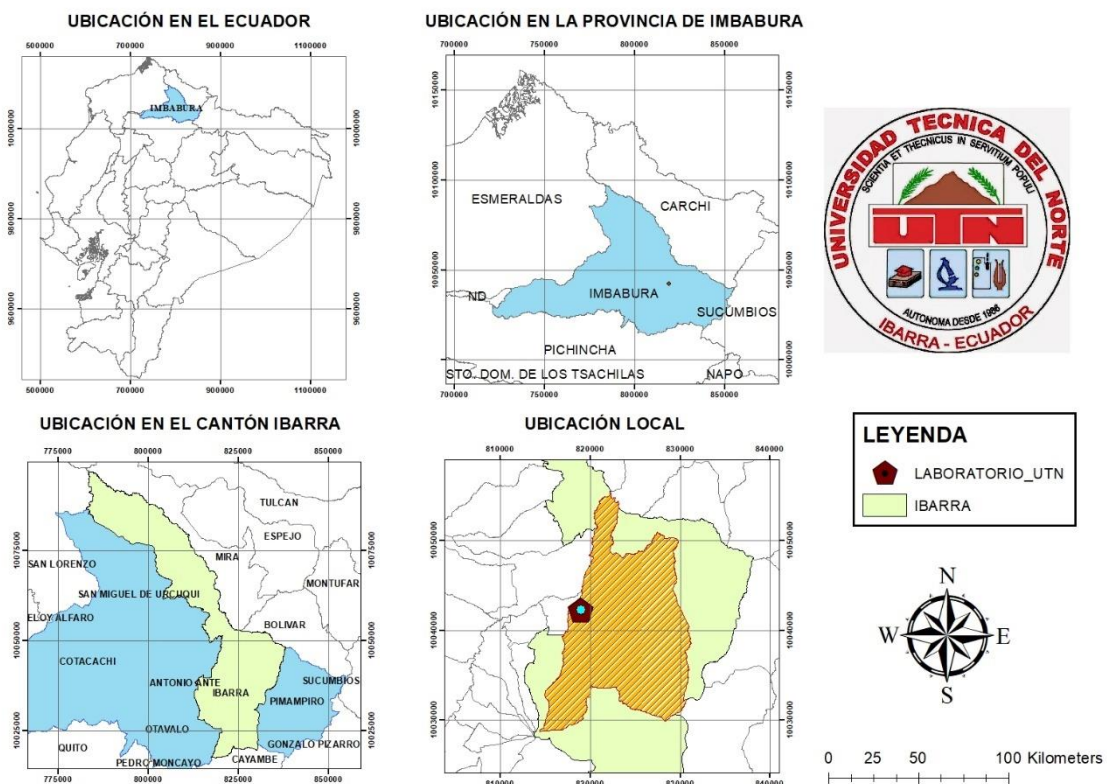
A continuación, se detalla los procesos que se llevaron a cabo para cumplir con los objetivos propuestos, así como también el uso de materiales y equipos que se emplearon durante el desarrollo de la investigación.

#### 3.1 Área de Estudio

El estudio se realizará en la Planta de tratamiento de aguas residuales, se encuentra ubicado en el estadio de la Universidad Técnica del Norte, en la parroquia Alpachaca, cantón Ibarra, provincia de Imbabura, ubicado en las calles Morona Santiago y Av. 13 de Abril, a una altitud de 2250 m.s.n.m., 00°- 22'- 44'' de latitud N y 78°- 07'- 20'' de longitud O. Temperatura ambiente 18°C y 72% de humedad relativa (INHAMI, 2015).

**Figura 2**

*Área de estudio*



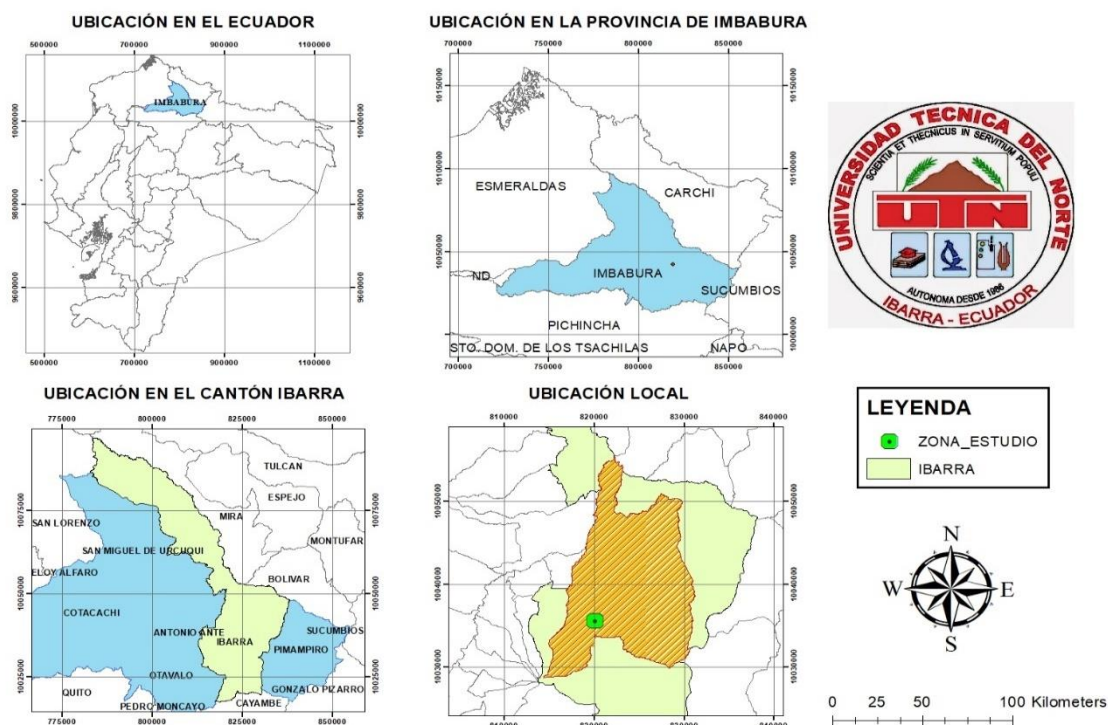
Nota: Estadio de la Universidad Técnica del norte donde se encuentran ubicados los laboratorios para la experimentación con los reactores.

El sustrato residual para la experimentación se obtendrá del Centro de Faenamiento de Ibarra, ubicado en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra, parroquia

Priorato (Figura 3), ubicada en el barrio “Huertos Familiares de Azaya”, a una altitud de 2205 m.s.n.m.,  $00^{\circ} - 21' - 46''$  de latitud N y  $78^{\circ} - 07' - 11''$  de longitud O, Temperatura ambiente  $15^{\circ}\text{C}$  y 74% de humedad relativa (Meteoblue, 2019).

**Figura 3**

*Área de estudio para la recolección de la materia orgánica*



Nota: Centro de Faenamiento de Ibarra donde se recolecto las muestras de los Residuos para la experimentación con los reactores.

### 3.2 Recolección de Residuos Sólidos, Líquidos y Estiércol Vacuno

La recolección de los residuos sólidos, líquidos y estiércol se realiza de manera manual con ayuda de herramientas como lo son: pala, rastrillo, escoba, guantes de plástico, posteriormente son depositados en diferentes canecas selladas, una vez recolectado las muestras se procede almacenar en un refrigerador a una temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$  (Cordero, 2010).

**Figura 4***Recolección del Contenido Ruminal y almacenamiento*

Nota: Se muestra la recolección y almacenamiento de los residuos orgánicos.

**3.3 Caracterización de Residuos**

La actividad la cual permite determinar la composición de un residuo en diferentes fracciones. Teniendo en cuenta los residuos son materia fresca, se la puede separar de manera manual para conocer su composición física como el estiércol, contenido ruminal y sangre (Carhuancho, 2012).

Para el proceso de caracterización de las muestras recogidas se debe utilizar canecas y baldes en donde se coloca la biomasa y se procede a la separación del estiércol, contenido ruminal y sangre. Se recomienda el uso necesario de guantes y mascarillas para evitar una posible infección o enfermedad respiratoria.

**Figura 5***Caracterización de Residuos*

Nota: Se muestra el peso de la sangre y estiércol vacuno, para su caracterización además separado en diferentes estratos como son: estiércol, contenido ruminal, sangre, pasto y otras impurezas.

### **3.4 Preparación de Muestras para el Análisis Elemental**

El análisis elemental orgánico o microanálisis elemental, determina las cantidades de carbono (C), hidrogeno (H), nitrógeno (N), azufre y oxígeno (O) en la muestra, es una técnica fiable y rentable usada para evaluar la pureza y la composición química de los compuestos (Toledo, 2016).

La preparación de las muestras se las hizo de acuerdo con los requerimientos del Instituto de Investigación Geológico y Energético, para lo cual las muestras deben ir en un recipiente de 100g totalmente selladas con su respectivo código para posteriormente ser enviadas al laboratorio.

### **3.5 Preparación de Muestras para el Análisis Proximal**

El análisis proximal permite determinar el contenido de humedad, solidos volátiles, cenizas y carbón fijo presentes en la biomasa (FAO, 2011).

La preparación de las muestras se las hizo de acuerdo con los requerimientos del Instituto de Investigación Geológico y Energético, para lo cual las muestras deben ir en un recipiente de 100g totalmente selladas con su respectivo código para posteriormente ser enviadas al laboratorio.

### **Figura 6**

*Toma de muestra de la sangre*



Nota: Se indica la toma de la muestra de la sangre en su recipiente para posteriormente ser sellada y enviada a al laboratorio.

### **3.6 Construcción de los Reactores UASB**

Los modelos de los reactores UASB se realizaron a escala laboratorio, teniendo muy en cuenta el principio de funcionamiento del reactor mencionado. Se escogió la forma del reactor y se ensayó en tres modelos con igual diámetro. Para su construcción se tomaron en cuenta factores y recomendaciones de expertos han demostrado tener un amplio conocimiento en esta área, para su diseño de los reactores AUSB.

#### **3.6.1 Características de los Reactores UASB**

Los reactores R1, R2 y R3 se construyeron en material acrílico transparente de 4 mm y 10 cm de diámetro, su configuración es cilíndrica con una altura de 60 cm, en su ensamblaje se emplea una tapa de tol fijada a presión en la parte superior y otra en la inferior. Los reactores se encuentran en forma vertical, fijados a una base metálica cada uno. El diseño permite que la materia orgánica cumpla con su reacción anaerobia, el conducto de salida de biogás se ubica en la parte superior y las tuberías de carga y descarga en la parte inferior, como se indica en la Figura 7.

#### **Figura 7**

*Construcción de los reactores AUSB*



### 3.7 Diseño Experimental

Se realizaron 3 experimentos con diferentes mezclas, además, cada uno tiene tres repeticiones, se denominaron con las siglas EX1, para el segundo se denominó EX2 y el tercero se denominó EX3, con el fin de registrar su funcionamiento y producción de biogás que se obtendrá en los diferentes días.

#### 3.7.1 Preparación de la Mezcla

Para empezar con su proceso se obtuvo los residuos del Centro de Faenamiento de Ibarra, se tomaron muestras homogéneas de estiércol vacuno, contenido ruminal y sangre, las cuales fueron almacenados en canecas plásticas de 5 galones, a una temperatura de 4°C.

#### 3.7.2 Mezcla Óptima

Se considera que una relación C/N óptima debe tener un material crudo o fresco permita iniciar la digestión anaerobia, para obtener una mezcla óptima se debe alcanzar una relación C/N = 20/1, es decir, 20 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno. Cuando un residuo no alcanza la relación C/N apropiada, es necesario realizar mezclas de materias que permitan llegar a las mejores condiciones óptimas en la relación C/N (FAO, 2011), como se indica en la Figura 8.

En la realización de las mezclas se debe tener en cuenta la mezcla que se encuentre dentro del rango óptimo, posteriormente la mezcla con más alto C/N y así se empieza con el proceso de biodigestión.

### Figura 8

#### Mezclas





### 3.7.3 *Relación Agua Sustrato*

Los residuos se encuentran a la biodigestión debe cumplir con una humedad del 90%, la biomasa no alcance con este parámetro requerido será necesario la adición de agua y así alcanzar la humedad mencionada (Durán et al., 2018).

### 3.7.4 *Monitoreo de Temperatura*

La temperatura óptima para el crecimiento de los metanógenos la producción de biogás oscilan entre los rangos de 25° a 30° C (García, 2016).

Para el control y monitoreo de la temperatura en los reactores se utilizó un sensor de temperatura modelo Digital Thermometer, con un rango de medición de -50 a +300° C, resistente al agua su sensor es de acero inoxidable como se indica en la Figura 9.

### **Figura 9**

*Termómetro Digital*



### 3.7.5 *Monitoreo de pH*

Se considera un pH óptimo a un rango de 6.8 a 7.5, esto debido al crecimiento de los metanógenos, el cual tiene influencia en la actividad enzimática (Cantuña, 2018).

La medición de pH se lo realizó de manera diaria entrando los reactores en marcha, para obtener la muestra y verificación del pH se colocó una válvula en la parte inferior de los reactores, donde se colocó un pequeño recipiente para depositar la muestra. Esta medición se realizó con un pH/Litmus plus con una precisión de +- 0.01, como se indica

en la Figura 10, la medición se realizó de manera directa con la mezcla extraído de los reactores.

**Figura 10**

*pH/Litmus plus*



### 3.8 Ensayos de Biodegradabilidad Anaerobia de las Mezclas Residuos-Estiercol Vacuno

Rodríguez (2020) y Nieto (2020) señalan en sus investigaciones, es necesario realizar una agitación manual para tener una mezcla homogenizada para el proceso biológico, debido a la presencia de sólidos pueden taponar al biorreactor, ocasionando el mal funcionamiento de los dispositivos.

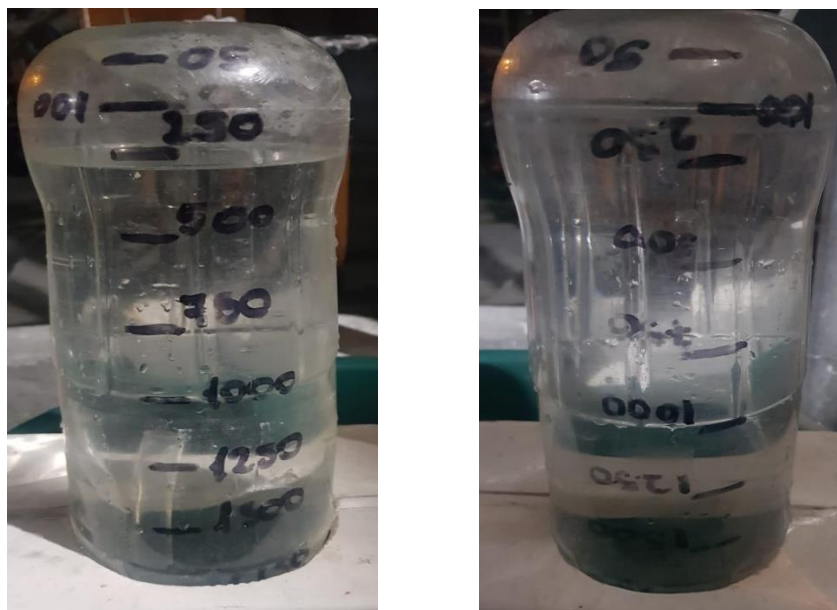
El uso de una bomba manual diafragma permite la mezcla del sustrato en operación del reactor, se ingresa el sustrato nuevo y recircula dicho sustrato con el de operación del reactor (FAO, 2019), como se indica en la Figura 11. Para efectos del ensayo, se realiza bombeos diarios por un tiempo de 10 min a cada reactor, equivalente a 400 bombeos (40 bombeos por minuto), es recomendable realizar pruebas cada 24 horas, para lograr una correcta homogeneización del contenido de los reactores.

**Figura 11***Bomba manual de diafragma*

### 3.9 Medición de Biogás

Para la medición y producción de biogás se tomó en cuenta el principio de Pascal, controlando el volumen por desplazamiento de fluidos. Se instaló tres botellas plásticas de 2 litros, llenando por completo de agua a presión introduciéndoles a un recipiente con agua, se retiró la tapa de las botellas y se ingresó mangueras de 3/8" transparente para la salida de biogás de R1, R2 y R3 en cada botella.

Se pudo observar que la presión ejercida por el biogás generaba un desplazamiento del agua en las botellas, bajando el nivel, indicando que el espacio desplazado equivalía al volumen de biogás generado, como se indica en la Figura 12. Las botellas de plástico previamente fueron graduadas cada 250 ml utilizando una probeta de laboratorio graduada, así pudiendo ser registrada la medida hasta llenar la botella. Los datos fueron registrados diariamente en los tres reactores almacenados en el software Excel para posteriormente ser analizados estadísticamente.

**Figura 12***Medición de biogás*

### 3.10 Evaluación de los Procesos Anaerobios en los Reactores

#### 3.10.1 Operación del Reactor

Se procede con la revisión detalladamente si existe alguna fuga en el reactor o en el sistema de captación del biogás. Se monitorean los parámetros de temperatura del reactor y del medio ambiente, pH, de cada reactor anaerobio.

#### 3.10.2 Monitoreo

Se realiza varios ensayos de encendido, en cada uno se monitorea y muestrea de la temperatura del reactor y del medio ambiente. Se agrega la medición de la radiación solar, el pH y producción de biogás. Para la radiación solar se utiliza un piranómetro y el muestreo se realiza igual que en el parámetro de la temperatura.

#### 3.10.3 Producción de Biofertilizante

Resultado del proceso de fermentación en ausencia de aire (anaeróbica) de residuos orgánicos tanto de animales como de plantas; es un abono foliar orgánico, contiene nutrientes de altos valores que estimulan el crecimiento, desarrollo y producción en las plantas (Robinson et al., 2016).

Para la producción de biol su proceso es de manera sencilla y de bajo costo, debido a que su materia orgánica se encuentra de manera fácil, su elaboración puede demorar en un periodo de uno a tres meses; los componentes del biol puede ser de dos formas: la parte líquida y la sólida; en la forma líquida se conoce como abono foliar, se obtuvo como

producto de la descarga o limpieza del biodigestor donde se elabora el biol. El resto solido está constituido por materia orgánica no degradada, recomendado para la producción de cualquier cultivo, como se indica en la Figura 13.

### Figura 13

*Producción de biofertilizante solido*



## 3.11 Modelo Estadístico

### 3.11.1 Análisis de Varianza ANOVA

Se llevará un análisis estadístico de varianza ANOVA, es una formula estadística que permite comparas las varianzas entre las medias de diferentes grupos (Dagnino, 2014).

Para el análisis se utilizó el software INFOSTAT el cual permite tabular los datos obtenidos en la producción de biogás de los tres experimentos denominados EX1, EX2 y EX3 con sus tres repeticiones. La variable dependiente será la producción de biogás ya que se verá afectada por el cambio de mezcla que contiene cada reactor, este parámetro se lo tomara como la variable independiente.

### 3.11.2 Prueba de Normalidad de Shapiro Wilks

Permite determinar si existe distribución normal cuando el tamaño de las muestras es menor a los 50 datos (Flores & Flores, 2021). Con el programa INFOSTAT se obtendrá un valor “p” indicando la existencia de una distribución normal en los datos, siendo así el

valor de “p” es mayor o igual a 0.05 existiría normalidad, caso contrario si el valor de “p” es menor indicara que los datos no siguen una distribución normal (Droppelmann, 2018).

### ***3.11.3 Test LSD de Fisher***

Obtenidos los resultados de la prueba de normalidad se realiza un Test LSD de Fisher, permitirá obtener un nivel de significancia del 5%. Ayudando a conocer si existe una diferencia significativa con respecto a sus medias.

## Capítulo IV

### Resultados y Discusión

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el tiempo de ejecución del proyecto investigativo, en base a cada uno de los objetivos específicos propuestos.

#### 4.1 Análisis físico-químicas de los residuos y estiércol vacuno.

##### 4.1.1 Toma de datos del Centro de Faenamiento

Los resultados obtenidos de las muestras en el centro de faenamiento de Ibarra en la fase de campo permitieron determinar el uso de agua potable que se utiliza de 26966.63 l/semana, la generación de contenido ruminal de 3139.57 kg/semana, estiércol vacuno de 524.41 kg/semana y finalmente la sangre de 1002.43 l/semana. De acuerdo con los datos obtenidos en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Cantidad producida de contenido ruminal, estiércol vacuno y sangre*

N° días	Temperatura ambiente (°C)	Agua potable consumida (l/día)	Contenido Ruminal (kg/día)	Sangre (l/día)	Estiércol Vacuno (kg/día)
Día 1	8	3500	401.13	198.36	92.68
Día 2	7	2220	358.36	153.53	33.31
Día 3	6	1682.39	135.52	75.30	10.77
Día 4	8	19564.24	2244.56	575.24	387.65
Total semana		26966.63	3139.57	1002.43	524.41

##### 4.1.2 Clasificación de residuos orgánicos

En la Tabla 2 se indica los resultados conseguidos de la clasificación de residuos orgánicos en tres grupos, como son; contenido ruminal, estiércol vacuno y sangre. Los residuos con mayor generación son los desechos contenido ruminal con una media de generación de 67.89%, seguido por la sangre con 21.48%, los residuos de estiércol vacuno mantienen un bajo porcentaje de producción de 11.24% del total de residuos orgánicos del centro de faenamiento de Ibarra. De acuerdo con los datos obtenidos en la Tabla 2 los resultados de generación de residuos orgánicos se representan en la Figura 14.

**Tabla 2***Promedio de los residuos orgánicos*

Subproducto	Promedio	
	kg	%
Contenido ruminal	784.89	67.28
Estiércol vacuno	131.10	11.24
Sangre	250.61	21.48
Total	1166.60	100

**4.1.3 Análisis elemental de la materia orgánica**

El resultado del análisis elemental de las diferentes materias orgánicas se desglosa en la Tabla 3, se observa el contenido de nitrógeno, carbono, hidrógeno y azufre, con dos repeticiones para cada muestra.

**Tabla 3***Análisis de carbono, nitrógeno, hidrógeno y azufre*

Matriz de ensayo	Carbono (N1)	Carbono (N2)	Nitrógeno (N1)	Nitrógeno (N2)	Hidrógeno (N1)	Hidrógeno (N2)	Azufre (N1)	Azufre (N2)
	% (p/p)	% (p/p)	% (p/p)	% (p/p)	% (p/p)	% (p/p)	% (p/p)	% (p/p)
Contenido ruminal	37.60	38.35	2.33	2.21	7.21	6.16	0.36	0.04
Estiércol vacuno	37.69	38.65	2.91	2.15	5.97	6.48	0.08	0.03
Sangre	45.35	45.36	13.22	13.42	8.89	7.28	0.46	0.31

**Comparación de las matrices de ensayo del análisis elemental.** Los resultados del análisis de carbono se desglosan en la Tabla 4, siendo la sangre el de mayor contenido de carbono con una media de 45.36%, seguido del estiércol vacuno de 38.17%, y finalmente el contenido ruminal con 37.98%. De acuerdo con los datos obtenidos de la Tabla 4, los resultados de la media del carbono en cada una de las muestras se representan en la Figura 14. A través de los resultados de las medias de carbono permitió obtener cual



muestra es la óptima para los procesos de biodigestión, estando dentro de un rango aceptable de 30% a 48% (Varnero & Arellano, 1991).

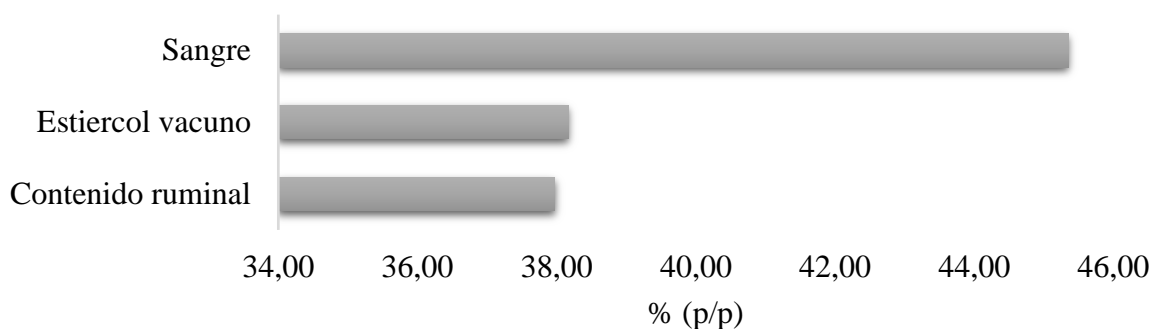
**Tabla 4**

*Contenido de carbono de las muestras*

Materia orgánica	Promedio % (p/p)	Desviación estándar
Contenido ruminal	37.98	0.530
Estiércol vacuno	38.17	0.680
Sangre	45.36	0.007

**Figura 14**

*Porcentaje de carbono en cada muestra*

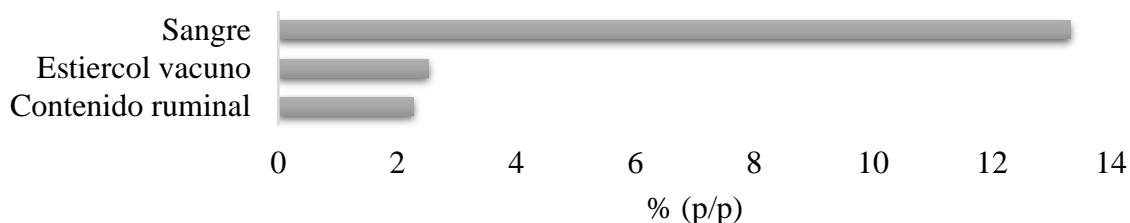


Los resultados obtenidos de nitrógeno se indican en la Tabla 5, siendo el de mayor contenido de nitrógeno la muestra de la sangre con 13.32%, seguido del estiércol vacuno con 2.53% y finalmente del contenido ruminal con 2.27%. Con los resultados de las medias de nitrógeno permitió determinar la muestra óptima para el proceso de biodigestión ya que encuentra dentro de los rangos aceptables de 0.30% a 2.50% (Varnero & Arellano, 1991). Los resultados de la media del nitrógeno en cada una de las muestras se representan en la Figura 15.

**Tabla 5**

*Contenido de nitrógeno de las muestras*

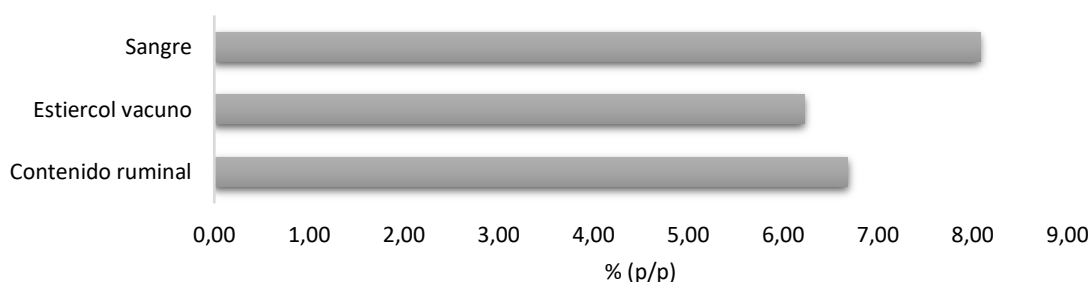
Materia orgánica	Promedio % (p/p)	Desviación estándar
Contenido ruminal	2.27	0.08
Estiércol vacuno	2.53	0.54
Sangre	13.32	0.14

**Figura 15***Porcentaje de nitrógeno en cada muestra*

Los resultados obtenidos de hidrógeno se indican en la Tabla 6, siendo el de mayor contenido de hidrógeno la muestra de la sangre con 8.09%, seguido del contenido ruminal con 6.69% y finalmente del estiércol vacuno con 6.23%. El hidrogeno es un compuesto importante para el proceso anaerobio, provocando la inhibición de la acetogénesis, el aumento de hidrogeno inhibe severamente a las bacterias que degradan acido propiónico, es por ello, que los residuos orgánicos deben ser menores al 16% de hidrogeno como lo indica (Carty,1964). Los resultados de la media del hidrogeno en cada una de las muestras se representan en la Figura 16.

**Tabla 6***Contenido de hidrogeno de las muestras*

Materia orgánica	Promedio % (p/p)	Desviación estándar
Contenido ruminal	6.69	0.74
Estiércol vacuno	6.23	0.36
Sangre	8.09	1.14

**Figura 16***Porcentaje de hidrogeno en cada muestra*

Los resultados obtenidos de azufre se indican en la Tabla 7, siendo el de mayor contenido de azufre la muestra de la sangre con 0.39%, seguido del contenido ruminal

con 0.20% y finalmente del estiércol vacuno con 0.03%. El azufre es importante para el proceso microbiológico presentando un cierto equilibrio con los demás compuestos, la composición de azufre en la materia orgánica debe ser en un rango de 0% a 10% como lo indica (Esguerra, 1989). Los resultados de la media del azufre en cada una de las muestras se representan en la Figura 17.

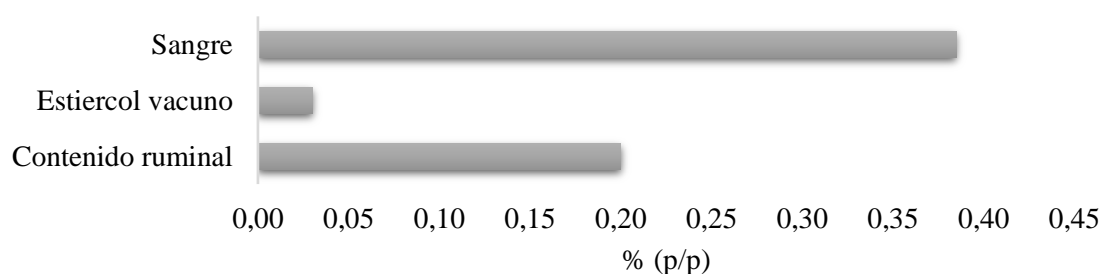
**Tabla 7**

*Contenido de azufre de las muestras*

Materia orgánica	Promedio % (p/p)	Desviación estándar
Contenido ruminal	0.20	0.230
Estiércol vacuno	0.03	0.001
Sangre	0.39	0.110

**Figura 17**

*Porcentaje de azufre en cada muestra*



#### 4.1.4 Análisis proximal de la materia orgánica

El resultado del análisis proximal de las diferentes materias orgánicas se desglosa en la Tabla 8, se observa el contenido de humedad, sólidos fijos y sólidos volátiles, con dos repeticiones para cada muestra en la parte de humedad.

**Tabla 8**

*Análisis de humedad, sólidos volátiles y sólidos totales*

Matriz de ensayo	Humedad (N1) % (p/p)	Humedad (N2) % (p/p)	Sólidos Fijos (SF) g de SF/kg	Sólidos volátiles (SV) g de SV/kg
Contenido ruminal	93.50	93.61	12.05	52.53
Estiércol vacuno	90.86	90.95	19.68	71.79
Sangre	89.42	89.14	7.35	99.08

**Comparación de las matrices de ensayo del análisis proximal.** Los resultados del análisis de humedad se desglosan en la Tabla 9, siendo el contenido ruminal el de mayor porcentaje una media de 93.56%, seguido del estiércol vacuno de 90.91%, y finalmente la sangre con 89.28%. Con los resultados obtenidos se pudo observar altos niveles de humedad en las diferentes muestras, lo cual garantiza una buena digestión anaerobia, el rango recomendado es de 80% a 95% como lo indica (Bernache & Bocco, 2000). De acuerdo con los datos obtenidos de la Tabla 9, los resultados de la media de humedad en cada una de las muestras se representan en la Figura 18.

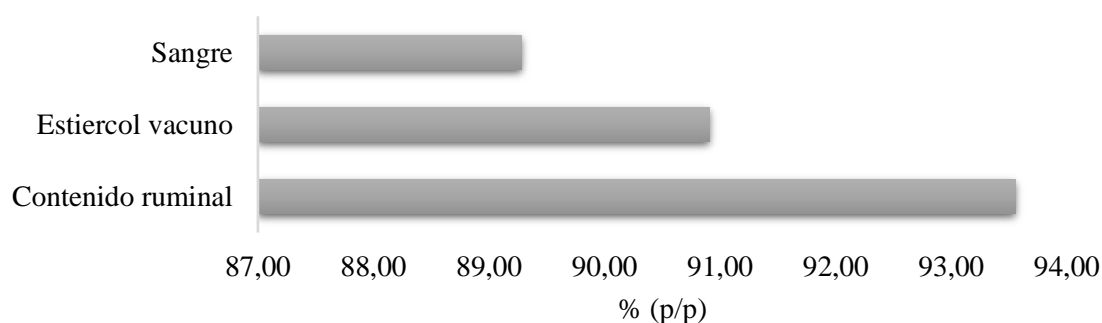
**Tabla 9**

*Contenido de humedad de las muestras*

Materia orgánica	Promedio % (p/p)	Desviación estándar
Contenido ruminal	93.56	0.08
Estiércol vacuno	90.91	0.06
Sangre	89.28	0.20

**Figura 18**

*Porcentaje de humedad en cada muestra*

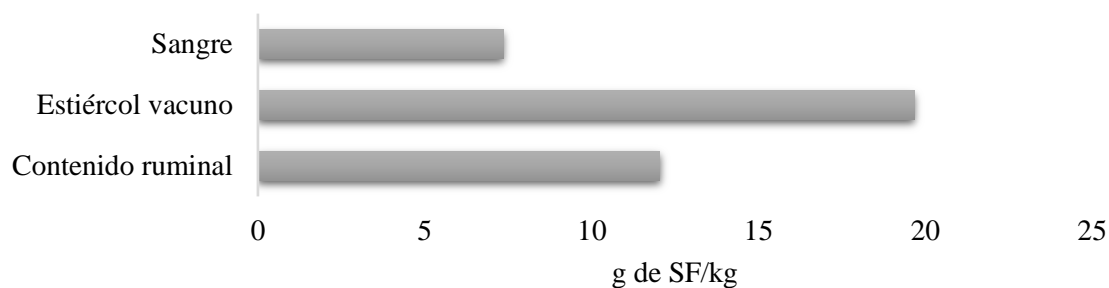


Los resultados de los sólidos fijos y sólidos volátiles se desglosan en la Tabla 8, el contenido ruminal contiene 12.05 g de SF/kg y 52.53 g de SV/kg, el estiércol vacuno con 19.68 g de SF/kg y 71.79 g de SV/kg, finalmente la sangre con 7.35 g de SF/kg y 99.08 g de SV/kg. Para la determinación operacional de los reactores anaerobios se tomó en cuenta los resultados de sólidos fijos, según Varnero, (1991) el contenido de la mezcla no debe exceder el 10% de sólidos fijos, por tal motivo, se procedió a diluir la mezcla para estar en el rango recomendado. En los sólidos volátiles los residuales de materia orgánica pueden tener un rango superior al 10% para una buena fermentación de biogás

según Varnero, (1991). De acuerdo con los datos obtenidos de la Tabla 8, los resultados de los sólidos fijos se representan en la Figura 19 mientras que, los sólidos volátiles están representado en la Figura 20.

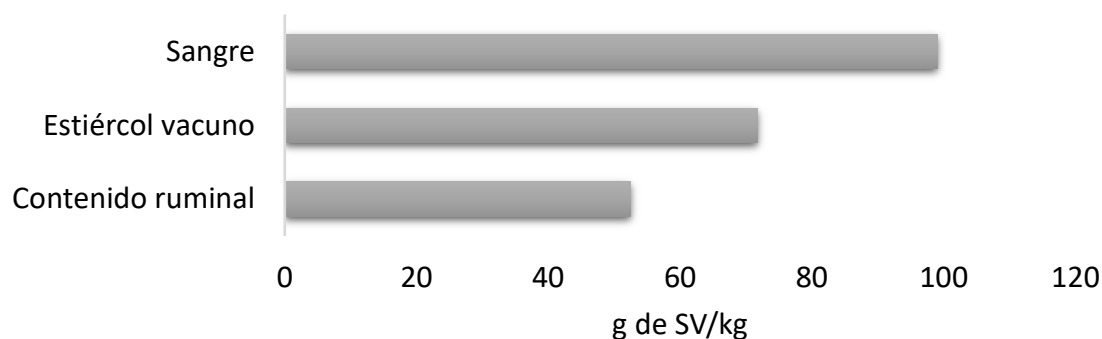
**Figura 19**

*Contenido de solidos fijos en cada muestra*



**Figura 20**

*Contenido de solidos volátiles en cada muestra*



## 4.2 Mezcla para la generación de biogás

Se determinó de elementos principales como son: relación C/N de las mezclas, características del reactor, volumen de ingreso de los residuos y estiércol vacuno en cada uno de los reactores. relación C/N de las mezclas y su agitador para la homogenización de la materia orgánica.

### 4.2.1 Características del Reactor

Se escogió un diseño de columna cilíndrica y un separador gas-líquido-sólido por la alta eficiencia, sencillez, requerimiento de espacio pequeño, bajo consumo de energía y baja producción de lodos. Los resultados se presentan en la Tabla 10 en función de las características geométricas de los reactores anaeróbicos UASB.

**Tabla 10***Características geométricas de los reactores UASB*

DATOS	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3
Diámetro (cm)	10	10	10
Altura (cm)	108	60	60
Volumen reactor ( $cm^3$ )	8482	4712	4712

**4.2.2 Sustrato de operación**

En el presente estudio se escogió tres tipos de materia orgánica, los cuales son: contenido ruminal, sangre y estiércol de vaca por ser los más abundante en los centros de faenamiento y requerir menor cantidad de agua para la mezcla y producción de biogás (Castells et al., 2019). Los resultados de la mezcla se observan en las Tablas 11, 12 y 13 siendo el de mayor porcentaje el contenido ruminal y de menor cantidad la sangre al ser una materia de alta toxicidad siendo perjudicial para la digestión anaerobia.

**Tabla 11***Porcentajes de materia orgánica en la mezcla 1*

Especificaciones	Contenido ruminal	Sangre	Estiércol	Agua intrínseca total (g)	Materia orgánica base seca total (g)	Trabajo del Reactor 1 (6/100)
Peso (g)	2250	60	690			
Humedad	93.5	89.42	90.86			
Porcentaje (%)	67.81	2.94	29.24	2784.34	215.66	0.06
Agua intrínseca (g)	2103.75	53.65	626.93			
Base seca(g)	146.25	6.34	63.07			

La mezcla 1 contiene 67,81% de contenido ruminal, 29,24% de estiércol vacuno y 2,94% de sangre como se observa en la Tabla 11.

**Tabla 12***Porcentajes de materia orgánica en la mezcla 2*

Especificaciones	Contenido ruminal	Sangre	Estiércol	Agua intrínseca total (g)	Materia orgánica base seca total (g)	Trabajo del Reactor 2 (6/100)
Peso (g)	2250	15	735			
Humedad	93.5	89.42	90.86			
Porcentaje (%)	68.02	0.74	31.24	2784.98	215.02	0.06
Agua intrínseca (g)	2103.75	13.41	667.82			
Base seca(g)	146.25	1.59	67.18			

La mezcla 2 contiene 68,02 de contenido ruminal, 31,24% de estiércol vacuno y 0,74% de sangre como se puede apreciar en la Tabla 12.

**Tabla 13***Porcentajes de materia orgánica en la mezcla 3*

Especificaciones	Contenido ruminal	Estiércol	Agua intrínseca total (g)	Materia orgánica base seca total (g)	Trabajo del Reactor 3 (6/100)
Peso (g)	2250	750			
Humedad	93.5	90.86			
Porcentaje (%)	68.09	31.91	2785.20	214.80	0.06
Agua intrínseca (g)	2103.75	681.45			
Base seca(g)	146.25	68.55			

Finalmente la mezcla 3 está compuesta de 68,09% de contenido ruminal y 31,91% de estiércol vacuno como se aprecia en la Tabla 13.

### 4.2.3 Relación Carbono/Nitrógeno

Como se puede apreciar en la Tabla 14, los resultados de la relación C/N dando la mezcla 1 de 16:1, la mezcla 2 una relación C/N 17:1, finalmente la mezcla 3 con 18:1, siendo la más alta con respecto a las otras dos mezclas, por consiguiente, se da inicio al proceso de digestión anaerobia.

**Tabla 14**

*Relación C/N de las mezclas*

N° de mezcla	Subproducto	Sustrato (%)	Relación C/N
Mezcla 1	Contenido Ruminal	67.81	16:1
	Estiércol	29.24	
	Sangre	2.94	
Mezcla 2	Contenido Ruminal	68.02	17:1
	Estiércol	31.24	
	Sangre	0.74	
Mezcla 3	Contenido Ruminal	68.09	18:1
	Estiércol	31.09	
	Sangre	0	

### 4.2.4 Sistema de agitación y homogenización del sustrato

El sistema de agitación empleado para la homogenización del sustrato fue de recirculación del contenido descrito por Solera del Río (2014), mediante una bomba manual de diafragma. La Tabla 15 muestra las características de homogenización en los dos reactores. Los resultados de la homogenización con relación a la configuración geométrica del reactor y óptimo proceso anaeróbico muestran que existe un mejor mezclado del sustrato fresco, maximización del volumen efectivo del reactor (Nuntón, 2019), homogenización de temperatura y concentración de la mezcla (Quinchía et al., 2019), eliminación del biogás de la mezcla y prevención de estratificación de sólidos en la parte superior de los reactores.



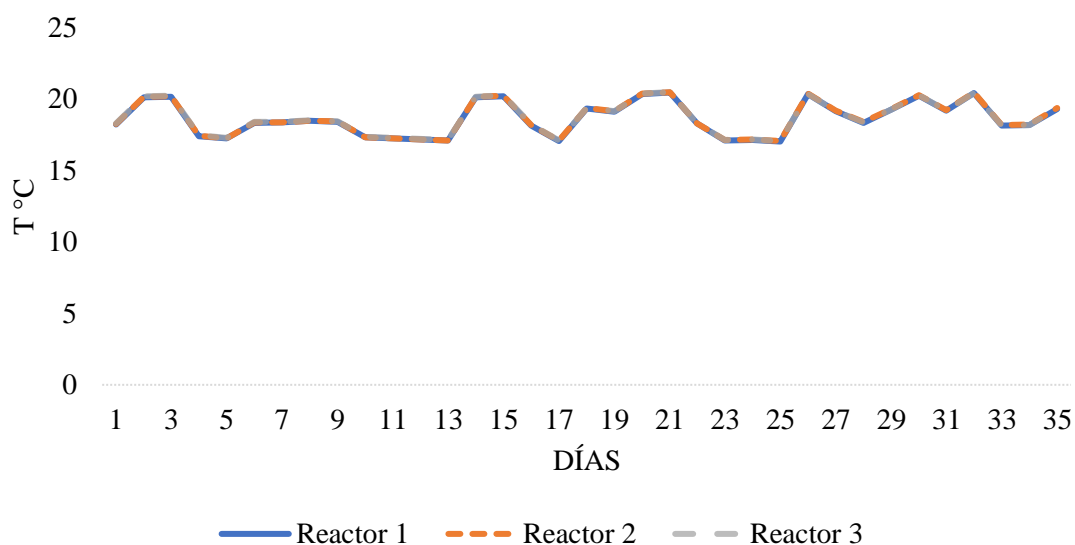
**Tabla 15***Características del sistema de homogenización del sustrato*

Datos	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3
Frecuencia de bombeo (horas)	24	24	24
Número de bombeos por min	40	40	40
Total, bombeo en 10 min (24 horas)	400	400	400

### 4.3 Interpretación del comportamiento de la mezcla optima en el funcionamiento de los reactores UASB, escala de laboratorio.

#### 4.3.1 Monitoreo de temperatura

Los resultados de temperatura de la experimentación presentan un comportamiento similar en los reactores R1, R2 y R3. La fase experimental se realizó en un espacio cerrado a una temperatura ambiente que oscila entre los 18.6° C y a una humedad relativa de 70%, permitiendo una estabilidad de su temperatura. En la Figura 21 se observa la variación de temperatura de la experimentación que presentaron los tres reactores.

**Figura 21***Temperatura de los reactores*

El promedio de las temperaturas obtenidas en el R1 está en 18,61° C, R2 18,66° C y R3 18,67° C, operando en rango de temperatura mesofílico. (Nuntón, 2019) señala que, los rangos de temperatura mínimos para el proceso de digestión anaerobia es el

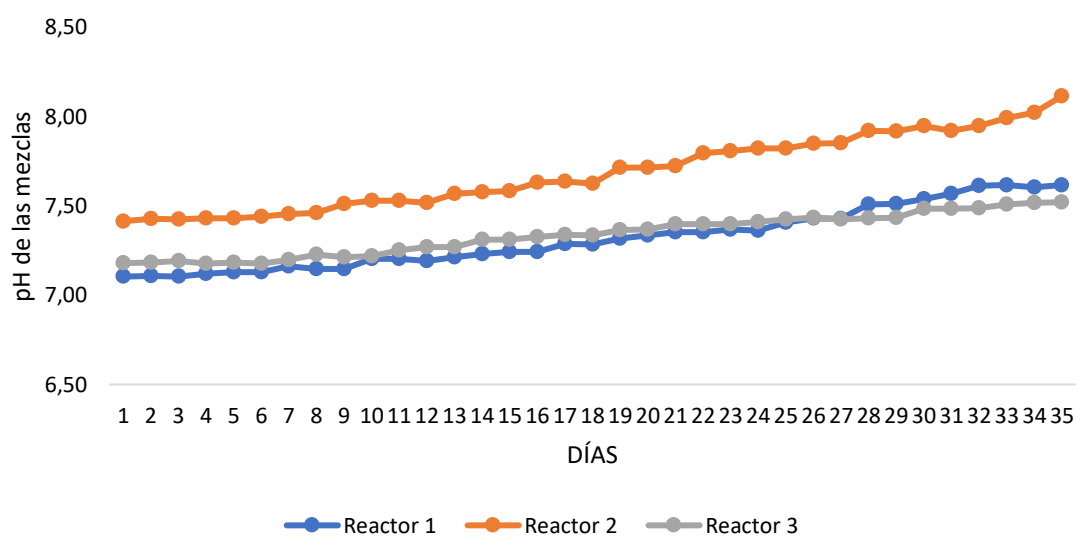
mesofílico estando entre (15 – 25° C), sosteniendo que las bacterias digieren la materia orgánica más rápido en este rango. La (FAO, 2011) indica, para un proceso anaeróbico más favorable se dan en espacios térmicamente aislados para evitar cambios de temperatura bruscos.

#### 4.3.2 Monitoreo de pH

El registro de pH en la mezcla de operación en los reactores se puede observar que el pH presenta un comportamiento similar en los R1 y R3, a diferencia en el R2 donde existe un aumento. En la Figura 22 se indica la variación de pH en la mezcla de los reactores en la experimentación.

**Figura 22**

*pH de las mezclas en los reactores*



Los resultados de la media de pH en el R1 son de 7.43, para el R3 es de 7.42 y en el R2 es de 7.89, dando como resultado que los tres reactores trabajaron con una media de pH en el rango óptimo para el trabajo de las bacterias metanogénicas indicado por (FAO, 2011). (Martí, 2019) afirma que la mayor producción de biogás en los reactores, se producen a pH mayores a 7, además, señala que pH menores de 6.5 inhiben la acción de las bacterias perjudicando de manera clara la producción de biogás.

#### 4.3.3 Nutrientes en los Reactores

El resultado de los nutrientes en las mezclas de cada reactor se desglosa en la Tabla 16, se observa el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, presentando los porcentajes de concentraciones similares en los tres reactores.

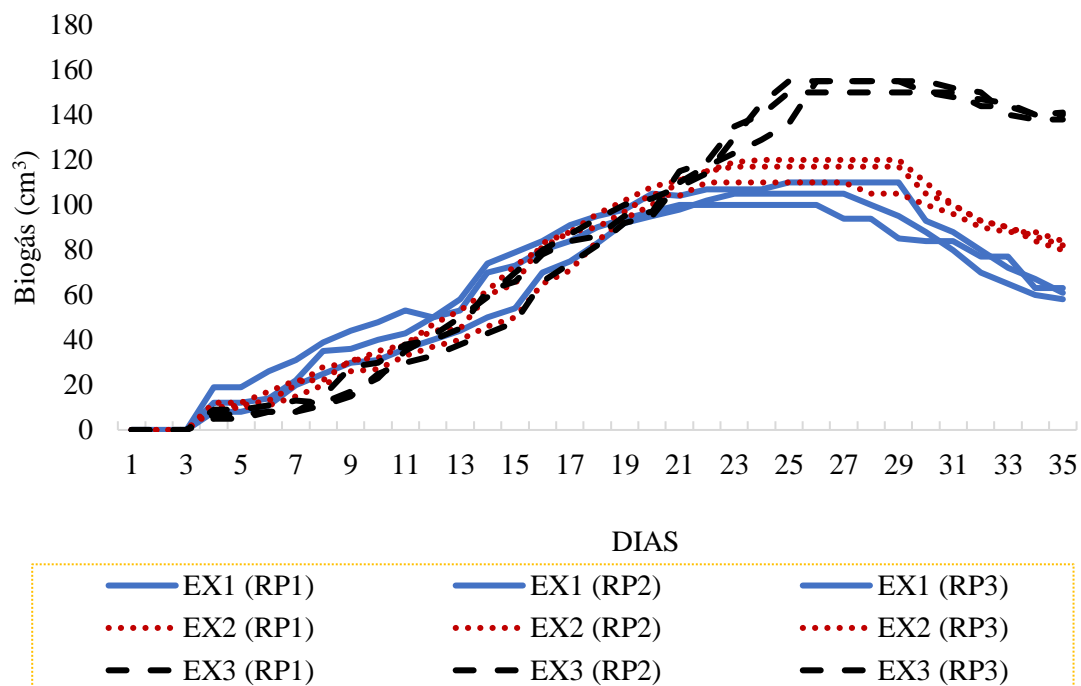
**Tabla 16***Porcentajes de nutrientes en los reactores*

Concentración	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3
Nitrógeno (%)	0.85	0.77	0.71
Fósforo (%)	2.71	2.55	2.72
Potasio (%)	51.44	58.81	57.11

El nitrógeno de mayor concentración se presenta en el R1 con 0.85%, seguido de R2 con 0.77% finalmente el R3 con 0.71; se presenta una mayor concentración de fósforo en el R3 con 2.72%, seguido del R1 con 2.71 y el R2 con 2.55; la concentración de potasio es mayor en el R2 con 58.81, R3 con 57.11 y el R1 con 51.44. La (FAO, 2011) indica que, los nutrientes son de suma importancia en el proceso anaeróbico para la síntesis de nueva biomas, siendo una gran ventaja frente a los procesos aeróbicos, esto se debe ya que en los anaeróbicos la necesidad de nutrientes es baja derivada de los bajos índices de producción de biomas que presentan los microorganismos anaeróbicos, la cantidad necesaria de nitrógeno y fósforo para la síntesis de biomasa son valores menores al 12%. (Nuntón, 2019) señala que, los nutrientes tienen un valor grande en el sector agrícola utilizado como un biofertilizante proveniente de los biorreactores, su valor se calcula mediante los siguientes parámetros: contenido de materia orgánica, pH, relación C/N y altas concentraciones de potasio.

#### **4.3.4 Producción de Biogás**

Se observa en la Figura 23 la producción de biogás de cada experimentación EX1, EX2 y EX3, cada una con su propia mezcla y con una temperatura ambiente en un espacio cerrado. En la EX1 tuvo una mezcla de contenido ruminal con 67.81%, estiércol vacuno con 29.24% y sangre 2.94%, con una producción de biogás acumulada promedio de 2262.67 cm<sup>3</sup>; el EX2 tiene una mezcla de contenido ruminal con 68.02%, estiércol vacuno con 31.24% y sangre 0.74%, con una producción de biogás acumulada promedio de 2413 cm<sup>3</sup>; finalmente EX3 la mezcla es de contenido ruminal 68.09% y estiércol vacuno con 31.91% con una producción de biogás acumulada promedio de 2888 cm<sup>3</sup> siendo esta la de mayor rendimiento y producción de biogás. Se puede ver que la producción de biogás en las tres experimentaciones inició a partir del día 4, los cuales iniciaron con un volumen de 12, 10 y 5 cm<sup>3</sup> de biogás respectivamente.

**Figura 23***Producción de Biogás*

#### 4.4 Análisis estadístico

Mediante el software INFOSTAT se realizó el análisis estadístico, con sus tres repeticiones del EX1, EX2 y EX3, la producción de biogás acumulada de cada una de las experimentaciones, siendo la variable dependiente.

**Tabla 17***Datos ingresados al software INFOSTAT*

Experimento	Repetición	Biogás
EX1	R1	2226
EX1	R2	2382
EX1	R3	2918
EX2	R1	2113
EX2	R2	2339
EX2	R3	2790
EX3	R1	2449
EX3	R2	2518
EX3	R3	2956

#### 4.4.1 Prueba de normalidad Shapiro Wilks

Se observa en la Tabla 18, los resultados de la prueba de Shapiro Wilks, dando como resultado un valor de “p” igual a 0.8657.

**Tabla 18**

*Prueba de normalidad Shapiro Wilks*

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO	9	0	47.25	0.96	0.86
Biogás (cm <sup>3</sup> )					

Con el valor de “p” dadas según las hipótesis por la prueba de Shapiro Wilks, los datos tienen una distribución normal. Obtenido este resultado se procede a un análisis de varianza ANOVA.

#### 4.4.2 Análisis de varianza ANOVA

Los resultados del análisis se llevaron con una confianza del 95%, comparando el biogás acumulado producido en cada repetición de cada experimento, así se determina si existe significancia entre las medias. En la Tabla 19 se detalla el resultado indicando que si existe diferencias significativas entre los tres experimentos con un valor de “p” igual a 0.0001.

**Tabla 19**

*Análisis de varianza de la producción de biogás*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	697638.89	2	348819.44	117.18	0.0001
Error	17861.33	6	2976.89	117.18	
Total	715500.22	8			

Con estos resultados se determina que los EX1, EX2 y EX3, mantiene una media diferente, tomando en cuenta que los experimentos se realizar con diferentes mezclas, dando a entender que esta variable afecta a los tres experimentos en el proceso de digestión.

#### 4.4.3 Test LSD Fisher

En la Tabla 20 indica los resultados de la prueba de Fisher, con una confianza del 95%. Con este resultado se da a entender que el EX3 tuvo mayor producción de biogás, esto debido a la mezcla que se ingresó al reactor, esta prueba da veracidad a que el tipo de mezcla es un factor influyente e importante en el periodo que se lleva a cabo el proceso de digestión anaerobia.

**Tabla 20**

*Comparación LSD de Fisher*

Experimento	Medias	N	E.E.
M1	2179.67	3	A
M2	2354.67	3	B
M3	2838.00	3	C

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

## Capítulo V

### Conclusiones y Recomendaciones

#### 5.1 Conclusiones

- Los residuos sólidos y líquidos del centro de faenamiento corresponden a estiércol vacuno con 11.24%, sangre 21.48% y contenido ruminal 67.28%.
- Los residuos sólidos y líquidos de los centros de faenamiento tienen un exceso de nitrógeno.
- La mezcla de contenido ruminal, estiércol vacuno y sin sangre presento el mejor rendimiento para la generación de biogás.
- La mezcla hidráulica del sustrato en forma periódica favorece la producción de biogás.

## 5.2 Recomendaciones

- Debido al alto contenido de sólidos volátiles en la sangre y de carbono se recomienda realizar estudios sobre el potencial energético.
- Se recomienda realizar estudios para evaluar producción de nutrientes en un reactor anaerobio a partir de residuos sólidos y líquidos de centros de faenamiento.
- En el proceso de agitación de las bombas mantener una velocidad constante en periodos de tiempos ya determinados, evitando el aumento abrupto de velocidad en la agitación ocasionara mayores vibraciones en el reactor provocando rupturas, daños en las protecciones de las bombas y fugas del sustrato.



## Referencias

- Aguilera, E. A. R. (2017). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, 24, 60-81. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i24.5552>
- Amat, J. (2016). *Ciencia de Datos*. [https://www.cienciadedatos.net/documentos/19\\_anova#Informaci%C3%B3n\\_se\\_si%C3%B3n](https://www.cienciadedatos.net/documentos/19_anova#Informaci%C3%B3n_se_si%C3%B3n)
- Ambiente. (2013). *Residuos Sólidos*. <http://todosobreelmedioambiente.jimdo.com/residuos-s%C3%B3lidos/>
- American Water Works Association. (2012). *Planificación para emergencias en empresas de servicios de agua*.
- Atil, H. (2001). *Multiple Comparisons*. 723-727.
- Balladares, A. (2002). *Rellenos sanitarios y tratamiento de residuos líquidos de mataderos*. Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (BVSDE).
- Bermúdez, R., Rodríguez, S., & Martínez, M. (2003). *Ventajas de empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la obtención de biogás*. 23, 1-9.
- Bonilla, M. (2007). *Guía para el manejo de los residuos en rastros y mataderos municipales*. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. <https://es.scribd.com/document/199160008/Guia-Para-Manejo-de-Residuos-de-Rastros-y-Mataderos-Municipales>
- Briceño, K., & Castillo, X. (2009). *Diagnóstico ambiental y plan de manejo para el camal de zapotillo* [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5047/1/DIAGN%C3%93STICO%20AMBIENTAL%20Y%20PLAN%20DE%20MANEJO.pdf>

- Campos, E., Elías, X., & Flotats, X. (2012). *Procesos biológicos: La digestión anaerobia y el compostaje*.
- Cantuña, L. (2018). *EVALUACIÓN POR VALORACIÓN DEL POTENCIAL DE BIOMETANIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE PRODUCCIÓN DE METANO A PARTIR DE SUERO LÁCTEO DE LA QUESERÍA ARTESANAL DE LA ZONA RURAL DE MACHACHI INOCULADO CON ESTIÉRCOL BOVINO*.
- Carhuancho, F. (2012). *APROVECHAMIENTO DEL ESTIÉRCOL PARA LA ELABORACIÓN DE BIOL EN BIODIGESTORES*.
- CONAGUA. (2015). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de agua residuales municipales: Reactores anaerobios de flujo ascendente*.  
[https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/CONAGUA%202015.%20Manual%20Reactores%20anaerobios%20de%20flujo%20asce.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015.%20Manual%20Reactores%20anaerobios%20de%20flujo%20asce.pdf)
- Cordero, I. (2010). *Aplicación de biol a partir de residuos: Ganaderos, de cuy y gallinaza, en cultivos de raph.anus sativus para determinar su incidencia en la calidad del suelo para agricultura*.
- Crites, R. (2000). *Tratamiento Preliminar de Aguas Residuales: Operaciones y Procesos*. McGraw-Hil.
- Dagnino, J. (2014). *ANÁLISIS DE VARIANZA*. 306-310.
- Delgadillo, O. (2010). *Depuración de Aguas Residuales por Medio de Humedales Artificiales*.
- Droppelmann, G. (2018). *PRUEBAS DE NORMALIDAD, Normality Test*.
- Duque, P., & Chinchay, L. (2008). *Caracterización de Residuos Sólidos, Efluentes Residuales y Evaluación de Impactos Ambientales en tres mataderos de ganado en la Provincia de Loja-Ecuador*.  
[www.aeisa.org.ec/.../R2%20Quito%20DUQUE-ECUADOR-1.doc](http://www.aeisa.org.ec/.../R2%20Quito%20DUQUE-ECUADOR-1.doc)

- Durán, A., Basurto, G., Castelán, G., Peralta, S., Aguilar, M., & Sánchez, M. (2018). *Estudio de digestión anaeróbica seca y húmeda en planta piloto, para determinar el potencial de producción de biogás a partir de residuos orgánicos generados en el municipio de Naucalpan de Juárez.*
- Echeverri, L. (2015). *Comparación de pruebas de normalidad.*
- FAO. (2019). *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores.*  
<https://bit.ly/2xR7X56>
- FAO. (2011). *Manual de biogàs.*
- Flores, C., & Flores, K. (2021). *PRUEBAS PARA COMPROBAR LA NORMALIDAD DE DATOS EN PROCESOS PRODUCTIVOS: ANDERSON DARLING, RYANJOINER, SHAPIRO-WILK Y KOLMOGÓROV-SMIRNOV.*
- García, B. (2006). *Higiene e inspección de carnes* (Díaz de Santos).
- García, G. (2016). *Diseño de un biodigestor para el mejoramiento de las aguas residuales en la parroquia de tumbaco ejemplificado en los barrios Tola chica, Tola Grande y Santa Rosa.*
- García, S., & Muñoz, F. (2019). *PROPUESTA DE MANEJO INTEGRAL DE DESECHOS GENERADOS EN LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE FAENAMIENTO Y PRODUCTOS CÁRNICOS DE IBARRA.*
- Gaviria, L. (1998). *Tratamiento de Aguas Residuales: Una necesidad inaplazable.* Ministerio del Medio Ambiente, Santa Fe de Bogotá.
- IDEAM. (2007). *Demanda Química de Oxígeno por refluo cerrado y volumetría.* Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Iglesias, B. (2015). *Diseño e implementación de un reactor anaerobio UASB en la industria de los lácteos para su uso como fuente de energía en co-generación.*  
<https://docplayer.es/59074761-Diseno-e-implatacion-de-un-reactor-anaerobio-uasb-en-la-industria-de-los-lacteos-para-su-uso-como-fuente-de-energia-en-co-generacion.html>

- INHAMI. (2015). *Boletín climatológico anual 2015*.
- López, J. (2011). *Evaluación de la eficiencia de un reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos UASB para el tratamiento de aguas residuales – escala laboratorio* [Universidad San Francisco de Quito]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/750/1/98208.pdf>
- MAE. (2013). *Estudio de potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/03/PART11.pdf>
- Mapfre Empresas. (2005). *Minimización del riesgo medioambiental en los mataderos*. Centro de Documentación FUNDACIÓN MAPFRE. [www.mapfre.com/documentacion/publico/.../imagen.cmd?...1](http://www.mapfre.com/documentacion/publico/.../imagen.cmd?...1)
- Márquez, M., & Martínez, S. (2011). *Reactores Anaerobios de flujo ascendente (RAFA o UASB)* antología. [http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/11619/mod\\_resource/content/0/RAFA.pdf](http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/11619/mod_resource/content/0/RAFA.pdf)
- Martí, J. (2019). *Biodigestores tubulares. Guía de diseño y manual de instalación*. <https://www.beegroup-cimne.com/biodigestores-tubulares-guia-de-diseno-y-manual-de-instalacion/>
- MEER. (2014). *Atlas Bioenergético de la República del Ecuador*. 156.
- Meteoblue. (2019). *Archivo meteorológico Tulcán*. [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/weatherarchive/tulc%C3%A1n\\_ecuador\\_3650472?fcstlength=1m&year=2019&month=9](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/weatherarchive/tulc%C3%A1n_ecuador_3650472?fcstlength=1m&year=2019&month=9)
- Milton Cun, & Álvarez, C. (2017). *Estudio de impacto ambiental de un camal municipal urbano en la provincia de Oro*. Ecuador. <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/download/135/114/>

- Moreno, J., Moral, R., Garcia, J., Pacual, J., & Bernal, M. (2014). *II Proceso de biotransformación de la materia orgánica. 2 Aspectos biológicos de la digestión anaerobia*. Mundi-Prensa.
- Negrão, C. (2002). *Gestión Ambiental*. Unesco. [www.unesco.org.uy/geo/campinaspdf/3gestion.pdf](http://www.unesco.org.uy/geo/campinaspdf/3gestion.pdf)
- Nemerón. (1977). *Aguas residuales industriales*. Blume.
- Nieto, L. (2020). *Modelamiento y simulación de un Biorreactor de Membrana (MBR) para un agua residual a la salida de Trujillo*.
- Nuntón, S. (2019). *Influencia de la temperatura y pH en el rendimiento de obtención de biogás a partir de bagazo de caña y estiércol de equino mediante un digestor Batch*.
- Obaya, M., & Lorenzo, Y. (2006). *La digestión anaerobia y los reactores UASB. Generalidades*. 40, 13-21.
- OMS. (2019, junio 14). *Agua*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Osorio, F., Torres, J., & Sánchez, M. (2010). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes. Aplicaciones de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales*. Díaz de Santos.
- Parra, B., Torres, P., Marmolejo, L., Cárdenas, L., Vásquez, C., Torres, W., & Ordóñez, J. (2014). *Influencia del ph sobre la digestión anaerobia de biorresiduos de origen municipal*. 17. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262014000200027&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262014000200027&script=sci_abstract&tlng=es)
- Parra, R. (2010). *Digestión Anaerobia de Lactosuero: Efecto de Altas Cargas Puntuales*. 63, 5385-5394.
- Quille, G., & Donaires, T. (2013). *Tratamiento de Efluentes Líquidos y Sólidos de Camal Municipal Ilave*.

- Quintero, J., Gámez, C., & Lozano, S. (2018). *Produciendo biogás y abono en mi finca: Estrategias para el aprovechamiento de residuos orgánicos mediante la construcción e instalación de biodigestores*. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). <https://hdl.handle.net/11404/4943>
- Robinson, D., Scheneiter, O., & Melgar, R. (2016). *Fertilización y Utilización de Nutrientes en Campos Forrajeros de Corte*. <http://www.fertilizando.com/articulos/Fertilizacion%20y%20Utilizacion%20de%20Nutrientes%20en%20Forrajeros%20de%20Corte.asp>
- Rodríguez, L. (2020). *Eliminación de altas concentraciones de sulfitos mediante reactor biológico secuencial. Influencia en el rendimiento del proceso*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Rodríguez-Miranda, J. P., García-Ubaque, C. A., & García-Ubaque, J. C. (2017). Enfermedades transmitidas por el agua y saneamiento básico en Colombia. *Revista de Salud Pública*, 18(5), 738. <https://doi.org/10.15446/rsap.v18n5.54869>
- Romero, D. (2012). *Caracterización y tratamiento de agua residual proveniente de las Plantas de Producción*. Universidad Simón Bolívar.
- Rovira, L. (2006). Digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos: Estudio de las necesidades para la implantación en Perú. *Cuadernos internacionales de tecnología para el desarrollo humano*, ISSN 1885-8104, Nº. 5, 2006, pag. 10.
- Ruiz, S. (2011). *Plan de gestión de residuos del camal del cantón Antonio Ante*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3743>
- SENPLADES. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021—Toda una Vida*.
- Secretaría Nacional de Planificación. (2021). *Plan de Creación de Oportunidades 2021—2025*. <https://www.protrade.ec/wp-content/uploads/2022/06/PND-Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-.pdf>
- Soárez, M. (2008). *Medio ambiente y desarrollo: Manual de gestión de los recursos en función del medio ambiente*. Mundi-Prensa.

- Toledo, M. (2016). *Análisis elemental CHNSO: preparación de muestras*.
- Torres, P. (2012). *Perspectiva del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo*. 18, 115-129.
- Verdezoto, W., & Viquel, G. (2011). *Evaluación de un reactor UASB y producción de biogás de los residuales líquidos del beneficiado húmedo de café* [Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1046/1/T-UTC-0736.pdf>
- Villareal, W. (2015). *Diseño para la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales en el estadio de la universidad Técnica del Norte, cantón Ibarra provincia de Imbabura*. Universidad Técnica del Norte.
- Zúniga, C. (2011). *Texto básico de economía agrícola: Su importancia para el desarrollo Local sostenible*. Universitaria, UNAN.