

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



DENOMINACIÓN DEL TÍTULO A OBTENER

Ingeniero Ambiental

TÍTULO DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“Determinación del potencial de generación de biogás a partir de
residuos orgánicos de camal por el proceso de digestión anaerobia en la
ciudad de Puyo, Pastaza”**

AUTORES:

Georman Geovanny Sucunuta Abad – Carlos David Villarroel Amán

DIRECTOR:

Ing. Karel Diéguez Santana, MSc.

Dr. Amaury Pérez Martínez

PUYO – PASTAZA – ECUADOR

2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, Georman Geovanny Sucunuta Abad con cédula de identidad 1900611151; Carlos David Villarroel Amán con cédula de identidad 1600629628, declaramos ante las autoridades educativas de la Universidad Estatal Amazónica, que el contenido del Proyecto de Innovación titulado: **“Determinación del potencial de generación de biogás a partir de residuos orgánicos de camal por el proceso de digestión anaeróbica en la ciudad de Puyo, Pastaza”**, es absolutamente original, auténtico y personal.

En tal virtud y según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente, certifico libremente que los criterios y opiniones que constan en el Proyecto de Investigación y Desarrollo son de exclusiva responsabilidad de los autores; y que los resultados expuestos pertenecen a la Universidad Estatal Amazónica.

Georman Geovanny Sucunuta Abad

C.I. 1900611151

AUTOR

Carlos David Villarroel Amán

C.I. 1600629628

AUTOR

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Certifico que el presente proyecto de investigación y desarrollo sobre el tema **“Determinación del potencial de generación de biogás a partir de residuos orgánicos de camal por el proceso de digestión anaeróbica en la ciudad de Puyo, Pastaza”**, previo a la obtención del título de Ingenieros (as) Ambientales ha sido desarrollado por los señores Georman Geovanny Sucunuta Abad y Carlos David Villarroel Amán bajo mi tutoría y dirección, cumpliendo con todos los requisitos y disponibilidades legales establecidos por la Universidad Estatal Amazónica (UEA), por lo que autorizo su presentación.

Ing. Karel Diéguez Santana MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del Proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de investigación **“Determinación del potencial de generación de biogás a partir de residuos orgánicos de camal por el proceso de digestión anaeróbica en la ciudad de Puyo, Pastaza”**

Dr. C. Yasiel Arteaga

**PRESIDENTE DEL
TRIBUNAL**

Dr. C. Reinier Abreu

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ms. Sc. Margarita Jara

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTOS

Mi principal y más importante agradecimiento es para Dios; porque a pesar de todas las tormentas él jamás me soltó, me ayudó a salir de muchas dificultades y me dio la oportunidad de seguir un camino transparente lleno de grandes bendiciones; doy gracias a Dios por haberles brindado a mis padres paciencia, amor y grandes trabajos para que así puedan darme la oportunidad de estudiar, de superarme y ser mejor persona; por haber puesto hermosas personas en mi camino, las cuales me motivaron a seguir adelante, a no rendirme y a alcanzar mis metas; por la paciencia y perseverancia puesta en mi tutor, en este caso el Ing. Karel Diéguez Santana Mgs., porque a pesar de los inconvenientes que se nos presentaron al realizar esta investigación él no se dio por vencido.

Georman Geovanny Sucunuta Abad

AGRADECIMIENTOS

En el transcurrir de la vida nos encontramos con muchas dificultades que solamente se pueden enfrentar de la mano del Omnipotente, es muy gratificante saber y entender que con la ayuda de nuestro Padre Celestial hemos podido llegar hasta esta instancia de nuestra vida, culminar un ciclo más y avanzar al siguiente, por todo lo mencionado y mucho más, mi principal agradecimiento es a nuestro Padre Celestial. Por todo el apoyo profesional y comprensibilidad agradezco a mi tutor Karel Diéguez Santana quien ha sido nuestra guía incondicional para culminar este proyecto a pesar de las dificultades presentadas, por todo el sacrificio y trabajo a mi compañero de proyecto Georman Sucunuta quien ha sido de gran ayuda para que el trabajo se lleve de mejor manera

Carlos David Villarroel Aman

DEDICATORIA

Este gran mérito se lo dedico a Dios, por haberme brindado la oportunidad de ser un profesional.

A mis Padres, porque gracias a su gran sacrificio he podido culminar mi carrera y he podido superarme no solo como profesional si no como persona.

A mi Tío Amílcar Abad, quien ya no está con nosotros, pero siempre aportó con un granito de arena para que yo pueda llegar a alcanzar esta meta.

A mi Director de Tesis, en este caso el Ing. Karel Diéguez Santana, por el apoyo incondicional que me brindó en el ámbito profesional como en el ámbito personal.

Georman Geovanny Sucunuta Abad

DEDICATORIA

Este merito se lo dedico a Dios gracias quien nos ha bendecido grandemente y ha estado como nuestra torre fuerte para enfrentar las dificultades de nuestra vida, “Dios mismo será tu guía, y te ayudará en todo; el jamás te abandonará” (Deuteronomio 31:8).

A mis padres Gonzalo Hernán Villarroel Benavides y Maricela Elizabeth Aman Gamboa, por ser mi más grande ejemplo para luchar en las adversidades.

Por toda la comprensión total y apoyo moral a mi esposa Mercedes Cecibel Machado Moya y a mi hija Karly Adaline Villarroel Machado

A mi tía Viviana Aman por todo el apoyo que me ha brindado en momentos de escases y confianza.

A mi tutor de tesis Ing. Karel Diéguez Santana por saber sobrellevar esta gran responsabilidad y ayudarnos a crecer profesionalmente.

Carlos David Villarroel Aman

RESUMEN

El camal municipal de Puyo genera gran cantidad de residuos orgánicos y por ende una gran contaminación del medio ambiente por el mal tratamiento final que se les brinda a los mismos. El objetivo principal de la presente investigación fue determinar el potencial de generación de biogás a partir de estos residuos por el proceso de digestión anaerobia. Se determinó la cantidad de residuo orgánico generado por el camal, los mismos estuvieron constituidos principalmente por estiércol y rumen de ganado porcino y bovino, obteniéndose: 2753,3 kg/semana de rumen y 1105,1kg/semana de estiércol. Posteriormente se realizaron análisis de varios parámetros del sustrato ingresado en el biodigestor donde se obtuvo 76,116g/L de sólidos volátiles (SV); 76,116 g/L de sólidos totales; 0,5% de nitrógeno (N); 0,267% de fósforo (P) y después de 32 días de proceso anaeróbico se realizó el análisis de la materia orgánica ya digerida por los microorganismos donde se menciona que la cantidad de sólidos volátiles (SV) se reduce un 77,01% y la cantidad de sólidos totales se reduce un 70,62%. De esta manera se logró realizar los cálculos necesarios donde se obtuvo la cantidad de biogás que se genera a base de residuos generados en el camal, siendo esta; 107,2 m³/mes de biogás, por lo cual podemos mencionar que con esta cantidad de biogás se pueden generar 173 horas de energía eléctrica (1Kwh) en este centro de faenamiento, lo que le permitiría la autosustentabilidad energética. De la misma manera, se puede decir que la generación de biogás a partir de residuos orgánicos de camal por el proceso de digestión anaerobia, es una tecnología factible para disminuir la contaminación ambiental producida por la mala disposición final de estos residuos.

Palabras clave: Digestión anaerobia, biodigestor, residuos orgánicos, biogás, bacterias metanogénicas.

SUMMARY

Puyo municipal camal generates a large amount of organic waste and therefore a great contamination of the environment due to the final bad treatment that is given to them. The main objective of the present investigation was to determine the potential of biogas generation from these residues by the anaerobic digestion process. The amount of organic waste generated by the slaughterhouse was determined, they were mainly constituted by manure and rumen of swine and cattle, obtaining: 2753.3 kg / week of rumen and 1105.1 kg / week of manure. Subsequently, several parameters of the substrate entered into the biodigester were analyzed, where 76,116g / L of volatile solids (SV) were obtained; 76,116 g / L of total solids; 0.5% nitrogen (N); 0.267% of phosphorus (P) and after 32 days of anaerobic process the analysis of the organic matter already digested by the microorganisms was carried out where it is mentioned that the amount of volatile solids (SV) is reduced by 77.01% and the amount of total solids is reduced by 70.62%. In this way it was possible to carry out the necessary calculations where the amount of biogas generated from waste generated in the slaughterhouse was obtained, being this one; 107.2 m³ / month of biogas, which is why we can mention that with this amount of biogas 173 hours of electric power (1Kwh) can be generated in this slaughterhouse, which would allow it to self-sustain energy. In the same way, it can be said that the generation of biogas from organic waste from camal by the anaerobic digestion process, it is a feasible technology to reduce the environmental contamination produced by the final poor disposal of this waste.

Keywords: Anaerobic digestion, biodigester, organic waste, biogas, methanogenic bacteria.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|----------|
| CAPÍTULO I | 1 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Planteamiento del problema..... | 1 |
| 1.2. Justificación..... | 2 |
| 1.3. Formulación del problema | 3 |
| 1.4. Objetivos | 3 |
| Objetivo General..... | 3 |
| Objetivos Específicos | 3 |
| CAPÍTULO II..... | 4 |
| 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN..... | 4 |
| 2.1. Antecedentes | 4 |
| 2.2. Bases teóricas | 4 |
| Camal..... | 4 |
| Desechos generados en el camal | 5 |
| Tecnologías para la transformación de residuos orgánicos de camal..... | 7 |
| - Compost | 7 |
| Productos de la digestión anaerobia | 9 |
| - Biol..... | 9 |
| - Biogás..... | 9 |
| Los biodigestores..... | 9 |
| Aplicaciones del biogás | 10 |
| Parámetros de análisis en laboratorio | 10 |
| 2.3. Marco legal..... | 12 |
| Normativa internacional | 12 |
| Normativa nacional..... | 13 |
| - Código orgánico del ambiente (COA) | 13 |
| - Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) (2010)..... | 15 |
| - Acuerdo Ministerial 061 (AM 061-2015) | 16 |
| - Acuerdo Ministerial 097-A (A.M. 097-A. Límites Permisibles) | 17 |
| - Ley orgánica de salud..... | 17 |

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO III | 18 |
| 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN..... | 18 |
| 3.1. Localización | 18 |
| 3.2. Tipo de investigación | 19 |
| 3.3. Métodos de investigación..... | 19 |
| Construcción de biodigestores..... | 19 |
| 3.4. Recolección de datos..... | 21 |
| 3.5. Cuantificación de los residuos orgánicos generados en el camal municipal de la ciudad de Puyo. | 21 |
| 3.6. Producción de biogás | 23 |
| 3.7. Medición de biogás | 23 |
| 3.8. Caracterización de la materia prima..... | 23 |
| 3.9. Descripción de los métodos de análisis..... | 24 |
| 3.10. Generación de biogás | 26 |
| 3.11. Relación experimental con generación diaria de estiércol y desplazamiento volumétrico..... | 27 |
| 3.12. Generación de Biogás a partir de sólidos totales (ST) | 28 |
| 3.13. Porcentaje de metano generado a partir del biogás. | 28 |
| 3.14. Consumo de biogás | 29 |
| CAPÍTULO IV..... | 30 |
| 4. RESULTADOS | 30 |
| 4.1. Cuantificación de residuos orgánicos generados en el camal municipal de Puyo, Pastaza..... | 30 |
| 4.2. Implementación de un sistema de digestión anaerobia bajo condiciones de laboratorio. | 33 |
| 4.3. Análisis de la cantidad de biogás producido para verificar si es una alternativa adecuada para la disposición final de los residuos orgánicos en el camal municipal de la ciudad de Puyo, Pastaza..... | 37 |
| CAPÍTULO V | 41 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 41 |
| 5.1. Conclusiones | 41 |
| 5.2. Recomendaciones..... | 42 |

| | |
|-------------------------|-----------|
| CAPÍTULO VI..... | 43 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 43 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Área de estudio | 18 |
| Figura 2. Construcción de biodigestores | 20 |
| Figura 3. Montaje de biodigestor | 20 |
| Figura 4. Preparación del inóculo y la muestra a trabajar | 21 |
| Figura 5. Proceso de cuantificación de residuos orgánicos del camal municipal de Puyo. | 22 |
| Figura 6. Proceso de generación de biogás | 23 |
| Figura 7. Número de animales sacrificados en el camal municipal de Puyo | 30 |
| Figura 8. Rumen y estiércol generado en el camal municipal de Puyo. | 31 |
| Figura 9. Comparación de generación de residuos orgánicos de camal a nivel nacional | 32 |
| Figura 10. Generación de biogás (mL/día) | 33 |
| Figura 11. Variación de la temperatura (°C) | 34 |
| Figura 12. Resultados de sólidos volátiles. | 35 |
| Figura 13. Sólidos totales (g/L) | 36 |
| Figura 14. Concentración de nitrógeno (%) | 36 |
| Figura 15. Concentración de fósforo (P) | 37 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Caracterización de sustratos | 6 |
| Tabla 2. Materiales empleados en la construcción del biodigestor | 19 |
| Tabla 3. Cantidad de residuo orgánico destinado a los biodigestores. | 22 |
| Tabla 4. Parámetro de análisis en laboratorio | 23 |
| Tabla 5. Generación de biogás a partir de proporciones de estiércol y sólidos volátiles | 26 |
| Tabla 6. Características generales del biogás. | 28 |
| Tabla 7. Consumo de biogás por varias actividades | 29 |
| Tabla 8. Residuos orgánicos generados en el camal municipal de Puyo | 30 |
| Tabla 9. Características fisicoquímicas de los sustratos. | 32 |
| Tabla 10. Cantidad de biogás generada | 37 |
| Tabla 11. Consumo de biogás para generación de energía eléctrica en el camal. .. | 39 |

CAPÍTULO I

1. Introducción

Todos los países del mundo emplean grandes recursos en la elaboración de alimentos; debido al crecimiento poblacional se generan importantes volúmenes de residuos que, en muchos lugares, son vertidos a la intemperie produciendo serios problemas de contaminación ambiental y malestar a la sociedad que vive en su entorno (Cun Jaramillo y Álvarez Díaz, 2012). Según Oblitas Cabrera (2018), es beneficioso y económico la utilización de los residuos sólidos de camales, como materia prima dentro de un proceso de generación de biogás y compostaje.

Para Basauri Rabanal y Linares (2018), esta tecnología ha sido ampliamente difundida a escala familiar en países como China, India y otros. En este caso podemos tomar como ejemplo al país aldeaño como lo es Perú, en el existe un importante potencial para el aprovechamiento de esta tecnología debido a las características económicas y productivas de las familias ubicadas en la zona rural, cuyos ingresos son generados por la agricultura y ganadería a pequeña escala.

En los países en vías de desarrollo, como en el Ecuador, las descargas orgánicas provenientes de la actividad de los mataderos municipales generan efluentes, emisión de olores y residuos sólidos y líquidos; los cuales influyen negativamente en el ambiente y en la salud de la población aldeaña. Una forma de aprovechar este tipo de desechos es aplicando la digestión anaerobia, la cual se presenta como una solución viable para el manejo de residuos sólidos y líquidos urbanos, reduciendo en un gran porcentaje este tipo de contaminantes, incluyendo la posibilidad de obtener una energía limpia y amigable con el medio ambiente como es el biogás. Otra de las ventajas de este sistema es que provee de una producción controlada de metano, lo que abre la posibilidad de aprovechar de una manera más eficiente dicho gas para generación eléctrica (Menéndez y Reasco, 2017).

1.1. Planteamiento del problema

El interés por reducir la dependencia del petróleo y la obligación de disminuir los problemas ambientales asociados con el uso de los combustibles fósiles, han generado la alta necesidad de encontrar alternativas que ayuden a reducir de una manera potencial los efectos de los gases invernaderos. Por medio del aprovechamiento de los desechos

orgánicos producidos en el camal de la ciudad de Puyo, los mismos que al biodegradarse por la acción de microorganismos y otros factores generan biogás. Actualmente se conoce al biogás como una fuente renovable capaz de producir electricidad o a su vez combustible para automóviles.

Para aplicar esta tecnología como solución a la problemática ambiental que producen estos residuos orgánicos que se generan en el camal de la ciudad de Puyo, es necesario determinar la producción de biogás de dichos residuos como sustratos independientes; logrando determinar su potencial de generación.

El presente proyecto se ha propuesto determinar el potencial de generación de biogás mediante un proceso de digestión anaerobia. El trabajo a realizar constituirá la base para estudios posteriores.

Por lo tanto, el planteamiento del problema de investigación es el siguiente:

¿Cuál es el potencial en los residuos orgánicos generados en el camal municipal de Puyo para la producción de biogás?

1.2.Justificación

La industria cárnica genera gran proporción de materia orgánica, entre ellos, residuos orgánicos aprovechables y no aprovechables, mismos que pueden ser perjudiciales para el entorno ambiental y social. Esta materia prima es una gran fuente de biomasa para la producción de gas mediante el proceso anaeróbico, resultado de este proceso es el biogás, biometano, biol, entre otros.

El Camal Municipal de Puyo genera gran cantidad de residuos orgánicos, entre ellos: estiércol, sangre, rumen, pieles, cascos, pezuñas, etc. Este centro de faenamiento carece de un correcto manejo de disposición final de estos residuos, los cuales causan una gran problemática ambiental al ser vertidos en el entorno.

Debido a que la población aumenta cada vez más, la demanda de productos derivados de la carne es más grande y en sí la generación de estos residuos orgánicos de camal crece cada vez más. Es por ello que mediante este proyecto se busca determinar el potencial de generación de biogás a partir de residuos orgánicos de camal mediante un proceso anaeróbico, fortaleciendo las nuevas tecnologías para la creación de energía renovable sin afectar al medio ambiente y a su vez minimizar los residuos orgánicos generados.

1.3. Formulación del problema

La ciudad de Puyo es una zona agrícola, ganadera y altamente comercial que genera una gran cantidad de desechos orgánicos que son vertidos a los canales de agua. Estas aguas residuales formadas por desechos sólidos y líquidos, siendo de mayor proporción los residuos originados en camales y avícolas son los principales causantes de la contaminación de esta ciudad. Es por esto, que el presente proyecto está enfocado en la utilización de estos desechos orgánicos con la finalidad de poder aportar una alternativa de carácter ecológico y renovable como es la obtención de biogás y la determinación del potencial del mismo, beneficiando de esta manera a la población y al medio ambiente.

1.4. Objetivos

Objetivo General

Determinar el potencial de generación de biogás utilizando residuos orgánicos de camal mediante el proceso de digestión anaerobia en la ciudad de Puyo, Pastaza.

Objetivos Específicos

- Cuantificar los residuos orgánicos de camal para la obtención de biogás a través de un proceso de digestión anaerobia.
- Implementar un sistema de digestión anaerobia bajo condiciones de laboratorio.
- Analizar si la cantidad de biogás producido es una alternativa adecuada para la disposición final de los residuos orgánicos en el camal municipal de la ciudad de Puyo, Pastaza.

CAPÍTULO II

2. Fundamentación teórica de la investigación

2.1. Antecedentes

Desde la antigüedad, los residuos sólidos y líquidos provenientes de la actividad de faenamiento, son vertidos de manera inadecuada en drenajes o cuerpos hídricos, lo que genera un impacto adverso sobre el entorno ambiental, con consecuencias directas e indirectas en la salud pública (Pacheco Guevara y Acosta Herrera, 2014). Según Pertiwinigrum et al. (2017), varios estudios han demostrado que es factible el proceso de digestión anaeróbica para tratar los desechos generados en los camales.

Según Angelidaki et al. (2009) la aplicación de la tecnología de digestión anaerobia está creciendo en todo el mundo debido a sus beneficios económicos y ambientales. Como consecuencia de ello, una serie de estudios y actividades de investigación relativas a la determinación del potencial de biogás de sustratos orgánicos sólidos han estado llevando a cabo en los últimos años.

Aunque la digestión anaerobia (DA) es una alternativa tecnológica que se ha empleado tradicionalmente para el control de la contaminación ambiental, dicho esto Nkoa (2014) menciona que se ha evidenciado un interés creciente por emplear este proceso para el aprovechamiento y valorización de diferentes residuos, debido a las características de los dos subproductos que se generan, el primero (biogás) con un alto potencial energético debido a la predominancia (60-70%) de gas metano (CH_4), que también puede ser aprovechado para la generación de calor o combustible y el segundo (material digerido) con alto potencial agrícola, pues se puede utilizar como fertilizante o acondicionador de suelos.

2.2. Bases teóricas

Camal

Para Garzón (2010) camal o planta de sacrificio, es el lugar en el cual se realizan las operaciones de sacrificio y faenado del ganado que se destina para el abasto público (demanda de carne). El establecimiento de un camal demanda de un espacio y ubicación adecuados, que garanticen el funcionamiento de este servicio público. Debido a su actividad y a los malos olores generados por su funcionamiento, es importante que estas instalaciones se encuentren ubicadas en las afueras o lejos de los poblados.

Desechos generados en el camal

Hómez (1998) dice “Un matadero municipal es una fuente rica en residuos sólidos de alto contenido orgánico. Es de anotar que por las actividades que aquí se desarrollan se da cabida a que muchos residuos no utilizables de manera directa sean desechados como residuo a través del sistema de alcantarillado (sangre) o del sistema de basuras (contenido ruminal, estiércol)”. Según Peñafiel y Ticona (2015), en los mataderos no existe un tratamiento adecuado de los residuos de origen animal, como la sangre, el contenido ruminal y el estiércol, los cuales son fuente de contaminación de efluentes acuáticos y emisiones gaseosas, que generan malos olores, gases, lixiviados y la reproducción de insectos o roedores que a su vez son vectores de muchas enfermedades.

- Excremento

Excremento de animales que por su origen y características puede ser utilizado para uso en la agricultura (INEN, 2016). Para Arellano, Cruz-Rosales, y Huerta (2014) se compone principalmente de excrementos y una pequeña parte de orina y paja. Además, contiene diversos elementos nutritivos como agua, carbohidratos, proteínas, grasa, sustancias inorgánicas y microorganismos.

- Sangre

La sangre es un líquido producto que se obtiene después del sacrificio de las reses, es de color rojo escarlata, localizado en el sistema circulatorio del organismo animal.

La sangre generada en los mataderos resulta ser una fuente rica en proteínas y consiguientemente rica en nitrógeno por lo que económicamente conviene recuperarla para transformarla en albúmina, sangre desecada o harina de sangre y posteriormente utilizarla en la elaboración de abonos orgánicos (Villagómez, 2014). Este mismo autor resalta que la sangre es el residuo más dañino para el ambiente que generan los camales, tanto por volumen como por capacidad contaminante. Es por ello que debe evitarse en gran medida la descarga de sangre al drenaje de la instalación.

- Contenido ruminal

El contenido ruminal también conocido como ruminaza es un subproducto originado del sacrificio de animales, se encuentra en el primer estómago del bovino en el cual al momento del sacrificio contiene todo el material que no alcanzó a ser digerido, generalmente tiene la consistencia de una papilla, con un color amarillo verdoso y un

olor característico muy intenso cuando está fresco. El contenido ruminal obtenido en los camales una alternativa para la alimentación de rumiantes (Ocaña, 2013). En un estudio realizado por Pertiwiningrum et al. (2017) donde busca determinar los efectos de la adición de líquido del rumen sobre la tasa de formación de biogás, la concentración de metano en el biogás y contenido de coliformes en los lodos del proceso de formación de biogás menciona que la adición de líquido ruminal de ganado funciona como motor de arranque ya que puede acelerar el proceso de formación de biogás en un menor tiempo (acortando el tiempo de arranque necesario) que es 10 días, comparado con el tratamiento sin líquido ruminal. Además, el proceso de biogás es capaz de disminuir la cantidad de coliformes hasta casi el 100% en comparación con el tiempo antes de que comience el proceso.

- **Caracterización de sustratos**

En un estudio realizado por Moukazis, Pellerá, y Gidarakos (2018), en el cual el objetivo es evaluar el uso de subproductos animales (ABP) como sustratos para digestión anaerobia, orientada a la producción de metano. En dicha investigación menciona que las muestras que contienen senos y órganos reproductivos, vejigas e intestinos y estómago y rumen, tenían potenciales de metano más altos de 815, 787 y 759 mLCH₄/gVS, respectivamente. Para esta investigación estos autores determinan los contenidos de los sólidos totales (ST) y (SV) de acuerdo con APHA (American Asociación de Salud Pública) método 2540G. Y la composición de nutrientes (C, H, N, S%) de los sustratos se determinó usando un analizador elemental EA300 Euro Vector. En la tabla 1 se detallan los valores correspondientes a los parámetros de caracterización.

Tabla 1. Caracterización de sustratos

| Propiedades | Sustratos | | | | |
|-------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | SH1 | SH2 | SH3 | SH4 | SH5 |
| Sólidos totales (TS) (%) | 28.8 ± 0.0 | 13.5 ± 0.0 | 21.8 ± 0.0 | 36.3 ± 0.0 | 26.2 ± 0.0 |
| Sólidos Volátiles (VS) (%) | 28.0 ± 0.1 | 11.7 ± 0.5 | 21.1 ± 0.1 | 35.3 ± 0.0 | 25.1 ± 0.0 |
| Nitrógeno (N) (%) | 10.1 ± 0.8 | 3.62 ± 0.17 | 9.37 ± 0.52 | 1.87 ± 1.11 | 3.17 ± 0.07 |

Fuente: (Moukazis et al., 2018)

- **Impactos ambientales que generan los desechos de camales**

Castro y Vinueza (2011) mencionan que un camal es una empresa en la que se generan una serie de residuos sólidos de tipo orgánico, que provocan serios problemas ambientales en el recurso hídrico, suelo y aire ya que no son manejados adecuadamente.

Por otra parte, Castro, Rodríguez, y Balcazar (2014) nos mencionan que la contaminación producida por este tipo de residuos, es de diferente índole, alterando negativamente el agua, los suelos, el aire, el paisaje y la salud.

Según Salas (2016), los mataderos mal operados conllevan al deterioro de la calidad ambiental, evidenciada en la contaminación de cuerpos hídricos naturales por descargas de efluentes desde los camales y sin ningún previo tratamiento, contaminación del aire por emisión de olores, gases y material particulado.

La problemática ambiental relacionada directamente con el manejo de los residuos sólidos que se generan en un camal, afecta al ser humano y a su entorno de diferentes maneras, especialmente en los siguientes aspectos:

- Salud pública
- Factores ambientales, como los recursos renovables y no renovables.
- Factores sociales, como la salud pública
- Factores económicos: como los recursos naturales

Todos estos aspectos afectan a cada uno de los componentes ambientales que nosotros como habitantes del planeta tierra necesitamos.

Tecnologías para la transformación de residuos orgánicos de camal

- **Compost**

El compostaje es la descomposición o degradación de los materiales de desechos orgánicos por una población mixta de microorganismos (microbios) en un ambiente cálido, húmedo y aireado (Iliquín, 2014).

Según Jara et al. (2016), la obtención de compost a partir de desechos orgánicos resulta una alternativa viable para el medio ambiente, sin embargo son elevados los volúmenes de residuos que se generan sin aprovechar los múltiples beneficios que brinda.

- **Vermicompost**

Para Álvarez Bernal, Lastiri Hernández, Buelna Osben, Contreras Ramos, y Mora (2016) el vermicompost es el producto de la descomposición de desechos orgánicos por medio de los microorganismos del tracto digestivo de las lombrices. Se ha investigado el potencial del vermicompost como bioplaguicida contra patógenos vegetales, insectos, ácaros y nematodos parásitos de plantas.

Según Villegas-Cornelio y Laines (2017) en el proceso de vermicompost se aprovechan las capacidades detritívoras de las lombrices, la acción de sus enzimas digestivas y de la microflora aeróbica y anaeróbica presentes en su intestino.

- **Digestión anaerobia**

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia parcial o total de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases, en los cuales principalmente se encuentra el metano y el dióxido de carbono (Corrales, Antolinez Romero, Bohórquez Macías, y Corredor Vargas, 2015).

Akhiar, Battimelli, Torrijos, y Carrere (2017) nos dan a conocer que la digestión anaeróbica (DA) de los desechos sólidos ha ganado mucho interés en aplicaciones para la producción de biogás y energía renovable, estimulando nuevas áreas de investigación. En los últimos años, la fracción sólida del digestato ha sido ampliamente analizada en investigaciones, como compostaje o aplicada directamente como fertilizante orgánico. La fracción líquida del digestato, generalmente contiene muy bajo potencial residual de biogás, pero una alta concentración de demanda química de oxígeno (DQO). Moukazis et al. (2018) dice que en este proceso, como lo es la digestión anaeróbica, la estabilización de sustratos orgánicos se logra a través de la acción combinada de diferentes consorcios microbianos, en ausencia de oxígeno.

Por otra parte, Lawal-Akinlami y Shanmugam (2017) mencionan que la digestión anaerobia tiene muchos beneficios ambientales y de energía, junto con la protección del medio ambiente.

Productos de la digestión anaerobia

Según Corrales et al. (2015) el producto principal obtenido de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano en una proporción de 50 a 70% y dióxido de carbono (CO₂) de 30 a 50%.

Por otra parte, Cando (2017) nos dice que el proceso anaeróbico se basa en la privación de oxígeno a la biomasa entrante con el objetivo de generar procesos fermentativos. El resultado consta de dos componentes: el componente sólido conocido como lodo o biosol y el componente líquido conocido como biol que es un abono económico, ambientalmente amigable que no contamina aguas subterráneas y principalmente la capa vegetativa que se utiliza para los cultivos tradicionales.

- Biol

Es un abono líquido, proveniente de la fermentación anaerobia de residuos orgánicos y estiércol, rico en nitrógeno amoniacal, aminoácidos, vitaminas y minerales. Provee de fitorreguladores a suelos de cultivo, potencia la germinación de las semillas, el enraizamiento, crecimiento y floración de las plantas. Complementa el proceso de fertilización del suelo, permite reutilizar desechos de animales y no tiene ningún efecto peligroso para el ambiente (Espíndola, 2018).

- Biogás

Según Zepeda y Amaya (2013) el biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas) y otros factores, en un ambiente anaeróbico. La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables, el resultado es una mezcla constituida por metano (CH₄) en una proporción que oscila entre un 40% y un 70%, y dióxido de carbono (CO₂), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno (H₂), nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂) y sulfuro de hidrógeno (H₂S).

Los biodigestores

Según Cárdenas, Quipuzco, y Meza (2013) los biodigestores son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás a partir de desechos agrícolas, estiércol o efluentes industriales, entre otros, los cuales permiten la obtención de energía limpia y de bajo costo a partir de una fuente renovable.

Aplicaciones del biogás

Las metodologías y aplicaciones sobre el uso de la tecnología del biogás aparecen en el mundo en gran parte de las investigaciones científicas sobre el tema de la eficiencia, la combustión y el control de emisiones en motores de combustión interna (MCI), las cuales han venido desarrollando en un contexto histórico el mejoramiento de aspectos sociales, económicos y ambientales de Asia, Europa, África y Latinoamérica. El biogás como combustible para vehículos se aplica mundialmente desde 1950, mientras que en Europa se usa para tractores. En Brasil ha sido empleado como sustituto de la gasolina y el gasóleo en el sector de la automoción a partir de biogás purificado y comprimido o gas natural. Desde mediados de los setenta se ha resaltado la importancia cada vez mayor del biogás, no solo para uso en pequeña escala en los hogares, sino como un producto de tratamiento de residuos municipales e industriales con la fermentación anaerobia. En la década de los ochenta, se identificaron más de 100 plantas de biogás alimentando grupos electrógenos en las explotaciones de minas en Norteamérica y se estimó un número superior en zonas rurales de Europa. Actualmente, en países del sur de África como Botsuana, se utilizan sistemas para bombeo basados en motores de 1 HP, alimentados con biogás, que entregan 4300 L/h de agua desde una profundidad de 60 m para 2500 animales y más de 40 familias. En cuanto al uso del biogás en los motores de combustión interna podemos destacar que los MCI que operan con biogás son una tecnología de gran aplicación en el campo de la generación de energía eléctrica y térmica, a pesar de que se conoce que una mezcla estequiométrica de biogás-aire aporta en promedio alrededor del 85 % de la energía de una mezcla estequiométrica diésel-aire (Gómez, Vargas, y Leal, 2014).

Por otra parte, Mengistu, Simane, Eshete, y Workneh (2015) argumentan que las fuentes de energía renovables como el biogás, la biomasa, la energía eólica y el sol suministran un 15% de la demanda energética a nivel mundial. Alemania, por ejemplo, es el país con mayor producción de biogás, y en el 2012 contaba con 1470 plantas funcionales. Por otro lado, países como Suecia han realizado la modernización del transporte a biogás, y vehículos como buses y trenes funcionan con este biocombustible, incluso cuentan con estaciones de reabastecimiento, siendo líder en estos aspectos.

Parámetros de análisis en laboratorio

- **pH**

El pH ejerce una gran influencia sobre la estabilidad del proceso anaeróbico, puesto que es una de las variables que regula la coexistencia de las poblaciones de microorganismos. A pesar que dentro del ecosistema anaeróbico cada uno de los grupos microbianos presenta un grado de sensibilidad distinto a este parámetro, se ha establecido el rango óptimo de pH para el desarrollo del proceso de digestión anaerobia entre 6,5 y 7,5 (Cendales, 2011).

- **Sólidos totales**

Según Yi, Dong, Jin, y Dai (2014), los sólidos totales corresponden a la cantidad de materia sólida contenida por unidad de medida, los sólidos totales pueden determinarse a partir del análisis de los sólidos disueltos, suspendidos y sedimentables. La importancia del estudio de los sólidos totales tiene que ver con el rendimiento de la producción de biogás, pues, los microorganismos anaerobios se comportan de manera distinta a medida que su concentración aumenta en el medio.

- **Sólidos volátiles**

Su valor se mide a partir de los sólidos totales menos la ceniza remanente, obtenida por combustión completa. Los sólidos volátiles contienen lípidos, proteínas y carbohidratos los cuales permiten estimar la biodegradabilidad del residuo y la generación de biogás; de los tres componentes, los lípidos están presentes en un 30% (López, 2017).

Harris y McCabe (2015), mencionan que cuando el rendimiento bioquímico de metano es comparado, los lípidos producen desde 903.9 a 1101.2 L/kgVS, las proteínas 740 L/kgVS y los carbohidratos 370 L/kgVS.

Para Karthikeyan, Muthu, y Heimann (2016), el residuo remanente de la calcinación de los sólidos volátiles constituye la porción inorgánica de los sólidos que a la vez es un indicativo del contenido de minerales que posee el material digerido (N, P, K, Ca, etc.).

Por otra parte Liu et al. (2016) afirma que se puede determinar el potencial bioquímico de metano a través del análisis de los diferentes componentes específicos que contienen los sólidos volátiles.

- **Nitrógeno amoniacal**

Según Ortega (2006), el nitrógeno amoniacal se compone de la suma del ion amonio (NH_4^+) y el amoniaco libre (NH_3). Se origina de la degradación del nitrógeno orgánico,

puede estar presente en la materia orgánica o ser producido durante la degradación anaeróbica de compuestos orgánicos nitrogenados tales como proteínas o aminoácidos. Por otra parte, Palomo (2017) menciona que el nitrógeno es una de las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas, ya que es utilizado para la creación de nuevas células. Además, argumenta que se puede encontrar disponible en variadas materias primas o ser producido durante la degradación de las mismas. Aunque, es un nutriente importante para el crecimiento bacteriano, una concentración excesiva puede limitar su crecimiento.

- **Fósforo**

Según Palomo (2017), el fósforo es un macronutriente requerido en el proceso anaeróbico para la síntesis de nueva biomasa. La cantidad de fósforo requerido para la síntesis de biomasa puede calcularse asumiendo la fórmula empírica de una célula bacteriana anaeróbica como $C_5H_7O_2N$. La demanda de fósforo corresponde a $1/7 - 1/5$ de la demanda de nitrógeno.

Por otra parte, Arellano Arroba y Calle Cañizares (2014) resalta que el fósforo es requerido en grandes cantidades por la mayoría de las bacterias. La cantidad de fósforo necesario para satisfacer la actividad bacteriana y mantener un rendimiento aceptable en el digestor puede determinarse por dos métodos:

- ✓ Calcular la cantidad de nutrientes que deben estar presentes en el producto de ingreso en el digestor, de ser necesario se añade nutrientes.
- ✓ Las concentraciones residuales adecuadas de nutrientes de solubles se deben encontrar en el efluente del digestor, si no sucede hay que añadir nutrientes.

2.3. Marco legal

La legislación que se tomó a consideración para llevar a cabo la presente investigación, se tornan en un grupo de normas que consideran de manera global y específica la gestión ambiental de los residuos sólidos orgánicos y el desarrollo de tecnologías ambientalmente limpias para la minimización de impactos negativos. Para la misma se clasificó la normativa aplicable en internacional y nacional.

Normativa internacional

En el ámbito internacional existen varios convenios en el que Ecuador es un país signatario, esto implica que las mociones establecidas en cada uno de estos documentos

legales deben “en teoría” ser cumplidas. Además, durante varios años el país ha participado en conversatorios internacionales, los cuales tienen por temática el cuidado del ambiente y los grandes problemas ambientales que enfrenta la humanidad en la actualidad (Casco, 2015). Entre los principales se encuentran:

- Conferencia Climatológica Mundial en Ginebra (1990).
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (1992).
- Reunión de seguimiento realizada en Berlín (1995).
- Conferencia de los Partidos (COP) sobre la Convención del Cambio Climático en Kyoto (1997).

Respecto a la “Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo” llevada a cabo en Río de Janeiro en el año 1992, se puede acotar que el programa de acción ahí elaborado (Agenda 21), constituye un compendio de temáticas ambientales de interés global con actividades específicas a llevar a cabo, entre ellas se encuentra la contaminación atmosférica, gestión de recursos y ecosistemas, gestión de agricultura, así como gestión de residuos sólidos.

Normativa nacional

- Constitución de la república

La Constitución del Ecuador 2008 es un marco legal que, en términos generales, le da gran importancia al cuidado ambiental. En consecuencia, existen varios artículos en los que se establece el cuidado y protección del ambiente, el derecho a vivir en un ambiente sano, la prevención de la contaminación, y el incentivo para el desarrollo y uso de tecnologías ambientalmente limpias (Art. 14, 15, 27).

En los artículos 264 y 415, respectivamente, se menciona que los gobiernos municipales en cumplimiento con las competencias exclusivas estipuladas en la constitución, deben encargarse de la gestión de los residuos sólidos, lo que implica a su vez, el desarrollo de programas de reducción, reciclaje y tratamiento adecuado para estos desechos.

- Código orgánico del ambiente (COA)

Este código tiene por objeto garantizar el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger los derechos de la naturaleza para

la realización del buen vivir o *sumak kawsay*. Las disposiciones de este código regularán los derechos, deberes y garantías ambientales contenidos en la constitución, así como los instrumentos que fortalecen su ejercicio, los que deberán asegurar la sostenibilidad, conservación, protección y restauración del ambiente, sin perjuicio de lo que establezcan otras leyes sobre la materia que garanticen los mismos fines (Art. 1).

Es responsabilidad del Estado promover y garantizar que cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios, asuma la responsabilidad ambiental directa de prevenir, evitar y reparar integralmente los impactos o daños ambientales causados o que pudiera causar, así como mantener un sistema de control ambiental permanente (Art. 8).

En el Art. 8, numeral 2, estipula el mejoramiento de tecnología disponible y mejores prácticas ambientales. El Estado deberá promover en los sectores público y privado, el desarrollo y uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto, que minimicen en todas las fases de una actividad productiva, los riesgos de daños sobre el ambiente, y los costos del tratamiento y disposición de sus desechos. Deberá también promover la implementación de mejores prácticas en el diseño, producción, intercambio y consumo sostenible de bienes y servicios, con el fin de evitar o reducir la contaminación y optimizar el uso del recurso natural.

De la calidad ambiental para el funcionamiento de los ecosistemas. Las actividades que causen riesgos o impactos ambientales en el territorio nacional deberán velar por la protección y conservación de los ecosistemas y sus componentes bióticos y abióticos, de tal manera que estos impactos no afecten a las dinámicas de las poblaciones y la regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, o que impida su restauración (Art. 190).

Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto. Se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este código. Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la

información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción (Art. 191).

Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos. Serán de obligatorio cumplimiento, tanto para las instituciones del Estado, en sus distintos niveles y formas de gobierno, regímenes especiales, así como para las personas naturales o jurídicas, las siguientes políticas generales:

- ✓ El manejo integral de residuos y desechos, considerando prioritariamente la eliminación o disposición final más próxima a la fuente;
- ✓ El fortalecimiento de la educación y cultura ambiental, la participación ciudadana y una mayor conciencia en relación al manejo de los residuos y desechos;
- ✓ El fomento de la investigación, desarrollo y uso de las mejores tecnologías disponibles que minimicen los impactos al ambiente y la salud humana;
- ✓ El estímulo a la aplicación de buenas prácticas ambientales, de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, en todas las fases de la gestión integral de los residuos o desechos;
- ✓ El fomento al establecimiento de estándares para el manejo de residuos y desechos en la generación, almacenamiento temporal, recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final.

- **Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) (2010)**

El Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización establece, como competencia exclusiva de los gobiernos municipales, la prestación de servicio de manejo de desechos sólidos (Art. 55, d). Además, instituye de forma imperativa que los gobiernos autónomos descentralizados municipales deben establecer progresivamente sistemas de gestión integral de desechos, a fin de eliminar los vertidos contaminantes en cuerpos hídricos, tales como ríos, lagos, lagunas, quebradas, esteros o mar, aguas residuales provenientes de redes de alcantarillado, público o privado, así como eliminar el vertido en redes de alcantarillado (Art. 136). Finalmente, establece que esta competencia se ejercerá conforme las normativas propias del gobierno autónomo descentralizado (Art. 137).

- **Acuerdo Ministerial 061 (AM 061-2015)**

Mediante este acuerdo se sustituye el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Uno de los aspectos que se consideran en el A.M 061 es la gestión de residuos, cuyo enfoque es el aprovechamiento y valorización de residuos, mediante el establecimiento de herramientas de aplicación como el principio de jerarquización: prevención, minimización de la generación en la fuente, clasificación, aprovechamiento y/o valorización (incluye el reúso y reciclaje), tratamiento y disposición final. Además, establece como política de gestión de residuos el fortalecimiento de la educación ambiental, la participación ciudadana y una mayor conciencia en relación con el manejo de residuos y/o desechos. De igual manera, instituye el fomento de la investigación y uso de tecnologías para minimizar los impactos en el ambiente y la salud.

Toda obra, actividad o proyecto nuevo y toda ampliación o modificación de los mismos que pueda causar impacto ambiental, deberá someterse al Sistema Único de Manejo Ambiental, de acuerdo con lo que establece la legislación aplicable, este Libro y la normativa administrativa y técnica expedida para el efecto (Art. 6).

En la Sección I, Gestión Integral de Residuos y/o Desechos Sólidos no Peligrosos, en términos generales, se estipula todo lo concerniente al manejo apropiado de residuos. Entre los temas sobresalientes están: la implementación de fases para la minimización de residuos; la asignación de responsabilidades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados; establecimiento de políticas generales de la gestión integral de los 36 residuos sólidos no peligrosos; normas técnicas para la gestión de residuos y competencias de la autoridad ambiental; análisis de la viabilidad técnica por parte de la Autoridad Ambiental Nacional a los estudios de factibilidad y diseños definitivos de los proyectos para la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos.

Así mismo el acuerdo hace énfasis en cada una de las fases que compone el manejo de desechos y/o residuos sólidos no peligrosos: minimización en la generación, separación en la fuente almacenamiento, recolección, transporte, acopio y/o transferencia, aprovechamiento, tratamiento y disposición final (Art. 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70,71, 72, 73, 74, 75, 76 y 77). En específico, para el tratamiento de residuos se establecen alternativas como procesos mecánicos, térmicos para recuperación de energía, biológicos para el compostaje y los que avale la autoridad ambiental. Además,

se hace énfasis en la gestión de los residuos orgánicos, para reducir su volumen de disposición final (Art. 74).

- **Acuerdo Ministerial 097-A (A.M. 097-A. Límites Permisibles)**

✓ **Prevención de la contaminación al recurso agua**

Dentro de los principios básicos se estipula que, para el control de la contaminación de los cuerpos de agua de cualquier tipo, de acuerdo a la actividad regulada, el Sujeto de Control debe entre otras realizar las siguientes actividades: desarrollo del Plan de Manejo Ambiental, en el que se incluya el tratamiento de sus efluentes previo a la descarga, actividades de control de la contaminación por escorrentía pluvial, y demás actividades que permitan prevenir y controlar posibles impactos ambientales. Adicionalmente la Autoridad Ambiental podrá solicitar al regulado el monitoreo de la calidad del cuerpo de agua.

✓ **Prevención de la contaminación al recurso suelo**

Toda actividad productiva que genere desechos sólidos no peligrosos, debe implementar una política de reciclaje o reúso de los mismos. Si el reciclaje o reúso no es viable, los desechos deberán ser dispuestos de manera ambientalmente aceptable.

- **Ley orgánica de salud**

La salud es el completo estado de bienestar físico, mental y social y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades. Es un derecho humano inalienable, indivisible, irrenunciable e intransigible, cuya protección y garantía es responsabilidad primordial del Estado; y, el resultado de un proceso colectivo de interacción donde Estado, sociedad, familia e individuos convergen para la construcción de ambientes, entornos y estilos de vida saludables (Art. 3). Es deber individual y colectivo en relación con la salud: Cumplir con las medidas de prevención y control establecidas por las autoridades de salud (Art. 8).

CAPÍTULO III

3. Metodología de la investigación

3.1. Localización

El área de estudio fue en el Camal Municipal ubicado en el barrio Juan Montalvo de la ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza con las siguientes coordenadas UTM X= 832706.99 Y= 9834273.40. El clima en la ciudad de Puyo es cálido húmedo, su temperatura oscila en los 21,3°C, la precipitación media aproximada es de 4403 mm, con su principal río llamado “Río Pindo Grande”.

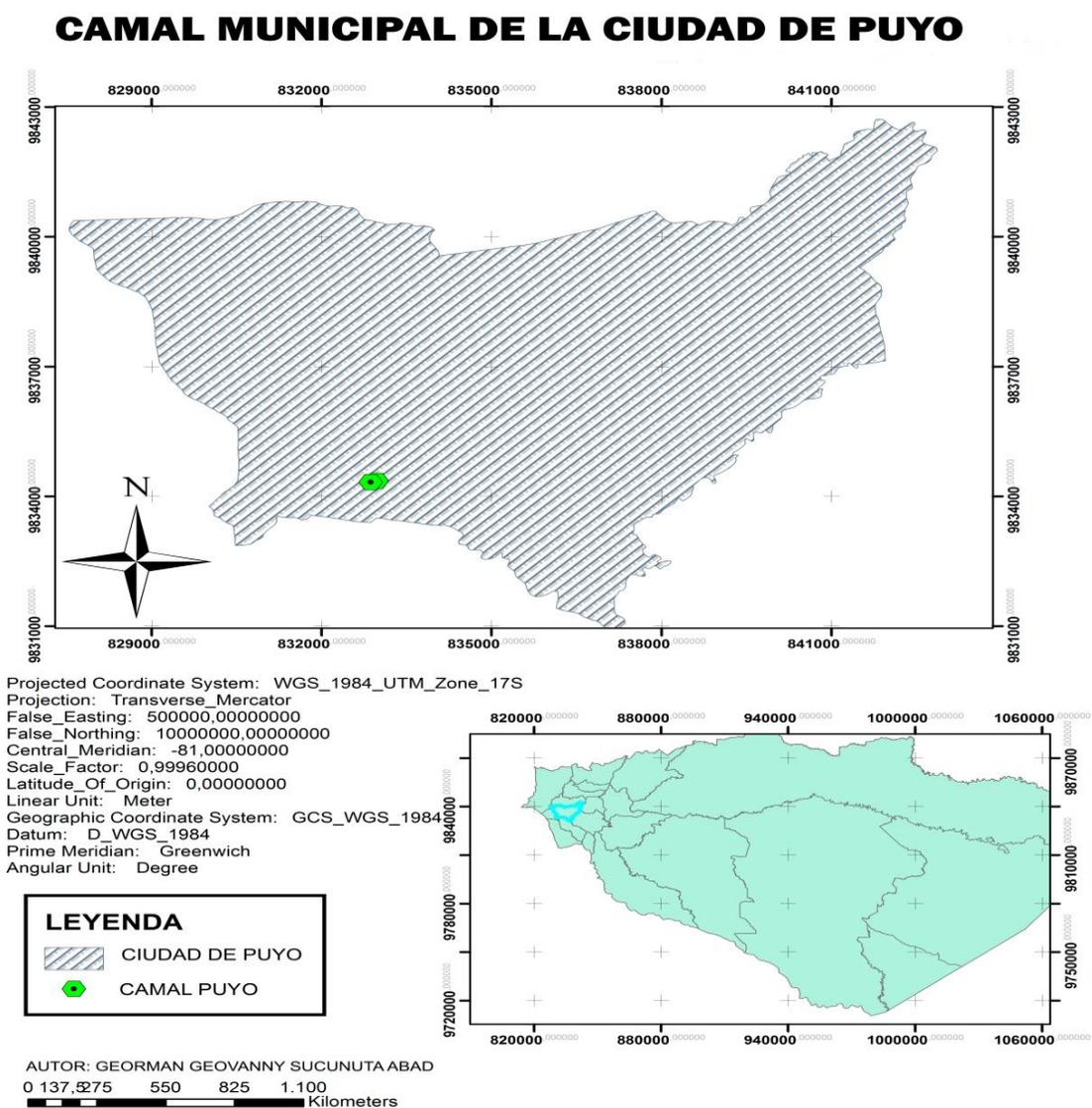


Figura 1. Área de estudio

Fuente: Elaboración propia

3.2. Tipo de investigación

La modalidad de esta investigación fue experimental y cuantitativa de alcance descriptivo, debido a que se realizó la manipulación de varias variables y se describieron las variables en estudio, como lo afirma Hernández, Fernández, y Baptista (2015): la investigación descriptiva únicamente pretende medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas. Busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice.

3.3. Métodos de investigación

Construcción de biodigestores

Previo a la investigación se construyeron dos biodigestores a escala de laboratorio de una capacidad de 750 mL (Ver tabla 2). Se hizo las pruebas de sellado y hermeticidad, llenando con agua cada biodigestor; mismos que se sellaron de forma completa con abrazaderas las cuales impidieron que hayan fugas de agua o una posible entrada de oxígeno.

Tabla 2. Materiales empleados en la construcción del biodigestor

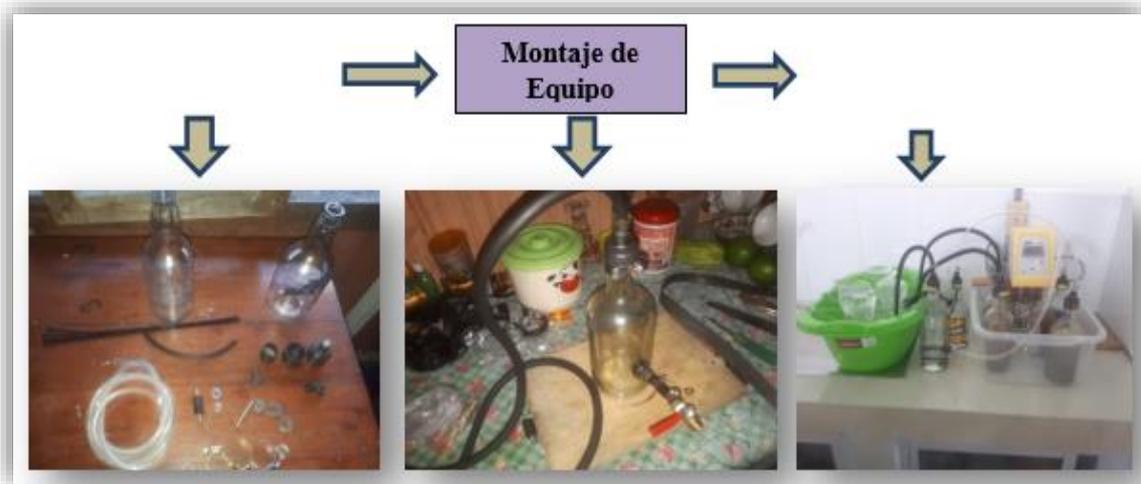
| Material | Unidad | Cantidad |
|--------------------------------|--------|----------|
| Botella de 750 | mL | 1 |
| Tapón de caucho | 2" | 1 |
| Pernos perforado | 1/4" | 2 |
| Tuercas para perno | 1/4" | 4 |
| Rodelas | 1/4" | 4 |
| Abrazaderas para conexiones | 1/4" | 3 |
| Llave de agua | 1/4" | 1 |
| Manguera | m | 3 |
| Quitasatos | U | 1 |
| Láminas de caucho de 2cm x 2cm | U | 4 |

Fuente: Elaboración propia

Para el proceso de construcción de biodigestores se procedió a perforar las botellas con un taladro utilizando una broca punta de flecha de 13mm hasta propazar un agujero en la parte media de la botella, acto seguido de introdujo el perno perforado semi armado con las tuercas, rodelas y lamina de caucho que irán en la cavidad interior de la botella, para fijarlo se terminó el armado del perno perforado por la parte exterior con los mismos materiales mencionados para la cavidad interior. Se colocó la llave de ¼

conjuntamente con sus accesorios en la parte exterior del perno ya armado, para la parte superior de la salida del gas, de igual manera se procedió a acoplar el perno perforado conjuntamente con sus accesorios en la misma manera que se armo la botella, acto seguido se procedió a colocar la manguera en la parte superior o salida de gas del experimento hacia el quitasato, la manguera se acopló con las abrazaderas para evitar fugas de presión de gas. El quitasato midió gradualmente el desplazamiento volumétrico del gas en mL. (Ver figura 2)

Figura 2. Construcción de biodigestores



Fuente: Elaboración propia

A continuación se establece un diseño que corresponde al montaje de los biodigestores, mismo que estarán trabajando por un lapso de 32 días. (Ver figura 3)

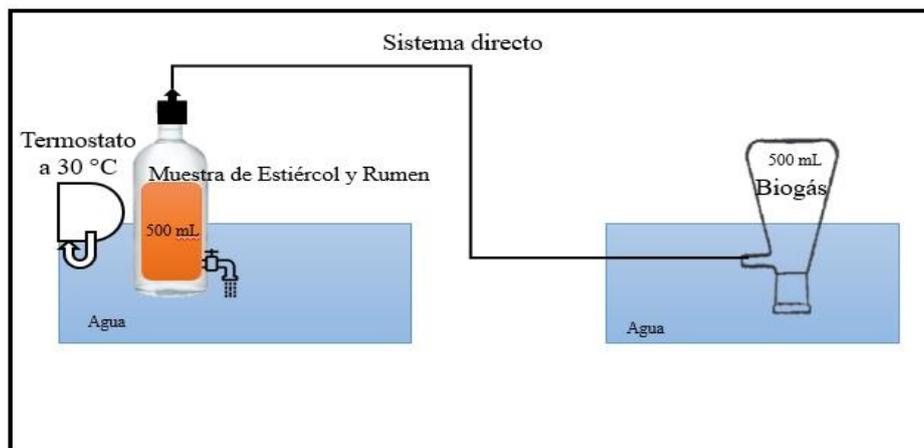


Figura 3. Montaje de biodigestor

Fuente: Elaboración propia

Una vez que se verificó que no existan orificios en cada una de las conexiones del biodigestor se procedió a dar comienzo con el experimento. El lunes, 6 de mayo se realizó la toma del inóculo, en el biodigestor instalado en el programa porcino del CIPCA (Centro de Investigación, Posgrado y Conservación). En un proceso previo, se obtuvo 500 mL de muestra, compuesta por 167 mL de residuo orgánico del camal correspondientes a 212,67 g de muestra sólida y 333 mL de agua destilada, acto seguido se introdujo a la muestra, una cantidad de 30 mL de inóculo, para comenzar el proceso de crecimiento microbiano. (Ver figura 4)



Figura 4. Preparación del inóculo y la muestra a trabajar

Fuente: Elaboración Propia

3.4.Recolección de datos

Para la tabulación de datos se realizó la cuantificación de los residuos orgánicos que se generan en el Camal Municipal de Puyo (Centro de Faenamiento), acto seguido se caracterizó todos los residuos generados para dar paso al análisis de cada uno de los parámetros de las muestras (Residuo orgánico de Camal).

3.5.Cuantificación de los residuos orgánicos generados en el camal municipal de la ciudad de Puyo.

Para la respectiva cuantificación de los residuos generados en el camal de Puyo se utilizó una balanza electrónica marca Colometer (Exactitud ± 0.01 kg, en el rango de 10-50 kg). Adicionalmente, baldes para almacenamiento y pesaje de las muestras.

El proceso de cuantificación de observa en la figura 5.

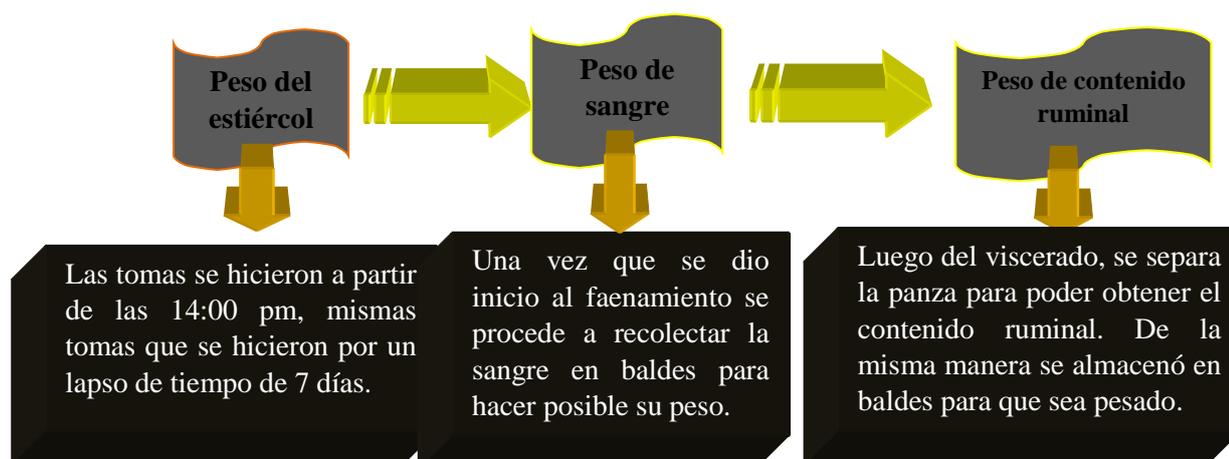


Figura 5. Proceso de cuantificación de residuos orgánicos del camal municipal de Puyo.

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de residuo orgánico destinado para el proceso de digestión anaeróbica se da a conocer en la tabla 3.

Tabla 3. Cantidad de residuo orgánico destinado a los biodigestores.

| BIODIGESTOR | Residuos orgánico (Rumen, estiércol) (mL) | Inóculo (mL) | Total (mL) |
|--------------------|--|-------------------------|-----------------------|
| 1 | 500 mL | 30 mL | 530 mL |
| 2 | 500 mL | 30 mL | 530 mL |

Fuente: Elaboración propia

Se destinó 530 mL de contenido total a cada uno de los biodigestores ya que cada uno de ellos tenía una capacidad de 750 mL. De los 530 mL, 30 mL correspondieron al inóculo y los 500 mL restantes tenían una composición de residuo orgánico (rumen y estiércol), mismo que correspondía a una medida de 333 mL de sólido y 167 mL de líquido (Agua destilada) haciendo un total de 500 mL.

3.6. Producción de biogás

Los biodigestores fueron cargados el día 7 de mayo del presente año, proceso que duró un tiempo de 32 días, hasta el día 7 de junio. En el mismo, se realizó un control diario para verificar los avances de generación de biogás. Dicho proceso se puede observar en la figura 6.

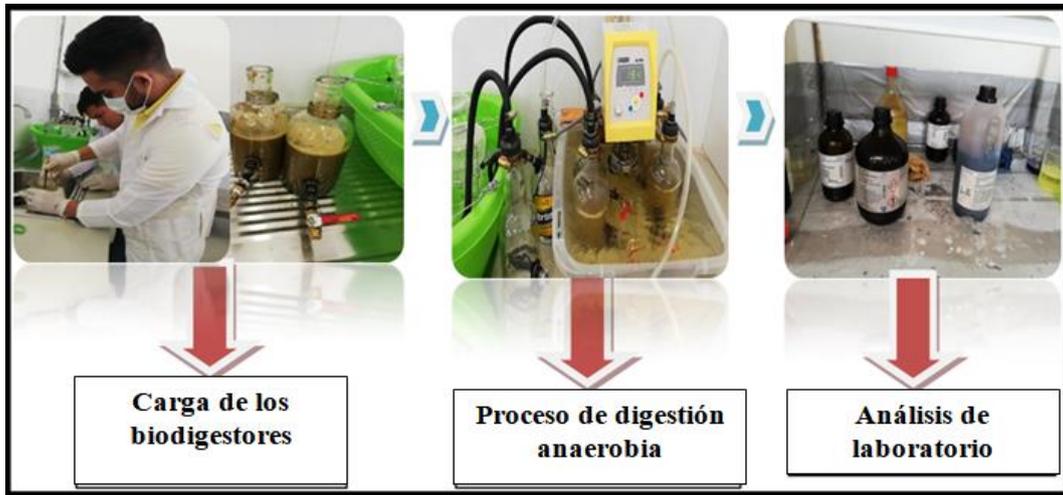


Figura 6. Proceso de generación de biogás

Fuente: Elaboración propia

3.7. Medición de biogás

La medición del volumen de biogás durante el proceso de la digestión anaeróbica del residuo orgánico biodegradable bajo estudio, se realizó mediante el montaje de la técnica de desplazamiento volumétrico de la disolución de hidróxido de sodio (NaOH) al 5% y de agua destilada. De esta forma se desarrollaron mediciones de la producción diaria y acumulada del biogás generado.

Cuando el biogás ingresa en la botella de medición, el contenido de dióxido de carbono (CO_2) presente en el biogás es retenido por la disolución de hidróxido de sodio (NaOH) y el gas metano se ubica en la parte superior de la botella invertida.

3.8. Caracterización de la materia prima

La materia prima presente en los biodigestores se caracterizó y se analizó según los parámetros de la tabla 4. Los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de Química y en el laboratorio de Física, mismos laboratorios son parte de la Universidad Estatal Amazónica (UEA).

Tabla 4. Parámetro de análisis en laboratorio

| PARÁMETRO | MÉTODO |
|-----------------------------|--|
| Potencial de hidrógeno (pH) | Standard Methods 4500 H+B |
| Sólidos Totales | Método gravimétrico – Apha, 2012.22 edición) |
| Sólidos Volátiles | Método gravimétrico – Apha, 2012.22 edición) |
| Fósforo (P) | Espectrofotometría UV-VIS |
| Nitrógeno (N) | Kjeldahl Standard |

Fuente: Elaboración propia

3.9. Descripción de los métodos de análisis

En la tabla 3 se muestran los parámetros analizados, mismos que serán descritos en este punto. Cabe recalcar que se evaluaron periódicamente los distintos parámetros de control y operación para comprobar el buen funcionamiento de los biodigestores anaeróbicos.

- Determinación del pH (Standard Methods 4500 H+B)

El pH fue medido con un pH-metro digital, modelo Hanna Instruments por un tiempo de 10 a 30 minutos posterior a la recolección de cada muestra. El principio fundamental de la medición de pH electrométrico es la determinación de la acción de los iones de hidrógeno mediante una medición potenciométrica usando un electrodo de hidrógeno estándar y un electrodo de referencia.

Para el análisis se estableció un equilibrio entre los electrodos y la muestra, agitando lentamente la muestra para asegurar la homogeneidad, y a su vez minimizar el arrastre de dióxido de carbono.

- Sólidos totales (Método gravimétrico – APHA, 2012.22 edición)

Para determinar los sólidos suspendidos totales del sustrato del biodigestor se procedió a tomar una muestra de 50 mL del mismo para realizar los respectivos análisis. Se tomó un crisol con capacidad de 50 mL, el cual fue puesto en la estufa por 30 minutos a una temperatura de 105 °C, después fue llevado a un desecador donde se lo dejó enfriar a una temperatura ambiente por el lapso de 10 minutos que posterior a ese tratamiento fue pesado en una balanza analítica en unidades de gramos (g). Posteriormente, se tomó el peso de crisol, después se colocó el crisol en la balanza, se taró la misma, y se pesó la muestra de 50 mL de sustrato a determinar. Después se llevó el crisol con la muestra a una estufa a 105 °C por el lapso de 24 horas, una vez concluido el tiempo de secado en la estufa se lo dejó reposar en un desecador por el lapso de 10 minutos. Posteriormente,

se lo llevó a la balanza analítica, una vez finalizado se realizaron los siguientes cálculos matemáticos para su determinación, utilizando la siguiente fórmula:

$$SST \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(A - B) * 1000}{Volumen \ de \ muestra, \ en \ mL}$$

Donde:

A= peso del residuo más crisol, en mg.

B= tara del crisol, en mg.

- **Sólidos volátiles totales (Método gravimétrico – APHA, 2012.22 edición)**

Por su parte, para determinar los sólidos suspendidos volátiles del sustrato de biodigestor se procedió a tomar una muestra representativa de 50 mL del mismo, para luego realizar los respectivos análisis en el laboratorio de química. Se tomó un crisol con capacidad de 50 mL, el cual fue puesto en la estufa por 30 minutos a una temperatura de 105 °C, después fue llevado a un desecador donde se lo dejó enfriar a una temperatura ambiente por el lapso de 10 minutos que posterior a ese tratamiento fue pesado en una balanza analítica en unidades de gramos (g). Posteriormente, se tomó el peso de crisol, después se colocó el crisol en la balanza, se taró la misma, y se pesó la muestra de 50 mL de sustrato a determinar. Después se llevó el crisol con la muestra a una estufa a 105 °C por el lapso de 24 horas, una vez concluido el tiempo de secado en la estufa se calibró la mufla a 550 °C donde se llevó a cabo la ignición durante 20 – 30 minutos, pasado este tiempo se lo dejó reposar en un desecador por una hora. Como último paso, se tomó el peso de la ignición en la balanza analítica y se procedió a realizar los cálculos matemáticos utilizando la siguiente fórmula:

$$SSV \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(A - B) * 1000}{Volumen \ de \ la \ muestra, \ en \ mL}$$

Donde:

A= peso del residuo más peso del crisol antes de la ignición, en mg.

B= peso del residuo más peso del crisol o filtro después de la calcinación, en mg.

- **Fósforo (Método estándar para el análisis de agua y agua residual N°4500-PB, 22 ed, 2012)**

La determinación de fósforo procedente del sustrato en el biodigestor que produce biogás, se realizó tomando como muestra 5 gramos de solución homogenizada, transferido a un vaso precipitado de 50 mL. Se añadió 20 mL de disolución ácida (H_2SO_4 0,02 M + HCL 0,05M) para procederlo a agitar magnéticamente por 5 min a temperatura ambiente, posteriormente a través de un papel filtro con 0,2 g de carbón activado se filtró la solución. Posteriormente, en un tubo de ensayo se colocó 0,5 mL de la solución ya filtrada, a la cual, se le agregó 4 mL de agua destilada y 0,5 mL del reactivo para el desarrollo del color. Luego, se preparó un blanco con 0,5 mL de la solución filtrada y 4,5 mL de agua destilada, y se midió la absorbancia en una longitud de onda de 400 nm en el espectrofotómetro. Con el resultado se modeló en Microsoft Office Excel la curva de calibración. Se calculó la concentración empleando el modelo matemático de la curva de calibración. Hay que tener en cuenta que el proceso realizado se expresó en unidades de porcentaje (%).

- **Nitrógeno amoniacal (Método Kjeldahl Standard)**

Para la determinación del nitrógeno amoniacal se aplicó el método de Kjeldahl. Para el mismo, se mezcló en un balón, 1,1 g de catalizador con 3 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4), se agregó una mezcla 3 mL de sustrato, toda esta mezcla se homogenizó completamente. Luego se procedió a colocar esta mezcla en la estufa por un tiempo de 2 horas a 200 °C. Una vez culminadas las dos horas se dejó enfriar la mezcla a temperatura ambiente por un lapso de 15 minutos. Ya enfriada la mezcla, se agregaron 100 mL de agua destilada y 10 mL de hidróxido de sodio (NaOH). Se trasladó todo el contenido del balón a un vaso precipitado y se agregó 10 mL de ácido bórico (H_3BO_3) con 3 gotas de Indicador Mixto Tashiro 4,4 (Rojo de Metilo-Azul de Metileno). Terminado todo este proceso, se esperó alrededor de 30 minutos hasta que la mezcla presentara una decoloración a verde esmeralda.

3.10. Generación de biogás

Según Hilbert (2003) se puede calcular la producción diaria de biogás utilizando los kg de generación diaria de estiércol o sólidos totales. (Ver tabla 5)

Tabla 5. Generación de biogás a partir de proporciones de estiércol y sólidos volátiles

| | |
|------------------------------|---|
| 1kg de estiércol fresco (EF) | 0,20 kg de Sólidos totales (ST) |
| 1kg de Sólidos totales (ST) | 0,8 kg de Sólidos volátiles (SV) |
| 1 kg de Sólidos totales | 0,3 m ³ de Biogás a (35°C Y Pr.Atm) |
| 1 kg de Sólidos totales | 0,25 m ³ de Biogás a (30°C Y Pr.Atm) |
| 1 kg de Sólidos totales | 0,2 m ³ Biogás a (25°C Y Pr.Atm) |
| 1 kg de Sólidos totales | 0,16 m ³ Biogás a (22°C Y Pr.Atm) |
| 1 kg de Sólidos totales | 0,10 m ³ Biogás a (18°C Y Pr.Atm) |
| 1 kg de Sólidos totales | 0,08 m ³ Biogás a (15°C Y Pr.Atm) |

Fuente: (Hilbert, 2003)

En el camal se generan diariamente 25,91 kg de estiércol y 419,24 kg de rumen, el mismo que se utilizó para realizar el tratamiento experimental, esto nos permitió conocer el porcentaje de biogás que se generó en el lapso de los 32 días, tomando en cuenta que se tomó solamente una fracción representativa, la cual era 0,2126 kg de muestra para el tratamiento anaeróbico.

3.11. Relación experimental con generación diaria de estiércol y desplazamiento volumétrico

En la parte experimental de generación de biogás, se partió por el volumen desplazado equivalente a 880 mL en 32 días, es decir 0,00088 m³, por tanto: se empleó esta caracterización de datos para calcular el valor específico de biogás generado en un lapso de 30 días correspondiente a un mes, en la parte experimental se trabajó con 0,2126 kg de estiércol y para el cálculo final de generación por día se tomó en cuenta los 643,1 kg/día que es la generación promedio de estiércol más rumen. Para obtener este resultado se partió del siguiente cálculo:

Desplazamiento volumétrico de biodigestor = 0,00088 m³

Muestra empleada = 0,2126745 kg

Generación Diaria E y R = 643,1 kg/día

0,2126745 kg ----- 0,00088 m³

643,1 kg/día ----- **X**

3.12. Generación de Biogás a partir de sólidos totales (ST)

Tomando en cuenta la metodología de Hilbert (2003), misma que menciona que para calcular el valor estimado de producción de biogás diaria, partimos de los datos correspondientes a la generación diaria de estiércol más rumen, siendo una cantidad de 643,1 kg/día, esta cantidad mencionada la multiplicamos por la cantidad de sólido total que se presentó en los análisis correspondientes, esta cantidad es de 0,0076116 kg y una vez que se obtuvo el producto de esta multiplicación dividimos por 0,2126745 kg, valor que corresponde a la cantidad de muestra empleada en el proceso de digestión anaerobia

Generación Diaria E y R = 643,1 kg/día

Sólidos Totales (ST) = 0,0076116 Kg

Muestra empleada = 0,2126745 kg

$$0,2126745 \text{ kg} \text{ -----} = 0,0076116 \text{ Kg ST}$$

$$643,1 \text{ kg/día} \text{ -----} \times$$

Biogás = ST * 0,25 m³ de biogás

3.13. Porcentaje de metano generado a partir del biogás.

Tomando en cuenta los valores de la Tabla 6, se realizó una prospectiva de cuanto metano se generó en el tratamiento experimental, de igual forma con el dióxido de carbono, recogiendo el valor de 60 % para metano y 40 % para dióxido de carbono.

Tabla 6. Características generales del biogás.

| Composición | Valor | Unidad de medida |
|-----------------------------------|--------------|-------------------------|
| Metano | 55 – 70 | % |
| Dióxido de carbono | 30 – 45 | % |
| Contenido energético | 6.0 – 6.5 | Kwh m ³ |
| Límite de explosión | 6 – 12 | % |
| Temperatura de ignición de metano | 650 - 750 | °C |
| Presión crítica | 74 – 88 | Atm |

Fuente:(Deublein y Steinhauer, 2011)

3.14. Consumo de biogás

El poder calorífico que genera el biogás a través de los residuos orgánicos generados en el Camal Municipal de la ciudad de Puyo puede ser aprovechado en estas mismas instalaciones de faenamiento, ya sea para generar electricidad o utilizarla para generar energía de cualquier tipo de maquinaria de estas instalaciones, haciendo de esta una planta de faenamiento autosustentable y amigable con el medio ambiente y así reducir el consumo de energía eléctrica del sistema nacional interconectado o utilizar energía dependiente de recursos fósiles. Tomando en cuenta los valores correspondientes a la generación de biogás y a su poder calorífico, a continuación, se presentan valores de consumo de biogás por parte de varias actividades y así poder tener en cuenta el uso de biogás para la generación de energía en el camal municipal a través de los mismos residuos orgánicos que se generan en este centro. (Ver **Tabla 7**)

Tabla 7. Consumo de biogás por varias actividades

| Actividad | Valor | Unidades |
|------------------------------|--------------|----------------------|
| Cocina | 0,20 – 0,45 | m ³ /h |
| Lámpara | 0,07 – 0,17 | m ³ /h |
| Refrigerador de tamaño medio | 2,00 – 2,20 | m ³ /h |
| Motor de cuatro tiempos | 0,45 – 0,55 | m ³ /HP/h |
| Electricidad (1Kwh) | 0,62 | m ³ /h |
| Ducha a gas | 0,80 | m ³ /h |

Fuente: (Hilbert, 2003)

CAPÍTULO IV

4. Resultados

4.1. Cuantificación de residuos orgánicos generados en el camal municipal de Puyo, Pastaza.

Mediante las visitas realizadas al camal municipal de Puyo se pudo cuantificar la generación de residuos generados. La cuantificación se realizó por un lapso de 7 días, desde el día miércoles 24 de abril y el martes 30 de abril, en el horario comprendido entre las 13:00 pm hasta las 17:00 pm. (Ver tabla 8)

Tabla 8. Residuos orgánicos generados en el camal municipal de Puyo

| | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 6 |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Número de bovinos | 18 | 9 | 11 | 13 | 26 | 23 |
| Número de porcinos | 17 | 16 | 19 | 20 | | 21 |
| Rumen (kg) | 498.9 | 204.1 | 303.9 | 322.1 | 789.3 | 635 |
| Estiércol (kg) | 198 | 82 | 120,5 | 130,2 | 314 | 261 |
| Grasas de bovino (kg) | 65.77 | 29 | 20.4 | 30.4 | 82.6 | 58.9 |
| Cascos y pezuñas (kg) | 32.7 | 16.3 | 19.95 | 23.1 | 47.2 | 39.5 |
| Sangre (L) | 416.4 | 340.7 | 454.2 | 340.7 | 378.5 | 454.2 |

Fuente: Elaboración propia

Se logró identificar que diariamente el número de ejemplares porcinos faenados diariamente oscila en un promedio de 18, mientras que los bovinos se encuentran en un promedio de 16 ejemplares al día. Semanalmente se faena un total de 93 animales porcinos y 100 animales bovinos. (Ver figura 7)

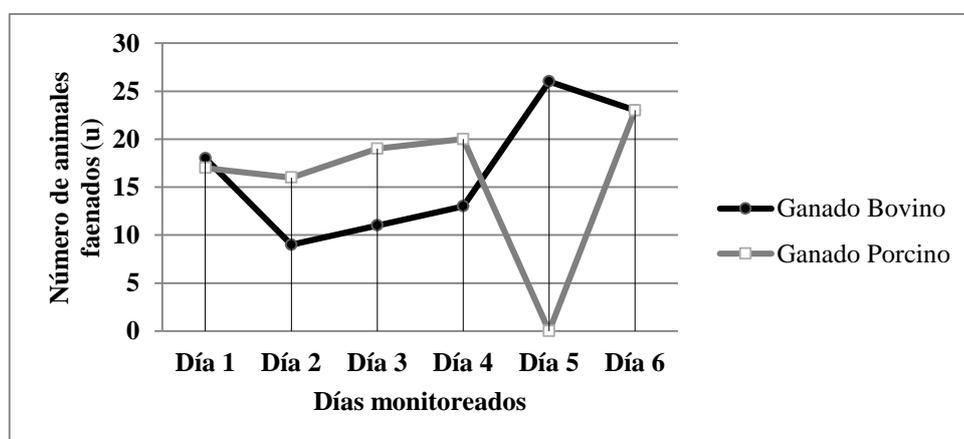


Figura 7. Número de animales sacrificados en el camal municipal de Puyo

Fuente: Elaboración propia

También se logró verificar que se genera una gran cantidad de rumen, en la figura 8 podemos observar la cantidad de rumen y el estiércol que se genera durante 6 días.

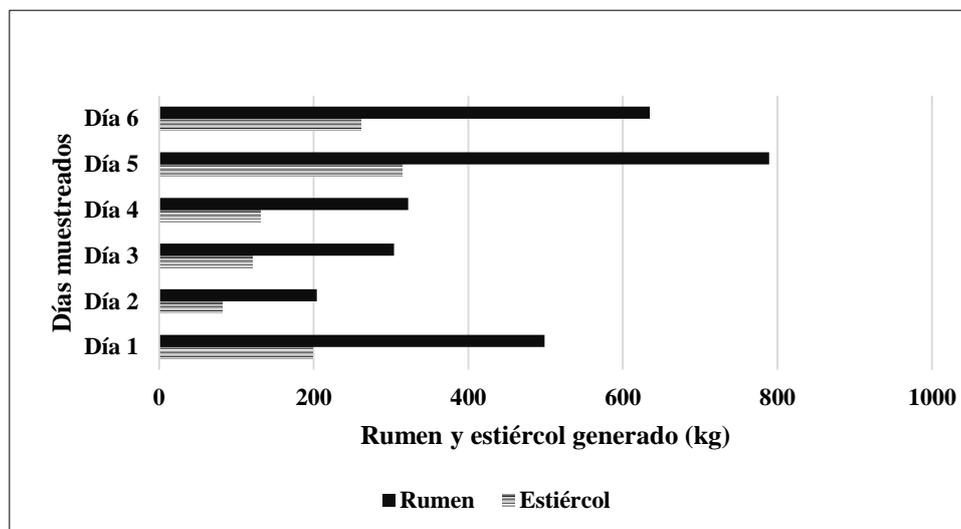


Figura 8. Rumen y estiércol generado en el camal municipal de Puyo.

Fuente: Elaboración propia

Comparación de generación de residuos de camal a nivel nacional.

Se pudo verificar que la generación de rumen en el camal municipal de Puyo es bastante alta, misma que es de 2753,3 kg/semana a diferencia de la generación de estiércol del cual solo se generan 1105,1kg/semana; a comparación de los residuos orgánicos generados en el camal de Calceta, Manabí, datos dados por Mejía y Peralta (2019) donde indica que la generación de rumen es bastante baja y la generación de estiércol bastante alta a comparación del camal municipal de Puyo, mismas cantidades que son de 720 kg/semana de rumen y 746 kg/semana de estiércol; Según Erreyes y Pérez (2015) en el camal municipal del cantón Tena de la provincia de Napo existe una generación de residuo orgánico (rumen y estiércol) bastante considerable, la cantidad de residuo generado en este centro de faenamiento es de un promedio de 3315 kg/semana el cual representa un 11,5 % más de residuo orgánico generado que en el camal municipal de Puyo. A comparación de la gran generación de residuo orgánico que genera el centro de faenamiento de Santo Domingo según Acosta y Pacheco (2014), estos autores indican que se genera un promedio de 61600 kg/semana de rumen y un promedio alrededor de 20000 kg/semana de estiércol. Cabe recalcar que la el centro de faenamiento sirve de apoyo para faenar reses provenientes de otros camales como el de Sangolqui, Pichincha. **(Ver figura 9)**

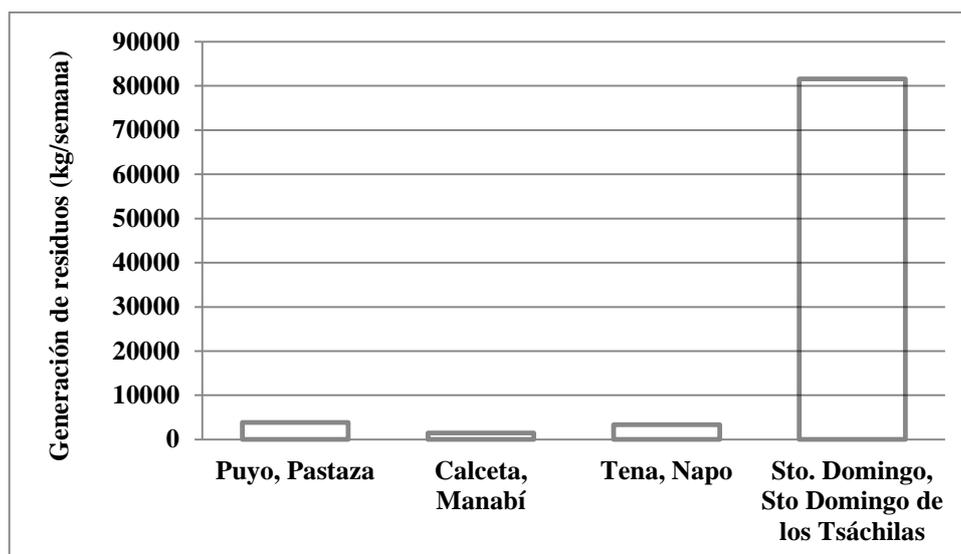


Figura 9. Comparación de generación de residuos orgánicos de camal a nivel nacional

Fuente: Elaboración propia

La región amazónica se dedica principalmente a la explotación de ganado de carne y doble propósito, el ganado de carne es relativamente nuevo en el oriente a pesar que existen grandes extensiones aptas para el pastoreo. Así mismo la producción de carne bovina presenta su mayor proporción en la región costa, aporta aproximadamente un 65% a la oferta doméstica, mientras que la Sierra genera el 15%, del cual gran parte corresponde a ganado lechero de descarte y toros que pasan los cuatro años de edad (Acosta y Pacheco, 2014).

- Caracterización fisicoquímica del residuo orgánico utilizado como sustrato

A continuación, se presentan los datos correspondientes a la caracterización fisicoquímica del residuo orgánico que se utilizó como sustrato. (Ver tabla 9)

Tabla 9. Características fisicoquímicas de los sustratos.

| Sustratos | Parámetros | | | | Referencia |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------|--------|---|
| | ST (%) ^a | SV (%) ^a | NTK (%) | OM (%) | |
| Estiércol de cerdo | 31.47 | 24.31 | 1.88 | 77.24 | Cundinamarca, Colombia (Rodríguez et al., 2017) |
| Residuos sólidos municipales | 22.76 | 21.24 | 1.56 | 93.32 | Cundinamarca, Colombia (Rodríguez et al., 2017) |
| Residuos camal | 3,23 | 3,0 | 0,5 | 92,95 | Puyo, Ecuador Este estudio |

a. Muestra en base seca / b. Muestra en base húmeda

Fuente: Elaboración propia

En la tabla presentada anteriormente se muestran los resultados de los parámetros físico-químicos analizados en el sustrato digerido, mismos datos que fueron de 3% de sólidos volátiles (SV); 3,23% de sólidos totales (ST); 0,5% de nitrógeno (N) y 92,95% de materia orgánica (MO). Los resultados de estos parámetros son en base a los residuos orgánicos provenientes del camal municipal de Puyo, mismos que fueron comparados con una investigación realizada por Rodríguez et al. (2017) donde nos dan a conocer los resultados de los mismos parámetros analizados en el presente trabajo, con la diferencia de que los datos de su investigación son a base de estiércol de cerdo, residuo de cacao y residuos sólidos municipales, donde se puede mencionar que el porcentaje de sólido volátil, sólido total y nitrógeno presente en nuestra investigación fue demasiado bajo a comparación de los resultados obtenidos en los análisis de los parámetros físico-químicos de los residuos orgánicos de diferente proveniencia que estos autores emplearon. Estos mismos autores mencionan que a base de los sólidos volátiles y sólidos totales se puede determinar la cantidad de materia orgánica (OM) en el sustrato, siendo en este caso mayor a 80%, donde infieren que existirá una buena digestión biológica en la etapa inicial de este proceso.

4.2. Implementación de un sistema de digestión anaerobia bajo condiciones de laboratorio.

- Generación de biogás por desplazamiento volumétrico (mL/día)

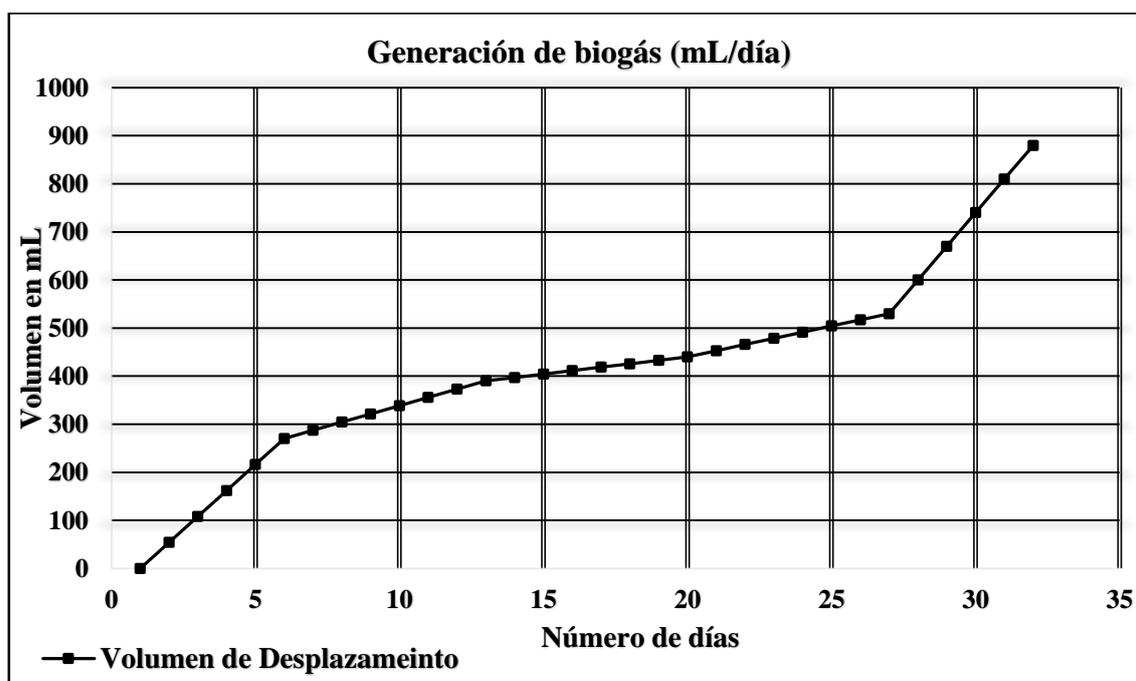


Figura 10. Generación de biogás (mL/día).

Fuente: Elaboración propia

En la figura 10 se puede visualizar la producción de biogás generada a lo largo de los 32 días de tratamiento, en los primeros 6 días la producción de biogás es rápida e intensa, esto se debe a que en los primeros días se tuvo una temperatura constante de 30°C, del día 7 al 15 la producción tiende a disminuir considerablemente a los días iniciales, esto se debe a que, para las noches y fines de semana no se conseguía mantener la temperatura constante, la cual disminuía a 15°C; del día 16 al 27 la producción de biogás se mantiene casi constante tomando como referencia la producción inicial, de igual manera la disminución de la temperatura por las noches y fines de semana a 15°C era inevitable, había una constante variación de la temperatura (**figura 11**). Finalmente, desde el día 28 al 32 la producción de biogás aumenta considerablemente hasta terminar el tratamiento, manteniéndolo a temperatura constante día y noche a 30°C. Los resultados arrojados por el estudio dan a conocer el potencial de biogás que se genera a partir de los desechos de animal conjuntamente con contenido ruminal, lo cual sería una alternativa más viable para la producción de gas en bajas proporciones (Mejía y Peralta, 2019).

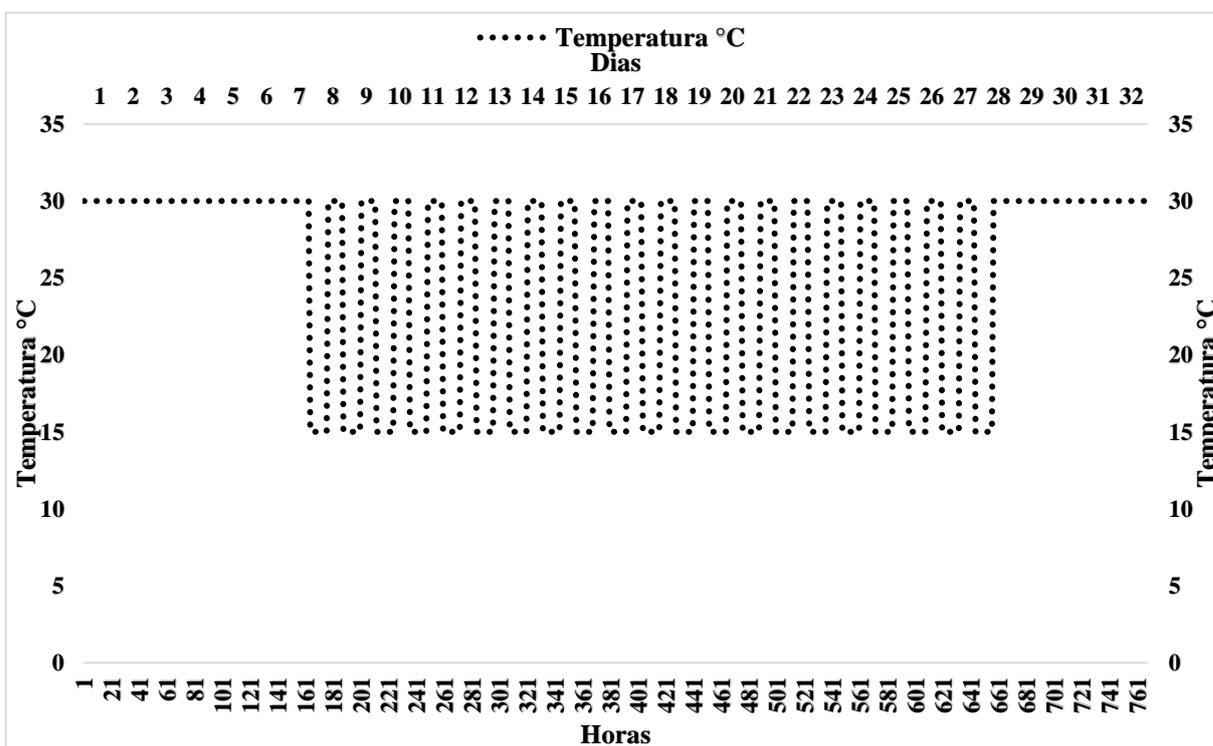


Figura 11. Variación de la temperatura (°C)

Fuente: Elaboración propia

- Análisis de parámetros físico-químicos
- ✓ Sólidos volátiles

En este parámetro se realizaron 3 análisis, el primer análisis fue realizado al inicio de la investigación, el segundo después de 15 días y el tercero al final del proceso. El mayor nivel de sólidos volátiles (SV) fue el del primer análisis, mismo que fue de 70.754 g/L. Para el segundo y tercer análisis de este parámetro ya el nivel de sólidos fue disminuyendo constantemente, siendo el segundo análisis de 27,78 g/L y el tercero de 16,26 g/L (**figura 12**). Por otra parte, Mejía y Peralta (2019) da a conocer datos de análisis elaborados a tres diferentes muestras en un tratamiento de producción de biogás a partir de residuos de camal de Calceta, Manabí, en donde menciona que la primera muestra del día 1 presentó mayor cantidad de sólidos volátiles con una cantidad de 93,71g, estos datos se asemejan a nuestra investigación ya que van descendiendo constantemente a 82,47g en la segunda muestra y 81,66g en la tercera. Estos mismos autores citan a Abubakar y Ismail (2012) donde mencionan que el rendimiento más efectivo en términos de degradación de SV ocurre durante la digestión por lotes, a través de una hidrólisis eficiente en la fase ácida.

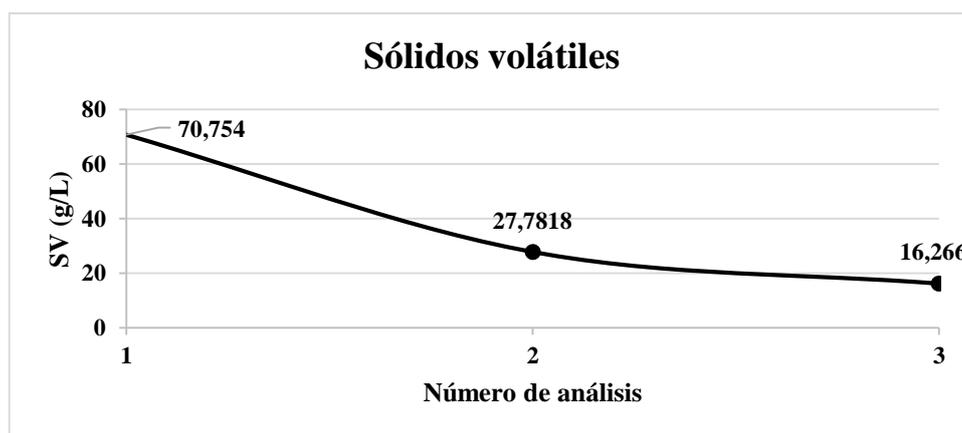


Figura 12. Resultados de sólidos volátiles.

Fuente: Elaboración propia

✓ Sólidos totales (ST)

En este parámetro se realizaron 3 análisis; el primero se realizó al principio de la investigación, el segundo después de 15 días y el tercer análisis se realizó al final de la investigación. Los resultados fueron descendiendo ya que la cantidad de sustrato se iba reduciendo por el proceso anaeróbico, el resultado del primer análisis fue 76,116 g/L, mismo que fue el más alto de todos ya que el segundo y tercer análisis fueron descendiendo constantemente a 32,5078 g/L y por último el tercer análisis a 22,364 g/L (**figura 13**). Según Yi et al. (2014) la actividad microbiana se produce en un medio donde la concentración de sólidos totales es alta ya que su contenido implica la

presencia de materia orgánica necesaria para el desarrollo de las bacterias, por esta razón, los primeros estratos se pueden considerar como el sustrato óptimo para la actividad microbiana anaerobia. Por otro lado, Aboudi, Álvarez-Gallego, y Romero-García (2017) mencionan que a mayor contenido de sólidos totales la producción de biogás aumenta debido a la mayor disposición de átomos de carbono en el sustrato.

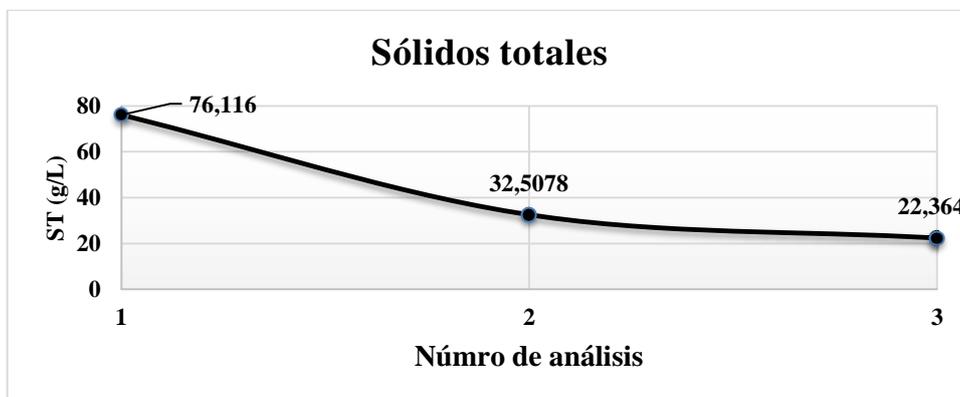


Figura 13. Sólidos totales (g/L)

Fuente: Elaboración propia

✓ **Nitrógeno (N)**

Para el análisis de este parámetro se tomaron dos muestras, la primera muestra correspondía al inicio de la investigación y la segunda muestra al final de la misma. La cantidad de muestra tomada para realizar los análisis de este parámetro fueron de 3 mL de residuo orgánico (rumen y estiércol), mismos resultados que fueron los siguientes; en el primer análisis la cantidad de nitrógeno fue de 0,5% y en el segundo análisis que correspondía a la muestra tomada al final de la investigación la cantidad de nitrógeno fue de 0,3% (**figura 14**). En la investigación realizada por Arregui y Alcívar (2018) dan a conocer que la concentración de nitrógeno es de 1,54% - 2,92% afirmando que los sustratos permiten tener una adecuada concentración de compuestos orgánicos.

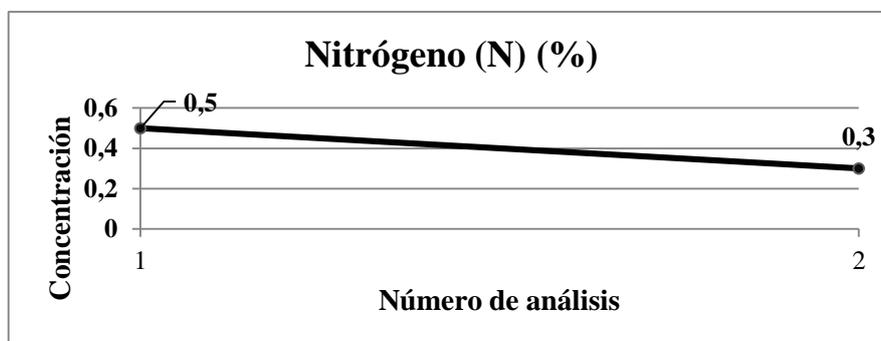


Figura 14. Concentración de nitrógeno (%)

Fuente: Elaboración propia

✓ Fósforo (P)

Para este parámetro al igual que el nitrógeno se realizaron 2 análisis, mismos que fueron al inicio y al fin de la investigación, el primer resultado es de 0,267% y el segundo análisis tiene como resultado un 0,735% (**figura 15**). Los resultados de este parámetro han sido comparado con varias tesis; “Implementación de un biodigestor para producir biogás a partir de los residuos orgánicos generados en el centro de faenamiento municipal de Tena, Napo” por Erreyes y Pérez (2015); “Diseño de un biorreactor y conducción del biogás generado por las Excretas de Ganado Vacuno, Estación Tunshi – EsPOCH” por (Lara y Hidalgo, 2012). Según comparaciones con otros estudios, por ejemplo, en la investigación realizada por Erreyes y Pérez (2015) las temperaturas son diferentes la una a la otra. Este trabajo fue ejecutado en un clima cálido variado con un tiempo de retención de 31 días. Por su parte, la investigación elaborada por Lara y Hidalgo (2012) fue ejecutada en un clima frío y un tiempo de 35 a 46 días lo que su proceso de digestión es más lenta cambiando totalmente los resultados.

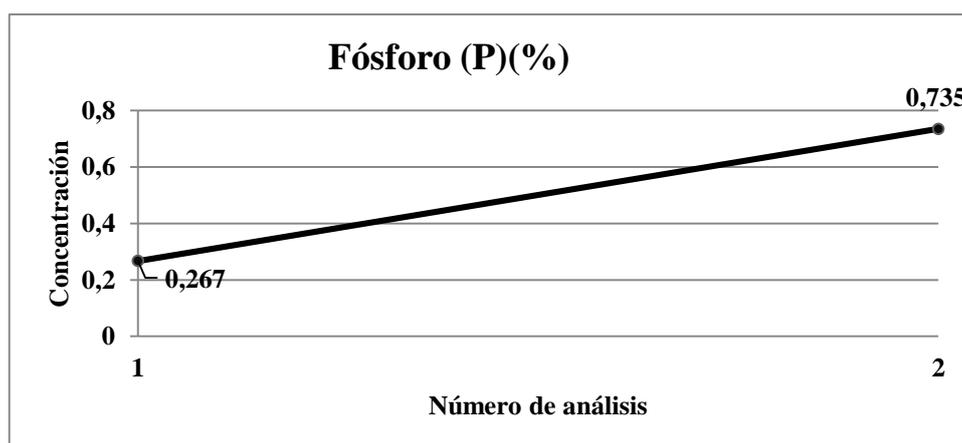


Figura 15. Concentración de fósforo (P)

Fuente: Elaboración propia

4.3. Análisis de la cantidad de biogás producido para verificar si es una alternativa adecuada para la disposición final de los residuos orgánicos en el camal municipal de la ciudad de Puyo, Pastaza.

- **Generación de biogás a partir de residuos orgánicos generados mensualmente en el camal municipal de Puyo, Pastaza.**

Tabla 10. Cantidad de biogás generada

| Descripción | Unidad | Total |
|-----------------------------|--------|---------|
| Generación mensual de rumen | kg/mes | 11013,2 |

| | | |
|--|---------------------|---------|
| Generación mensual de estiércol | kg/mes | 4420,4 |
| Rumen más estiércol | kg/mes | 15433,6 |
| Potencial de biogás | kg/L SV | 0,076 |
| SV de rumen más estiércol | kg | 1411,66 |
| Generación de biogás rumen más estiércol | m ³ /mes | 107,2 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla presentada anteriormente se muestra la cantidad de biogás generada a partir de la generación total de residuos orgánicos (estiércol y rumen) en el camal municipal de Puyo, Pastaza. Para el cálculo total de biogás se utilizó la generación total de rumen que es 11013,2kg/mes y la generación total de estiércol que es de 4420,4 kg/mes dando un total de residuo orgánico de 15433,6 kg/mes. Cabe mencionar que para este cálculo también se utilizó el total de generación de sólidos volátiles (SV) presentes en el total de residuos orgánicos (rumen y estiércol) generados en el camal municipal de Puyo, siendo esta cantidad de 1411,66 kg de sólidos volátiles (SV). Una vez obtenidos los datos anteriores se pudo calcular el potencial de biogás que se genera en base a los sólidos volátiles dando una cantidad de 0,076 kg/L SV y la generación total de biogás a partir de rumen y estiércol, dando una cantidad de 107,2 m³/mes. Según Hilbert (2003) la cantidad de generación de biogás se puede determinar a partir de los sólidos totales y el desplazamiento volumétrico. Por lo cual detallamos los siguientes cálculos:

- **Generación de biogás a partir de sólidos totales (ST)**

Tomando en cuenta la metodología de Hilbert (2003), misma que menciona que para calcular el valor estimado de producción de biogás diaria, partimos de los datos correspondientes a la generación diaria de estiércol más rumen, siendo una cantidad de 643,1 kg/día, esta cantidad mencionada la multiplicamos por la cantidad de sólido total que se presentó en los análisis correspondientes, esta cantidad es de 0,0076116 kg y una vez que se obtuvo el producto de esta multiplicación dividimos por 0,2126745 kg, valor que corresponde a la cantidad de muestra empleada en el proceso de digestión anaerobia dándonos un resultado de sólidos totales 23,0 kg/día de sólido total presente en el total de generación diaria de estiércol y rumen. Para el cálculo de generación de biogás se multiplicó 23,0 kg/día, cantidad que pertenece a los sólidos totales por la cantidad de 0,25 m³ de biogás, cantidad que corresponde a cálculos elaborados dentro de la

investigación realizada por el autor antes mencionado, arrojándonos un total de 5,75 m³/día de generación de biogás.

- **Relación experimental con generación diaria de estiércol y desplazamiento volumétrico**

En este apartado se detallan los valores obtenidos en cuanto a la generación experimental de biogás y los kg/día de estiércol que se generó en el camal. Cabe recalcar que para obtener el valor de generación de biogás se parte por el volumen desplazado que es equivalente a 880 mL en 32 días que es 0,00088 m³, por tanto, multiplicamos la generación diaria de estiércol y rumen por la cantidad del desplazamiento volumétrico presentada en el biodigestor, acto seguido se divide por la cantidad de muestra empleada en el proceso anaeróbico, misma que es de 0,2126745 kg arrojándonos un valor de 2,66 m³/día de biogás generado y en cuanto a la producción mensual se multiplicó por 30 que es el número de día que tiene un mes, dándonos un resultado total de 79,8m³/mes de biogás generado.

Tomando en cuenta los datos de la tabla 7 ya presentada anteriormente se detalla a continuación la generación de energía eléctrica que se puede dar en el camal municipal de Puyo a partir del índice determinado del potencial de biogás que se generó en nuestra investigación. (Ver tabla 11).

Tabla 11. Consumo de biogás para generación de energía eléctrica en el camal.

| Actividad | Valor | Unidades | Biogás generado (m ³ /kg) | Índice de biogás (m ³ /mes) | Horas de generación eléctrica | En base a diferentes estudios |
|---------------------|-------|-------------------|--------------------------------------|--|-------------------------------|--|
| Electricidad (1Kwh) | 0,62 | m ³ /h | 0,0041 | 79,8 | 129 | Desplazamiento volumétrico (Hilbert, 2003) |
| Electricidad (1Kwh) | 0,62 | m ³ /h | 0,0089 | 172,5 | 278 | Sólidos Totales (Hilbert, 2003) |
| Electricidad (1Kwh) | 0,62 | m ³ /h | 0,007 | 107,2 | 173 | Sólidos Volátiles (Rodríguez et al., 2017) |

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla presentada anteriormente se detallan los resultados totales de biogás generado a partir de residuos orgánicos de camal, estos resultados fueron calculados por medio de diferentes metodologías, mismas que fueron por medio del desplazamiento

volumétrico realizado por Hilbert (2003), metodología por la cual se genera 79,8 m³/mes de biogás, misma cantidad que puede producir aproximadamente 129 horas de energía eléctrica (1Kwh). Este mismo autor menciona que la cantidad de biogás también puede ser calculada mediante la concentración de sólidos totales (ST) donde por medio de nuestros datos obtenidos en nuestra investigación pudimos obtener un total de 172,5 m³/mes de biogás, misma cantidad que nos puede ayudar a generar cerca de 278 horas de energía eléctrica (1Kwh). Por otra parte, Rodríguez et al. (2017) propone que la cantidad de biogás que se genera mediante los residuos orgánicos de camal también pueden ser calculados por medio de los sólidos volátiles, mismos que en nuestra investigación produjo aproximadamente un total de 107,2 m³/mes de biogás, esta cantidad de biogás generada nos puede ayudar a generar alrededor de 173 horas de energía eléctrica (1Kwh).

CAPÍTULO V

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Se cuantificaron los residuos orgánicos generados en el camal municipal de Puyo, donde se dio a conocer que este centro de faenamiento genera un total 2753,3 kg/semana de rumen y un total de 1105,1 kg/semana de estiércol, mismos resultados que se consideran bastante altos debido a que la región amazónica se dedica principalmente a la explotación de ganado de carne y doble propósito.
- Se realizaron los análisis de laboratorio a la mezcla inicial que ingresó al biodigestor, lo cual nos dio a conocer los resultados de los sólidos totales (ST) siendo de 76,116 g/L; sólidos volátiles (SV) 70,754 g/L; nitrógeno (N) 0,5 %; fósforo (P) 0,267 %. Y después de 32 días de haber ingresado al biodigestor se realizó el análisis de la materia orgánica ya digerida por los microorganismos donde se menciona que la cantidad de sólidos volátiles (SV) se reduce un 77,01% y la cantidad de sólidos totales se reduce un 70,62%.
- Se pudo identificar un potencial de biogás de 0,076 kg/L SV. Con este valor el camal municipal de Puyo podría generar 107,2 m³/mes de biogás, cantidades que podrían ser empleadas, según cálculos, para generar 173 horas de energía eléctrica (1Kwh) en este mismo centro de faenamiento y así evitar la mala disposición final de estos residuos generados en el mismo. Y así podemos concluir afirmando que esta tecnología como lo es la digestión anaerobia y la generación de biogás a partir de residuos orgánicos de camal es una alternativa potencial para la disposición final de estos residuos.

5.2. Recomendaciones

- Realizar esta investigación con una temperatura constante para evitar la variación del desplazamiento volumétrico en diferentes horas del día y así lograr mejores resultados del potencial de biogás.
- Incluir el estudio con mezclas de aguas residuales del proceso, para incrementar el porcentaje de sólidos de alimentación, mejorar el funcionamiento de la digestión anaeróbica y aumentar la generación de metano (CH₄).
- Estudiar el efecto de diferentes mezclas de los residuos orgánicos del camal, así como de otras variables como el pH, el tiempo de retención y la temperatura para obtener las cantidades de residuos más factibles a tratar y las condiciones operacionales óptimas del proceso a diseñar.
- Realizar investigaciones de la co-digestión de mezclas de residuos de camal y otros residuos que se generen en la región.

CAPÍTULO VI

Bibliografía

- Aboudi, K., Álvarez-Gallego, C. J., y Romero-García, L. I. (2017). Influence of total solids concentration on the anaerobic co-digestion of sugar beet by-products and livestock manures. *Journal Science of the Total Environment*, 586, 438-445.
- Abubakar, B., y Ismail, N. (2012). Anaerobic digestion of cow dung for biogas production. *Journal of engineering applied sciences*, 7(2), 169-172.
- Acosta, J., y Pacheco, H. (2014). *Tratamiento de desechos para empresas municipales de rastro*. (Título de Economista), Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3063/1/T-UCE-0005-509.pdf>
- Akhiar, A., Battimelli, A., Torrijos, M., y Carrere, H. (2017). Comprehensive characterization of the liquid fraction of digestates from full-scale anaerobic co-digestion. *Waste Management*, 59, 118-128. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.005>
- Álvarez Bernal, D., Lastiri Hernández, M., Buelna Osben, H., Contreras Ramos, S., y Mora, M. (2016). Vermicompost as an alternative of management for water Hyacinth. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32, 425-433.
- Angelidaki, I., Alves, M., Bolzonella, D., Borzacconi, L., Campos, J. L., Guwy, A. J., . . . Van Lier, J. B. (2009). Definir el potencial biometano (BMP) de los residuos orgánicos sólidos y cultivos energéticos: un protocolo propuesto por ensayos de lotes. *Water Science and Technology*, 59(5).
- Arellano Arroba, C., y Calle Cañizares, J. (2014). *Caracterización de los desechos orgánicos del camal de Guayaquil*. (Obtención de título de Magíster en Energías Renovables), Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Maestría en Energías Renovables, Sangolquí, Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10645/1/T-ESPE-048389.pdf>
- Arellano, L., Cruz-Rosales, m., y Huerta, C. (2014). El Estiércol: material de desecho, de provecho y algo más. *Instituto de Ecología*.
- Arregui, M. J., y Alcívar, I. M. (2018). *Evaluación de bioabonos obtenidos a partir de residuos animales provenientes del Camal Municipal de Guaranda*. (Obtención del título académico de Ingeniera en Biotecnología Ambiental), Escuela

- Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10147/1/236T0359.pdf>
- Basauri Rabanal, J. D., y Linares, T. (2018). *Producción de biogás utilizando contenido ruminal, como alternativa de Plan de Manejo Ambiental de los residuos orgánicos generados en el Camal Municipal de Cajamarca*. (Título Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos), Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo (UPAGU), Cajamarca, Perú.
- Cando, M. L. (2017). Desarrollo de un abono orgánico líquido tipo biol usando un proceso anaerobio en bio-reactores simples. *Manglar: Revista de Investigación Científica*, 13(1), 35-40.
- Cárdenas, J., Quipuzco, L., y Meza, V. (2013). Calidad de biogás y biol obtenidos a partir residuos orgánicos domésticos pretratados con la técnica del bocashi. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 16(32).
- Casco, E. (2015). *Determinación de Carbono y Nitrógeno de los residuos orgánicos del distrito metropolitano de Quito*. (Obtención del Título de Ingeniera Ambiental), Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1426/1/Determinaci%c3%b3n%20de%20carbono%20y%20nitr%c3%b3geno%20de%20los%20residuos%20org%c3%a1nicos%20del%20distrito%20metropolitano%20de%20quito.%20A%c3%b1o%202014-2015.pdf>
- Castro, L., Rodríguez, A., y Balcazar, H. (2014). Mitigación de la contaminación por residuos sólidos de matadero y otros, mediante lombricultura, en la ciudad de Sucre. *Revista de aplicaciones de la Ingeniería*, 1-11.
- Castro, M., y Vinuesa, M. (2011). *Manual para el manejo adecuado de los residuos sólidos generados por el camal municipal de Riobamba*. (Título de Licenciados en Educación Ambiental), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1294/1/26T00003.pdf>
- Cendales, E. (2011). *Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable*. (Obtención al Título de Magíster en Ingeniería Mecánica), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Retrieved from <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45153202/edwindariocenda>

lesladino.2011.parte1.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A
&Expires=1558720453&Signature=Dv1FoUfdPKFUmbu5J87pujDoWSk%3D
&response-content-
disposition=inline%3B%20filename%3DProduccion_de_biogas_mediante_la_c
odiges.pdf

- Corrales, L., Antolinez Romero, D. M., Bohórquez Macías, J. A., y Corredor Vargas, A. M. (2015). Bacterias Anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. . *NOVA*, 13, 81.
- Cun Jaramillo, M., y Álvarez Díaz, C. (2012). Estudio de Impacto Ambiental de un camal municipal urbano en la provincia de El Oro. . *Ciencia y Tecnología*, 344.
- Deublein, D., y Steinhauser, A. (2011). *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*: John Wiley & Sons.
- Erreyes, A., y Pérez, O. (2015). *Implementación de un Biodigestor para producir Biogás a partir de los residuos orgánicos generados en el Centro de Faenamiento Municipal Tena, Napo*. (Obtención del Título de Ingeniero en Biotecnología Ambiental), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4079/1/236T0134%20UDCTFCl.pdf>
- Espíndola, J. (2018). *Obtención de bioles y biosoles a partir del lodo que se extrae de las eras de secado del Camal Municipal del cantón Ambato*. (Título de Ingeniero en Biotecnología Ambiental), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10535/1/236T0394.pdf>
- Garzón, I. (2010). *Diagnóstico ambiental del camal municipal de la ciudad de Santo Domingo y mejora de su gestión*. (Título de Ingeniero Ambiental), Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2480/1/CD-3184.pdf>
- Gómez, J., Vargas, F., y Leal, V. (2014). Análisis exploratorio de investigaciones sobre los motores de combustión interna que trabajan con biogás. *TECNURA*, 18(39), 152-164.
- Harris, P., y McCabe, B. (2015). Review of pre-treatments used in anaerobic digestion and their potential application in high-fat cattle slaughterhouse wastewater. *Applied Energy*, 155, 560-575.

- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. P. (2015). *Metodología de la Investigación* (6ta ed.). México: McGraw-Hill.
- Hilbert, J. (2003). Manual para la producción de biogás. *Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar, Morón, Argentina.*
- Hómez , M. (1998). *Aspectos descriptivos técnicos para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en un matadero municipal para procesos de compostaje y lombricultura.* Paper presented at the Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- Iliquín, R. (2014). *Producción de Compost utilizando residuos orgánicos producidos en el camal municipal y viviendas urbanas aplicando los métodos Takakura y Em.Compost en el distrito de Chachapoyas, Región Amazonas.* (Título profesional de Ingeniero Agroindustrial), Universidad Nacional "Toribio Rodríguez de Mendoza" de Amazonas, Chachapoyas, Perú. Retrieved from http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1005/FIA_144.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- INEN-209. Fertilizantes y Productos Afines. Definiciones (2016).
- Jara, M. A., Salazar, C., García, Y., Arteaga, Y., Rodríguez, Y., y Chafla, A. (2016). Parámetros físico-químicos y contenido de coliformes de un compost obtenido a partir de residuos orgánicos del Camal Frigorífico Riobamba. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 5(1390-5600), 252-263.
- Karthikeyan, O., Muthu, S., y Heimann, K. (2016). *Recycling of solid waste for biofuels and bio-chemicals*: Springer.
- Lara, E., y Hidalgo, M. (2012). *Diseño de un Biorreactor y Conducción del Biogas Generado por las Excretas de Ganado Vacuno, Estación TUNSHI-ESPOCH.* (Obtención del título de Ingenieros en Biotecnología Ambiental), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1652/1/236T0056.pdf>
- Lawal-Akinlami, H., y Shanmugam, P. (2017). Comparison of biochemical methane potential and methanogen morphology of different organic solid wastes co-digested anaerobically with treatment plant sludge. *Process Safety and Environmental Protection*, 107, 216-226.
- Liu, C., Wang, J., Ji, X., Qian, H., Huang, L., y Lu, X. (2016). The biomethane producing potential in China: A theoretical and practical estimation. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 24(7), 920-928.

- López, E. (2017). *Caracterización de variables fisicoquímicas en lodos y emisiones gaseosas de un colector de desechos de camal en la comunidad de Pacto*. (Obtención del Título de Licenciada en Ciencias Químicas con mención en Química Analítica), Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Mejía, G., y Peralta, J. (2019). *Producción de Biogás mediante biodigestor a escala piloto con residuos semi-sólidos; (excretas y rumen) del camal de Calceta, Bolívar*. (Obtención del Título de Ingeniero en Medio Ambiente), Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Manabí. Retrieved from <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1000/1/TTMA46.pdf>
- Menéndez, S., y Reasco, Y. (2017). *Estudio del contenido energético renovable mediante tratamiento anaerobio mesofílico de residuales de Camal y Avícola del Cantón Naranjito*. (Titulación en Ingeniería Química), Universidad de Guayaquil Guayaquil, Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18116/1/401-1214%20-%20Estudio%20del%20contenido%20energ%C3%A9tico%20renovable%20mediante%20tratamiento%20anaerobio.pdf>
- Mengistu, M., Simane, B., Eshete, G., y Workneh, T. (2015). A review on biogas technology and its contributions to sustainable rural livelihood in Ethiopia. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 48, 306-316.
- Moukakis, L., Pellerá, F., y Gidarakos, E. (2018). Slaughterhouse by-products treatment using anaerobic digestion. *Waste Management*, 71, 652-662. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.009>
- Nkoa, R. (2014). Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 473-492.
- Oblitas Cabrera, A. R. (2018). *Estudio Técnico - Económico para producir Biogás a partir de los residuos generados por el Camal Municipal de Tumán 2017*. (Título Profesional de Ingeniero Industrial), Universidad Señor de Sipán (USS), Primentel, Perú. Retrieved from <http://www.pead.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/5113/Oblitas%20Cabrera%20Ana%20Rosa%20Margot.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Ocaña, M. (2013). *Propuesta de reuso de desechos orgánicos obtenidos del proceso de eviscerado del Centro de Faenamiento Ocaña Cía. Ltda. de la ciudad de Quero para disminuir la contaminación del suelo.* (Obtención del título de Diploma Superior en Auditoría y Aseguramiento de la Calidad para el sector Alimenticio), Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24942/1/DSAAC-03.pdf>
- Ortega, N. (2006). *Phosphorus precipitation in anaerobic digestion process*: Universal Publishers.
- Pacheco Guevara, A. H., y Acosta Herrera, J. A. (2014). *Tratamiento de desechos para empresas municipales de rastro.* (Título de Economista), Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3063/1/T-UCE-0005-509.pdf>
- Palomo, A. (2017). *Estudio de factibilidad de instalación de una planta de biogás en el establecimiento avícola "Ponedoras del Neuquén.* (obtención del Título de Ingeniera en Biotecnología.), Universidad Nacional de Río Negro, Río Negro, Argentina. Retrieved from <https://rid.unrn.edu.ar/jspui/bitstream/20.500.12049/644/1/Palomo-.pdf>
- Peñañiel, R., y Ticona, G. (2015). Elementos nutricionales en la producción de fertilizante biol con diferentes tipos de insumos y cantidades de contenido ruminal de bovino-matadero municipal de La Paz. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2(1), 87-90.
- Pertiwinigrum, A., Susilowati, E., Rochijan, R., Fitriyanto, N., Soeherman, Y., y Habibi, M. (2017). Potential test on utilization of cow's rumen fluid to increase biogas production rate and methane concentration in biogas. *Asian Journal of Animal Sciences*, 11(1819 - 1878).
- Rodríguez, A., Ángel, J., Rivero, E., Acevedo, P., Santis, A., Cabeza, I., . . . Hernández, M. (2017). Evaluation of the biochemical methane potential of pig manure, organic fraction of municipal solid waste and cocoa industry residues in Colombia. *J Chemical engineering transactions*, 57, 55-60.
- Salas, Z. (2016). *Evaluación del impacto ambiental de los residuos sólidos generados en el camal municipal el recreo de la ciudad de Puyo, aplicando las normas Mexicanas nmx-aa-0.15-0.19-0.22, para proponer un plan de manejo ambiental.* (Título en ingeniería en manejo y conservación del medio ambiente), Universidad Nacional de Loja, Tena, Ecuador. Retrieved from

<http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/13800/1/Zabetta%20Luluniny%20Valladares%20salas.pdf>

- Villagómez, D. (2014). *Elaboración de bocashi a partir de residuos del faenamiento de animales del camal de la Maná, provincia de Cotopaxi*. (Título de Ingeniero Ambiental, grado académico. Tercer Nivel), Universidad Central del Ecuador (UCE), Quito, Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7707/1/T-UCE-0012-356.pdf>
- Villegas-Cornelio, V., y Laines, J. (2017). Vermicompostaje: II avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 407-421.
- Yi, J., Dong, B., Jin, J., y Dai, X. (2014). Effect of increasing total solids contents on anaerobic digestion of food waste under mesophilic conditions: performance and microbial characteristics analysis. *Plos one*, 9(7), e102548.
- Zepeda, D., y Amaya, F. (2013). Diseño de Planta de tratamiento de desechos orgánicos para la generación y aprovechamiento de Biogás. *Dirección de Investigación y Proyección Social*, 51.