UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

TEMA:

"PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA TRATAR DESECHOS ORGÁNICOS DE BOVINOS Y PORCINOS EN EL CAMAL MUNICIPAL DEL CANTÓN LAGO AGRIO, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS."

AUTOR:

WAGNER OSWALDO CORTES CORTEZ

DIRECTORA DEL PROYECTO:

MSc. JESSICA ALEXANDRA MACHADO CUZCO

Puyo – Ecuador

Junio 2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscriben Wagner Oswaldo Cortés Cortez con C.I. 210063695-6, hace constar que es autor del proyecto de Investigación de Integración Curricular titulado: "**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA TRATAR DESECHOS ORGÁNICOS DE BOVINOS Y PORCINOS EN EL CAMAL MUNICIPAL DEL CANTÓN LAGO AGRIO, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS**", el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, MSc. Jessica Alexandra Machado Cuzco. En tal sentido, manifestó la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 16 días del mes de julio de 2021.



Wagner Oswaldo Cortés Cortez

C.I.: 210062695-6

DECLARACIÓN DE AUTENTICIAD

Yo, Wagner Oswaldo Cortés Cortez, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes debidamente citadas y referenciadas.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.



Wagner Oswaldo Cortés Cortez

C.I.: 210062695-6

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: “propuesta de diseño de un biodigestor para tratar desechos orgánicos de bovinos y porcinos en el camal municipal del cantón lago agrio, provincia de sucumbíos.”

ANGELICA MARIA TASAMBAY SALAZAR

Firmado digitalmente por ANGELICA MARIA TASAMBAY SALAZAR
Fecha: 2021.07.18

Dr/Msc: Tasambay Salazar Angélica María

Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:

KAREL DIEGUEZ

Dr/Msc: Dieguez Santana Karel

Miembro del Tribunal

MARLON OSWALDO NUNEZ CASTRO

Firmado digitalmente porMARLON OSWALDO NUNEZ CASTRO
Fecha:2021-07-16 21:09-05:00

Dr/Msc. Núñez Castro Marlon Oswaldo

Miembro del Tribunal

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO

Quien suscribe el presente certificado la M.Sc. Jessica Alexandra Machado Cuzco con CI: 0106047822, certifica que el Trabajo de Integración Curricular titulado: "PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA TRATAR DESECHOS ORGÁNICOS DE BOVINOS Y PORCINOS EN EL CAMAL MUNICIPAL DEL CANTÓN LAGO AGRIO, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS" ha sido examinado a través del sistema Antiplagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 9%. En el cantón Pastaza, a los seis días, del mes de julio del 2021.

Firmado electrónicamente por:
JESSICA ALEXANDRA MACHADO CUZCO

M.Sc. Jessica Alexandra Machado Cuzco
Directora del Trabajo de Integración Curricular

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiar mi camino y darme sabiduría en estos cinco años de carrera universitaria, a mi padre Oswaldo Cortes y a mi madre Sandra Cortez quiero agradecer de corazón porque a pesar de que ellos no tienen estudios académicos de tercer nivel me dieron la oportunidad de emprender un viaje desde la ciudad de Lago Agrio hasta la ciudad del Puyo para que pueda adquirir los conocimientos necesarios que me conviertan en un profesional de excelencia.

Quiero agradecer a mi tutora de tesis la M.Sc. Jessica Machado, ya que ha sido un pilar fundamental en mi etapa final de la carrera, apoyándome, guiándome y capacitándome incondicionalmente en este presente trabajo de titulación, de igual manera quiero agradecer a todos los docentes que formaron parte de mi formación académica, desde la nivelación hasta decimo semestre, quiero agradecer a todos los amigos y compañeros que la prestigiosa UEA me dio tanto en el ámbito académico como en el ámbito deportivo y por ultimo quiero agradecer y por ultimo quiero agradecer a la Universidad Estatal Amazónica por las experiencias vividas que forjaron mi carácter profesional.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, Sandra Cortez y Oswaldo Cortes, ellos me han apoyado incondicionalmente durante 25 años desde que nací, sin ellos de seguro no tendría culminados ni mis estudios de primaria. Quiero dedicar este trabajo a la madre naturaleza ya que lastimosamente por culpa del ser humano está atravesando varios problemas ambientales irreversibles, Por último quiero dedicar el presente trabajo a todos los activistas ambientales, existen en el mundo como pueden ser estudiantes, docentes, empresarios, deportistas entre otros, que independientemente del color de bandera o de piel todos luchamos por un mismo objetivo, concienciar a la población para realizar distintas actividades con el uso de buenas prácticas ambientales.

RESUMEN

El camal municipal del cantón Lago Agrio no cuenta con una adecuada disposición final para los desechos orgánicos que se generan a diario producto del faenamiento del ganado, al notar esta gran problemática ambiental que afronta el camal se ha realizado una propuesta de diseño de un biodigestor anaerobio tubular que tiene como funcionalidad tratar el estiércol de los cerdos y las vacas, además nos proporcionara dos subproductos los cuales son el biogás y el biol, el biogás un gas que puede ser utilizado de manera in situ como energía térmica y eléctrica y el biol es un fertilizante orgánico que sirve para los cultivos o recuperar los suelos desgastados. En el presente proyecto se analizaron los parámetros óptimos de diseño que se necesitan para llevar a cabo el diseño y la construcción de un biodigestor realizando comparaciones y guiándonos con diferentes estudios realizados anteriormente, se realizó la estimación de la posible cantidad de biogás y biofertilizante que generara el biodigestor gracias a los datos otorgados por el departamento de veterinaria del camal, donde se encuentra la cantidad y peso promedio todos los bovinos y porcinos faenados entre el año 2018 y 2020, el biodigestor tendrá una capacidad volumétrica de 14.6 m^3, por último se contactó a dos empresas reconocidas a nivel nacional con gran experiencia en el ámbito laboral en el diseño construcción y puesta en marcha de biodigestores de diferentes volúmenes en varias zonas de Ecuador, a las dos empresas se les brindó los datos otorgados por el departamento de veterinaria del camal, la primera empresa fue “Biodigestores Ecuador” quienes cotizaron el precio del biodigestor por un total de 13.177,92 $ y la segunda empresa fue “Henaselec S.A” quienes cotizaron el biodigestor por un precio de 14.956,68 $.

Palabras claves: biodigestor, biol, biogás, camal, faenamiento, bovino, porcino.

Abstract

The municipal slaughterhouse of the Lago Agrio canton does not have an adequate final disposal for the organic waste that is generated daily as a result of the slaughter of livestock, upon noticing this great environmental problem that the slaughterhouse faces, a design proposal for an anaerobic biodigester has been made. tubular that has the function of treating pig and cow manure, it will also provide us with two by-products which are biogas and biol, biogas a gas that can be used in situ as thermal and electrical energy and biol is an organic fertilizer that is used for crops or to recover worn-out soils. In this project, the optimal design parameters needed to carry out the design and construction of a biodigester were analyzed, making comparisons and guiding us with different studies carried out previously, the estimation of the possible amount of biogas and biofertilizer that it would generate was carried out. the biodigester, thanks to the data provided by the slaughterhouse veterinary department, where the average quantity and weight of all cattle and pigs slaughtered between 2018 and 2020 is found, the biodigester will have a volumetric capacity of 14.6 m^3, lastly contact was made two nationally recognized companies with extensive experience in the workplace in the design, construction and brand of biodigesters of different volumes in various areas of Ecuador, the two companies were provided with the data provided by the veterinary department of the camal , the first company was "Biodigestores Ecuador" who quoted the price of the biodigester for a total of $ 13177.92 and the second company was "Henaselec S.A" who listed the biodigester for a price of $ 14,956.68.

Keywords: biodigester, biol, biogas, slaughterhouse, slaughter, bovine, pig.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I 14
1 INTRODUCCION 14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 15
1.2 OBJETIVOS 16
1.2.1 Objetivo General 16
1.2.2 Objetivos Específicos 16
1.3 JUSTIFICACIÓN 17
CAPITULO II 18
2 FUNDAMENTACIÓN TEORÍCA 18
2.1 Energías Renovables 18
2.2 Disposición Final 18
2.3 Residuos 18
2.4 Residuos sólidos de faenamiento 18
2.5 Excremento 19
2.6 Biodigestor 19
2.7 Biodigestor modelo Taiwán 19
2.8 Biodigestor como productor de combustible 19
2.9 Biodigestor como productor de Biofertilizante 20
2.10 Biodigestión Anaerobia 20
2.11 Fases de la Digestión Anaerobia 20
2.11.1 Hidrólisis 20
2.11.2 Acidogénesis 20
2.11.3 Acetanogénesis 20
2.11.4 Metanogénesis 21
2.12 Biogás 21
2.12.1 Composición del Biogás 21
2.13 Biol 21
CAPITULO III 22
3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 22
3.1 Localización 22
3.2 Tipo o diseño de la investigación 23
3.2.1 Exploratoria cualitativa – Documental 23
3.3 Método de investigación 23

3.3.1 Determinar los parámetros de diseño óptimos del Biodigestor 23
3.3.2 Estimar la cantidad de Biogás y Biol que se generará en el Biodigestor 23
3.3.3 Estimación de costo del Biodigestor 24
CAPITULO IV 25
4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS 25
4.1 Parámetros de diseño de un Biodigestor Tubular Anaerobio de bajo costo 25
4.1.1 Tiempo de retención y Temperatura 25
4.1.2 Cantidad de excretas diarias 26
4.1.3 Carga diaria 28
4.1.4 Volumen Líquido 28
4.1.5 Volumen de Biogás 28
4.1.6 Volumen total 28
4.1.7 Volumen del reservorio 29
4.1.8 Longitud y Diámetro 29
4.1.9 Criterio para la calidad de suelo 30
4.1.10 Criterios para la Remediación del suelo 32
4.2 Estimación de la cantidad de Biogás y Biol que generará el Biodigestor Anaerobio Tubular en el camal municipal del cantón Lago Agrio 34
4.2.1 Estimación del Biogás 34
4.2.2 Tiempo de retención 36
4.2.3 Cantidad de porcinos y bovinos faenados anualmente (datos de partida) 36
Fuente. (Guia de diseño y manual de instalacion, 2019) 37
4.2.4 Estimación del Biol 41
4.3 Cotización de costo del biodigestor 45
4.3.1 Cotización del precio del biodigestor anaerobio tubular del camal municipal del cantón Lago Agrio por parte de la empresa “Biodigestores Ecuador” 45
4.3.2 Cotización del precio del biodigestor anaerobio tubular del camal municipal del cantón Lago Agrio por parte de la empresa “HENASELEC SA” 46
5. CONCLUSIONES 48
6. RECOMENDACIONES 49
7. REFERENCIAS 50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes del Biogás 21
Tabla 2. Temperaturas 25
Tabla 3. Temperaturas según el tipo de regiones 26
Tabla 4. Kilogramos de estiércol 27
Tabla 5. Relación de estiércol y agua 28
Tabla 6. Medidas óptimas para diseñar un biodigestor tubular anaerobio 30
Tabla 7. Parámetros generales para la calidad de suelo 30
Tabla 8. Parámetros inorgánicos de calidad de suelo 31
Tabla 9. Criterio orgánico para la calidad de suelo 32
Tabla 10. Parámetros generales para la remediación de suelos 32
Tabla 11. Parámetros inorgánicos para la remediación de suelos 33
Tabla 12. Parámetros orgánicos para la remediación de suelos 33
Tabla 13. Cantidad de bovinos y porcinos faenados en el camal municipal del cantón Lago Agrio 35
Tabla 14. Peso promedio del ganado 35
Tabla 15. Relación entre peso vivo y producción de estiércol 37
Tabla 17. Relación entre el tiempo de retención hidráulica y la producción de biogás 38
Tabla 18. Equivalencias energéticas del Biogás 40
Tabla 19. Consumos típicos del biogás para diferentes elementos 41
Tabla 16. Relación entre agua y estiércol para el camal municipal 42
Tabla 20. Estimación de la cantidad de biogás y biofertilizante 44
Tabla 21. Costo total del proyecto 45
Tabla 22. Precio total de inversión del proyecto 46
Tabla 23. características de los materiales para el sistema 47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de Estudio 22

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

En Latinoamérica la mayoría de los países son considerados como subdesarrollados una de las causas que enfrentan es la pésima gestión ambiental y la falta de control legislativo por parte de las autoridades competentes o de turno ya sea de los municipios o de los gobiernos centrales (Mori, 2021). Debido al gran crecimiento de la población y a la gran demanda de consumo de carne, los camales se han convertido en un gran problema ya que generan una gran cantidad de desechos tóxicos a los cuales no se les da una disposición final adecuada alterando al ambiente y afectando a la salud de los seres humanos (Vargas & Villavicencio, 2019).

Ecuador es uno de los países que afronta esta grave situación por el simple hecho de no tener la capacidad técnica y la voluntad de sus autoridades para aprovechar de manera eficiente estos desechos producto del faenado bovino y porcino en los camales. Existen muchas alternativas en la actualidad que pueden solucionar el problema ambiental además de generar ingresos y alivianar costos con los subproductos que se producen en el proceso como el biogás o el biofertilizante (Mejia & Peralta, 2019).

Alineándonos a un mundo en donde se desea erradicar los combustibles fósiles para utilizar las nuevas tecnologías de la energía renovable se plantea la propuesta para el diseño de un biodigestor tubular anaerobio que sirve para tratar los efluentes de las aguas residuales. Cuya función en este caso será tratar las excretas que generan las vacas y los cerdos en el camal municipal para posteriormente obtener el biol y el biogás (Guzman & Mendoza, 2015).

El proyecto se llevó a cabo en el camal municipal del cantón Lago Agrio en donde se realizó un estudio de las condiciones climáticas y geológicas del lugar para poder realizar la estimación del volumen del reactor y de esta manera el biodigestor pueda funcionar con eficacia. Además de dar una solución a la problemática ambiental también traerá beneficios económicos y mejoras en la salubridad del camal municipal, (Alarcon & Bonilla, 2016).

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El gran desarrollo urbanístico y rural que presenta Ecuador generará una gran demanda en alimentos para abastecer a la población, entre estos podemos encontrar a los alimentos cárnicos que son faenados en camales en donde se sacrifica al ganado bovino o porcino, lastimosamente las condiciones en las que se realiza este tipo de actividades no son las adecuadas ya que los desechos orgánicos que se generan no son tratados adecuadamente y contaminan el medio (Cun & Alvares, 2017). Cuando los desechos orgánicos como las excretas bovinas y porcinas no son tratados de una manera adecuada, rápidamente se convierten en un foco de contaminación afectando y perjudicando directamente a la salud de los seres humanos y de los animales (Redbiolac, 2020).

En Ecuador el faenado de ganado bovino y porcino es establecido por los gobiernos autónomos descentralizados municipales y en su mayoría existen varios centros de faenamiento que no se encuentran aptos para realizar esta actividad, sin contar con un permiso o aplicación de prácticas sostenibles en dicho proceso. (Mosquera, 2020). El pésimo manejo de los residuos sólidos en los camales municipales causa perjuicios a la salud de los seres humanos y deteriora progresivamente al ambiente esto se debe a que en las actividades de faenamiento no existe la adecuada infraestructura y tecnología para reutilizar los desechos orgánicos (Torres, 2020).

Cuando un camal no cuenta con un sistema de tratamiento para cumplir con una adecuada disposición final de los desechos orgánicos que se generan a raíz de las actividades de faenamiento de los bovinos y los porcinos el estiércol del ganado queda expuesto al ambiente deteriorando la calidad del aire y el suelo y perjudicando la salud de las personas que trabajan en el sitio o viven cerca del camal municipal del cantón Lago Agrio. Los trabajadores del camal municipal del cantón Lago Agrio son los más perjudicados, ya que se sienten incomodados y afectados de manera directa por la contaminación odorífera y visual que generan las excretas de cerdos y vacas debido a las condiciones insalubres en la cual se encuentra el camal municipal en la actualidad, ya que ellos son los encargados de ingresar el estiércol de los animales dentro de saquillos o fundas plásticas para que los trabajadores del relleno sanitario que pertenecen a una institución distinta al camal los recojan luego, estos tampoco se quieren hacer cargo del excremento generado en el camal porque el relleno sanitario del

cantón no cuenta con un sistema adecuado para tratar este tipo de residuos orgánicos y está a punto de llegar al final de la vida útil. En la parte posterior del camal municipal del cantón Lago Agro existe una piscina llena de sangre y otros residuos orgánicos como vísceras de los bovinos y porcinos aproximadamente de 400 metros cúbicos, esta piscina se encuentra al aire libre contaminando de manera directa al aire por la emanación de fuertes olores compuestos por gases tóxicos que se producen a partir de la descomposición y siendo foco de vectores que proliferan enfermedades perjudiciales para la salud humana. (Oñate, 2018).

Según los operarios del camal, el excremento y todos los residuos orgánicos que se generan en el Camal Municipal del cantón Lago Agrio producto del faenamiento de los porcinos y los bovinos se ha convertido en un gran problema tanto para los habitantes cercanos, para los trabajadores del camal y del relleno sanitario de cantón, siendo esta una de las principales causantes de varias enfermedades gastrointestinales y la proliferación de vectores (Condor, 2019).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

- Proponer el diseño de un biodigestor anaerobio tubular de flujo continuo modelo Taiwán para tratar los desechos sólidos orgánicos de los bovinos y porcinos que se faenan en el camal municipal del cantón Lago Agrio.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros de diseño óptimos que se encuentran establecidos para delinear un biodigestor tubular anaerobio.
- Estimar la cantidad de biogás y biol que se producirá en el biodigestor.
- Estimar el costo total de la implementación del biodigestor tubular anaerobio en el camal municipal del cantón Lago Agrio.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El presente Proyecto tiene como objetivo proporcionar una alternativa para el problema ambiental que sufre el camal municipal del cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos, por no contar con un tratamiento adecuado de los desechos orgánicos que se generan a partir del faenamiento del ganado, el biodigestor anaerobio tubular es un sistema revolucionario de tratamiento de los residuos orgánicos, es de bajo costo y autosustentable que además de solucionar el problema puede brindar rentabilidad a largo plazo a las instalaciones de este sitio (Reyes , 2017).

Frente a la gran problemática ambiental que enfrentan varios sectores que se dedican a actividades relacionadas a la ganadería por la falta de un eficiente tratamiento de los residuos orgánicos generados por los animales faenados, existe una alternativa que daría solución, el biodigestor es un sistema revolucionario creado para disponer de una excelente disposición final a los desechos orgánicos, que generalmente se generan a partir de actividades agropecuarias como el estiércol de bovinos y porcinos. El tratamiento anaerobio consiste en la descomposición de la materia orgánica mediante bacterias especialmente metanogénicas, convirtiéndose en una gran herramienta para mitigar la contaminación ambiental (Redbiolac, 2020).

Se pretende realizar una propuesta de diseño de un biodigestor anaerobio tubular de polietileno que permita dar una disposición final adecuada a todos los desechos orgánicos que se generan luego del faenamiento de bovinos y porcinos en el camal municipal, desechos tales como excrementos, sangre entre otros. El presente trabajo brinda una solución eficaz, sostenible y de bajo costo para el problema ambiental que atraviesa el camal municipal del cantón, además este revolucionario sistema de tratamiento de residuos sólidos generará dos sub productos, el biol y el biogás, el primero puede utilizarse como recuperador de suelo en las actividades relacionadas a la agricultura y el segundo puede ser utilizado de manera in situ para abastecer de energía térmica o eléctrica a la locación (Espindola, 2018).

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Energías Renovables

Las energías renovables son las energías limpias del futuro y muy atractivas en la actualidad para muchos países que cuentan con los recursos naturales necesarios para implementar la misma, el objetivo principal de las energías renovables es producir energía sin perjudicar al ambiente y la calidad vida de las futuras generaciones, utilizar energías renovables es contribuir con la sostenibilidad ambiental garantizando todos el poder de gozar de un planeta saludable donde se pueda vivir de manera digna (Cortes, 2017).

2.2 Disposición Final

La disposición final es la última fase del manejo de desechos o residuos sólidos, esta consiste en el confinamiento de los desechos peligrosos y aprovechables, cada uno de estos grupos recibirá un tratamiento diferente en lugares especiales para que no causen más contaminación al ambiente o a la salud de los seres humanos, esta disposición final solo se debe realizar cuando se ha invalidado todo tipo de tratamiento ya sea dentro o fuera del territorio Ecuatoriano (Huamaní , 2017).

2.3 Residuos

Se denomina residuo a toda la materia que se genera a partir de las actividades de consumo y producción, los mismos que no tienen un valor económico en el entorno en que se produjeron. La mayoría de los residuos generan un perjuicio a la salud humana y al medio ambiente porque casi siempre no se le da una adecuada disposición final, cada empresa o fabrica es la encargada de dar una disposición final a los residuos que se generan dentro de la misma, los gobiernos municipales se encargaran de los residuos que se generan en el sector rural y urbano (Alcivar, 2019).

2.4 Residuos sólidos de faenamiento

Generalmente la mayoría de los residuos que se producen en los camales son: sangre, cachos y pezuñas, su proceso degradativo es rápido causando afectaciones severas a la salud humana y al ambiente. Lastimosamente por los bajos presupuesto que anualmente se le designa a los municipios por parte del estado, los camales no pueden contar con un sistema de tratamientos de residuos adecuados, de esta problemática parten nuevas ideas de bajo costo como el biodigestor tubular anaerobio (Alcivar, 2019).

2.5 Excremento

El excremento se obtiene a través de un proceso metabólico determinado como fermentación anaerobia que se genera dentro de los intestinos de los animales. Se estima que un animal pueda llegar a producir 4 a 8 kg/día de estiércol, se deben tomar en cuenta varios factores al momento de caracterizar el estiércol como la edad, la digestibilidad y el tipo de ración (Alcivar, 2019).

2.6 Biodigestor

El biodigestor es un sistema revolucionario donde se llevan a cabo varios procesos para lograr una excelente digestión anaerobia, gracias a este proceso se genera el biogás que puede ser utilizado como combustible para generar energía por su gran contenido de metano, de igual manera este sistema produce otro subproducto, el biol que por su alto contenido en nutrientes puede ser utilizado como biofertilizante para el riego agrícola o como recuperador de suelo, sin embargo una de las principales funcionalidades del biodigestor en la actualidad es la generación de energía renovable (Gonzales & Jurado, 2017).

2.7 Biodigestor modelo Taiwán

Generalmente este tipo de biodigestores son de bajo costo, amigables con el ambiente, y están hechos de plástico, lleva el nombre de Taiwán por la isla del mismo nombre que es parte de la republica China y ha tenido popularidad a partir del año 1960. Lo interesante de este diseño es que se une la cámara de alimentación, el tanque sedimentador y el gasómetro para dar disposición final de calidad, por eso el sustrato no puede ocupar todo el volumen del biodigestor ya que aproximadamente el 30 % del mismo tiene que ser el espacio por donde transcurra el biogás, básicamente se podría decir que es una bolsa inflable con tuberías de entrada y de salida (Garcia, Alamo, & Marcelo, 2017).

2.8 Biodigestor como productor de combustible

Generalmente a los biodigestores se los conoce porque producen biogás el mismo que puede tener un sin número de usos en muchos sectores, la producción de este combustible permite que el sistema de tratamiento de desechos orgánicos sea autosustentable y rentable ya que ofrece la posibilidad de tener acceso a una nueva fuente de energía y sostenible con el medio ambiente, el biogás puede ser utilizado en las instalaciones del camal como energía térmica o energía eléctrica (Herrero, y otros, 2019).

2.9 Biodigestor como productor de Biofertilizante

El biol es un producto líquido que se genera a partir de la descomposición orgánica de la materia que se encuentra dentro del biodigestor herméticamente sellado, en la actualidad está tomando mucha importancia pues antes pasaba desapercibido. Su uso netamente es en el sector de la agricultura, se considera que es un reciclaje de nutrientes amigable con el suelo y las plantas evitando la proliferación de plagas. Se puede decir que el usuario que utilice este producto aumentara la independencia respecto a insumos internos. (Herrero, y otros, 2019).

2.10 Biodigestión Anaerobia

La biodigestión anaerobia es un proceso degradativo biológico de la materia orgánica que se encuentre dentro del biodigestor, por ejemplo, residuos vegetales o residuos animales, para posteriormente convertirse en biogás que es el resultado de dióxido de carbono y metano, de igual manera los residuos orgánicos también se pueden trasformar en un efluente rico en nutrientes que pueden ser utilizados en la industria alimentaria y fermentativa. Cabe resaltar que para que se lleve a cabo una excelente biodigestión anaerobia se necesita el cumplimiento de cuatro fases: hidrólisis, acidogénesis, acetanogénesis y metanogénesis (Quintero, Gomez, & Lozano, 2018).

2.11 Fases de la Digestión Anaerobia

2.11.1 Hidrólisis

La hidrólisis es la primera fase en la que se lleva a cabo el rompimiento de las moléculas gracias a la acción de encimas extracelulares producidos por microorganismos hidrolíticos. En esta fase se descomponen los carbohidratos, los lípidos y las proteínas (Marco, 2019).

2.11.2 Acidogénesis

En esta fase es muy importante la fermentación de todas las moléculas solubles para que posteriormente puedan ser utilizados de manera directa por las bacterias metanogénicas, en esta etapa se elimina cualquier cantidad de oxígeno disuelto en el biodigestor, de igual manera se produce el alimento para los grupos posteriores de bacterias (Marco, 2019).

2.11.3 Acetanogénesis

Esta fase es la encargada de romper las moléculas de los compuestos más complejos que no se pudieron metabolizar directamente en las fases anteriores como por ejemplo el ácido acético, ácidos grasos volátiles, H_2 y etanol, los grupos de bacterias más representativas que podemos encontrar son las bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno y las bacterias homoacetogénicas (Marco, 2019).

2.11.4 Metanogénesis

Se considera a los microorganismos metanogénicos como los más importantes del proceso de biodigestión anaerobia ya que estos son los encargados de erradicar del medio los grupos anteriores de bacterias y de formar el gas metano, este biogás se forma a raíz de sustratos monocarbonados o con dos átomos los cuales se encuentra ligados por un enlace covalente (Marco, 2019).

2.12 Biogás

El biogás también conocido como gas de pantano es una alternativa amigable y sustentable con el ambiente, lo contrario de las energías tradicionales y contaminantes como los combustibles fósiles. El biogás se genera a través de la descomposición anaerobia de la materia orgánica como la basura o el estiércol, en un entorno totalmente cerrado en el que no existe oxígeno, todo este proceso ocurre gracias a la ayuda de las bacterias hidrolíticas, acidogénicas, acetanogénicas y metanogénicas que son las más importantes (Barrera, y otros, 2019).

2.12.1 Composición del Biogás

El biogás se encuentra compuesto en su mayoría por gas metano y dióxido de carbono.

Tabla 1. Componentes del Biogás

Componente	Concentración y Volumen
Metano	40 – 70 %
Dióxido de carbono	30 – 60 %
Hidrógeno	2 – 7 %
Nitrógeno	0.1 %
Monóxido de Carbono	0.5 %
Oxígeno	0.1 %
Sulfuro de hidrógeno	0.5 %

Elaborado por: (Barrera, y otros, 2019)

2.13 Biol

El biol es un biofertilizante orgánico, resultado de la descomposición de desechos orgánicos de animales o plantas, contiene varios nutrientes esenciales que son de vital importancia para brindar un excelente crecimiento a las plantas haciéndolas crecer fuertes ,es considerado una fuente orgánica fitoreguladora del suelo ya que tiene la

capacidad de promover actividades fisiológicas, esto le permite manipular el crecimiento de las plantas, también forma parte de las nuevas tecnologías que promueven una agricultura sustentable (Zanabria, 2019).

CAPITULO III

3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Localización

El Cantón Lago Agrio se encuentra ubicado en la provincia de Sucumbíos, cuenta con una superficie aproximada de 3.138 km^2, se encuentra limitando al norte con la frontera de Colombia, al sur con la provincia de Orellana, el cantón Shushufindi y el cantón Dureno, al este con el cantón Putumayo y al oeste con el cantón Cáscales.

La población del Cantón Lago Agrio según el censo de población y vivienda realizado en noviembre del año 2010 alcanzó los 91.744 habitantes, la mayoría se encuentran ubicados en las zonas urbanas aproximadamente el 63.35 % con una tasa de crecimiento anual de 4.5 %.

En la figura 1, se da a conocer el camal municipal del cantón Lago Agrio, el cual se encuentra ubicado dentro de la parroquia urbana Nueva Loja en el paso lateral vía al Coca a pocos minutos del centro de la ciudad.



Figura 1. Ubicación del área de Estudio
Fuente. Google Earth Pro 2020

3.2 Tipo o diseño de la investigación

3.2.1 Exploratoria cualitativa – Documental

Realizar los respectivos estudios teóricos para evaluar de manera correcta la composición del estiércol generado por los bovinos y porcinos en el Camal Municipal del Cantón Lago Agrio, para implementar una adecuada disposición final mediante una propuesta de diseño de un biodigestor anaerobio tubular.

El biodigestor tratará de manera adecuada los excrementos generados por los bovinos y los porcinos, además de que también se producirán dos subproductos, el Biogás y el Biol los resultantes de la descomposición del estiércol.

3.3 Método de investigación

3.3.1 Determinar los parámetros de diseño óptimos del Biodigestor

Para determinar los parámetros óptimos de diseño del biodigestor se recopilaron datos, de distintas fuentes bibliográficas como revistas, artículos científicos, libros entre otros especialmente basándos en la "guía de diseño y manual de instalación de biodigestores tubulares" que en este caso trata el excremento sólido generado por porcinos y bovinos.

Además, para llevar a cabo esta investigación, se recopilo información en base a la normativa ambiental nacional específicamente de la reforma del libro Xl del Texto Unificado de Legislación secundaria, reforma que se realizó durante la administración del Expresidente Rafael Correa, mediante el Acuerdo Ministerial 097, del cual se acogió algunos puntos específicos para conocer los límites máximos permisibles para los criterios de calidad de suelo y los criterios de remediación.

3.3.2 Estimar la cantidad de Biogás y Biol que se generará en el Biodigestor

Para determinar la cantidad de biogás y biol que se generará en el Biodigestor Tubular Anaerobio en el camal municipal del cantón Lago Agrio se recopilará información bibliográfica referente a fórmulas y ecuaciones que nos ayuden a tener una aproximación de la cantidad de biol y biogás que se puede obtener, esta información

será extraída de revistas científicas y libros, también cabe recalcar que se cuenta con información sobre los datos de todos los bovinos y porcinos faenados durante el año 2018 hasta del mes de septiembre del año 2020; la información se obtuvo del Doctor veterinario que se encuentra trabajando de turno en el camal.

3.3.3 Estimación de costo del Biodigestor

Para realizar la cotización del costo del biodigestor que se llevó a cabo en el camal municipal del cantón Lago Agrio se contactó a dos empresas Ecuatorianas dedicadas a la instalación de Biodigestores Tubulares, a las dos empresas se les otorgó los datos de toda la cantidad de ganado porcino y bovino faenado durante el año 2018 y 2020, para que de esta manera puedan calcular el volumen del biodigestor, ya que el precio varía dependiendo la cantidad de materia orgánica que se procesó dentro del reactor, además nos guiaremos en la cotización de otros proyectos ejecutados o estudios realizados anteriormente sobre biodigestores tubulares de bajo costo.

CAPITULO IV

4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Parámetros de diseño de un Biodigestor Tubular Anaerobio de bajo costo

Para que el Biodigestor tubular funcione con excelencia y con una eficacia del 100 por ciento se deben considerar tres etapas o fases, para poder conseguir los dos subproductos finales que son el biofertilizante y el biogás las etapas son: Fosa de llegada o tanque de entrada, reactor, tanque de salida (Arrieta, 2016) , se debe ser muy cautelosos al momento de realizar los cálculos para su diseño, se dice que para un correcto funcionamiento del reactor los parámetros esenciales son los siguientes: tiempo de retención , temperatura, cantidad de excretas diaria, carga diaria, volumen líquido, volumen de metano, volumen total del biodigestor, diámetro, volumen del reservorio, longitud del reservorio (Calderon, 2015).

4.1.1 Tiempo de retención y Temperatura

El tiempo de retención y la temperatura son dos parámetros que van de la mano ya que si el biodigestor se opera a condiciones de altas temperaturas la mezcla entre estiércol y agua permanecerá menos tiempo en el reactor, al contrario, si tenemos condiciones de temperaturas bajas el tiempo de retención será más largo, prácticamente el tiempo de retención es el tiempo en el que el biodigestor se tarda en llenar desde que este vacío hasta que produce la primera cantidad de biogás (Herrero J, 2019).

Tabla 2. Relación entre las temperaturas y tiempo de retención

Temperatura	Tiempo de retención
35°C	De 25 - 30 días
30°C	De 30 - 40 días
25°C	De 55 - 50 días
20°C	De 50 - 65 días
15°C	De 65 - 90 días
10°C	De 90 - 125 días

Realizado por: (Herrero M. , Biodigestores Tubulares, 2019)

Tabla 2. Temperaturas según el tipo de regiones

Región	Temperatura del ambiente	Temperatura de funcionamiento	msnm
Altiplano	-12 - 20 Grados Centígrados	6 – 16 Grados Centígrados	2900 – 4500 msnm
Valle	5 – 30 Grados Centígrados	15 – 20 Grados Centígrados	1800 – 2900 msnm
Trópico	13 – 38 Grados Centígrados	25 – 30 Grados Centígrados	0 – 1800 msnm

Elaborado por: (Universidad de Piura, 2017)

Según Rojas, Mavila, & Rojas (2016) se diseñó y construyó un biodigestor anaerobio a 4200 metros de altura sobre el nivel del mar, con condiciones y factores climáticos y geomorfológicos totalmente contrarios a los que existen en la Amazonía norte especialmente en el cantón Lago Agrio donde se realizó la propuesta de diseño del biodigestor en el camal municipal.

El proyecto se ejecutó en Perú en la provincia de Jauja con variaciones de la temperatura que oscilan entre los -5 y 20 grados centígrados, debido a estas temperaturas tan bajas que suele presentar la zona se construyó un calentador solar para que la digestión anaerobia tenga mejores resultados dentro del reactor y el tiempo de retención sea menor.

El biodigestor tiene la capacidad para almacenar las excretas mezcladas con agua del siguiente ganado faenado en el que constan 60 ovejas, 50 alpacas y 1 vaca por lo que se calculó que el volumen del biodigestor será de 6 metros cúbicos, al interior de la zanja trapezoidal se ubicó una geomembrana de polietileno sobre unos troncos de madera que hacen la función de vigas para darle una mejor pendiente al sistema.

4.1.2 Cantidad de excretas diarias

La cantidad de excretas o estiércol diario es uno de los parámetros más importantes al momento de diseñar el biodigestor ya que este ayudará a estimar el potencial de biogás y biofertilizante que se producirá en el mismo, básicamente las excretas diarias se refieren a todo el estiércol generado por el camal tanto por los bovinos y los porcinos, podemos encontrar dos maneras para medir el potencial de la cantidad de los dos subproductos que se generan mediante la digestión anaerobia dentro el reactor, en la primera se puede hacer una medición durante una semana en el lugar de

estudio , en la segunda se puede estimar a partir de los valores del ganado faenado en cierto intervalo de tiempo (Herrero J. , 2019).

En la tabla 4 se especifica cuantos kilogramos de estiércol se generan por cada 100 kilogramos de peso vivo de animal vacuno o bovino.

Tabla 4. Kilogramos de estiércol

Animal	Kg de excretas por cada 100 kg de peso vivo
Vaca	8
Humano	0.4
Cerdo	4

Elaborado por: (Herrero J. 2019)

Existe una gran diferencia entre la cantidad de materia fecal que producen los humanos a comparación de la que producen los cerdos y las vacas, los biodigestores tubulares de bajo costo casi siempre son construidos para tratar el estiércol de animales, bien sea en un camal, en las fincas o en granjas, pero existen varios estudios y proyectos que se llevaron a cabo para tratar las heces fecales de los humanos en zonas residenciales.

Según Aldana & Sernaque (2017), en la ciudad de Piura, Perú se llevó a cabo un proyecto para la construcción de un sistema de biodigestores para tratar los desechos orgánicos que generan las casas o departamentos de un conjunto domiciliario, con el objetivo de aprovechar los desechos para generar energía y brindar una mejor calidad de vida a los habitantes.

La temperatura promedio de la ciudad de Piura es 25 grados centígrados, similar a la del cantón Lago Agrio a diferencia que la humedad relativa de Piura es más baja, cada domicilio será el encargado de implementar el biodigestor, es un proyecto revolucionario alineado a los objetivos del desarrollo sostenible, en especial al objetivo 11 que nos habla de comunidades y ciudades sostenibles.

El proyecto es sostenible, se llegó a estimar que tiene una recuperación del 120 por ciento de su inversión inicial con un retorno de 3 a 4 años, la empresa “HomeBiogas” realizó la cotización del costo total del sistema, el cual fue de 1.243 $.

4.1.3 Carga diaria

La carga diaria es la cantidad que ingresará al biodigestor cada día de la mezcla entre agua y las excretas de los bovinos y los porcinos, al momento de realizar los cálculos se deberá tomar en cuenta la cantidad de estiércol medida en kilogramos y la cantidad de agua medida en litros, en el caso de los bovinos por cada un kilogramo de estiércol de deberá mezclar 3 litros de agua y en el caso de los porcinos por cada kilogramo de estiércol se deberá mesclar con 4 litros de agua (Herrero J. , 2019).

Según José Martí (2019), por lo general un biodigestor se encuentra constituido en su gran mayoría por un 75 por ciento de líquido y un 25 por ciento de gas. El 75 por ciento hace referencia a la carga diaria.

Tabla 5. Relación de estiércol y agua

Estiércol	Kilogramos	Litros
Vaca	1kg	3 L
Cerdo	1kg	4 L

Elaborado por: (Herrero M. , Biodigestores Tubulares, 2019)

4.1.4 Volumen Líquido

El volumen líquido del biodigestor como su nombre lo indica prácticamente será la cantidad de la mezcla entre estiércol y agua que ingresará al biodigestor, la misma que hace referencia a la carga diaria, por lo general la fase líquida del reactor siempre ocupa del 75 al 80 por ciento del volumen, el mismo que se convertirá posteriormente en biofertilizante (Herrero J. , 2019).

4.1.5 Volumen de Biogás

El volumen del metano es totalmente independiente de la carga diaria y del tiempo de retención ya que no influirá en el consorcio de bacterias que generaran el biogás, al momento de realizar el diseño la cúpula puede ser mayor o menor pero generalmente se recomienda que sea mayor para que pueda tener la capacidad de almacenar gas de uno a dos días. (Herrero J. , 2019)

4.1.6 Volumen total

Como su nombre lo dice el volumen total es la sumatoria de la cantidad del volumen líquido y la cantidad de volumen de metano que existe dentro del biodigestor tubular anaerobio, por lo general el 75 por ciento hace referencia a la parte líquida que se encontrará dentro de la zanja y que es la más importante del proceso y el 25 por

ciento restante es para la parte gaseosa que solo servirá para almacenar el biogás. (Herrero J. , 2019).

4.1.7 Volumen del reservorio

Para conocer el volumen del reservorio primero debemos tomar en cuenta el área del reservorio, normalmente se realizan zanjas trapezoidales para evitar algún tipo de derrumbe de las paredes, en las matemáticas un trapecio se determina por su ancho inferior, ancho superior y la profundidad al momento de su proyección del trapecio la longitud de la zanja, para lograr encontrar la cantidad de volumen de la zanja en donde reposará la parte liquida del reactor se debe multiplicar la longitud de la zanja por el área de la misma. (Herrero J. , 2019).

4.1.8 Longitud y diámetro

Para que un biodigestor se considere tubular su relación entre longitud y diámetro debe ser entre los cinco y diez metros, por eso se dice que la relación más recomendada es de 7.5 metros de longitud, el diámetro de la circunferencia siempre será el doble del radio en matemáticas, tenemos que tomar muy en cuenta el ancho de rollo es muy importante al momento de realizar los cálculos, por ejemplo si tiene un ancho de rollo de dos metros y al momento de abrirse da cuatro metros, esto quiere decir que cuando se corte el plástico se tendrá una sábana de cuatro metros y una circunferencia de dos, como se especifica en la tabla 6. (Herrero J. , 2019)

Estas son las medidas óptimas para diseñar un biodigestor tubular anaerobio haciendo referencia a las circunferencias plásticas más comunes que se encuentran disponibles a la venta.

Tabla 6. Medidas óptimas para diseñar un biodigestor tubular anaerobio

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

Elaborado por: (Guia de diseño y manual de instalacion, 2019)

4.1.9 Criterio para la calidad de suelo

Según el acuerdo ministerial 097 los parámetros máximos permisibles dispuestos en la normativa para conocer los criterios de la calidad del suelo, estos son los valores de fondo aproximados o los limites analíticos para detectar algún tipo de contaminante en el suelo.

Tabla 7. Parámetros generales para la calidad de suelo

Parámetro	Unidad	Valor
Conductividad	uS/cm	200
pH		6 a 8
Relación de adsorción de sodio (índice SAR)		4

Elaborado por: (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica 2015)

Tabla 8. Parámetros inorgánicos de calidad de suelo

Parámetro	Unidad	Valor
Arsénico	mg/kg	12
Azufre (elemental)		250
Bario	mg/kg	200
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0.5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	25
Cromo total	mg/kg	54
Cromo Vl	mg/kg	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9
Estaño	mg/kg	5
Fluoruros	mg/kg	200
Mercurio	mg/kg	0.1
Molibdeno	mg/kg	5
Níquel	mg/kg	19
Plomo	mg/kg	19
Selenio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	76
Zinc	mg/kg	60

Elaborado por: (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica 2015)

Tabla 9. Criterio orgánico para la calidad de suelo

Parámetro	Unidad	Valor
Benceno	mg/kg	0.03
Clorobenceno	mg/kg	0.1
Etilbenceno	mg/kg	0.1
Estireno	mg/kg	0.1
Tolueno	mg/kg	0.1
Xileno	mg/kg	0.1
PCBs	mg/kg	0.1
Clorinados Alifáticos (cada tipo)	mg/kg	0.1
Clorobenceno (cada tipo)	mg/kg	0.05
Hexaclorobenceno	mg/kg	0.05
Hexaclorociclohexano	mg/kg	0.01
Fenólicos no clorinados (cada tipo)	mg/kg	0.1
Clorofenoles (cada tipo)	mg/kg	0.05
Hidrocarburos totales (TPH)	mg/kg	<150
Hidrocarburos Aromáticos Policiclicos (HAPs) cada tipo	mg/kg	0.1

Elaborado por: (*Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica 2015)*

4.1.10 Criterios para la Remediación del suelo

El biofertilizante o también llamado lixiviado puede ser una gran alternativa para la recuperación de los suelos que han sido alterados con sustancias ajenas a su composición, en el acuerdo 097 de la reforma realizada en el texto unificado de legislación secundaria realizada en el año 2015 se detallan los valores máximos permisibles de los parámetros orgánicos e inorgánicos que intervienen para la remediación del suelo.

Tabla 10. Parámetros generales para la remediación de suelos

Parámetro	Unidad	Uso de suelo (residencial)	Uso del suelo (comercial)	Uso del suelo (industrial)	Uso del suelo (Agrícola)
Conductividad	uS/cm	200	400	400	200
pH	-	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8

Relación de adsorción de Sodio (índice SAR)	-	5	12	12	5

Elaborado por: (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica 2015)

Tabla 11. Parámetros inorgánicos para la remediación de suelos

Parámetro	Unidad	Uso de suelo (residencial)	Uso del suelo (comercial)	Uso del suelo (industrial)	Uso del suelo (Agrícola)
Arsénico	mg/kg	12	12	12	12
Sulfuro	mg/kg	-	-	-	500
Bario	mg/kg	500	2000	2000	750
Boro	mg/kg	-	-	-	2
Cadmio	mg/kg	4	10	10	2
Cobalto	mg/kg	50	300	300	40
Cobre	mg/kg	63	91	91	63
Cromo total	mg/kg	64	87	87	65
Cromo Vl	mg/kg	0.4	1.4	1.4	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9	8	8	0.9
Estaño	mg/kg	50	300	300	5
Fluoruros	mg/kg	400	2000	2000	200
Mercurio	mg/kg	1	10	10	0.8
Molibdeno	mg/kg	5	40	40	5
Niquel	mg/kg	100	100	50	50
Plomo	mg/kg	140	150	150	60
Selenio	mg/kg	5	10	10	2
Talio	mg/kg	1	11	1	1
Vanadio	mg/kg	130	130	130	130
Zinc	mg/kg	200	380	360	200

Elaborado por: (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica 2015)

Tabla 12. Parámetros orgánicos para la remediación de suelos

Parámetro	Unidad	Uso de suelo (residencial)	Uso del suelo (comercial)	Uso del suelo (industrial)	Uso del suelo (Agrícola)

Aceites y grasas	mg/kg	500	<2500	<4000	<4000
Benceno	mg/kg	0.08	5	5	0.03
Etilbenceno	mg/kg	0.1	20	20	0.1
Estireno	mg/kg	5	50	50	0.1
Tolueno	mg/kg	0.37	0.8	0.8	0.08
Xileno	mg/kg	2.4	11	20	0.1
PCBs	mg/kg	1.3	33	33	0.5
Clorofenoles (cada tipo)	mg/kg	0.5	5	5	0.05
Fenoles (totales)	mg/kg	3.8	3.8	5	3.8
Clorinados alifáticos (cada tipo)	mg/kg	5	50	50	0.1
Hidrocarburos totales (TPH)	mg/kg	230	620	620	150
Clorobencenos (cada tipo)	mg/kg	2	10	10	0.05
Tetracloroetilenos	mg/kg	0.2	0.5	0.6	0.1
Tricloroetileno	mg/kg	3	30	30	0,1
Atrazina	mg/kg	0.005	0.005	0.005	0.005
Carbofuran	mg/kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Alifáticos no clorinados (cada uno)	mg/kg	-	-	-	0.3

Elaborado por: (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica 2015)

4.2 Estimación de la cantidad de Biogás y Biol que generará el Biodigestor Anaerobio Tubular en el camal municipal del cantón Lago Agrio

Para conocer la posible cantidad de biogás y biofertilizante que se generará en el camal municipal del cantón Lago Agrio por la descomposición orgánica del estiércol bovino y porcino dentro del reactor, se calculara mediante fórmulas varias de las variables que nos llevarán a nuestro objetivo, el cual es la estimación del biogás y biol.

4.2.1 Estimación del Biogás

según los cálculos que se realizaron mediante fórmulas y ecuaciones, se da a conocer que el biodigestor tubular anaerobio producirá aproximadamente 13.453 litros de biogás.

Tabla 13. Cantidad de bovinos y porcinos faenados en el camal municipal del cantón Lago Agrio

Mes	AÑO 2018		AÑO 2019		AÑO 2020	
	Bovino	Porcino	Bovino	Porcino	Bovino	Porcino
Enero	465	296	453	239	461	251
Febrero	433	299	390	206	421	277
Marzo	452	295	497	270	332	163
Abril	480	345	440	234	292	95
Mayo	466	321	493	292	342	123
Junio	499	356	499	276	432	190
Julio	526	352	511	340	431	225
Agosto	509	318	452	271	436	199
Septiembre	466	307	467	242	454	272
Octubre	522	343	538	234		
Noviembre	450	279	431	247		
Diciembre	377	244	423	360		
Total	5645	3755	5594	3211	3601	1795

Elaborado por: *(Departamento de Veterinaria del Camal municipal)*

Tabla 14. Peso promedio del ganado

Animal Faenado	**Peso promedio en kg**
Ganado mayor	204,102
Ganado menor	68,034

Fuente. (Departamento de Veterinaria del camal municipal)

Se tomó como referencia el año 2018 y el año 2019 para realizar la estimación de cuanto biogás se producirá en el camal municipal del cantón Lago Agrio debido a que tiene completos todos los datos de los 12 meses de todos los bovinos y porcinos faenados en el camal municipal, en ambos años el mes que tuvo la mayor cantidad de animales faenados fue mayo y el mes que menos ganado faeno fue diciembre, respecto al peso promedio tenemos que el ganado mayor pesa alrededor de 204.102 kilos y el ganado menor 68,034, podemos tomar de referencia que 1 kg de estiércol de ganado

bovino producirá 35 litros de biogás y de ganado porcino hasta 61 litros debido a que en el cantón Lago Agrio tenemos una temperatura promedio de 25 grados centígrado. (Herrero J. , 2019)

4.2.2 Tiempo de retención

Según Lutopsa S.A. (2015) en la última actualización que se realizó del plan de desarrollo territorial del cantón Lago Agrio en la administración 2014 y 2019 del alcalde Vinicio Vega, en donde nos especifica que el cantón Lago Agrio se encuentra ubicada en la parte norte de la amazonia ecuatoriana aproximadamente a 297 msnm, y tiene una temperatura promedio de 25 grados centígrados, las temperaturas más altas llegan hasta los 31 grados y las más bajas hasta 20 grados.

Basándonos en la guía de diseño y manual de instalación de biodigestores tubulares en donde se indica que la temperatura ambiente del lugar de estudio es uno de los factores más importantes para calcular el tiempo de retención de líquido dentro del reactor, se ha llegado a la conclusión de que el cantón Lago Agrio al presentar un clima húmedo tropical con temperatura media de 25 grados centígrados se recomienda un tiempo de retención de 50 días (Herrero J. , 2019)

4.2.3 Cantidad de porcinos y bovinos faenados anualmente (datos de partida)

De acuerdo a los datos que se recibió por parte del departamento de veterinaria del camal municipal, pudimos observar y conocer que el total de ganado faenado entre bovinos y porcinos fue de 9400 animales en el año 2018 y de 8805 en el año 2019, si tomamos como referencia el año 2018 que fue el año que más densidad poblacional de ganado presencio, podemos promediar que aproximadamente se faeno un total de 470 bovinos y 466 porcinos por cada mes del año.

De acuerdo a lo expuesto por el experto José Martí (2019), nos dice que la relación de estiércol y agua entre los bovinos y los porcinos es diferente debido a que las excretas de la vaca tienen una relación de 3 litro de agua por cada 3 kilogramos y las de los cerdos de 4 litros de agua por cada kilogramo de estiércol, por lo que para saber la carga diaria de estiércol del camal municipal realizamos dos estimaciones diferentes para posteriormente calcular la cantidad de los dos subproductos que generará el sistema, el biogás y el biol.

Según Herrero. J (2019) por cada 100 kilogramos de peso vivo de los porcinos se generan cuatro kilogramos de estiércol y por cada 100 kilogramos de peso vivo de las vacas se generan ocho kilogramos de estiércol, como se especifica en la tabla 11.

Tabla 15. Relación entre peso vivo y producción de estiércol

Animal Faenado	Peso vivo en kilogramos	Producción de estiércol
Bovino	100 kg	8 kg
Porcino	100 kg	4 kg

Elaborado por: *(Guia de diseño y manual de instalacion, 2019)*

4.2.3.1 Cálculo de la cantidad de estiércol diario de los bovinos

Tomando como referencia el año 2018 en el que se faenó más cantidad de ganado tanto bovino como porcino, en ese año se sacrificaron alrededor de 5645 vacas, se pudo estimar que cada mes ingresaron alrededor 470 vacas y cada día entre 15 y 16 vacas, las mismas que tenían un peso promedio de 204 kilogramos según los datos otorgados por el médico de turno del camal. Se calculó usando la siguiente ecuación.

Ced = Pt / Pv x Cbd Naf

204 kg / 100 x 8 x 16= 261.12 kg estiércol Bovino

- Ced = Cantidad de estiércol diario
- Pt = Peso total del bovino
- Cbd = cantidad de bovinos que ingresan por dia
- Pv = constante de peso vivo
- Naf = Numero de animales faenados

4.2.3.2 Cálculo de la cantidad de estiércol diario de los porcinos

De igual manera tomando como referencia el año 2018 en el que se faenó la mayor cantidad de porcinos, se sacrificó una cantidad de 3755 cerdos, de esta manera se pudo estimar que aproximadamente 313 cerdos ingresaron cada mes en el transcurso del año y 26 cerdos cada día, los cerdos presentan un peso promedio de 68 kilogramos. Se calculó usando la siguiente ecuación.

Ced = Pt / Pv x Cpd Naf

68 kg / 100 x 4 x 26= 70.72 kg estiércol Bovino

- Ced = Cantidad de estiércol diario
- Pt = Peso total del bovino

- Cbd = cantidad de porcinos que ingresan por dia
- Pv = constante de peso vivo
- Naf = Número de animales faenados

4.2.3.3 Total de estiércol diario

Para calcular el total de estiércol que se genera en el camal municipal del cantón Lago Agrio a raíz del faenamiento de cerdos y vacas, sumamos la cantidad de estiércol diario de los porcinos más la cantidad de estiércol diario de bovinos. Se calculó usando la siguiente ecuación.

$$\mathbf{Cedt = Cebt + Cebdp}$$

$$\text{Cedt} = 261{,}12\ \text{kg} + 70{,}72\ \text{kg} = 331{,}84\ \text{kg}$$

- **Cedt =** Cantidad de estiércol diario total
- **Cedb =** Cantidad de estiércol diario bovinos
- **Cedp =** Cantidad de estiércol diario porcinos

4.2.3.4 Cantidad de Biogás que generará el biodigestor

La producción de este combustible natural depende de la temperatura y el tiempo de retención, para realizar la estimación de la cantidad aproximada de biogás que producirá el reactor anaerobio nos basamos en la guía de diseño e instalación de biodigestores en donde nos especifica cuantos litros de biogás por cada kilogramo de estiércol dependiendo de la temperatura del lugar de estudio.

Tabla 16. Relación entre el tiempo de retención hidráulica y la producción de biogás

Temperatura de funcionamiento	**Estiércol bovino**		**Estiércol porcino**	
	TR	Biogás	TRH	Biogás
33 – 37 °C	30 días	39 L/kg	25 días	71 L/Kg
28 – 32 °C	40 días	38 L/kg	30 días	67 L/Kg
23 – 27 °C	50 días	35 L/kg	35 días	61 L/Kg
18 – 22 °C	65 días	33 L/kg	50 días	59 L/Kg
13 – 17 °C	90 días	31 L/kg	65 días	54 L/Kg
8 – 12 °C	125 días	29 L/kg	90 días	50 L/Kg

Elaborado por: *(Guia de diseño y manual de instalacion, 2019)*

4.2.3.5 Cálculo de biogás de los bovinos

Para calcular la cantidad de biogás que se produce por la descomposición del estiércol de los bovinos tomamos en cuenta la temperatura promedio del ambiente del cantón Lago Agrio la cual es de 25 grados centígrados y se encuentra dentro del rango de 23 y 27 grados según lo especificado en la guía técnica con esas condiciones climáticas se generaran 35 L de biogás por cada kilogramo de estiércol bovino. Se calculó usando la siguiente ecuación.

$$\mathbf{B = T° = CLB\ x\ Cedb}$$

$$\mathrm{B = (23°C - 27°C = 35\ x\ 261{,}12}$$

$$\mathrm{B = 9139{,}2\ L}$$

- B = Cantidad de biogás
- T° = Temperatura
- Clb = Constante en litro de biogás por cada kilogramo de estiércol (35L)
- Cedb = Cantidad de estiércol diario bovino

4.2.3.6 Cálculo de biogás de los porcinos

Para calcular la cantidad de biogás que se produce por la descomposición del estiércol de los porcinos tomamos en cuenta la temperatura promedio del ambiente del cantón Lago Agrio la cual es de 25 grados centígrados y se encuentra dentro del rango de 23 y 27 grados según lo especificado en la guía técnica con esas condiciones climáticas se generarán 61 L de biogás por cada kilogramo de estiércol porcino. Se calculó usando la siguiente ecuación.

$$\mathbf{B = T° = CLB\ X\ Cedp}$$

$$\mathrm{B = (23 - 27\ °C) = 61\ X\ 70.72 = 4313.92\ Litros}$$

- B = Cantidad de biogás
- T° = Temperatura
- Clb = Constante en litro de biogás por cada kilogramo de estiércol
- Cedp = Cantidad de estiércol diario porcino

4.2.3.7 Cálculo total del biogás

Para realizar el cálculo total de la estimación de la cantidad de biogás que se generará en el reactor gracias a la descomposición del estiércol del ganado mezclado con agua, sumamos la cantidad de biogás bovino más la cantidad de biogás porcino obtenidas en los pasos anteriores. Se calculó usando la siguiente ecuación.

$$\mathbf{Bt = Bb + \quad Bp}$$

$$Bt = 9139.2 \text{ Litros} + 4313.92 \text{ Litros}$$

$$Bt = 13.453{,}12 \text{ Litros}$$

4.2.3.7.1 Utilidad del biogás en el mundo actual

El biogás es considerado una de las energías limpias y renovables alineadas a los objetivos del desarrollo sostenible, se le puede dar varios usos como el térmico o transformarlo a energía eléctrica, el uso más eficiente que se le puede dar al biogás es el térmico, que funcione como combustible o para calentar agua.

Tabla 17. Equivalencias energéticas del Biogás

Fuente de energía	Unidad	Valor	Cantidad del subproducto
Energía (65% CH4)	kcal	5647	1000 L de Biogás
Energía (65% CH4)	kWh	6,56	1000 L de Biogás
Madera	kg	1.6	1000 L de Biogás
Bosta seca	kg	1.2	1000 L de Biogás
Alcohol	Litros	1.1	1000 L de Biogás
Gasolina	Litros	0.75	1000 L de Biogás
Gas - oil	Litros	0.65	1000 L de Biogás
Gas natural	m^3	0.76	1000 L de Biogás
Carbón	kg	0.7	1000 L de Biogás
Calor útil (65% CH4; rendimiento de 50 %)	kWh	3.3	1000 L de Biogás
Electricidad útil (CH4; rendimiento 30%)	kWh	2	1000 L de Biogás

Elaborado por: *(Herrero J. , 2019)*

Tabla 18. Consumos típicos del biogás para diferentes elementos

Uso del biogás	Consumo de biogás por hora (L/H)
Cocina domestica	300
Cocina industrial	450
Calefactores lechones	300
Lámpara (equivalente a 600W)	120
Olla arrocera (2l)	140
Calefón de agua (14 kW)	2500
Calefón de agua (26 kW)	30 (en la zona fría)
Refrigeradora (100L)	75 (en la zona caliente)
Motor < 5hp (por cada 1hp)	400
Motor > 5hp (por cada 1hp)	250
Ordeñadora (15 hp)	2500
Generador (1.2 kW)	600
Generador (3 kW)	2100
1 kW eléctrico (5 – 20 kW)	1600

Elaborado por: *(Herrero J. , 2019)*

4.2.4 Estimación del Biol

Una vez obtenidos los valores de estiércol diario que producen los bovinos y porcinos en el camal municipal, se puede continuar determinando la cantidad carga diaria con la ayuda de los datos obtenidos anteriormente, una vez que se determine el volumen de líquido que ingresará al biodigestor, se sabrá cuál será la cantidad de biol que se producirá ya que la cantidad de líquido a la entrada debe ser proporcional a la de la salida.

4.2.4.1 Cálculo de la carga diaria

La carga total diaria es la cantidad de líquido mezclada con estiércol, según lo especificado en el manual de diseño e instalación de biodigestores dice que por cada 1 kilogramo de estiércol bovino se debe mezclar con 3 litros de agua y por cada 1 kilogramo de estiércol porcino se debe mezclar con 4 litros de agua, debido a que en esta propuesta se está trabajando con dos tipos de excretas animales diferentes, primero se calculara la carga diaria de los bovinos y luego la de los porcinos para posteriormente realizar la suma de los dos cantidades.

Tabla 19. Relación entre agua y estiércol para el camal municipal

Ganado faenado	Cantidad de estiércol	Cantidad de agua
Bovino	1 kg	3 L
Porcino	1 kg	4 L

Elaborado por: (*Wagner Cortes 2021)*

Para calcular la cantidad de la carga diaria que se producirá a partir del ganado faenado en el camal municipal primero realizaremos el cálculo de los bovinos y luego el de los porcinos debido a que la relación agua – estiércol es diferente para ambas, para las vacas la relación es de tres litros de agua por cada un kilogramo de estiércol y para los cerdos la relación es de cuatro litros de agua por cada un kilogramo de estiércol.

4.2.4.2 Cálculo de la carga diaria de los Bovinos

Para realizar el cálculo de la carga diaria de los bovinos se multiplica la cantidad de estiércol diario por cuatro litros de agua y una vez que se obtiene el resultado se le suma la cantidad de estiércol diario. Se calculó usando la siguiente ecuación. Se calculó usando la siguiente ecuación.

$$\mathbf{Cd = Ced \times Agua} + \mathbf{Ced}$$

Cd = 261.12 x 3 = 783,36 Litros + 261.12 = 1044.75 litros cada día

- Cd = Carga diaria
- Ced = Cantidad de estiércol diario
- Agua = Cantidad de agua (3 litros)

4.2.4.3 Cálculo de la carga diaria de los Porcinos

Para realizar el cálculo de la carga diaria de los porcinos se multiplica la cantidad de estiércol diario por cuatro litros de agua y una vez obtenido el resultado se le suma por la cantidad de estiércol diario. Se calculó usando la siguiente ecuación.

$$\mathbf{Cd = Ced \times Agua} + \text{Ced}$$

Cd = 70.72 x 4L = 282,88 + 70.72 = 353.6 litros por cada día

- Cd = Carga diaria
- Ced = Cantidad de estiércol diario
- Agua = Cantidad de agua (4 litros)

4.2.4.4 Total, de la carga diaria

Para conocer el resultado total solo se debe sumas la cantidad de carga diaria generada por las vacas más la cantidad de carga diaria generada por los cerdos.

$$Cdt = Cdb + \mathbf{Cdp}$$

Cd = 1044.75 Litros + 353.6 Kg/L = 1398.35 Litros

Cd = Carga diaria total

Cdb = Carga de diaria de los bovinos

Cdp = Carga diaria de los porcinos

4.2.4.5 Volumen liquido del Biodigestor

El cálculo del volumen líquido del biodigestor tiene mucha relación con el tiempo de retención y la carga diaria ya que estos dos valores se multiplicarán para conocer el resultado.

$$\mathbf{Vl = TRH \times Cd}$$

$$Vl = 50 \text{ días} \times 1398.6 = 69.917{,}5 \text{ L}$$

- Vl = Volumen líquido
- TRH = Tiempo de retención hidráulico
- Cd = Carga diaria

4.2.4.6 Volumen total del biodigestor

El cálculo del volumen total es la suma de la cantidad del volumen líquido más el volumen de gas.

$$\mathbf{Vt = Vl + Vg}$$

$$Vt = 69917.5 + \quad 13.453,12 = 83370.62 \text{ L}$$

- Vt= Volumen total
- Vl = Volumen liquido
- Vg = Volumen de biogás

4.2.4.7 Ventajas del Biol

El volumen total líquido del biodigestor anaerobio tubular de bajo costo, prácticamente seria la cantidad de biofertilizante que producirá el biodigestor ya que la cantidad de líquido que ingresa es proporcional a la cantidad de líquido que sale. (Mamani, Almanza, & Ortuño , 2015)

- Promueve las actividades fisiológicas y estimula el crecimiento de las plantas.
- Es un producto cien por ciento natural que solo necesita productos orgánicos para su elaboración.
- Aumenta el rendimiento y mejora la calidad de los productos
- Su aplicación es fácil y al ser un producto natural no necesita de mucha protección
- Es un producto de bajo costo

4.2.4.8 Cantidad de Biogás y Biol que producirá el Biodigestor del camal municipal

Debido a la gran densidad poblacional de bovinos y porcinos del camal municipal las cantidades de biol y biogás que se generaran son altas, lo que permitiría un rembolso de la inversión a mediano plazo.

Tabla 20. Estimación de la cantidad de biogás y biofertilizante

Subproducto	Cantidad
Biogás	13.453 litros
Biofertilizante	69.917,5 litros

Elaborado por: (*Wagner Cortes 2021)*

4.3 Cotización de costo del biodigestor

Para conocer el precio que puede llegar a costar el biodigestor tubular anaerobio se ha contactado a dos empresas ecuatorianas con gran experiencia en el ámbito laboral en lo que se refiere a la instalación de biodigestores para poder realizar la cotización real, a las dos empresas se les brindó los datos otorgados por el médico veterinario de turno del camal de igual manera se revisarán y analizarán los costos que se utilizaron en la construcción de biodigestores en estudios similares.

Según Barzallo. (2018) el precio de un biodigestor no tiene un estándar establecido en el mercado, debido a que su precio varía dependiendo la capacidad volumétrica del reactor, como ejemplo tenemos que se realizó el diseño y construcción de un biodigestor anaerobio tubular para una granja lechera en el noroccidente de Pichincha, con una capacidad volumétrica para tratar 445 Litros, en la implementación de este biodigestor anaerobio en la granja lechera se estimó que se deberá realizar una inversión total de alrededor de 1857,85 dólares, este valor incluye la mano de obra, el transporte de material y el personal operativo, construcciones y obras civiles.

4.3.1 Cotización del precio del biodigestor anaerobio tubular del camal municipal del cantón Lago Agrio por parte de la empresa "Biodigestores Ecuador"

"Biodigestores Ecuador" fue la primera empresa que se contactó para que realice la cotización del costo tendría la implementación del biodigestor en el camal, ya que poseen una gran experiencia en el ámbito laboral instalando biodigestores en varios sitios del país, la empresa realizo la cotización de acuerdo a los datos otorgados del ganado bovino y porcino faenados entre el año 2018 y 2019.

La empresa Biodigestores Ecuador envió la cotización N°20202710-CGMLA-01 en la que especifica que debido a la gran densidad poblacional de ganado vacuno y bovino que existe en el camal municipal, se necesitan dos biodigestores con una capacidad volumétrica de 88 metros cúbicos cada uno, el valor unitario de cada biodigestor es de 5883.00 dólares y el valor total es de 13.177.92 más IVA, además garantizó una utilidad de ocho años.

Tabla 21. Costo total del proyecto

Cantidad	Descripción	Valor unitario $	Valor total $
2 Biodigestores	Modelo personalizado	5883.00 $	11.766.00 $

Subtotal	11.766.00 $
Descuento	0.00
IVA 12%	1.411.92 $
Total	13.177.92 $

Elaborado por: (Biodigestores Ecuador 2020)

4.3.2 Cotización del precio del biodigestor anaerobio tubular del camal municipal del cantón Lago Agrio por parte de la empresa "HENASELEC SA"

La empresa "Henaselec S.A." fue la segunda empresa que se contactó para realizar la cotización del biodigestor del camal, de igual manera se les entrego los mismos datos que se otorgaron a la empresa anterior de todos los bovinos y porcinos faenados entre el año 2018 y 2019, para que de esta manera ellos puedan manifestar que valor tendrá el biodigestor.

Una vez que la empresa "Henaselec S.A." realizo la cotización especificando que debido a la gran cantidad de animal faenado en el camal municipal se instalaran 3 reactores tubulares anaerobios con material de polietileno, el sistema se lo conoce como "sistema 40" el mismo que incluye la conexión de del conducto o tubería que se usará para evacuar el biogás.

El sistema 40 cuenta con algunos beneficios según se especifica en la cotización del proyecto, como tiempo de utilidad de 30 años y una garantía por defecto de funcionamiento y de fábrica por 10 años, además dice que si a lo largo del tiempo se requiere cambiar el biodigestor hacia otro lugar solo se debe vaciar el sistema para movilizarlo.

Tabla 22. Precio total de inversión del proyecto

Modelo	Cantidad	Precio Unitario $	Precio total $	Descuento 15%
Sistema 40	3	4.985,56 $	14,956.68 $	12,713.17 $

Elaborado por: (*Henaselec 2021)*

4.3.2.1 Datos técnicos del sistema

Mediante una ficha técnica la empresa especificó cuáles son las principales características de los materiales que se usarán para formar el sistema 40 estructurado por los 3 reactores.

Tabla 24. características de los materiales para el sistema

ITEM	ESPECIFICACIÓN
Material	Polipropileno
Protección UV	Si
Densidad	Baja
Espesor	0,5 mm
Resistencia	Alta
Largo (por módulo)	8,00 m - 16,00 m
Ancho (por módulo)	2,20
Capacidad	20 m^3 - 40 m^3
Vida útil	30 años
Tubería	PVC reforzado
Transportable	Si
Necesidad de estructuras adicionales	No
Características del Biol	pH: 6,5-7
	Olor: ninguno
	Bromatología: alto en NPK (Nitrógeno, Fosforo, Potasio)
	Color: marrón - verde

Elaborado por: (Henaselec 2021)

4.3.2.2 Costos relacionados a la ingeniería civil y la mano de obra

Los costos relacionados a la ingeniera civil y de mano de obra, específicamente para realizar la construcción de la zanja donde se alojará el biodigestor anaerobio tubular se los encargará al departamento de obras públicas del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Lago Agrio el mismo que dispone del maquinaria y personal de calidad para ejecutar la primera fase del proyecto.

5. CONCLUSIONES

- El tiempo de retención hidráulica es uno de los parámetros fundamentales para que el biodigestor funcione con eficacia, la misma que será de 50 días debido a que el cantón Lago Agrio presenta una temperatura promedio de 25 grados centígrados y se encuentra entre el Rango de 23 y 27 grados centígrados.
- Debido a la gran cantidad poblacional de porcinos y bovinos dentro del camal municipal del cantón Lago Agrio la cantidad de biogás será suficiente para abastecer de manera in situ a alguna actividad dentro de las instalaciones que funcione con energía térmica o eléctrica, ya que producirá una cantidad de 13.453,12 litros de biogás.
- La cotización que se realizó con la empresa "Henaselec S.A." para la instalación del biodigestor fue de 12,713.17 dólares, con una vida útil de diez años a diferencia de la empresa "Biodigestores Ecuador" la cual realizo la cotización por 13.177.92 dólares con una vida útil de ocho años.
- Existe una gran similitud entre el volumen del biodigestor de la cotización que realizó la empresa "Biodigestores Ecuador" a los cálculos realizados en el presente estudio, ya que la empresa estimó un volumen de 88 metros cúbicos y en los cálculos se estimó un total de 83 metros cúbicos.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la limpieza de los lodos en un lapso de tiempo de seis meses para que de esta manera el biodigestor anaerobio tubular funcione con eficacia y pueda tener un mayor tiempo de vida útil.
- Se recomienda utilizar el biogás de manera in situ en los procesos de faenamiento en donde se utiliza el gas GLP en la cocina industrial para calentar o hervir el agua donde posteriormente ingresan los porcinos que ya fueron sacrificados.
- Se recomienda al Director encargado del departamento de medio ambiente del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Lago Agrio realizar un monitoreo cada 3 meses para revisar y analizar las condiciones ambientales del camal municipal.
- Se recomienda al Director del camal municipal del cantón Lago Agrio, que designe a dos operarios o trabajadores las funciones de recopilación de todo estiércol bovino y porcino que se genera cada día, para que posteriormente esta cantidad sea pesada y se calcule la cantidad de agua que debe ingresar al reactor en relación a los kilogramos de estiércol.
- Se recomienda a la máxima autoridad del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Lago Agrio, que se distribuya el biofertilizante que producirá el biodigestor de forma equitativa entre los cañicultores que sustentan de materia prima a la procesadora de derivados de azúcar, esta fábrica es pública y pertenece al municipio del cantón Lago Agrio.

7. REFERENCIAS

Alarcon, C., & Bonilla, L. (2016). Diseño de un biodigestor anaerobio para procesar los desechos solidos del centro de faenamiento municipal del ganado de orellana. Obtenido de Universidad de Guayaquil: http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/35719

Alcivar, S. (2019). PRODUCCIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE BIODIGESTOR A. Obtenido de http://190.15.136.145/bitstream/42000/1000/1/TTMA46.pdf

Aldana, M., & Sernaque, J. (2017). Repositorio Institucional Pirhua. Obtenido de Proyecto de implementacion de sistemas de biodigestores para el aprovechamiento de residuos organicos generados por los usuarios residenciales en la ciudad de piura: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4097/Proyecto_implementacion_sistemas_biodigestores_para_aprovechamiento_residuos_organicos_generados_usuarios_residenciales_region_Piura.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Apolo, A. (2015). Diseño construccion y puesta en marcha de un biodigestor anaerobio prototipo de bajo costo. Obtenido de Universidad San Francisco de Quito: file:///C:/Users/PC/Downloads/121002.pdf

Arrieta, W. (2016). diseño de un biodigestor domestico para el aprovechamiento energetico de estiercol de ganado. Obtenido de Universidad de Piura: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME_200.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Barrera, M., Maicelo, J., Gamarra, O., Oliva, M., Leiva, S., Taromona, L., . . . Ordinola, C. (2019). Biogas: produccion y aplicaciones. Universidad nacional tobirio Rodrigues de Mendoza Amazonas.

Barzallo, L. (2018). DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ESTANDARIZACIÓN OPERATIVA DE BIODIGESTOR ANAEROBIO PARA FINCA DE PRODUCCION LECHERA. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR. Obtenido de http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15473/1/T-UCE-0012-FIG-002.pdf

Biobolsa, S. (2016). Manual de Usuaria Ususo y Mantenimiento de Biodigestor. Ciudad de Mexico.

Calderon, C. (2015). Diseño de un biodigestor para obtener residuos organicos a partir de residuos organicos del ganado vacuno generados en la hacienda santa monica guamote. Obtenido de Escuela Superior Politecnica de Chimborazo: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4810/1/236T0153.pdf

Condor, D. (2019). PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL EN BIODIGESTORES BATCH A. Obtenido de https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4131

Cun , M., & Alvares, C. (2017). ESTUDIO DEIMPACTO AMBIENTAL DEUN CAMAL MUNICIPAL URBANO EN LA PROVINCIA DEL ORO, ECUADOR. Universidad Tecnica de Machala Obtenido de nvestigacion.utmachala.edu.ec: http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/135/114

Espindola, J. (2018). Obtencon de bioles y bisoles a partir del lodo que se extrae de las eras de secada del camal municipal del canton lago agrio. Obtenido de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/10535/1/236T0394.pdf

FAO. (2011). Manual de Biogas.

Garcia, R., Alamo, M., & Marcelo, D. (2017). DISEÑO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA ZONAS RURALES DE LA REGIÓN PIURA. Obtenido de XXIV Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXIV- SPES), Huaraz, 13 -17.11.2017

Gonzales, T., & Jurado, C. (2017). Sustratos y producción de biogás en biodigestores. Una revisión sistemática. Ingeciencia.

Google Earth Pro 2020. (2020). Obtenido de Google Earth Pro 2020.

Guzman, C., & Mendoza, N. (2015). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de estiercol y sangre del camal municipal del distrito de jazan. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL TORIDIO RODRIGUES DE MENDOZA DE AMAZONAS :

http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/836/Propuesta%20de%20un%20sistema%20de%20aprovechamiento%20de%20esti%c3%a9rcol%20y%20sangre%20del%20camal%20municipal%20del%20distrito%20de%20Jaz%c3%a1n%2c%20provincia%20Bongar%c3%a1%2c%20departamento

Herrero, J. (2019). Biodigestores Tubulares: Guia de diseño y manual de uinstalacion. Ecuador: Redbiolac.

Herrero, M. (2008). Biodigestores. En M. Herrero, Biodigestores Familiares guia de diseño y manual de instalacion (pág. 15). la Paz.

Herrero, M. (2019). Biodigestores Tubulares. En M. Herrero, Biodigestores Tubulares: Gia de Diseño y Manual de Instalacion. Ecuador: Redbiolac.

Herrero, M., Cuji, P., Ramirez , V., Rodriguez, L., Dominguez, L., & Cipriano, J. (2019). Hacia un sector de biodigestores sostenibles para el Ecuador. Obtenido de https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/r4.1-20191210_programa_nacional_de_biodigestores_en_ecuador-ctcn.pdf

Huamaní , C. (2017). ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTAL DEL. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6294/Huaman%c3%ad_Montesinos_Candelaria.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Lutopsa S.A. (2015). Actualizacion del plan ed desarrollo y ordenamiento territorial. Obtenido de Gad Lago Agrio: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1560000510001_1560000510001_PLAN%20DE%20DESARROLLO%20Y%20ORDENAMIENTO%20TERRITORIAL%20LAGO%20AGRIO%20MARZO%202015_15-03-2015_21-28-34_12-04-2016_15-48-22.pdf

Marco, P. (2019). Digestion anaerobia de azucares reductores para obtencion de biocombustibles: revision bibliografica. Obtenido de https://core.ac.uk/download/pdf/290002341.pdf?fbclid=IwAR2SYqYhKLA3r3spFSaLbFKLkOVFOL2fb8s5Z8nFMtxsF0tpaALKiSWgkE4

Mejia, G., & Peralta, J. (2019). produccion de biogas mediante biodigestores a escala piloto con residuos semisolidos del camal calceta bolivar. Obtenido de ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ

,ANUEL FELIX LOPEZ: http://190.15.136.145/bitstream/42000/1000/1/TTMA46.pdf

Mori, K. (2021). eficiencia de un biodigestor tubular en la remocion de l acarga organica y solids de un afluente del beneficio carnico en celedin. Obtenido de Universidad Nacional Cajamarca: http://190.116.36.86/bitstream/handle/UNC/4154/TESIS%20KEYLA%20SUJEY%20MORI%20LEYVA.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Mosquera, A. (2020). Bistream. Obtenido de Bistream: http://186.3.32.121/bitstream/48000/16042/1/ECFCS-2020-GEA-DE00011.pdf

Oñate, F. (2018). DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA UTILIZACIÓN DE LA RUMINAZA DE BOVINOS EN LA ELABORACION DE BIOLES DEL CAMAL DEL GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO DEL MUNICIPIO DE RIOBAMBA. Obtenido de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8634/1/96T00436.PDF

Quintero, J., Gomez, C., & Lozano, S. (2018). Produccion de Biogas y Abono en mi Finca. Tolima: Leon Graficas S.A.S.

Redbiolac. (2020). Red de biodigestores redbiolac para latinoamerica y los aises del caribe.

Reyes , E. (2017). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. Revista Científica de FAREM-Estel.

Rivas, O., Faith, M., & Guillen, R. (Enero 2010). Biodigestores: factores quimicos, fisicos y biologicos relacionados con su productividad. Tecnologia en Marcha.

Rojas, O., Mavila, D., & Rojas, D. (2016). Diseño y construcción de un biodigestor tubular a base de excretas de alpaca a una altura de 4200 msnm. Articulos Originales, 64.

Torres, D. (2020). Obtenido de Biodigestión anaerobia de los desechos del camal del Distrito Metropolitano: http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/20716/1/T-UCE-0008-CQU-221.pdf

Torres, D. (2020). Biodigestión anaerobia de los desechos del camal del Distrito Metropolitano. Quito.

Torres, D. (2020). Biodigestión anaerobia de los desechos del camal del Distrito Metropolitano. Obtenido de http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/20716/1/T-UCE-0008-CQU-221.pdf

TULSMA. (2017). TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION. Obtenido de http://www.competencias.gob.ec.

Universidad de Piura. (2017). DISEÑO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA ZONAS RURALES DE LA REGIÓN PIURA. XXIV Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXIV- SPES), 22.

Vargas, P., & Villavicencio, M. (2019). Eficacia del biogas elaborado con estiercol de ganado bovino y porcino del camal municipal de moyobamba. Obtenido de Universidad Cesar Vallejo: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/57726/B_Varga_VPG-Villaavicencio_HMA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Wgner, C. (2021). Ubicacion del Area de Estudio.

Zanabria, J. (2019). Evaluacionde la calidad de biol de segunda y tercera generacion de cuy produciodo en un biodigestor instalado en el instituto regional de la costa. Obtenido de http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4044/zanabria-aycho-jose-ismael.pdf?sequence=1&isAllowed=y