

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

PROYECTO INTEGRADOR

**DISEÑO DE DOS ALTERNATIVAS DE BIODIGESTORES PARA LA
OBTENCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS
PROVENIENTES DE GANADO VACUNO DE LA FINCA "EL CARMEN"
PROVINCIA DEL CARCHI**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
TECNÓLOGOS EN AGUA Y SANEAMIENTOS AMBIENTAL**

Adriana Aracely Paredes Damián

adriana.paredes@epn.edu.ec

Diego Armando Achig Maldonado

diego.achig@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. LORENA GALLARDO, M.Sc.

lorena.gallardo@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. ANA LUCIA BALAREZO, M.Sc.

ana.balarezo@epn.edu.ec

Quito, diciembre 2020

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por la Srta. Adriana Aracely Paredes Damián y el Sr. Diego Armando Achig Maldonado como requerimiento parcial a la obtención del título de Tecnólogos en Agua y Saneamiento Ambiental nuestra supervisión:

Ing. Lorena Gallardo, M.Sc.

DIRECTORA

Ing. Ana Lucia Balarezo, M.Sc.

CODIRECTORA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Adriana Aracely paredes Damián y Diego Armando Achig Maldonado declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.

Adriana Aracely Paredes Damián

Diego Armando Achig Maldonado

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico con todo mi amor y cariño a mis padres Ana y Luis, quienes con sacrificio forjaron mis primeros pasos en la educación. Gracias por sus desvelos, por sus consejos y por todas sus palabras que me guiaron durante toda mi vida

A mi esposo Andrés que siempre me ha brindado su apoyo incondicional y con su sacrificio y esfuerzo me brindó la oportunidad de realizarme profesionalmente.

A mi amada hija quien ha sido mi motivación para levantarme cada día y dar todo mi esfuerzo para lograr mis objetivos propuestos.

A mis hermanos Tania, Liz, Fernando, Miguel, Anita, y Paulina que fueron una motivación más para lograr mis objetivos y demostrarles que si se pueden lograr nuestros sueños.

Y a todas esas personas que durante todo este ciclo me apoyaron para que este sueño se haga realidad.

Adriana

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mis padres Magdalena y Segundo quienes con sus palabras, oraciones, consejos y su ejemplo de trabajo honesto y perseverancia me dieron fuerza para continuar en este proceso de formación.

A mi hijo Tayel que han sido la inspiración para forjarme profesionalmente, gracias por la comprensión y amor brindado durante todo este tiempo que me ha tomado finalizar la carrera.

A mi hermana Myriam y su familia que con sus palabras me ayudo a superar grandes obstáculos de la vida.

A mi amiga Michelle que gracias a su ayuda y optimismo me encamino en los primeros pasos hacia este proceso de formación profesional.

Diego

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por la salud, por mi vida y la de todos mis seres queridos, por guiarme por el camino correcto y por llenarme de sabiduría e inteligencia.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional por haber permitido formarme en ella y por brindarme una formación académica de calidad llena de valores éticos y morales.

Agradezco a mis profesores que estuvieron acompañándome durante toda mi formación académica y en especial a mi directora y codirectora de tesis por su esfuerzo, tiempo y dedicación para la realización de esta tesis.

Agradezco al Ing. Mauricio Villareal propietario de la finca “EL CARMEN” quien nos brindó su apoyo incondicional y todas las herramientas necesarias para llevar a cabo este proyecto.

Agradezco a mi compañero de tesis Diego que en conjunto luchamos por lograr nuestro objetivo en común. Gracias por tu tiempo y dedicación.

Agradezco a todas esas personas con quienes compartí momentos únicos e imborrables que ahora son solo recuerdos que quedaran en lo profundo de mi corazón.

Gracias a todos quienes aportaron en la realización de este trabajo, el cual fue difícil pero no imposible.

Adriana.

AGRADECIMIENTOS

“Aprovecha el estudio que es lo único que te podemos dejar y hasta donde yo pueda te daré de estudiar” son palabras que mi madre que en toda ocasión me las repetía y en estas líneas quiero darle las gracias por su esfuerzo y apoyo durante toda mi vida.

A los ingenieros Santiago y Lorena por su ayuda durante la elaboración de este proyecto.

Al Ing. Mauricio Villareal y su esposa por abrirnos las puertas de su finca y brindarnos las facilidades para desarrollar esta tesis, por su comprensión y tiempo estoy muy agradecido.

Para Adriana mi compañera de tesis que en conjunto con su esfuerzo hemos alcanzamos nuestro objetivo.

Agradezco infinitamente a David y Julio dos amigos que en un momento de mi vida me demostraron el valor de la amistad verdadera, les agradezco porque sin su ayuda no estaría escribiendo estas líneas.

Diego

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción	6
1.1	Planteamiento del problema	7
1.2	Justificación	8
1.1	Objetivo general	9
1.2	Objetivos Específicos	9
2	MARCO TEÓRICO	10
2.1	La digestión	10
2.2	Productos de la digestión anaerobia	12
2.3	Proyección de la producción de biogás.....	13
2.4	Biodigestor	14
2.5	Parámetros fisicoquímicos de control	16
2.6	Tiempo de retención hidráulica	18
2.7	Relación carbono/nitrógeno	18
2.8	Principales componentes del diseño.....	19
3	METODOLOGÍA	25
3.1	Levantamiento de información	25
3.2	Muestreo	26
3.3	Análisis de parámetros en el laboratorio	27
3.4	Parámetros de diseño de los biodigestores	29
3.5	Estiércol disponible	30
3.6	Volumen líquido del biodigestor	31
3.7	Zanja y manga del biodigestor	32
3.8	Longitud de la zanja.....	33
3.9	Determinación de biogás necesario para elevar la temperatura a una cantidad de agua conocida (Capacidad Calórica).....	34
3.10	Estimación de la producción de biogás.....	35
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1	Análisis de las muestras de laboratorio.....	36

4.2	Parámetros para el diseño de los biodigestores	37
4.3	Diseño del biodigestor A.....	38
4.4	Diseño del biodigestor B.....	39
4.5	Proyección de biogás	40
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
5.1	Conclusiones.....	41
5.2	Recomendaciones.....	42
6	BIBLIOGRAFÍA.....	43
	ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.
	ANEXO 1: Plan de muestreo	¡Error! Marcador no definido.
	ANEXO 2: Bitácora	¡Error! Marcador no definido.
	ANEXO 3: Áreas de caracterización	¡Error! Marcador no definido.
	ANEXO 4: Caracterización de residuos.	¡Error! Marcador no definido.
	ANEXO 5: Muestras.....	¡Error! Marcador no definido.
	ANEXO 6: Manual de instalación operación y mantenimiento.....	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo 7: Plantilla de operación.....	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo 8: Dimensiones zanja A	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo 9: Diagrama biodigestor A.....	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo 10: Dimensiones zanja B	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo 11: diagrama biodigestor B	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 . - Temperatura promedio anual de San Gabriel provincia del Carchi.....	14
Tabla 2. - Variación de temperatura según la región.....	18
Tabla 3 . - Valores aproximados de la relación carbono-nitrógeno.....	19
Tabla 4.- Consumo de biogás de diferentes aparatos	29
Tabla 5.- Producción de biogás por kilogramos de estiércol de ganado vacuno	31
Tabla 6.- Constantes de diseño para un biodigestor en función del radio y ángulo de los taludes.....	33
Tabla 7.- Equivalencias de energía.....	34
Tabla 8.- Determinación de sólidos totales del agua residual.....	36
Tabla 9.- Determinación de humedad en el estiércol	36
Tabla 10.- Distribución del ganado y estiércol producido	37
Tabla 11.- Estiércol aprovechable, cálculo teórico	37
Tabla 12.- Estiércol aprovechable, cálculo práctico	38
Tabla 13.- Consumo diario de biogás en una cocina doméstica	38
Tabla 14.- Parámetros de diseño biodigestor A	38
Tabla 15.- Dimensiones de la zanja A.....	39
Tabla 16.- Cálculo de la capacidad calórica del agua	39
Tabla 17.- Cálculo de biogás a partir de la capacidad calórica.....	39
Tabla 18.- Parámetros de diseño biodigestor B	40
Tabla 19.- Dimensiones de la zanja B.....	40
Tabla 20.- Estimación de biogás par el año 2019	40

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. - Estructura biodigestor tubular o Taiwán	16
Ilustración 2. - ubicación geografía de la zona de estudio	25
Ilustración 3. – Dimensiones de la zanja	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

Este proyecto tuvo como objetivo diseñar dos alternativas de biodigestores de tipo tubular o taiwanés para la finca el Carmen, la cual produce grandes cantidades de estiércol debido a que su actividad económica se basa en la producción de leche. Este sistema permite un tratamiento del material fecal del ganado y como resultado de la biodigestión se obtiene productos como el biogás que sirve como combustible y el biol un fertilizante natural que ayudará a mejorar los cultivo y evitar utilizar fertilizantes sintéticos. El desarrollo del proyecto inicio con una caracterización de excretas y agua residual de donde se obtuvo que la finca produce 453 kg de estiércol aprovechable del ganado del grupo de rejo y 210 l de agua residual del área de ordeño. En este estudio se presentó dos alternativas de biodigestores donde se estableció que primer diseño tiene las siguientes dimensiones: volumen líquido 15,06 m³, longitud 11,2 m, diámetro de la manga 1,6 m y una carga diaria de 165,50 litros. El segundo diseño se establece de esta forma: volumen líquido 37,31 m³, longitud 18,8 m, diámetro de la manga 2,22 m y una carga diaria de 410,10 litros, los cuales producirán 1,2 m³ y 2,97 m³ de biogás por día respectivamente. Una vez concluido el diseño se procedió con la elaboración de un manual que contenga los materiales a utilizar, las dimensiones de diseño y pasos a seguir en la instalación.

PALABRAS CLAVES: Biodigestor, biogás, biol, estiércol, biodigestor tubular, calefacción pasiva.

ABSTRACT

This work has focused on design two alternatives of tubular or Taiwanese type biodigesters for the El Carmen farm, which produces large amounts of manure because its economic activity is based on milk production. This system allows a treatment of the fecal material of livestock and because of biodigestion products such as biogas serving as fuel and biol are obtained a natural fertilizer that will help to improve crops and avoid using synthetic fertilizers. The development of the project starts with a wastewater and excreta characterization from which it was obtained that the farm produces 453 kg of manure usable from milking group cattle and 210 l of wastewater from the milking area. This study presented two biodigester alternatives where it was established that the first design has the following dimensions: liquid volume 15.06 m³, length 11.2 m, sleeve diameter 1.6 m and a daily load of 165.50 liters. The second design is set this way: liquid volume 37.31 m³, length 18.8 m, sleeve diameter 2.22 m and a daily load of 410.10 liters, which will produce 1.2 m³ and 2.97 m³ of biogas per day, respectively. Once the design was completed, a manual containing the materials to be used, the design dimensions and steps to be followed in the installation was developed.

KEYWORDS: Biodigester, biogas, biol, manure, tubular biodigester, passive heating.

1 INTRODUCCIÓN

Los gases de efecto invernadero han ido en aumento desde el año 1990 como producto de las diferentes actividades humanas, una de estas es la actividad agrícola y el manejo inadecuado de los residuos orgánicos provenientes de forraje y en especial del estiércol de los animales.

Las emisiones de metano se encuentran en tercer lugar en cuanto a gases de efecto invernadero, siendo el sector agropecuario la principal fuente de emisión de este gas. Según datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, en el año 2016 se generaron 228,15 Gg CH₄ (metano), producto de la fermentación entérica de los distintos ganados.

La finca El Carmen ubicada en San Gabriel provincia del Carchi, con el fin de mejorar sus procesos de producción de leche, reducir la cantidad estiércol de ganado almacenado y mejorar la calidad del ambiente ha optado por la implementación de un biodigestor. En este punto cabe mencionar que las condiciones climáticas del lugar en cuanto a temperatura son extremas pudiendo llegar a -5°C, diseñar y poner en funcionamiento un biodigestor bajo estas condiciones supone un reto.

El producto gaseoso de la biodegradación solventará los problemas energéticos y sustituirán al gas de uso doméstico y el producto sólido y líquido servirá de abono.

El biodigestor propuesto para la finca El Carmen es tipo taiwanés o tubular que tiene como objetivo reducir el estiércol de ganado vacuno, este biodigestor está diseñado con materiales económicos y totalmente accesibles, se presenta dos tipos de dimensionamiento A y B, el primero se lo realiza como recomiendan las guías y el segundo se diseña en función de la necesidad de un volumen de agua a una cierta temperatura.

El diseño del biodigestor se lo realiza basándose en las publicaciones y material didáctico del Sr. Jaime Martí Herrero, cumpliendo con todas sus recomendaciones y algunos aportes de los autores de este documento.

1.1 Planteamiento del problema

La crisis ambiental en el planeta y en Ecuador se debe principalmente a la actividad humana, como el uso indiscriminado de los combustibles fósiles, la tala de bosques, la contaminación del suelo por pesticidas, el manejo inadecuado de residuos provenientes de la actividad agrícola, industrial y del ser humano; estos y otros factores generan problemas que contribuyen al cambio climático (Coordinadora Ecuatoriana de Agroecología, 2018).

Las emisiones de metano ocupan el tercer lugar en Ecuador en cuanto a gases de efecto invernadero, las cuales desde el año 1990 hasta el año 2012 se ha incrementado, en este último año, se emitió una cantidad total de metano de 11.724,12 expresado en Gg CO₂ eq, de este valor el 65,5% corresponde al sector agrícola, el 26,4% al sector de desechos y el 8,1% al sector energético (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2016). El sector agropecuario es la fuente de emisiones de metano más importante en Ecuador, debido al proceso de fermentación entérica. Según datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, en el año 2016 se generaron 228,15 Gg CH₄ (metano), producto de la fermentación entérica de los distintos ganados. (INEC, 2016).

La finca “El Carmen”, ubicada en la provincia del Carchi en el cantón Montufar parroquia La Paz, presenta varios problemas ambientales debido al manejo inadecuado de los residuos sólidos orgánicos provenientes de la crianza y explotación de ganado vacuno, estos residuos se dividen en dos componentes los cuales son sólidos y semisólidos. Los residuos sólidos se encuentran en el área del comedero y estos son una mezcla de tierra, estiércol y forraje, los cuales son almacenados en pilas para posteriormente realizar compostaje; este compostaje no se lo realiza bajo condiciones técnicas, por lo tanto, su aplicación en los cultivos de papas que posee la granja puede ser perjudicial para la salud por los patógenos que puede contener. Los residuos semisólidos son la mezcla de estiércol, agua, leche y productos químicos utilizados en la limpieza del área de ordeño. Esta mezcla es conducida por una tubería hacia una fosa la cual fue construida sin un estudio técnico y al no encontrarse permeabilizada se produce una infiltración de contaminantes hacia el suelo. Adicional a estos problemas se suma el uso excesivo de energía eléctrica para elevar la temperatura del agua que se usa para el lavado de tuberías (Villareal, 2019).

1.2 Justificación

Ecuador anualmente destina millones de dólares para la importación de urea con la cual se fertilizan los campos agrícolas (Marcial, 2017). Muchas comunidades no pueden acceder a estos fertilizantes, por lo que hacen uso de los purines (excretas, agua de lavado, restos de bebederos y de comida) por su alto nivel de nitrógeno y nutrientes (Marcial, 2017). Estos son una alternativa para la fertilización de los campos, así también, el gobierno ecuatoriano invierte mucho dinero en subsidiar el Gas Licuado de Petróleo (GLP) de uso doméstico, el cual es parte fundamental en la preparación de alimentos (Camilo Cornejo, 2010). El biogás se puede usar de diferentes maneras: para generar electricidad, calor y muchas veces como combustible de vehículos (Camilo Cornejo, 2010). Con la producción de biogás puede remplazar el uso de GLP en las cocinas y en los calefones a gas, simplemente modificando las válvulas para obtener una buena relación aire-gas (Agrocalidad & ASPE, 2012).

En la actualidad es crucial incursionar en nuevas tecnologías para la obtención de energías que aporten en el desarrollo de la humanidad, estas tecnologías deben ser adecuadas económicamente y amigables con el ambiente; entre estas nuevas tecnologías se encuentran los biodigestores que son una solución para reducir el impacto negativo hacia el ambiente o el medio en que se encuentra una granja con ganado vacuno (Biodigestores Ecuador, 2018). Estas estructuras permiten reducir la contaminación de efluentes de agua, malos olores, moscas y la huella de carbono, además representan un ahorro económico al convertir los residuos orgánicos en una fuente de energía renovable (biogás) y en fertilizantes ricos en nitrógeno y otros nutrientes (biol) (Medina, Quipuzco, & Buscamaita, 2014). Estos subproductos de la digestión orgánica con un adecuado manejo pueden convertirse en un producto negociable. Los biodigestores es una tecnología que se encuentra en constante desarrollo y es amistosa con el ambiente, las condiciones de trabajo y construcción se adaptan al medio por lo que se puede utilizar estos en diferentes climas de la región (Biodigestores Ecuador, 2018).

Según las características de la granja se diseñará dos alternativas de biodigestores tipo tubular (Taiwanés), estos ayudarán en la obtención de biogás a partir de residuos orgánicos. Los biodigestores de este tipo presentan varias ventajas tanto económicas, medio ambientales y sociales (Calderón, 2015). Por lo tanto, la implementación de estos biodigestores proporciona una fuente de energía la cual reemplaza el uso de combustibles fósiles y reduce el consumo de energía eléctrica proveniente de la red pública (Camilo Cornejo, 2010). El biol por su parte mejora la producción agrícola,

debido que contiene gran cantidad de agua nutrientes de plantas. También contiene más nutrientes y micronutrientes que el estiércol de granja y que el estiércol en compostaje (Oppenoorth, 2014). Adicionalmente a estos beneficios los biodigestores pueden eliminar fuente de malos olores, cargas contaminantes y la presencia de microorganismos patógenos (Calderón, 2015).

La factibilidad para la realización de este biodigestor es favorable ya que se cuenta con la materia prima necesaria, un suministro de agua adecuado, condiciones climáticas normales para la región, suelo estable y el área de construcción del biodigestor lejos de fuentes de agua además se cuenta con el apoyo del propietario, para la ejecución del proyecto y todas las actividades que este con lleva dentro y fuera de la finca (Villareal, 2019).

1.1 Objetivo general

Diseñar dos alternativas de biodigestores para la obtención de biogás y biol a partir de residuos orgánicos provenientes de ganado vacuno de la finca “El Carmen” provincia del Carchi.

1.2 Objetivos Específicos

- Levantar información de los residuos orgánicos provenientes del ganado vacuno
- Diseñar dos alternativas de biodigestores para la granja “El Carmen”
- Elaborar una guía de instalación para los biodigestores

Alcance

Este proyecto presenta la mejor alternativa de diseño de biodigestores de bajo costo y de fácil de construcción, para la generación de biogás y biol, a partir de estiércol de ganado vacuno.

2 MARCO TEÓRICO

Debido a la problemática ante la generación de residuos orgánicos y aguas residuales provenientes de la producción de leche de ganado vacuno, se planteó una propuesta amigable con el ambiente, que no solo evita la generación de gases de efecto invernadero, sino que también se obtiene productos que sirven para la agricultura. Esta tecnología es un sistema de biodigestión anaerobia que transforma la materia orgánica en sustancias útiles como el biol y el biogás.

2.1 La digestión

La digestión es un proceso biológico donde residuos orgánicos (estiércol, material fecal, excretas o material orgánico) que son producidas en las granjas se transforman en otras sustancias, este tipo de tratamiento es muy utilizado ya que contribuye a la descontaminación del suelo, además es una fuente de energía alternativa (Biodigestores Ecuador, 2018). Por otra parte, los materiales sólidos o líquidos productos de la digestión, reemplazan a los fertilizantes químicos (Bui, Preston, & Dolberg, 1997).

En la digestión se realizan bioprocesos donde los microorganismos son los principales responsables de la degradación del sustrato, estos organismos pueden ser aerobios o anaerobios (Camilo Cornejo, 2010).

Digestión aerobia

La digestión aeróbica es un proceso realizado por múltiples microorganismos donde se destacan los protozoos y bacterias, los mismos trabajan en presencia de oxígeno y generan residuos inocuos (Oppenoorth, 2014).

El sustrato se somete a una aireación durante periodos de tiempo largos, donde la porción biodegradable de la materia orgánica se oxida (Agrocalidad & ASPE, 2012).

Al entrar en contacto la población microbiana con el sustrato los microorganismos inician su fase de crecimiento, este crecimiento es logarítmico y el consumo de oxígeno aumenta debido a la asimilación de materia orgánica para la formación de la nueva población (Oppenoorth, 2014).

El crecimiento de las bacterias y la tasa de consumo de oxígeno disminuye a medida que la oxidación continua (Bui, Preston, & Dolberg, 1997). Cuando el sustrato no tenga la cantidad de alimento necesario que garantice la subsistencia de los microorganismos, estos empezarán a autooxidarse (Bui, Preston, & Dolberg, 1997).

Algo muy notable que se debe mencionar en este proceso es que no genera olores desagradables y su operación es muy fácil, sin embargo, tiene desventajas en cuanto al elevado consumo de energía, producto de la aireación y la separación de lodos mediante centrifugación o filtración al vacío (FAO, 2019).

Digestión anaerobia

Esta digestión al igual que la aerobia es un proceso biológico complejo, en el cual trabajan diferentes tipos de microorganismos, la diferencia es que estas bacterias son inhibidas por el oxígeno (González Cabrera, 2014).

El sustrato que sirve de alimento es transformado en compuestos más simples llamados ácidos grasos, los mismos que serán consumidos en la fase metanogénica que es responsable de la producción de gases como metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno (tóxico), y el resultado es la formación de biogás (Choi, 2007).

Mediante este proceso se puede tratar una gran cantidad de residuos orgánicos y convertirlos en subproductos útiles (María Teresa Varnero Moreno, 2011).

Fases de la digestión anaerobia.

Este proceso es algo complejo debido al número de reacciones bioquímicas que se desarrollan al mismo tiempo y a la cantidad de microorganismos que intervienen (González Cabrera, 2014).

La descomposición de la materia orgánica de manera anaerobia se divide en cuatro fases:

- Hidrólisis
- Fase acidogénica o de fermentación
- Fase acetilénica
- Fase metanogénica

Fase hidrolítica

Esta fase se basa en la descomposición de cadenas largas de materia orgánica como lípidos, proteína, carbohidratos y compuesto inorgánicos en otras más cortas (Camilo Cornejo, 2010). Por la acción de enzimas hidrolíticas es despolimerizados en moléculas más simples, solubles y fácilmente degradables como ácidos grasos, aminoácidos y azúcares, generando los sustratos necesarios para la siguiente fase (González Cabrera, 2014).

Fase acidogénica o fermentativa

En esta etapa los compuestos solubles resultantes de la fase hidrolítica mediante un proceso de fermentación son transformados en ácido acético ($\text{CH}_3\text{-COOH}$), hidrógeno (H_2) y dióxido de carbono (CO_2). En esta etapa el crecimiento bacteriano es rápido además no hay consumo ni reducción de materia orgánica (FAO, 2019).

Fase acetogénica

Las bacterias acetogénicas van a transformar los compuestos de la etapa acidogénica y como resultado se obtiene hidrógeno, dióxido de carbono y ácido acético. El ácido acético es producido por acción de las bacterias acetogénicas que transforman el ácido propiónico y el ácido butírico (González Cabrera, 2014).

Fase metanogénica

En este proceso aparecen microorganismos que son responsables de la producción de metano, este se produce por la presencia de ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. Las bacterias más significativas encargadas de transformar el ácido acético y propanoico en metano son llamadas metanogénicas acetoclasticas (María Teresa Varnero Moreno, 2011).

En esta etapa se eliminan los productos casi finales de la descomposición como es el hidrógeno, compuestos orgánicos pequeños y dióxido de carbono. La ausencia de esta fase provocaría una gran acumulación de carbono (González Cabrera, 2014).

2.2 Productos de la digestión anaerobia

Biogás

El biogás es una mezcla de gases que depende principalmente del funcionamiento del proceso, de la temperatura y del tipo de residuo empleado en la digestión (Bui, Preston, & Dolberg, 1997). Está formado esencialmente por metano (CH_4) con una concentración de 45 al 70%, dióxido de carbono (CO_2) en cantidades que oscila entre 25 a un 45% y otros gases en pequeñas proporciones como el hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno (Chaúr, 2001).

El gas metano es considerado 21 veces más nocivo para el efecto invernadero que el dióxido de carbono, al convertir los residuos en recursos útiles, en lugar de ser liberados

a la atmósfera, producen una disminución de la contaminación del aire y de los acuíferos (FAO, 2019).

El sulfuro de hidrógeno (H₂S) es generado por los microorganismos anaerobios, su concentración es variada ya que depende del sustrato utilizado en el sistema. (FAO, 2019). Este gas debe ser eliminado del biogás ya que es considerado tóxico en muy bajas concentraciones y altamente corrosivo lo que provoca una reducción de la vida útil de los equipos donde se lo emplee, se encuentra en un rango de 5 000 y 50 000 partes por millón (ppm) (FAO, 2019).

Uno de los usos más simples del biogás, es la combustión directa en calefones, cocinas, lámpara de gas y generación de energía eléctrica (Martí, Jaime, 2012). El poder calorífico que posee es menor al gas licuado de petróleo, por lo cual se debe realizar algunas modificaciones a los equipos (Martí, Jaime, 2012).

Biofertilizante, bioabono o biol

El biol es un abono orgánico líquido rico en nutrientes y baja carga de patógenos, es resultado de la fermentación de estiércol y agua, los mismos que son asimilados fácilmente por las plantas (Oppenoorth, 2014).

El bioabono brinda protección contra insectos, heladas y ayuda a estimular el desarrollo de las plantas, favorece su enraizamiento, alarga la fase de crecimiento de hojas, mejora la floración y el poder germinativo de las semillas (Medina, Quipuzco, & Buscamaita, 2014).

Con el empleo de este fertilizante se obtiene un mejor rendimiento de los cultivos con relación al uso directo del estiércol fresco o compostado, debido a que el nitrógeno es convertido a amonio (NH₄), para posteriormente ser transformado en nitratos. El uso del fertilizante puede aumentar la producción de un 30% hasta un 50% y sustituir a los fertilizantes químicos (Oppenoorth, 2014).

2.3 Proyección de la producción de biogás

En el diseño de un biodigestor es de importancia conocer la variación de temperatura mensual en la zona de estudio ya que existirá una mayor producción de biogás en los picos más altos y esto puede afectar al funcionamiento de los tanques de almacenamiento del metano (Bui, Preston, & Dolberg, 1997).

Los datos estadísticos de temperatura con referencia a la provincia del Carchi son extraídos de la estación meteorológica San Gabriel (INAMHI, Red de estaciones automáticas hidrometeorológicas, 2020)

Tabla 1 . - Temperatura promedio mensual de San Gabriel provincia del Carchi

Mes	Temperatura °C		
	Año		
	2012	2013	2019
Enero	13,3	12,8	11,20
Febrero	12,9	12,4	12,30
Marzo	12,8	12,9	12,50
Abril	13	12,8	13,00
Mayo	12,1	12,8	12,60
Junio	11,8	11,8	11,90
Julio	11,7	11	12,10
Agosto	11,4	11,6	10,00
Septiembre	11,6	12	11,10
Octubre	13,1	12,5	11,80
Noviembre	13,1	12,9	12,80
Diciembre	12,3	12,8	12,60

Fuente (INAMHI, Red de estaciones automáticas hidrometeorológicas, 2020)
(INAMHI, Anuario meteorológico Nro. 52-2012, 2015) (INAMHI, Anuario
meteorológico N° 53-2013, 2017)

2.4 Biodigestor

Los biodigestores se han desarrollado por la necesidad de implementar nuevas tecnologías que ayuden de manera eficiente la eliminación o reducción de productos biológicos que se generan en las granjas (Biodigestores Ecuador, 2018). Este material se obtiene como resultado de la producción de leche, carne o sus derivados ya sea de ganados vacuno o porcino, la acumulación de estos residuos puede generar focos de infección de aquí su importancia de tratarlos adecuadamente (Rodriguez & Preston). Un biodigestor es un contenedor que se encuentra herméticamente cerrado y pueden ser de varias formas y dimensiones, en los biodigestores se realiza la degradación del sustrato (Camilo Cornejo, 2010). La descomposición de las excretas se efectúa en condiciones de anaeróbicas, los principales productos de este proceso es el biogás y el biofertilizante o bioabono (Herrero, Jaime Marti, 2008).

En el diseño de un biodigestor las dimensiones son tan importantes como los materiales, para que este sea eficiente hay que determinar varios valores como: biogás necesario,

carga diaria, tiempo de retención TR, volumen líquido total, área y longitud de la zanja y las características del plástico o geomembrana (Bui, Preston, & Dolberg, 1997).

Tipos de biodigestores

La tecnología aplicada a los biodigestores es muy variada y no se tiene una clasificación definida, esto se debe a que constantemente se realiza mejoras en los diseños, varios autores los clasifican por su tecnología, tamaño o características (Calderón, 2015).

Biodigestor taiwanés, tubular o flexible

Este tipo de biodigestor se ha extendido por todo Taiwán, de aquí su nombre, para la elaboración de la manga o cámara de digestión se puede emplear una gran variedad de materiales como son las geomembranas, entre las más representativas están el policloruro de vinilo PVC, polietileno de alta densidad PDA y el polipropileno flexible (Bui, Preston, & Dolberg, 1997).

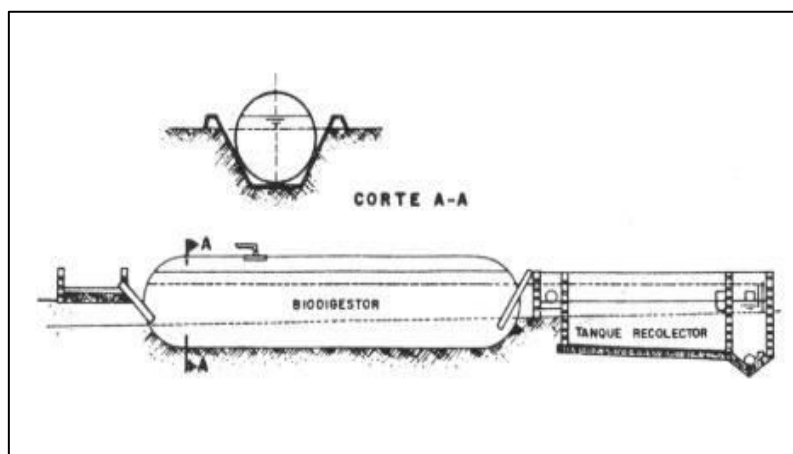
El plástico de invernadero es otra buena opción debido a las características y precio, además es muy importante que el grosor del plástico o geomembrana sea mayor a 500 micrones o 0,5 mm y que sea resistente a las diferentes condiciones climáticas que se puedan presentar (lluvia, rayos ultravioletas) o incluso al contacto de algún agente químico (FAO, 2019).

En lo general este tipo de biodigestores tienen la forma de tubo largo (manga del biodigestor) y esta característica es muy favorable en el proceso de la digestión ya que el ingreso de la nueva carga actúa como un mezclador y a la vez empuja el sustrato dentro del biodigestor hacia la salida (FAO, 2019).

En general estos biodigestores están compuestos por tuberías de ingreso y salida de sustrato, también existen tuberías de conducción de biogás, estas pueden ser de PVC, mangueras o tuberías de cobre, la parte fundamental de este sistema es la cápsula donde ocurre la degradación, otra estructura importante es la zanja la cual se encarga de contener todo el volumen líquido del biodigestor (Chaúr, 2001).

Dependiendo del uso y la producción de biogás es necesario la instalación de un reservorio, este debe ser construido del mismo material que el de la manga, para la recolección del bioabono se puede instalar o construir un tanque para la recolección (Chaúr, 2001).

Ilustración 1. - Estructura biodigestor tubular o Taiwán



Fuente (Chaúr, 2001)

Las características de importancia en estos biodigestores son el bajo costo y su fácil instalación, debido a esto han sido muy aceptados entre los dueños de granjas o fincas pequeñas. Una desventaja es que sus materiales no poseen una vida útil muy larga (Chaúr, 2001).

Biodigestor chino o rígido

Este tipo de biodigestores se encuentran fabricados de materiales sólidos como hormigón, bloque, ladrillos o tanques de fibra de vidrio o plásticos, este último debe ser construido o ensamblado en el lugar ya que su transporte es complicado debido al tamaño, además pueden albergar un sistema para la mezcla por ser más rígidas. Estos biodigestores no tienen un diseño estándar, su forma y tamaño varía según la necesidad del constructor y el tipo de suelo (FAO, 2019).

2.5 Parámetros fisicoquímicos de control

Para estimar el rendimiento y funcionamiento del sistema, es necesario realizar el monitoreo de varios parámetros fisicoquímicos, los mismos que serán mencionados a continuación.

Temperatura

La temperatura es un parámetro muy influyente en muchos de los sistemas biológicos, es responsable de la velocidad de crecimiento de los microorganismos, y a su vez es responsable de la velocidad de reacción. Al darse el incremento en la temperatura se acelera el proceso de digestión y se obtiene una mayor generación de biogás, al existir

una variación brusca de temperatura desestabilizará el sistema (María Teresa Varnero Moreno, 2011).

No es necesario trabajar a altas temperaturas sino más bien garantizar que la temperatura se estabilice en el interior del sistema (Oppenoorth, 2014).

Sólidos totales

El principal parámetro de la materia orgánica a caracterizar es los sólidos totales (ST), mediante el análisis de laboratorio se puede determinar su valor, sin embargo, actualmente ya se dispone referencias bibliográficas para estiércol de animales que pueden ser utilizadas sin necesidad de recurrir al análisis de laboratorio (González Cabrera, 2014).

Ph

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución, es necesario el control de este parámetro ya que los microorganismos responsables de la producción de metano dependen del pH, (Camilo Cornejo, 2010). Por lo tanto, se debe realizar un monitoreo constante de este parámetro al material que ingresa y sale del sistema, con el objetivo de realizar las correcciones correspondientes, debido a que la variación de este parámetro puede ocasionar que se inhiba el metabolismo de los microorganismos (González Cabrera, 2014). El pH óptimo para organismos acidogénicos se encuentra en un rango de 5,5 a 6,5, mientras que para los metanogénicos está entre el 7,8 y 8,2 (Oppenoorth, 2014).

Para que el proceso sea exitoso el rango del pH debe oscilar entre 6,0 y 8,0, si existe un valor inferior a 6 una de las consecuencias es que el biogás sea pobre en metano, mientras que el aumento de este parámetro ocasiona la formación de amoníaco, el mismo que a elevadas concentraciones inhibe el crecimiento microbiano (FAO, 2019).

Nutrientes

El proceso anaerobio requiere de macro y micronutrientes para la síntesis de nueva biomasa, por lo tanto, se debe garantizar una concentración óptima para bacterias del metano ya que se inhiben por la deficiencia de nutrientes. Sin embargo, una de las ventajas del sistema anaerobio es que se requiere de una baja cantidad. Entre los nutrientes más significativos se encuentra el nitrógeno, carbono y fósforo (María Teresa Varnero Moreno, 2011).

2.6 Tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención hidráulica (TRH) es un parámetro que indica el tiempo en que un fluido tarda en ingresar y salir de un recipiente o contenedor (Medina, Quipuzco, & Buscamaita, 2014). Este concepto aplicado a biodigestores es el tiempo de permanencia del sustrato dentro del sistema de digestión, el cual está sometido a la acción de microorganismos (Medina, Quipuzco, & Buscamaita, 2014).

Este parámetro está relacionado directamente con la temperatura y determina el volumen del reactor, el mismo que se lo puede conocer mediante la relación del volumen del reactor y el caudal diario de carga (Camilo Cornejo, 2010).

La variación de TRH depende del cambio de temperatura que se disponga, a mayor temperatura menor TRH (Bui, Preston, & Dolberg, 1997).

Tabla 2. - Variación de temperatura según la región

Región	Tempertaura	Tiempo de retención (días)
Tropical	35 ° C - 30 ° C	25 - 40
Valle	25 ° C - 20 ° C	35 – 65
Sierra alta	15 ° C - 10 ° C	65 – 125

Fuente (FAO, 2019)

2.7 Relación carbono/nitrógeno

La mayor parte de materia orgánica al ser sometida a un proceso de fermentación anaeróbica puede producir biogás, pero es importante conocer su composición ya que de esto depende la calidad y cantidad de gases (Medina, Quipuzco, & Buscamaita, 2014). Las bacterias metalogénicas necesitan fundamentalmente del carbono y nitrógeno como su principal fuente de alimentación (Chaúr, 2001).

El carbono es empleado como fuente de energía mientras que el nitrógeno permite la formación de nuevas células. La relación óptima entre carbono y nitrógeno esta entre 30:1 hasta 20:1, hay que tomar en cuenta que al inicio de la digestión la relación óptima es de 30:1 (María Teresa Varnero Moreno, 2011).

Tabla 3 . - Valores aproximados de la relación carbono-nitrógeno

Materiales	% C	% N	C/N
Residuos animales			
Bovinos	30	1.30	25:1
Equinos	40	0.80	50:1
Ovinos	35	1.00	35:1
Porcinos	25	1.50	16:1
Caprinos	40	1.00	40:1
Conejos	35	1.50	23:1
Gallinas	35	1.50	23:1
Patos	38	0.80	47:1
pavos	35	0.70	50:1
Excretas humanas	2.5	0.85	3:1
Residuos vegetales			
Paja trigo	46	0.53	87:1
Paja cebada	58	0.64	90:1
Paja arroz	42	0.63	67:1
Paja avena	29	0.53	55:1
Rastrojos maíz	40	0.75	53:1
Leguminosas	38	1.50	28:1
Hortalizas	30	1.80	17:1
Tubérculos	30	1.50	20:1
Hojas secas	41	1.00	41:1
Aserrín	44	0.06	730:1

Fuente: (María Teresa Varnero Moreno, 2011)

2.8 Principales componentes del diseño

Zanja

En el diseño de un biodigestor una de las partes muy importantes es el dimensionado de la zanja, esta deberá ser diseñada de tal manera que abarque todo el volumen líquido del digestor (Herrero, Jaime Marti, 2008). La forma de esta estructura dependerá del tipo de suelo y las paredes de esta puede tener varias ángulos de inclinación (7, 5° - 15° - 30° - 45°), dependiendo de la estabilidad del suelo, estos taludes ayudan a estabilizar la forma (Martí Herrero, 2019).Las Zanjas deben ser impermeabilizadas para evitar la

disminución de temperatura del sustrato, los materiales pueden ser orgánicos o sintéticos (Herrero, Jaime Marti, 2008).

Plástico o membrana

La membrana de policloruro de vinilo PVC es utilizada en todo el mundo, una de las industrias con mayor porcentaje de uso es la construcción, esto se debe a las características que posee, ligero para el transporte, fácil de manipular, resistente a las condiciones climáticas, bajo costo, durabilidad y buena calidad (Criollo & Guzmán, 2014). También es resistente a ciertos agentes químicos y no se altera al contacto con disolventes orgánicos, el grosor de estas geomembranas se encuentra entre los 750micrones y 1500 micrones (Pure Water, 2020). La desventaja de estas geomembranas es que en el mercado solo se encuentra rollos con diámetros pequeños (Pure Water, 2020).

El polietileno de alta densidad HDPE (siglas en inglés) o PDA es muy común y la de mayor demanda en el mundo, esta geomembrana es resistente a agentes químicos y riesgos biológicos por lo que es utilizada en rellenos sanitarios, plantas de tratamiento y en otros sectores donde se dese evitar contaminación al ambiente (JuvenilesCampesinos, 2004). Esta membrana es más rígida, su transporte e instalación es más complicada y necesita de personal calificado, por lo que no es recomendable para biodigestores pequeños, el grosor de esta geomembrana es de 750 a 1500 micrones (Pure Water, 2020).

El polipropileno flexible es muy similar a la geomembrana de PDA en cuanto a resistencia de cortes y ataques con agentes químicos y biológicos, pero tiene la característica del policloruro de vinilo PVC de ser muy flexible, es fácil de manejar y transportar, la desventaja de esta es la adquisición ya que no se encuentra disponible en el mercado como el plástico de invernadero (Martí Herrero, 2019).

El plástico de invernadero es recomendado para biodigestores pequeños y económicos, su adquisición es fácil y el costo es bajo en comparación de las geomembranas, este plástico se encuentra con grosores entre 200 y 300 micrones (Choi, 2007). La desventaja de este material es el tiempo de vida útil, de 2 a 3 años expuesto a radiación solar fuerte y entre 10 años bajo techo, debido a su grosor es muy fácil de romper o perforar durante su transporte (Martí Herrero, 2019).

El plástico o geomembrana es una parte fundamental del digestor ya que la forma y la degradación del sustrato depende de la instalación adecuada de esta, se puede usar en una capa doble de plástico de invernadero translúcido o negro de 250 micrones o

geomembrana de 500 micrones (Choi, 2007). La selección de este depende del propietario, lo óptimo es usar geomembranas de polipropileno flexible por el tiempo de vida útil, la facilidad de transporte y su resistencia a cortes no deseados (FAO, 2019).

Calefacción pasiva

Es un sistema mediante el cual se aprovecha la radiación solar. Es recomendable usar el sistema de calefacción pasiva en zonas frías donde la temperatura ambiente se encuentra por debajo de los 20 °C, con el objetivo de evitar pérdidas de calor y al mismo tiempo ayuda a elevar la temperatura (Fuertes, 2018).

La opción más común para ayudar a calentar es colocar plástico negro o materiales oscuros sobre el biodigestor ya que este absorbe mejor la radiación, esto se puede aplicar si se usa plástico de invernadero para la manga (Fuertes, 2018). Además de elevar la temperatura entre 2 y 3 °C, este plástico sirve de protección ya que este se degradaría primero y la vida útil de la manga se extenderá, cuando se instala con geomembranas no es necesario la capa de plástico (Martí Herrero, 2019).

Para mantener el calor en el área del sustrato es imprescindible colocar materiales que aíslen la humedad de la zanja, la ausencia de estos ocasiona que la temperatura de trabajo sea similar a la del suelo (Fuertes, 2018). Dependiendo de la zona se puede usar material orgánico, para zonas frías se encuentra disponible paja y en zonas cálidas encontramos el bambú, ambos sirven como aislantes, también se puede utilizar material sintético como el poliestireno expandido (espuma Flex) (Calderón, 2015). Esta protección se la coloca tanto en las paredes como en el suelo, para evitar la degradación de los materiales orgánicos, hay que evitar el ingreso de agua a la zanja (Martí Herrero, 2019).

La instalación de invernaderos actúa como protección del biodigestor tanto de materiales sólidos (ramas, piedras), animales y del viento, también ayuda a mantener el calor por las noches (Fuertes, 2018). Según la necesidad se pueden realizar invernaderos compactos (solo para el digestor) o pueden ser más grandes si se lo utiliza para otras actividades conjuntas como sembríos, en lugares fríos se puede construir paredes de barro (adobe) y cubrir el techo con plástico (Biodigestores Ecuador, 2018). Estos recubrimientos son más comunes en zonas frías por debajo de los 15 °C, se lo realiza para evitar la pérdida de calor y al mismo tiempo elevar la temperatura entre 6 y 10 °C (Martí Herrero, 2019).

Beneficios ambientales

A continuación, se presentan los beneficios ambientales que se obtienen con la digestión según menciona Ford, 2007.

- Los residuos de la digestión son de alta calidad y son utilizados como fuente de energía (biogás) y materia prima (biol) para los cultivos.
- Los biocarburantes son combustibles menos nocivos para la salud y el medio ambiente ya que generan menor cantidad de gases de efecto invernadero a la atmósfera.
- Este combustible es menos contaminante que los combustibles fósiles
- Son fácilmente degradable
- Es una alternativa viable para la reducción de emisiones de metano a la atmósfera.

Estiércol disponible

El estiércol disponible se refiere a la cantidad de excretas que se puede utilizar en el biodigestor, la materia orgánica disponible siempre será menor o igual a la carga diaria, esto depende del lugar donde se encuentren los animales, en el caso en el que las vacas pasen la noche en los corrales la cantidad de estiércol disponible será del 25% (Martí Herrero, 2019).

Al conocer la cantidad de estiércol disponible se debe calcular la cantidad de agua que se añade, ya que se busca obtener una mezcla de entre 3% y 16% de sólidos totales, para la materia fecal de las vacas se realiza una relación de 1:3, para cerdos 1:4 y para llamas, ovejas y cuy una relación de 1:8 o 1:9, hay que tener en cuenta que el estiércol fresco contiene un 80% de humedad (FAO, 2019)

Para lograr un sustrato con una cantidad de sólidos adecuados hay que diluir el estiércol disponible con una cantidad de agua. El suministro de agua para la mezcla del sustrato debe estar libre de detergentes o agentes químicos inhibidores de microorganismos y que el abastecimiento sea diario (Urrutia Arias, 2019).

Carga diaria

La carga diaria es el nombre dado al volumen de sustrato que ingresa diariamente al biodigestor, este sustrato es la mezcla de estiércol más agua que expresada en litros por día, en la guía de Martí Herrero, Biodigestores tubulares, Guía de diseño y manual de instalación del año 2019, se expresa una equivalencia, donde un 1 kg de materia orgánica es igual a 1 litro de estiércol, sin tener en cuenta su origen (oveja, llama, cerdo,

vaca o cuyes) es decir que las excretas tendrá una densidad de 1 kg/l, este valor es de gran utilidad en el dimensionamiento del biodigestor. La dilución recomendada evitará que el biodigestor se obstruya (María Teresa Varnero Moreno, 2011).

Ecuación 1

$$CD = CE + AGUA$$

Fuente: Autores

Dónde:

CD: carga diaria l/día

CE: cantidad de estiércol utilizable l/día

Volumen del biodigestor

El volumen total del biodigestor es la suma entre el valor de la carga diaria y el biogás generado, la parte gaseosa generada en el proceso comprende generalmente el 25%, mientras que el restante a la parte líquida, (Martí, Jaime; Cipriano, Jordi, 2012).

Ecuación 2

$$VD = VL + VG$$

Fuente: Autores

Donde:

VD: volumen de biodigestor (m³ ó l)

VL: volumen del líquido (m³ ó l)

VG: Volumen del gas (m³ ó l)

Para obtener el valor del volumen líquido se tomará en cuenta la carga diaria multiplicado por el tiempo de retención, este tiempo cambia de acuerdo a la temperatura del lugar. (Martí, Jaime; Cipriano, Jordi, 2012)

Ecuación 3

$$VL = CD + TR$$

Fuente (Martí, Biodigestores tubulares, Guía de diseño y manual de instalación, 2019)

Dónde:

VL: volumen del líquido (m³ o l)

CD: carga diaria (m³/d ó m³/l)

TH: tiempo de retención (días)

3 METODOLOGÍA

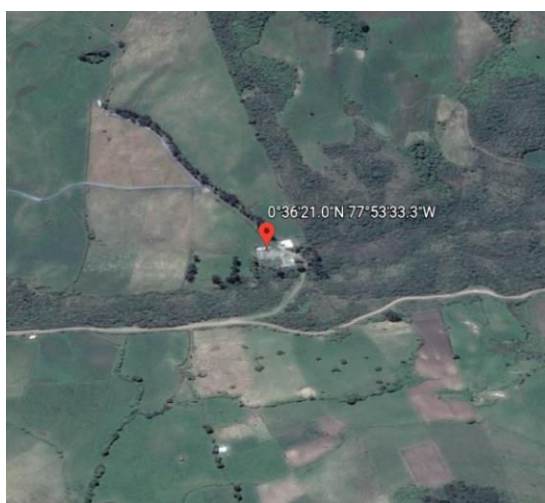
Mediante observación directa y revisión bibliográfica se recolectaron los datos necesarios para el diseño del biodigestor, entre los cuales se encuentran, análisis de la zona y factibilidad de aplicación, los valores de estiércol diario y estiércol disponible.

En la parte experimental se aplicó el método cuantitativo y se elaboró el diseño de dos biodigestores, se estimó la cantidad de biogás generado durante un año y finalmente se elaboró un manual de instalación.

3.1 Levantamiento de información

La finca El Carmen está ubicada en la provincia del Carchi en el cantón Montúfar parroquia La Paz a una altura de 3400 msnm, mediante un GPS se obtuvo los datos de latitud 0,605832 y longitud -77,892569 y con temperaturas que van desde los 5 °C hasta los 17°C, teniendo temperaturas extremas de -5 °C, con vientos y lloviznas constantes (Villareal, 2019)

Ilustración 2. - Ubicación geográfica de la zona de estudio



Fuente Google Earth

La finca tiene como principal actividad agrícola la producción de leche, para lo cual dispone de un total de 83 cabezas de ganado, donde 36 son destinadas a la producción de leche.

El sistema completo se encuentra integrado por 5 grupos:

- Rejo
- Seco

- Vaconas vientre
- Vaconas fierro
- Terneras lactantes

Rejo. - vacas destinadas para la producción de leche y se encuentran entre los 24 meses y 10 años.

Seco. - animales que después del segundo parto ya no producen leche

Vaconas vientre. - son vacas en estado de gestación, pertenecen a este grupo desde que cumplen los 15 meses de vida,

Vaconas fierro. - ganado que terminaron su periodo de lactancia.

Terneras lactantes. - ganado que se encuentra en periodo de lactancia.

3.2 Muestreo

Un plan de muestreo permite recolectar información e identificar puntos estratégicos para la toma de muestras, en este plan se presentó los parámetros a analizar en la caracterización tanto in situ como de laboratorio. En el anexo 1 se puede visualizar el plan de muestreo.

Estiércol

Las muestras de estiércol se recolectaron mediante las especificaciones del plan de muestreo que se encuentra adjunto en el anexo 1, la cantidad de material orgánico que se recolectó por cuadrante es de 2 kg, el cual se homogenizó y depositó en una bolsa plástica hermética etiquetada acorde a la muestra.

Para determinar los parámetros necesarios para el diseño se utilizó el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA) de la Escuela Politécnica Nacional, donde se determinó la cantidad de humedad que se encuentra en esta masa de estiércol, el pH es el único parámetro in situ que se midió, para lo cual se usaron tiras medidoras de pH.

Agua residual

Las muestras se tomaron en el área de ordeño y debido a su estado líquido se les asignó el código MLO (muestra líquida ordeño), seguido de un número en forma secuencial iniciando en uno. El registro del muestreo 1 y 3 correspondió a la mañana, el 2 y 4 al muestreo de la tarde.

Para medir los parámetros in situ (pH y temperatura) se verificó el buen funcionamiento de la sonda, se realizó la limpieza del sensor con agua destilada con el fin de prevenir algún error al momento de realizar la medición. En una jarra previamente homogenizada con la muestra, se tomó 1 litro de sustrato y se procedió a introducir la sonda, una vez que se estabilizó la lectura, se registró los valores en la bitácora. Posterior a la medición se conservó la cantidad de sustrato para una posterior homogenización de la muestra compuesta, esta muestra se utilizó para analizar en el laboratorio la cantidad de sólidos totales presentes en el agua residual.

Preservación y transporte de muestras

Este es uno de los puntos más importantes del muestreo ya que de este punto depende la fiabilidad de los resultados, fue indispensable garantizar que las muestras no sufran ningún tipo de alteraciones durante su recolección y transporte.

Debido al tipo de análisis (sólidos totales y humedad), las muestras de estiércol y agua residual que se recolectaron no requirieron la adición de preservante químico alguno, la única forma de preservación aplicada fue durante su transporte, el traslado hasta el laboratorio donde se realizó los análisis respectivos se realizó en recipientes libres de cualquier tipo de contaminante, a una temperatura entre 2 y 4 °C.

3.3 Análisis de parámetros en el laboratorio

El análisis de las muestras se realizó en el Laboratorio de Docencia de Ingeniería Ambiental (LDIA) de la Escuela Politécnica Nacional, para la medición de sólidos se utilizó el método gravimétrico.

Sólidos totales

Este análisis se realizó en 4 muestras de agua residual, para determinar el valor ST, se inició el procedimiento con el secado de los crisoles durante una hora a 550°C, luego se retiró los recipientes de la mufla y se colocó en un desecador hasta que estén fríos, luego se registró el peso de cada crisol, con la ayuda de una balanza analítica se añadió 50 ml de la muestra en cada recipiente, a continuación se introdujo en el horno de secado a una temperatura de 105°C por una hora, una vez transcurrido el tiempo de secado se colocó los crisoles en el desecador hasta que estén fríos, posterior a esto se pesó y registró el valor de cada muestra, se repitió este proceso hasta conseguir valores iguales o similares.

Los cálculos se realizaron aplicando la fórmula:

Ecuación 4

$$ST = \frac{B - A}{V_m}$$

Fuente: Autores

Donde:

ST: sólidos totales (mg/l)

A: peso del crisol de evaporación vacía (mg)

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

V_m: volumen de muestra (en ml)

Determinación de humedad

Con este análisis se determinó la cantidad de agua presente en las muestras de estiércol, este método inició al colocar una alícuota en un crisol previamente tarado y luego se introdujo a la estufa a una temperatura de 105°C, durante 2 horas aproximadamente, posteriormente se transfirió el crisol al desecador hasta que este frío y luego se registró su peso, se repitió la operación hasta que se obtuvo un peso constante.

Ecuación 5

$$\% \text{ humedad} = \frac{P_1 - P_2}{P_m} * 100$$

Fuente: Autores

Donde:

P1: peso del crisol más muestra húmeda

P2: peso del crisol más muestra seca

P_m: peso de la muestra

3.4 Parámetros de diseño de los biodigestores

Se presentó dos diseños de biodigestores tipo “taiwanés” para uso doméstico, los cuales producirán 1,2 m³ y 3 m³ de biogás aproximadamente por día, los cuales deberán satisfacer la demanda de energía calórica de la finca.

Para el diseño del biodigestor A y B se tomó en cuenta como materia prima las excretas provenientes del área de comedero del ganado vacuno y el agua residual del área de ordeño.

Biodigestor A

Este diseño contempló el consumo de biogás en una cocina doméstica que normalmente usa GLP, en el lugar de estudio habita una familia de 4 miembros (2 adultos, 2 niños) que se encargan del funcionamiento de los equipos de ordeño y del cuidado del ganado, el propietario de la finca realiza visitas en periodos cortos de tiempo y en diferentes días.

Para dar inicio al dimensionamiento se definió la cantidad de biogás que consume una cocina doméstica, para lo cual se utilizó los datos de la siguiente tabla.

Tabla 4.- Consumo de biogás de diferentes aparatos

Equipos	Consumo de biogás (l/h)
Cocina doméstica	300
Cocina industrial	450
Calefón de agua 14 kW	2500
Calefón de agua 26 kW	5000
Motor < 5hp (por cada 1hp)	400
Motor > 5hp (por cada 1hp)	250
Ordeñadora (15hp)	2500
Generador (1.2 kW)	600
Generador (3 kW)	2100

Fuente (Herrero, Jaime Marti, 2008)

Biodigestor B

En este diseño se tomó como base los datos del biodigestor A en cuanto al uso de la cocina y el número de habitantes, a esto se añadió el requerimiento de calentar agua hasta una temperatura de 25 °C, para el uso de los habitantes de la finca (100 l/persona/día).

Para el dimensionamiento de este biodigestor se utilizó la fórmula de la capacidad calórica, con la cual se estableció la cantidad de biogás necesario para calentar el volumen de agua requerido a la temperatura que previamente se estableció.

3.5 Estiércol disponible

Para obtener el valor de la materia prima que se utilizó para el diseño, se efectuó varios cálculos de manera teórica y práctica, la forma teórica utilizó valores ya establecidos en bibliografía que se estudió, donde disponen que el ganado vacuno produce 8 kg de excretas por cada 100 kg del animal vivo, el resultado de esta operación corresponde al estiércol total que produce una cabeza de ganado durante un día, de esta cantidad el 25% es aprovechable para el funcionamiento del reactor.

Mientras que el análisis práctico se realizó en campo mediante técnicas de muestreo, de esta manera se estableció el peso de las excretas del área del comedero, para lo cual se dividió en 3 sectores iguales de 7m x 45m y cada una de estas se subdividió en cuadrantes de 7m x 9m, luego se seleccionó un cuadrante con características similares a las demás y se recolectó los residuos en sacos donde se precisó el peso del estiércol de esta área, este dato se multiplicó por el resto de cuadrantes y se logró el peso total de la zona.

Ecuación 6

$$P_{Tc} = P_{Ss} \times N$$

Fuente: Autores

Donde;

P_{Tc} = peso total comedero

P_{Ss} = peso sector seleccionado

N = número de cuadrantes

Entre la información que se recolectó del área del comedero o estabulado, se halló que la limpieza del comedero se lo realizó una vez por semana hasta la fecha del estudio de

este proyecto, el valor obtenido del cálculo se lo dividió para 7 días y se obtuvo la cantidad de estiércol aprovechable por día.

En el estudio de este proyecto se inició el dimensionamiento mediante la demanda de gas metano que requería la finca, en la tabla 6 se ha fijado el valor correspondiente de producción de biogás por kilogramo (kg) de estiércol, en función de la temperatura del biodigestor.

Tabla 5.- Producción de biogás por kilogramos de estiércol de ganado vacuno

Temperatura del biodigestor	Biogás (l/Kg)
33-37	39
28-32	38
23-27	35
18-22	33
13-17	31
8-12	29

Fuente (Martí, Biodigestores tubulares, Guía de diseño y manual de instalación, 2019)

3.6 Volumen líquido del biodigestor

El volumen líquido del biodigestor se calculó mediante la multiplicación de la carga diaria y tiempo de retención, este primer parámetro es la mezcla del estiércol más el agua residual del área de ordeño, en una proporción de 1:3 es decir una parte de material fecal y 3 partes de agua, el tiempo de retención es de 90 días, más un día para la obtención de productos de la digestión.

Ecuación 7

$$VTL = CD \times TR$$

Fuente (Martí, Biodigestores tubulares, Guía de diseño y manual de instalación, 2019)

Donde:

VTL = volumen total líquido

CD = carga diaria

TR = tiempo de retención

3.7 Zanja y manga del biodigestor

En el mercado se pudo encontrar varias dimensiones de plástico, pero estos se manejan por ancho de rollo, el cual corresponde a la circunferencia del plástico, en el diseño de los biodigestores fue necesario encontrar el radio para el dimensionamiento de la zanja.

El radio del plástico se determinó aplicando la fórmula para calcular la circunferencia:

Ecuación 8

$$C = 2 \times \pi \times r$$

Fuente (Martí, Biodigestores tubulares, Guía de diseño y manual de instalación, 2019)

Donde despejaremos el radio r y el diámetro D :

Ecuación 9

$$r = \frac{C}{2\pi}$$

Fuente (Martí, Biodigestores tubulares, Guía de diseño y manual de instalación, 2019)

Ecuación 10

$$D = 2\pi$$

Fuente (Martí, Biodigestores tubulares, Guía de diseño y manual de instalación, 2019)

El valor del radio se aplicó en los datos proporcionados en la Tabla 7, adicional a esto se seleccionó el ángulo de los taludes y de esta forma se estableció las dimensiones de la zanja.

Ilustración 3.- Dimensiones de la zanja

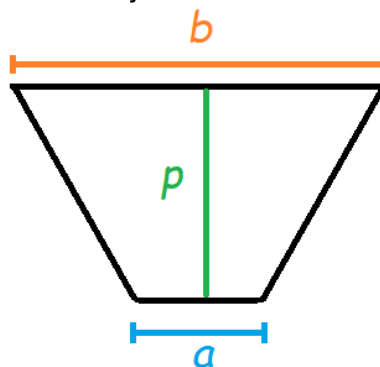


Tabla 6.- Constantes de diseño para un biodigestor en función del radio y ángulo de los taludes

α (°) desde vertical	% VL	%VB	a (m)	b (m)	p (m)	A_{zanja} (m ²)	A_{biogas} (m ²)	A_{total} (m ²)
0	88	12	1.49 x r	1.49 x r	1.57 x r	2.34 x r ²	0.32 x r ²	2.65 x r ²
0	83	17	1.41 x r	1.41 x r	1.57 x r	2.22 x r ²	0.45 x r ²	2.67 x r ²
0	80	20	1.34 x r	1.34 x r	1.57 x r	2.10 x r ²	0.53 x r ²	2.63 x r ²
7.5	80	20	1.23 x r	1.63 x r	1.54 x r	2.20 x r ²	0.55 x r ²	2.75 x r ²
15	76	24	1.02 x r	1.82 x r	1.49 x r	2.12 x r ²	0.69 x r ²	2.80 x r ²
30	75	25	0.72 x r	2.26 x r	1.33 x r	1.98 x r ²	0.66 x r ²	2.64 x r ²
45	65	35	0.43 x r	2.57 x r	1.07 x r	1.61 x r ²	0.86 x r ²	2.47 x r ²

Fuente (Martí, Biodigestores tubulares guía de diseño y manual de instalación, 2019)

3.8 Longitud de la zanja

Para determinar la longitud de los biodigestores se aplicó la fórmula de volumen de la zanja, de donde se despejó la magnitud antes mencionada.

Ecuación 11

Volumen de zanja (Vz) = volumen líquido (VL)

$$VL = Azanja \times L \quad = \quad L = \frac{VL}{Azanja}$$

Fuente: Autores

Donde:

VL = Volumen líquido

L = Longitud de la zanja

Az = Área de la zanja

La zanja no debe ser muy larga o corta, para saber que dimensión es la correcta la relación entre longitud y diámetro L/D, no debe sobrepasar los límites máximos (10) y mínimo (5), si la relación sobrepasa de 10 estos biodigestores serán muy largos teniendo el problema de acumulaciones de lodos y si son valores menores de 5 no tendrán el TR adecuado, 7,5 sería el valor óptimo de la relación.

3.9 Determinación de biogás necesario para elevar la temperatura a una cantidad de agua conocida (Capacidad Calórica)

Para que sea óptima la generación y consumo de biogás se utilizó la fórmula de la capacidad calorífica de una sustancia, con la cual se determinó la cantidad de energía calorífica que requiere 0,5 m³ de agua para llegar a una temperatura de 25°C, para esto se utilizó la siguiente formula:

Ecuación 12

$$Q = mCe\Delta T \quad Q = [\text{Joules}]$$

Fuente (Askin & Jones, 2006)

Donde:

Q = calor añadido (Joules)

m = masa de la sustancia

Ce = calor específico de la sustancia ($c_{e_{\text{agua}}} = 1 \text{ caloría/gramo} \times \text{°C} = 4.186 \text{ Joules/gramo} \times \text{°C}$)

ΔT= variación de temperatura (t final - t inicial).

El volumen de biogás necesario para calentar el agua se determinó con las equivalencias energéticas que se dispuso en la tabla 8, con estos datos se transformó los Joules que se obtuvo en el cálculo de la capacidad calorífica a kWh y luego a metros cúbicos de biogás.

Tabla 7.- **Equivalencias de energía**

1000 litros (1m³) de biogás equivalen a:	
5647 kcal	Energía (65% CH₄)
6,56 kWh	Energía (65% CH₄)
1.6 kg	Madera
1.2 kg	Bosta seca
1.1 litros	Alcohol
0.75 litros	Gasolina
0.65 litros	Gas-oil
0.76 m³	Gas natural
0.7 kg	Carbón
3.3 kWh_t	Calor útil (65% CH₄; rendimiento 50%)
2 kWh_e	Electricidad útil (65% CH₄; rendimiento 30%)

Fuente (Martí, Biodigestores tubulares, Guia de diseño y manual de instalación, 2019)

3.10 Estimación de la producción de biogás

En este documento las dimensiones del biodigestor se determinaron por la temperatura más baja del área de estudio. Los datos de la tabla 1 contribuyeron a estimar la cantidad de biogás que producirá mensualmente el biodigestor, para la estimación se partió de los diseños antes propuestos, en ellos se estableció la cantidad de excretas que ingresan al reactor por día, este valor va a ser constante durante todo el año ya que cumple con la demanda de biogás que requiere la finca, también se necesitó el valor de producción de biogás por kilogramo de estiércol proporcionados en la tabla 6.

Para la proyección de biogás se utilizó datos estadísticos de temperatura que corresponden a las medias mensuales que se obtuvo en la estación meteorológica San Gabriel.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de las muestras de laboratorio

En la tabla 9 se muestra los valores obtenidos en el análisis del laboratorio, con estos valores se pudo establecer que, el agua residual descargada en las mañanas contiene aproximadamente el doble de materia orgánica que las muestras tomadas en la tarde.

La cantidad de estiércol promedio en el sustrato es de 0,00297 kg/l, teniendo en cuenta la cantidad de agua utilizada para el ordeño (210 litros), se determinó que existe 0,624kg de material fecal en el agua residual.

La cantidad de sólidos totales en el agua residual no es grande, pero en términos de producción de biogás se debe considerar este valor al añadir estiércol a la mezcla.

Tabla 8.- Determinación de sólidos totales del agua residual

Muestra N°	Vol. (l)	Peso crisol	Peso evaporación	Peso calcinación	Sólidos totales (mg/l)
1	0,050	33,593	33,775	33,635	3642
2	0,050	33,995	34,084	34,030	1778
Promedio					2710
3	0,040	29,455	29,627	29,491	4298
4	0,040	32,341	32,428	32,370	2177
Promedio					3237

En este cuadro se muestra el resultado del análisis de humedad del estiércol realizado en el laboratorio, donde se obtuvo una humedad promedio de 78,57% la cual es ideal para ingresar al biodigestor.

Tabla 9.- Determinación de humedad en el estiércol

Muestra N°1	Muestras (gr)	Peso crisol	Crisol + muestras	Peso final	% Humedad
1	16,14	40,87	57,01	44,85	75,34
2	15,04	42,73	57,77	45,26	83,18
3	19,12	35,80	54,92	40,16	77,20

4.2 Parámetros para el diseño de los biodigestores

La tabla 10 muestra la clasificación, la edad, el estado en que se encuentra cada animal, el número de cabezas de ganado y la cantidad de estiércol que produce diariamente cada grupo de ejemplares que existe en la finca.

Tabla 10.- Distribución del ganado y estiércol producido

Grupo	Estado	Edades	Peso kg	Promedio	Nº animales	Producción estiércol (kg/día)
Rejo	Producción de leche	24 meses - 10 años	600 - 700	650	36	1872,00
Seco	No producción	Desde el segundo parto - 10 años	700 - 780	740	7	414,40
Vaonas vientre	Preñadas	Desde 15 meses	35 - 600	475	17	646,00
Vaonas fierro	Terneras destetadas	4 meses - 15 meses	160 - 350	255	15	306,00
Terneras lactantes	Toman leche dos veces al día	Desde 0 días - 4 meses	45 - 160	102	8	65,28
TOTAL					83	3303,68

Tabla 11.- Estiércol aprovechable, cálculo teórico

Grupo	Producción estiércol (kg/día)	Estierco Aprovechable (25%) kg/día
Rejo	1872	468

Los valores de la tabla 12 muestra la cantidad de estiércol aprovechable que se obtuvo mediante la caracterización en el área de comedero, los datos obtenidos en la práctica son similares al cálculo teórico.

Tabla 12.- Estiércol aprovechable, cálculo práctico

Peso a los 7 días		Peso diario	
Cuadrante área de 63 m2 (kg)	Peso total del área de comedero (kg)	Cuadrante Área de 63 m2 (kg)	Estiércol aprovechable (kg)
204,80	3072,00	29,26	438,86

La tabla 13 muestra el número de horas que se estimó necesario para la preparación de alimentos durante un día y el volumen de biogás requerido para el funcionamiento adecuado de la cocina doméstica.

Tabla 13.- Consumo diario de biogás en una cocina doméstica

Uso	Cantidad	Nº de horas al día	Consumo de biogás (l/h)	Total de Biogás (l)
Cocina doméstica	1	4	300	1200

4.3 Diseño del biodigestor A

En la tabla 14 se expone los parámetros necesarios para el diseño del biodigestor A, tales como: el volumen de biogás requerido para el funcionamiento de la cocina, la cantidad de estiércol diario para la alimentación del reactor, el volumen de agua esencial para la dilución de las excretas con una relación 1:3, el tiempo de retención y el volumen total líquido.

Tabla 14.- Parámetros de diseño biodigestor A

Biogás necesario l	Estiércol necesario kg/d	Agua necesaria (l)	Carga diaria (l)	TRH	Volumen total líquido (m ³)
1200	41,4	124,10	165,50	91	15,06

Las dimensiones para la construcción de la zanja del biodigestor A, el ángulo de los taludes y el radio de la manga del reactor están definidos en la siguiente tabla.

Debido al volumen con el que trabaja el biodigestor y la estabilidad del suelo se determinó diseñar una zanja de forma rectangular.

Tabla 15.- Dimensiones de la zanja A

Radio de la manga	Angulo de talud	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Dimensiones del trapecio (m)		
				a	b	p
0,80	0	11,20	15,06	1,10	1,10	1,30

4.4 Diseño del biodigestor B

En la siguiente tabla se ha fijado los datos para determinar el valor de la capacidad de transferencia de calor del agua, el resultado de este cálculo se lo ha expresado en Joules.

Tabla 16.- Cálculo de la capacidad calórica del agua

Densidad Agua kg/m ³	Vol. Utilizado m ³	Masa del agua (kg)	Calor específico del agua J/°C (Ce)	T °C inicia l	T °C final	ΔT	Capacidad calórica Q=mCeΔT (Joules)
1000	0,5	500	4186,8	10	25	15	41868000

En esta tabla se definió el biogás necesario para el diseño del biodigestor B, los valores presentes corresponden a la equivalencia energética de Joules a kilowatts hora (kWh) y a m³ de biogás correspondientemente.

Tabla 17.- Cálculo de biogás a partir de la capacidad calórica

Capacidad calórica Q=mCeΔT (Joules)	De Joules a kWh	Equivalencia energética del Biogás	Biogás Necesario para calentar 0,5 m ³ H ₂ O (m ³ /día)
41868000	11,63	6,56 kWh = 1m ³ biogás	1,77

En la tabla 18 se definió los parámetros de diseño, mientras en la tabla 19 se estableció las dimensiones de la zanja y el radio de la manga del biodigestor B.

Teniendo en cuenta el volumen de trabajo del biodigestor se determinó diseñar por seguridad y estabilidad una zanja de forma trapezoidal.

Tabla 18.- Parámetros de diseño biodigestor B

Biogás necesario (l/día)	Estiércol necesario kg/d	Agua necesaria (l)	Carga diaria (l)	TRH	Volumen total líquido (m³)
2970	102,50	307,50	410,10	91	37,31

Tabla 19.- Dimensiones de la zanja B

Radio de la manga	Ángulo de talud	Longitud (m)	Volumen (m³)	Dimensiones del trapecio (m)		
				a	b	p
1,11	45°	18,80	37,31	0,50	2,90	1,20

4.5 Proyección de biogás

La proyección del biogás se estableció con datos históricos de temperaturas promedio mensuales correspondientes al año 2019 de la estación meteorológica San Gabriel, en la siguiente tabla se encuentra los valores de estimación aplicados en el diseño del biodigestor A.

Tabla 20.- Estimación de biogás par el año 2019

Mes	T °C Año 2019	Estiércol necesario Kg/día	Biogás l/kg en función de la T	Estimación de biogás	
				Producido (l/ día)	Producido (m³/día)
Enero	11,20	41,40	29	1200,60	1,20
Febrero	12,30	41,40	29	1200,60	1,20
Marzo	12,50	41,40	31	1283,40	1,28
Abril	13,00	41,40	31	1283,40	1,28
Mayo	12,60	41,40	31	1283,40	1,28
Junio	11,90	41,40	29	1200,60	1,20
Julio	12,10	41,40	29	1200,60	1,20

Agosto	10,00	41,40	29	1200,60	1,20
Septiembre	11,10	41,40	29	1200,60	1,20
Octubre	11,80	41,40	29	1200,60	1,20
Noviembre	12,80	41,40	31	1283,40	1,28
Diciembre	12,60	41,40	31	1283,40	1,28

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Este estudio se realizó en la provincia del Carchi en la finca El Carmen su actividad económica es la producción de leche de ganado vacuno, debido a la naturaleza de su trabajo se diseñó dos alternativas de biodigestores de tipo tubular que tendrán la capacidad de procesar grandes cantidades de estiércol.

Mediante la visita técnica realizada a la finca se verificó que actualmente se está realizando compostaje sin ningún tipo de estudio técnico, lo cual genera otros tipos de problemas ambientales como; malos olores, mosquitos y la presencia de patógenos.

Para realizar el dimensionamiento se procedió a realizar una caracterización en la cual se determinó que se genera 110 l de agua residual del área de ordeño, la misma que puede ser utilizada para la dilución del estiércol. Además, se obtuvo que el ganado del grupo reja produce en promedio 453 kg de excretas aprovechables por día, esta cantidad satisface las necesidades de materia prima para alimentar diariamente los biodigestores.

Los parámetros de diseño para el biodigestor A fueron: volumen líquido 15,06 m³, longitud 11,2 m, diámetro de la manga 1,6 m, caga diaria de 165,50 litros y una zanja rectangular. Mientras que para el biodigestor tipo B fueron: volumen líquido 37,31 m³, longitud 18,8 m, diámetro de la manga 2,22 m, una caga diaria de 410,10 litros y una zanja de forma trapezoidal con taludes a 45°, los cuales producirán 1,2 m³ y 2,97 m³ de biogás por día respectivamente.

Las condiciones de diseño establecidas para el biodigestor tipo A permitirá eliminar 41,40 kg de residuos orgánicos, mientras que la alternativa B eliminará 102,50 kg, por lo tanto, con la implementación del diseño B se reducirá una mayor proporción de materia orgánica. Además, cubrirá la demanda de biogás que se requiere para generar energía calórica la misma que será utilizada para la preparación de alimentos, para elevar la temperatura del agua, entre otras necesidades que requiera la finca.

La temperatura del área de estudio es más baja que la media de la región, en la finca el Carmen se han registrado temperaturas extremas de -5°C que puede inhibir el trabajo de las bacterias y provocar alteraciones del sistema, para controlar la temperatura dentro de la manga es necesario implementar estructuras que aíslen biodigestor de las variaciones climáticas.

Los datos estadísticos de temperatura de la estación meteorológica San Gabriel no muestran una estacionalidad muy marcada, por lo cual se estableció una proyección únicamente para el año 2019, donde se evidenció que no existe una variación significativa en la producción de biogás en los meses que corresponden a invierno y verano.

Se realizó un manual de instalación, operación y mantenimiento del biodigestor el cual contiene el paso a paso de cómo implementar cada uno de los biodigestores y una lista de materiales necesarios para su instalación, lo cual será de mucha ayuda para los usuarios que tengan poco conocimiento del tema.

Mediante el desarrollo de este proyecto se demostró que la implementación de los biodigestores tipo taiwanés o tubular son una propuesta viable, ya que se requiere materiales de fácil acceso y bajo costo para su instalación. Por tanto, desde el punto de vista ambiental es conveniente implementar el diseño B, ya que para su funcionamiento se utiliza mayor cantidad de carga diaria, lo que ayudará a eliminar mayores cantidades de estiércol y la reutilización total del agua residual.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda seguir las instrucciones que se describen en el manual de instalación y mantenimiento, ya que ayudará a que la construcción y montaje de cada una de las partes del biodigestor sea óptima y además que se extienda la vida útil del mismo.
- Se recomienda capacitar al personal encargado de la operación y mantenimiento del sistema, para que tenga los conocimientos necesarios acerca de su funcionamiento.
- Se recomienda que para proyectos de implementación exista la participación directa de los propietarios de la finca, con el fin de involucrarlos en el tema y conozcan cada detalle del mismo.
- Se recomienda realizar más estudios acerca del tema ya que se cuenta con el espacio suficiente para tratar grandes cantidades de estiércol.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Furgov^ow.org. (2014). *Fogon VWT5*.
- Pure Water. (3 de Julio de 2020). *Pure Water*. Obtenido de Geomembranas y sus diferencias: <https://purewater.com.co/geomembranas-y-sus-difere>
- Agrocalidad, & ASPE, A. d. (2012). *Manual de alternativas de tratamiento de purines porcinos*. Quito.
- Askin, P., & Jones, L. (2006). *Principios de Química*. Buenos Aires: Panamericana.
- Biodigestores Ecuador. (2018). *Biodigestores*. Obtenido de <http://biodigestorecuador.com/biodigestores>
- Botero, & Preston. (1987). *Biodigestores de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de la excreta. Manual para su Instalación, operación y utilización*.
- Buhigas, B. ., (2010). *Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos*. UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR.
- Bui, X. A., Preston, T., & Dolberg, F. (1997). *The introduction of low-cost polyethylene tube biodigesters on small scale farms in Vietnam. Livestock Research for Rural Development*. Ho Chi Minh.
- Calderón, C. V. (2015). Diseño de un biodigestor tubular para obtener biogás a partir de residuos orgánicos del ganado vacuno generado en la Hacienda Santa Mónica "Guamote". Riobamba, Chimborazo, Ecuador.
- Camilo Cornejo, A. C. (2010). De Estiércol a Energía - Captura de Metano en Ecuador. *Revista Tecnológica ESPOL – RTE, Vol. 23, N. 1, 135-142, 8*.
- Carlos Alberto Severiche Sierra, M. E. (2013). *Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en agua*. cartagena.
- CEDECAP. (2007). *Producción animal*. Recuperado el 24 de 04 de 2019, de <http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/11-polietileno.pdf>
- Chaúr, J. (2001). *El Biogás*. Bogotá: Produmedios.
- Choi, E. (2007). *Piggery Waste Management*. Londres: IWA.

- Criollo, E. C., & Guzmán, A. C. (2014). *Elaboración de un biodigestor piloto tubular para la producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno, en una vivienda de la comunidad de Tembo*. Riobamba, Ecuador.
- FAO. (2019). Guía teórico práctica sobre el biogás y los biodigestores. *Colección de documento técnicos N°12*.
- FAO. (2019). *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores*. Buenos Aires.
- Fuertes, J. (17 de 03 de 2018). *Calefacción Solar Pasiva*. Obtenido de Alternativarenovable.blogspot.com:
<http://alternativarenovable.blogspot.com/2018/03/calefaccion-solar-pasiva.html>
- González Cabrera, A. M. (2014). *Estudio técnico-económico para la producción de biogás a partir de residuos agrícolas mediante digestión anaerobia*. Obtenido de estudio técnico-económico para la producción de biogás a partir de residuos agrícolas mediante digestión anaerobia:
http://bibing.us.es/proyectos/buscar/estudio+tecnico-economico+para+la+produccion+de+biogas+a+partir+de+residuos+agricolas+mediante+digestion+anaerobia/en/todo/and//en/todo/limitado_a/todos/entre/1970/y/2020///1
- GUILCAPI, M. F. (2016). *DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁSGENERADO POR LAS EXCRETAS DE GANADO VACUNO, EN EL CRIADERO "JERSEY CHUGLLIN*. Riobamba.
- Herrero, Jaime Marti. (2008). *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*. La Paz - Bolivia.
- INAMHI. (2015). *Anuario metereológico Nro. 52-2012*. Quito.
- INAMHI. (2017). *Anuario metereológico N° 53-2013*. Quito.
- INAMHI. (2020). *Red de estaciones automáticas hidrometereológicas*. Quito.
- INEN. (2013). *Agua. Calidad del agua.muestreo. manejo y conservación de muestras*. QUITO.
- JuvenilesCampesinos, F. H. (2004). *Granja Integral Autosuficiente*. Bogota: San Pablo.
- Marcial, A. P. (2017). *Análisis de la demanda de urea en el ecuador estimando los posibles cambios en el uso de fertilizantes por el cambio de matriz productiva*. GUAYAQUIL.

- María Teresa Varnero Moreno. (2011). *Manual de biogás*. Santiago de Chile.
- Martí Herrero, J. (2019). *Biodigestores tubulares, Guía de diseño y manual de instalación*. Ecuador: Redbiolac.
- Martí, J. (2011). *Reduced hydraulic retention times in low-cost tubular digesters: Two issues*. *Biomass and bioenergy*. Barcelona: ELSEVIER.
- Martí, J. (2019). *Biodigestores tubulares guía de diseño y manual de instalación*. Ecuador: RedBiolac.
- Martí, J., Vargas, J. P., Cuji, P., Ramírez, V., Rodríguez, L., López, D., & Cipriano, J. (2015). *Mantenimiento y reparación de biodigestores*.
- Martí, Jaime. (2012). *Biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para, trópico, valle y altiplano. Guía de Diseño y manual de instalación de Biodigestores familiares*. Bolivia: GTZ PROAGRO.
- Martí, Jaime; Cipriano, Jordi. (2012). *Design methodology for low cost tubular digesters*. *Bioresource Technology*. Barcelona: ELSEVIER.
- Medina, A., Quipuzco, L., & Buscamaita, J. (2014). Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de ovino producido a través de biodigestores. *Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú*.
- Oppenoorth, L. W. (2014). Estudio sobre el biol, sus usos y resultados. 52.
- Organización Meteorológica Mundial. (2020). *Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2019*. Suiza: OMM.
- Orty biodigestores. (Junio de 2017). *Sobre biodigestores*. Obtenido de Como construir un biodigestor: <https://info-digestores.blogspot.com/2017/06/como-construir-un-biodigestor.html>
- Poggio, D. (2007). *Diseño y construcción de dos digestores anaeróbicos en el altiplano andino peruano*.
- Porcino, U. (2005). *Universo porcino*. Obtenido de <http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/index.html>
- RedBioCol. (03 de 2020). *Red colombiana de energía de la biomasa*. Obtenido de Seguimos sembrando biodigestores.
- Rodriguez, L., & Preston, T. R. (s.f.). *Biodigester installation manual*. Vietnam: University of Tropical Agriculture Foundation.

Tapia, V. (2016). *Instalación y uso de biogás*. Lima.

Urrutia Arias, D. J. (2019). *Diseño, construcción y pruebas preliminares de biodigestor para pequeñas comunidades*. Universidad de Concepción.

Villareal, M. (22 de Junio de 2019). Granja El Carmen. (D. Achig, Entrevistador)