



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## DIRECCIÓN DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

### MODALIDAD: INFORME DE INVESTIGACIÓN

**Título:**

---

“GENERACIÓN DE BIOGÁS EN EL GRUPO AVÍCOLA SAN VICENTE DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA EN EL AÑO 2021, A PARTIR DE LAS EXCRETAS DE LAS AVES DE CORRAL. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BIODIGESTOR”.

---

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en Gestión de Energías.

**Autor:**

Ing. Fiallos Velasco Pablo Javier

**Tutor:**

MSc. León Segovia Marco Aníbal

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2022**

## AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación: **“Generación de biogás en el Grupo Avícola San Vicente de la ciudad de Riobamba en el año 2021, a partir de las excretas de las aves de corral. Propuesta de diseño de un biodigestor”** presentado por Fiallos Velasco Pablo Javier, para optar por el título de magíster en Gestión de Energías.

### CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, 26 de agosto del 2022

.....  
MSc. León Segovia Marco Aníbal

C.C: 050230540-2

Tutor

## AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: **“Generación de biogás en el Grupo Avícola San Vicente de la ciudad de Riobamba en el año 2021, a partir de las excretas de las aves de corral. Propuesta de diseño de un biodigestor”** ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Gestión de Energías; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que los estudiantes pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, 26 de agosto del 2022



.....  
PhD. Marrero Ramírez Secundino  
C.C.: 1757107907  
Presidente del tribunal



.....  
MSc. Pacheco Mena Carlos Francisco  
C.C.: 0503072902  
Lector 2



.....  
MSc. Toaza Iza Jimmy Xavier  
C.C.: 1717621062  
Lector 3

## DEDICATORIA

A Dios por ser el herrero de mi existencia; a mis padres quienes desde pequeño me inculcaron valores logrando ser la persona que soy; a mis hermanos reflejo de las enseñanzas vividas en la familia donde me realicé; a mi esposa e hijas Sonia, Daniela, Emily y Oriana, que con altas y bajas siempre estuvieron presentes compartiendo momentos de recreación, alegrías y tristezas cuando más las necesité.

A todas las personas que, gracias a la experiencia adquirida por tantos años de práctica e investigación, pueden hacer de este mundo uno mejor, no para nosotros si no para las futuras generaciones.

Pablo Javier

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento a mi familia, padres, esposa e hijas por ser ese empuje y apoyo infinito y que pese a todo lo vivido siempre han creído en mi persona.

A la Universidad por haber permitido que sea participe de la formación impartida en sus aulas, a Marco León y a los miembros del tribunal por su apoyo y comprensión.

Pablo Javier Fiallos Velasco

## RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, 26 de agosto del 2022



.....  
Ing. Fiallos Velasco Pablo Javier  
C.C: 060301942-3

## RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, 26 de agosto del 2022



.....  
Ing. Fiallos Velasco Pablo Javier  
C.C: 060301942-3

## AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: **“Generación de biogás en el Grupo Avícola San Vicente de la ciudad de Riobamba en el año 2021, a partir de las excretas de las aves de corral. Propuesta de diseño de un biodigestor”** contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, 26 de agosto del 2022



.....  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL  
PhD. Marrero Ramírez Secundino  
C.C.: 1757107907



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**Título:** “Generación de biogás en el Grupo Avícola San Vicente de la ciudad de Riobamba en el año 2021, a partir de las excretas de las aves de corral. Propuesta de diseño de un biodigestor”.

**Autor:** Ing. Fiallos Velasco Pablo Javier

**Tutor:** MSc. León Segovia Marco Aníbal

**RESUMEN**

El presente trabajo constituye un beneficio para tratar los residuos orgánicos generados en el Grupo Avícola San Vicente de la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo. Por tal motivo se pretende desarrollar un biodigestor a partir de las excretas de pollos de engorde o gallinaza para generación de biogás como energía alternativa, la cual permite optimizar recursos. En la selección y diseño del biodigestor que se ajuste a las condiciones de la avícola, se consideran aspectos como el espacio de construcción, tipo de materia prima, costos, mantenimiento, operación, rendimiento y vida útil, criterios necesarios que permiten seleccionar y dimensionar el biodigestor. El biodigestor de flujo continuo tubular tipo balón de bajo costo, requiere para su desempeño óptimo una carga de 0,709 m<sup>3</sup> diarios, con una relación de 1 : 3. La producción estimada de biogás al cabo de 42 días será de 11,46 m<sup>3</sup>/día. Se presenta el análisis económico con el ahorro alcanzado por la propuesta; sin dejar de lado el beneficio social y ambiental, que es de suma importancia para el desarrollo de la comunidad en general. Con el aprovechamiento de la biomasa residual proveniente de la avícola, se fomenta beneficios a todo nuestro ecosistema, reduciendo emisiones de gas nocivos a la atmósfera y proveyendo de nutrientes para conservar los suelos y ser partícipes de un mundo más limpio.

**PALABRAS CLAVE:** Biomasa; biodigestor; biogás; avícola; tratamiento de residuos; energía limpia; impacto ambiental.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**THEME:** "Biogas generation in the San Vicente Poultry Group in the city of Riobamba in the year 2021, from poultry excreta. Proposal for the design of a biodigester".

**Author:** Ing. Fiallos Velasco Pablo Javier

**Tutor:** MSc. León Segovia Marco Aníbal

**ABSTRACT**

This work is a benefit to treat organic waste generated in the San Vicente Poultry Group in the city of Riobamba, province of Chimborazo. For this reason, it is intended to develop a biodigester from broiler chicken excreta or chicken manure to generate biogas as an alternative energy, which allows optimizing resources. In the selection and design of the biodigester that adjusts to the conditions of the poultry farm, aspects such as construction space, type of raw material, costs, maintenance, operation, performance and useful life are considered, necessary criteria that allow selecting and sizing the biodigester. The low-cost, continuous flow, tubular, balloon-type biodigester requires for its optimum performance a load of 0.709 m<sup>3</sup>/day, with a ratio of 1: 3. The estimated biogas production after 42 days will be 11.46 m<sup>3</sup>/day. The economic analysis is presented with the savings achieved by the proposal; without leaving aside the social and environmental benefit, which is of utmost importance for the development of the community in general. With the use of the residual biomass from poultry farming, benefits to our entire ecosystem are promoted, reducing emissions of harmful gases into the atmosphere and providing nutrients to conserve soils and be participants in a cleaner world.

**KEYWORDS:** Biomass; Biodigester; Biogas; Poultry; Waste treatment; Clean energy; Environmental impact.

Alison Paulina Mena Barthelotty, con cédula de identidad número: 0501801252 Licenciada en Ciencias de la Educación especialidad Inglés, con número de registro de la SENESCYT: 1020-06-657642 CERTIFICO haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: "GENERACIÓN DE BIOGÁS EN EL GRUPO AVÍCOLA SAN VICENTE DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA EN EL AÑO 2021, A PARTIR DE LAS EXCRETAS DE LAS AVES DE CORRAL. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BIODIGESTOR. de Fiallos Velasco Pablo Javier, aspirante a Magister en Gestión de Energías.

Latacunga, agosto de 2022

  
Lic. Alison Mena Barthelotty MSc.  
CC: 0501801252



CENTRO  
DE IDIOMAS

## ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	I
AVAL DEL TUTOR.....	II
AVAL DEL TRIBUNAL.....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA.....	VI
RENUNCIA DE DERECHOS.....	VII
AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT .....	X
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVIII
INTRODUCCIÓN .....	1
Situación Problémica.....	1
Justificación de la Investigación.....	2
Objeto de la Investigación.....	2
Formulación del Problema de la Investigación.....	2
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
Hipótesis.....	3
Sistemas de tareas por objetivos específicos.....	3
Alcance.....	4
Términos.....	5
CAPITULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA - METODOLÓGICA.....	9

1.1	Fundamentación del estado del arte. ....	9
1.2	Fundamentación Teórica. ....	11
1.2.1	Biomasa. ....	11
1.2.2	Fuentes de biomasa. ....	12
	Según su composición. ....	12
	Según su origen. ....	13
	Natural. ....	13
	Residual. ....	13
	Cultivos energéticos. ....	14
	Según su estado. ....	14
	Biomasa sólida. ....	14
	Biomasa líquida. ....	14
	Biomasa gaseosa. ....	14
1.2.3	Métodos de producción de la biomasa. ....	14
	Procesos termoquímicos. ....	16
	Combustión directa. ....	16
	Pirólisis. ....	16
	Gasificación. ....	16
	Procesos bioquímicos. ....	16
	Fermentación alcohólica. ....	16
	Fermentación metánica. ....	17
	Características energéticas de la biomasa. ....	17
	Beneficios e impactos del uso de la biomasa. ....	18
	Ventajas ambientales. ....	18
	Ventajas socioeconómicas. ....	18
	Impactos ambientales. ....	19

Impactos socioeconómicos.....	19
1.2.4 Biodigestor.....	19
Características y parámetros de funcionamiento de un biodigestor.....	19
Tipos de biodigestores.....	21
Biodigestor de domo móvil.....	21
Biodigestor de balón .....	22
Biodigestor de domo fijo.....	23
Elementos básicos de un digestor. ....	26
Tanque de mezclado o carga.....	26
Entrada de materia orgánica (afluente).....	27
Salida de la materia orgánica (efluente).....	27
Sistema de extracción de lodos. ....	27
Recipiente reactor.....	27
Sistema de almacenamiento y transporte de biogás.....	27
1.2.5 Fundamentos de la digestión anaerobia. ....	28
1.2.6 Productos de la digestión anaerobia.....	29
Biogás.....	29
Equipos donde el biogás puede ser utilizado. ....	30
Bioabono.....	32
1.2.7 Etapas de la fermentación metanogénica.....	33
La hidrólisis.....	33
La etapa fermentativa acidogénica y acetanogénica.....	33
La metanogénica.....	34
1.2.8 Factores determinantes que condicionan el proceso microbiológico.	
35	
Composición y naturaleza de materia orgánica.....	35

Temperatura. ....	36
pH. ....	37
Nutrientes y compuestos inhibidores. ....	37
Presencia de Agentes Inhibidores. ....	38
1.2.9    Parámetros de operación básicos. ....	38
Velocidad de carga orgánica. ....	39
Tiempo de retención hidráulico. ....	39
Grado de agitación o mezcla en el reactor. ....	40
1.2.10    Fuente de investigación. ....	40
1.3    Fundamentación Metodológica. ....	42
1.3.1    Enfoque. ....	42
1.3.2    Modalidad de la investigación. ....	43
Investigación exploratoria. ....	43
Investigación correlacional. ....	43
Investigación documental. ....	43
1.3.3    Determinación de las variables. ....	43
1.3.4    Técnicas e instrumentos de investigación. ....	44
1.4    Conclusiones Capítulo I. ....	45
Capitulo II. PROPUESTA .....	47
2.1    Introducción. ....	47
2.2    Título de la propuesta. ....	47
2.3    Objetivo. ....	47
2.4    Justificación de la propuesta. ....	47
2.5    Selección del biodigestor. ....	48
2.5.1    Matriz de decisión. ....	48
2.6    Estructura de la propuesta. ....	53

2.7	Desarrollo de la propuesta.....	53
2.7.1	Residuos orgánicos disponibles. ....	54
2.8	Características constructivas del biodigestor. ....	60
2.8.1	Selección de la geomembrana y dimensionamiento de la zanja. ....	61
2.8.2	Construcción del agitador. ....	65
2.8.3	Implementación del tanque de ingreso de afluente y tanque de salida de efluente.....	65
2.8.4	Línea de salida y conducción de biogás. ....	66
2.8.5	Válvula de seguridad, filtro atrapa olores y puga de condensado... ..	66
2.9	Alimentación y primera utilización del biodigestor.....	67
2.10	Mantenimiento diario y últimos detalles.....	67
2.11	Conclusiones Capítulo II.....	68
Capitulo III. APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA .....		69
PROPUESTA .....		69
3.1	Análisis de los resultados.....	69
3.1.1	Parámetros y costos de construcción del biodigestor de flujo continuo tipo balón. ....	69
3.2	Aplicación en los recursos energéticos de la avícola. ....	71
3.4	Validación técnica - económica, de los resultados.....	73
3.5	Evaluación social. ....	74
3.6	Evaluación ambiental.....	75
3.7	Conclusiones capitulo III .....	75
CONCLUSIONES GENERALES .....		76
RECOMENDACIONES .....		76
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....		78
ANEXOS.....		81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I	Sistemas de tareas por objetivos específicos.....	4
Tabla II	Fuentes de biomasa según su composición.....	13
Tabla III	Termoquímica y bioquímica de los procesos de clasificación. ....	15
Tabla IV	Composición y característica del biogás.....	20
Tabla V	Rendimiento del biogás. ....	20
Tabla VI	Ventajas y desventajas de los biodigestores más comunes.....	25
Tabla VII	Diferencias y similitudes entre los modelos de biodigestores más conocidos	26
Tabla VIII	Características del biogás.....	30
Tabla IX	Aplicaciones del biogás. ....	31
Tabla X	Composición de bioabono a partir de estiércol vacuno en base húmeda	32
Tabla XI	Origen de diversas materias orgánicas.....	36
Tabla XII	Tiempo de fermentación y rango de temperatura. ....	37
Tabla XIII	Sustancias inhibidoras en un proceso anaeróbico ....	38
Tabla XIV	Tiempo de retención hidráulico ....	40
Tabla XV	Operacionalización de variables ....	44
Tabla XVI	Factor por evaluar, con su ponderación. ....	49
Tabla XVII	Matriz de evaluación biodigestor Tipo Chino.....	50
Tabla XVIII	Matriz de evaluación biodigestor Tipo Balón.....	51
Tabla XIX	Matriz de evaluación biodigestor Tipo Hindú. ....	51
Tabla XX	Valores y características del estiércol de animales ....	55
Tabla XXI	Ancho de geomembrana.....	61
Tabla XXII	Resumen del dimensionamiento del biodigestor.....	64



Tabla XXIII	Materiales para la construcción del biodigestor. ....	65
Tabla XXIV	Materiales para la construcción del agitador. ....	65
Tabla XXV	Materiales para la construcción del tanque de carga y descarga. .	66
Tabla XXVI	Materiales para salida y conducción de biogás. ....	66
Tabla XXVII	Válvulas de seguridad y purga, filtro atrapa olores.....	67
Tabla XXX (TIR)	Análisis del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno 73	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Fuentes de biomasa Fuente: Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad	12
Figura 2	Proceso de digestión anaeróbica Fuente: Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado.....	17
Figura 3	Clasificación de biodigestores simples más empleados Fuente: Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas .....	21
Figura 4	Biodigestor de campana flotante Fuente: Biodigestor.....	22
Figura 5	Digestor de balón: la parte superior se infla a medida que el biogás se recoge en ella Fuente: (Consolidation of information) .....	23
Figura 6	Biodigestor tipo chino Fuente: Biodigestor .....	23
Figura 7	Usos de biogás Fuente: Guía Implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas.....	31
Figura 8	Etapas del proceso de digestión anaerobia Fuente: Guía de planificación para proyectos de biogás en Chile.....	35
Figura 9	Composición de biogas en función del pH Fuente: Manual de Biogás	37
Figura 10	Ubicación Grupo Avícola San Vicente Fuente: Autor.....	41
Figura 11	Grupo Avícola San Vicente Fuente: Autor .....	41
Figura 12	Distribución de galpón de 20000 aves de engorde Fuente: Autor ...	42
Figura 13	Metodología de diseño del biodigestor Fuente: Guía Implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas.....	45
Figura 14	Selección del sitio Fuente: Autor .....	54
Figura 15	Determinación de la cuerda para cálculo del volumen de gas Fuente: Autor	62
Figura 16	Dimensiones de la zanja Fuente: Autor .....	62
Figura 17	Esquema de excavación de la zanja Fuente: Autor .....	63

Figura 18	Colocación de geomembrana sobre la fosa preparada Fuente: Autor	64
Figura 19	Tasa interna de retorno (TIR) Fuente: Autor .....	74

# INTRODUCCIÓN

## **Situación Problemática.**

La energía al ser necesaria para el progreso económico y sustentable de un país, cubrir necesidades de su localidad, contribuir a la matriz productiva como el mecanismo principal para su desarrollo, ha impulsado el avance tecnológico e industrial a nivel mundial. En la actualidad, la mayor parte de países buscan la generación de fuentes de energía distintas a las tradicionales, validando como opción el uso de otros recursos como una fuente de energía alterna, siendo una de estas fuentes la producida por la biomasa, proceso de fermentación anaeróbica donde los desechos orgánicos al descomponerse no emanan gases que contaminan el ambiente, en su lugar entregan productos orgánicos que mejoran la calidad de vida de los seres humanos.

La acumulación de desechos orgánicos de diferente índole y en especial la producida en las avícolas de la provincia del Chimborazo, en los últimos años ha aumentado; debido al incremento continuo del consumo de carne y huevos. Para (Fontenot, 1998, pág. 65) “Inevitablemente, al aumentar la producción avícola, es mayor la cantidad de desechos orgánicos. Por su composición, estas se han utilizado, principalmente, como fertilizantes orgánicos y como ingredientes de las dietas para animales de granja.”. Con relación a la crianza de aves y producción de huevos, que, si bien contribuye a las necesidades alimentarias de la población, por otro lado, crea un problema debido a las grandes cantidades de excretas que al no ser aprovechadas de manera correcta (proceso de biodegradación) contaminan el ambiente.

La avícola cuenta con 19 galpones, por cada levante de 20000 aves son utilizados para calefacción del ambiente 210 cilindros de GLP, los costos del gas no subsidiado provocan gastos elevados que cubren la demanda energética necesaria para las actividades de producción, con la utilización del biogás dichos costos podrán reducir, obtener una mayor rentabilidad y mejorar el medio ambiente de la granja.

El Grupo Avícola San Vicente tras el levante de cada galpón, vende la biomasa para utilización en la agricultura como abono. (Chávez Revelo, 2012) indica que este

tipo de residuos al ser liberados al ambiente se convierten en un grave peligro para los ecosistemas, llegando a contaminar las fuentes de agua, los suelos donde son esparcidos y hasta el agua potable, llegando a afectar la salud de los seres humanos.

Al observar la cantidad de materia orgánica, se evalúa la factibilidad de generación de un biocombustible (biogás) como energía alterna, y poder utilizarse para calefacción en las etapas de crianza de las aves, además de la obtención de un fertilizante (biol) materia que podría ser utilizada en la agricultura, orientada a generar un ahorro sustancial en la avícola y disminuir la contaminación ambiental.

### **Justificación de la Investigación.**

Nuestro país en los últimos años ha sufrido un incremento considerado en el precio del combustible fósil, además, de la escasez de fuentes de energía alternas y elevados niveles de contaminación ambiental, es por ello que el presente proyecto se direcciona a la obtención de un combustible más amigable, que busque soluciones de reemplazo a las energías no renovables y a preservar el ecosistema, aplicable en estos lugares donde se podrían mejorar las condiciones de vida de la población aledaña, alcanzando mejor rentabilidad y salud en sus trabajadores.

El proyecto pretende utilizar los residuos orgánicos de las aves de corral generados en la avícola dentro de un biodigestor, con la finalidad de conseguir recursos de energía que reemplacen a la energía convencional, la transformación de la materia orgánica producto de la digestión será controlada y aprovechada el potencial para calefacción en las etapas de crianza de las aves, además, de la utilización del fertilizante en la producción agrícola dentro del sector, percibiendo la avícola un ahorro considerable por la aplicación de esta fuente de energía renovable.

### **Objeto de la Investigación.**

El objeto de estudio de la investigación es el aprovechamiento de las excretas de las aves de corral en la generación de un combustible alterno (biogás).

Esta investigación se realizará en el Grupo Avícola San Vicente, sector Cerro Negro de la ciudad de Riobamba en el año 2021.

### **Formulación del Problema de la Investigación.**

¿Cómo incide la cantidad de excretas de las aves de corral en la generación de combustible (biogás) en el Grupo Avícola San Vicente de la ciudad de Riobamba en el año 2021?

¿Cuál es la rentabilidad por obtener a partir de la generación de biogás, con el diseño de un biodigestor en el grupo avícola?

El problema de la investigación se limita en aprovechar una parte de las excretas de las aves de corral, dimensionando un biodigestor que genere un combustible alternativo (biogás), para usarlo como energía alternativa en la calefacción de uno de los galpones de la avícola, mejorando su rentabilidad por el ahorro que genera la utilización del combustible en la granja.

### **Objetivo General.**

Diseñar un Biodigestor para la generación de biogás a partir de las excretas de las aves de corral en el Grupo Avícola San Vicente de la ciudad de Riobamba en el año 2021

### **Objetivos Específicos.**

- Establecer la documentación científica técnica base para la realización de la investigación y desarrollo de la propuesta.
- Desarrollar un biodigestor idóneo utilizando una matriz de decisión, que permita generar un volumen de biogás, el cual admita un ahorro considerable dentro de la avícola.
- Proponer la validación del diseño y aplicación del biodigestor, con base en el beneficio del análisis técnico – económico.

### **Hipótesis.**

La biomasa residual del Grupo Avícola San Vicente de la ciudad de Riobamba permite el desarrollo de un biodigestor, que aproveche el poder energético, disminuya el impacto ambiental y promueva un ahorro económico en la avícola.

### **Sistemas de tareas por objetivos específicos.**

El sistema de tareas en relación con los objetivos específicos propone a través de actividades y/o tareas, describir los resultados esperados y las técnicas e instrumentos de investigación necesarios para la consecución de lo planeado.

Tabla I Sistemas de tareas por objetivos específicos

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Actividad (tareas)</b>	<b>Resultado de la actividad</b>	<b>Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)</b>
Establecer la documentación científica técnica base para la realización de la investigación y desarrollo de la propuesta.	Información adquirida de guías y artículos especializados en generación.	Documentación bibliográfica utilizada en el sustento documental del proyecto.	Análisis de fuentes bibliográficas. Lectura crítica.
Desarrollar un biodigestor idóneo utilizando una matriz de decisión, que permita generar un volumen de biogás, el cual admita un ahorro considerable dentro de la avícola.	Levantamiento de información del poder energético del grupo avícola.	Propuesta de diseño y dimensionamiento óptimo del biodigestor.	Utilización de la matriz de decisión la cual nos permite seleccionar el biodigestor. comparación de selección óptima en relación con el diámetro longitud del biodigestor. Cálculos.
Proponer la validación del diseño y aplicación del biodigestor, con base en el beneficio del análisis técnico – económico.	Validación de la propuesta de investigación.	Beneficio alcanzado por el consumo de biogás.	Análisis e interpretación de los resultados mediante la equivalencia del combustible utilizado con la propuesta de biogás generado. Determinación del ahorro generado por el biogás.

Fuente: Autor

### **Alcance.**

La investigación tiene como alcance, el aprovechamiento de los desechos orgánicos de las excretas de las aves de corral que se genera en el Grupo Avícola San Vicente de la ciudad de Riobamba, utilizando un biodigestor acorde a las condiciones de la avícola.

Se describe de manera general el contenido de cada capítulo con los que está compuesta la presente investigación.

En el capítulo I, se estudia el problema de investigación, realizando una contextualización del estado del arte y marco teórico, estableciendo el objeto y justificación del problema, su metodología, modalidad, tipo de investigación, haciendo referencia a las variables que servirá como base para cumplir el objetivo de la investigación.

En el Capítulo II, se desarrolla la propuesta de selección del biodigestor utilizando una matriz de decisión, para a continuación establecer el dimensionamiento del biodigestor y determinar la energía generada por una parte de la materia orgánica con que cuenta la avícola.

En el Capítulo III, se evalúan los resultados obtenidos y la aplicación dentro de la avícola, se analiza la factibilidad de utilizar el biogás como un recurso energético que entregue un beneficio para el grupo avícola San Vicente.

#### **Términos.**

**Abono:** Toda materia agregada al suelo para aumentar su rendimiento y calidad de los productos y hacerlo más fértil.

**Abonos orgánicos:** Término usado al material que se obtiene de la degradación de residuos orgánicos de origen animal, vegetal o mixto.

**Acidogénesis:** Etapa microbiológica donde los aminoácidos, azúcares, ácidos orgánicos, producidos en la Hidrólisis, son transformados a alcoholes, dióxido de carbono, hidrógeno y ácidos grasos volátiles, por oxidantes anaerobios.

**Acetogénesis:** Etapa microbiológica donde los Ácidos Grasos Volátiles y los alcoholes formados en la Acidogénesis, son degradados a acetato, gas carbónico e hidrógeno principalmente, por medio de bacterias.

**Afluente:** Material que ingresa al biodigestor.

**Bacteria:** Son organismos que se encuentran en cualquier parte de la tierra, son vitales para los ecosistemas del planeta.



**Biodegradable:** Materia que se descompone o pierde sus características en contacto con el medio ambiente.

**Biodigestión anaerobia:** Proceso de fermentación microbiana de materias orgánicas en ausencia de oxígeno.

**Biodigestor:** Equipo cerrado y hermético que permite la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, en su interior se descompone la biomasa en biogás y biol.

**Biogás:** Gas renovable compuesto principalmente de metano que se genera en medios naturales o artificiales (dispositivos específicos), por medio de organismos (bacterias), puede ser almacenado y utilizado como combustible.

**Biocombustible:** Son portadores de energía derivada de materias orgánicas (biomasa), como el estiércol, residuos de cultivos, al quemarse liberan CO<sub>2</sub> sin emisiones de carbono.

**Biol:** abono de tipo orgánico, resultado del proceso de fermentación anaerobia.

**Biomasa:** Energía renovable biológica en la que se emplea la materia que proviene de animales y plantas, además de los residuos orgánicos como fuente de energía.

**Catabólico:** Proceso que consiste en degradar nutrientes orgánicos en productos finales más simples.

**Carga del biodigestor:** Alimentación realizada al reactor del sistema por material orgánico.

**Combustible:** Materia capaz de producir energía de manera violenta cuando se oxida, desprendiendo calor y energía luminosa.

**Combustión:** Es toda reacción química, del combustible con el comburente relativamente rápida.

**Comburente:** Compuesto o sustancia que favorece la combustión, bajo condiciones de temperatura y presión en presencia de un combustible.

**Efluente:** Material que sale del biodigestor.

**Energía:** Es todo aquello que tiene la capacidad de producir trabajo.

**Fermentación:** Degradación gradual de materias orgánicas en ausencia de oxígeno.

**Fertilizante:** Sustancia inorgánica u orgánica con alto contenido de nutrientes aprovechadas por plantas, para obtener una mayor producción.

**Gallinaza:** Excremento de pollos de engorde, gallina y otras aves de corral semejantes.

**Gasificación:** Proceso en el que un sustrato es transformado a gas combustible mediante reacciones termoquímicas.

**Geomembrana:** Láminas sintéticas que aseguran la estanqueidad de una superficie.

**Hidrólisis:** Reacción química en la que el agua actúa sobre otras sustancias, para formar sustancias nuevas.

**Medio ambiente:** Es nuestro entorno vital, es todo sistema compuesto por el hombre, flora y fauna y las interacciones entre ellos.

**Metano:** Combustible fósil más limpio, las excretas y la agricultura son la fuente predominante de este gas.

**Metanogénesis:** Etapa final del proceso de digestión anaerobia que implica la conversión de compuestos simples de carbono en metano por la acción de bacterias metanogénicas.

**Pirólisis:** Descomposición de materia orgánica, causada por el calentamiento a altas temperaturas en ausencia de oxígeno.

**Reciclado:** Es toda materia reutilizada por el hombre.

**Remoción de lodos:** Proceso empleado para descargar biodigestores, elimina la presencia de sólidos acumulados durante el proceso de digestión anaerobia.

**Residuos orgánicos:** Son residuos biodegradables de origen vegetal o animal, capaces de degradarse biológicamente y rápidamente en otro tipo de materia orgánica.

**Sustrato:** Superficie donde los seres vivos realizan funciones vitales, (relación, nutrición, reproducción).

**Vida útil:** Período en el que un sistema, proceso o material cumple con la función requerida para el cual fue diseñado o construido.

## **CAPITULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA - METODOLÓGICA**

### **1.1 Fundamentación del estado del arte.**

El alto consumo de carne y huevos proveniente de las aves, en los últimos años ha ido en aumento, y con ello el fomento de creación de avícolas, cantidad de biomasa, mismas que han viabilizado el estudio de aplicaciones destinadas a aprovechar esta materia orgánica.

El sector avícola es posiblemente el de mayor crecimiento y el más flexible de todos los sectores de la ganadería. Impulsado principalmente por una fuerte demanda, se ha expandido consolidado y globalizado en los últimos 15 años en países de todos los niveles de ingreso (FAO, 2013, pág. 1).

Las aves de corral, en esencial su carne y huevos presenta una alta proteína, son productos accesibles y de calidad, presente en la dieta de la población y diversas etnias en todo el mundo, según (FAO, 2013, pág. 3), en los países menos desarrollados, el aumento previsto en el consumo de huevos entre 2005 y 2015 se estima en un 26 por ciento en comparación con solo el 2,4 por ciento en los países más desarrollados. Las previsiones anuales del consumo de carne de ave de corral son de un 2,9 por ciento y un 1,6 por ciento, respectivamente.

La contaminación por aerosoles procedentes de la producción de aves de corral está caracterizada, en general, por contaminantes, incluidos gases (como el amoníaco), partículas (polvo) y microorganismos patógenos suspendidos en el aire dentro de los alojamientos o áreas de contención de las aves y transportados desde allí a otros lugares (FAO, 2013, pág. 55.).

Las emisiones de gases de este sector ganadero, producto de la gallinaza, camas secas o húmedas, están presentes durante la crianza de las aves o por el almacenamiento para aplicación en el cultivo, son transportadas por sistemas de ventilación, ventilación manual, provocando daños a la salud de crías menores o a trabajadores del lugar.

Estrategias técnicas y tecnológicas han sido creadas para reducir la contaminación producto de estos aerosoles; con el uso de mascarillas, protectores visuales, se han logrado reducir los riesgos en la salud en los trabajadores.

Mediante aplicaciones de compostaje, se ha eliminado cierta cantidad de excretas, pero no así en su totalidad, la alta generación de esta biomasa y la falta de lugares de almacenamiento dificultan el correcto manejo de este residuo.

La existencia y disponibilidad de recursos de biomasa en todo el mundo, constituye una alternativa eficaz frente al contexto de cuidado del medio ambiente y crisis energética local e internacional; la matriz energética utilizada en nuestro país posibilita oportunidades y desafíos para el desarrollo de nuevas energías renovables, aplicando conocimientos, técnicas y nuevas tecnologías.

Las oportunidades que presentan las nuevas formas de utilización de la biomasa han conducido a la proliferación de grandes proyectos de generación de bioenergía, en especial en los países desarrollados (Fundación energía sin fronteras (EsF), 2012, pág. 10).

El 2012 se ha declarado el “Año Internacional de la Energía Sostenible para Todos” con el fin, de entre otros, garantizar el acceso universal a servicios energéticos modernos para 2030, mediante la participación de los gobiernos, sector privado y la sociedad civil en todo el mundo (Fundación energía sin fronteras (EsF), 2012, pág. 16).

Actualmente, existen desarrollos tecnológicos accesibles y asequibles que permiten un aprovechamiento eficiente de la biomasa a pequeña escala, tanto para la obtención de energía térmica para el cocinado y la calefacción, como para la generación de electricidad a través de biogás, o para la provisión de biocombustibles líquidos para la utilización en motores agrícolas, para su uso en el transporte y para la generación de electricidad (Fundación energía sin fronteras (EsF), 2012, pág. 23) .

Bajo estos conceptos la producción de biogás a partir de los residuos provenientes de las avícolas como una fuente de energía, se han desarrollado en muchos países y han sido viables. Actualmente cientos son los biodigestores de distintos tipos que están funcionando en el planeta.

En la universidad de Santander se desarrolló un proyecto cuya finalidad fue, el aprovechamiento energético de una granja ganadero – avícola donde se obtuvieron excelentes resultados (Mantilla Suárez, 2017, págs. 43-52).

En la misma universidad Industrial de Santander se realizó otro proyecto de aprovechamiento energético de la biomasa residual del sector avícola, (Sanguino , Téllez, Escalante, & Vasquez, 2009), donde la cantidad de residuos era utilizada como compostada y reutilizada en los galpones luego de un proceso de desinfección, el estudio permitió aprovechar el potencial energético de la biomasa existente o parte de ella.

En la Universidad Técnica de Cotopaxi, proyectos destinados a la evaluación del potencial energético de la biomasa se han realizado, uno de estos es el ejecutado por, (Osorio, Carrera, Segovia, Toapanta, & Pazmiño, 2018, págs. 473-496), que como objetivo se propusieron el evaluar el potencial energético de la biomasa generada en una granja avícola.

## **1.2 Fundamentación Teórica.**

### **1.2.1 Biomasa.**

Según (Fundación energía sin fronteras (EsF), 2012, pág. 7) “Biomasa es cualquier tipo de materia orgánica de origen biológico producida en un pasado inmediato (quedan, por tanto, excluidos los combustibles de origen fósil)”. Es la fuente de energía renovable más antigua conocida por la humanidad, de ahí que el término biomasa es materia orgánica que proviene de plantas, desechos de animales que pueden convertirse en energía.

Los avances tecnológicos han logrado la conversión de biomasa en energía, mejorando las alternativas existentes y transformándola en combustibles gaseosos o líquidos a bajo costo y eficientes; obteniendo respuesta a problemas energéticos y contribuyendo al medio ambiente.

Dentro de las principales fuentes de biomasa podemos citar: campos agrícolas, forestales y residuos que solo una parte de ellos se utilizan con fines energéticos.

Según (Fortalecimiento de la Capacidad en Energía renovable para América Central, 2002, pág. 5) “Las denominadas granjas energéticas pueden suplir un

porcentaje significativo de los requerimientos energéticos mundiales y, al mismo tiempo, revitalizar las economías rurales, proveyendo energía en forma independiente, segura y logrando importantes beneficios ambientales. Las comunidades rurales pueden ser, entonces, energéticamente auto suficientes en un alto grado, a partir del uso racional de los residuos y administrando inteligentemente la biomasa disponible en la localidad”.

De ahí que, la biomasa es una fuente de energía renovable ya que su valor proviene del sol, formando materia orgánica y liberando la energía que contiene.

### 1.2.2 Fuentes de biomasa.

Las fuentes de biomasa utilizada como energía de acuerdo el Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario para la producción de energía engloban un extenso rango, según su composición, origen y estado (de Lucas Herguedas, del Peso Taranco, Rodríguez García, & Prieto Paniagua, 2012, pág. 5)

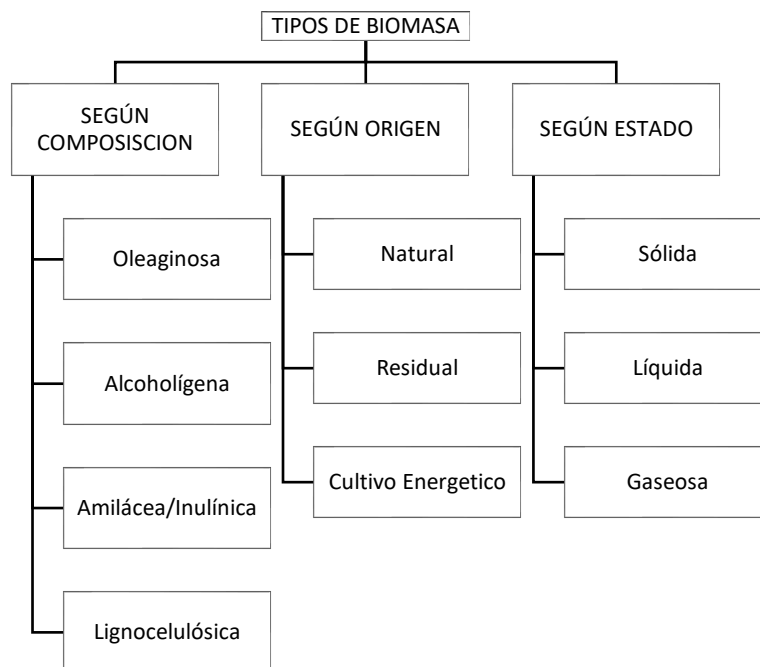


Figura 1 Fuentes de biomasa Fuente: Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad

#### Según su composición.

La tabla a continuación indica la clasificación según la composición, ejemplos basados en biomasa agrícola:

Tabla II Fuentes de biomasa según su composición

FUENTE	SUSTANCIA BIOORGÁNICA	EJEMPLOS	
<b>LIPIDOS</b>			
<b>Oleaginosa</b>		Semillas de girasol, soja, maíz, lino, almendro	
<b>HIDRATOS DE CARBONO</b>			
<b>Alcoholígena</b>	Monosacáridos	Glucosa	Pulpa de fruta
		Fructosa	Pulpa de fruta
	Disacáridos	Sacarosa	Caña de azúcar, sorgo dulce, remolacha
<b>Amilácea /Inulínica</b>	Polisacáridos	Insulina	Tubérculo de patata y rizomas de dalia, achicoria
		Almidón	Granos de cereal, Tubérculo de patata
<b>Lignocelulósica</b>	Polisacáridos	Hemicelulosa	Maderas en general
		Celulosa	Residuos lignocelulósicos

Fuente: Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad

### Según su origen.

Los recursos de biomasa están presentes y son muy variados según la región, como se ha manifestado, incluye cualquier fuente de materia orgánica que permite la conversión, según sea la factibilidad técnica y económica más adecuada dependiendo el origen de la fuente de biomasa.

### Natural.

Es la producida de manera espontánea por la naturaleza constituyendo la flora terrestre, ecosistemas donde no interviene el hombre. Como ejemplo claro encontramos a los residuos o subproducto que no son aprovechados como ramas, madera muerta, arbustos que serían fuente de energética pero que, su consumo masivo podría generar degradación de los ecosistemas naturales. Actualmente constituye la principal fuente de energía en comunidades y países en vía de desarrollo.

### Residual.

Generada por cualquier actividad humana en los diversos procesos productivos, resultado de sobrantes en industrias, agrícolas, forestales, ganaderos, así como la



originada por la población, entre otros. En algunos casos la única opción para estos residuos es el aprovechamiento energético.

### **Cultivos energéticos.**

Es la producida, es decir, tiene la finalidad de obtener energía. Especies leñosas de rápido crecimiento, palma africana, por nombrar algunos. Para la selección de su producción se considera la cantidad y no la calidad de biomasa.

### **Según su estado.**

Atienden a esta clasificación según la consistencia de la biomasa.

### **Biomasa sólida.**

Es la más conocida, son los residuos obtenidos de limpieza de parques, residuos sólidos de industrias, residuos forestales, cultivos energéticos, porción orgánica de residuos sólidos humanos.

### **Biomasa líquida.**

Dentro de este grupo enlistamos los residuos de fabricación de aceite, residuos ganaderos, aguas residuales urbanas de consistencia líquida.

### **Biomasa gaseosa.**

Es la obtenida de residuos de animales, residuos agroalimentarios, a través de procesos termoquímicos y microbiológicos.

### **1.2.3 Métodos de producción de la biomasa.**

Para (Jarabo Friedrich, Perez Dominguez, Elortegui Escartin, Fernández González, & Macias Hernández, 1988, pág. 145)” La baja densidad física y energética de gran parte de la biomasa tal como se recupera de los residuos o se recolecta directamente del terreno, así como su contenido en humedad, muchas veces alto, determinan que en la mayoría de los casos no sea adecuada como tal para reemplazar a los combustibles fósiles sólidos (carbón), líquidos (petróleo) o gaseosos (gas natural). Se hace necesaria, pues, la transformación previa de la biomasa en combustibles de mayor densidad energética y física, contándose para ello con diversos procedimientos, que generan una gran variedad de productos.

De lo enunciado anteriormente, existen diferentes tipos de biomasa, según (Quintero González & Quintero González, 2015, pág. 33). En la producción

energética a partir de biomasa se debe hacer una clara distinción entre el proceso termoquímico que incluye combustión, pirólisis y gasificación, y el proceso bioquímico que reconoce la fermentación y digestión anaerobia para el caso específico de la biomasa.

Tabla III Termoquímica y bioquímica de los procesos de clasificación.

<b>PROCESO DE CONVERSIÓN</b>	<b>SOLUCIONES TECNOLÓGICAS</b>	<b>PRODUCTO FINAL</b>
Procesos termoquímicos	Combustión	Vapor
		Procesos de calor
		Energía eléctrica
	Gasificación	Vapor
		Procesos de calor
		Energía eléctrica
		Gas combustible metano
	Pirólisis	Carbón
		Bio-carbón
Gas combustible		
Procesos bioquímicos	Fermentación	Etanol
	Digestión anaeróbica	Agua para riego
		Compost
		Biogás

Fuente: BIOMASS & BIOENERGY

En la actualidad los avances tecnológicos permiten procesos eficientes, limpios y de bajo costo que los tradicionales, estos procesos tratan de transformar la materia prima en otra forma mejor apropiada para su utilización y movilidad, dentro de los procesos tenemos.

### **Procesos termoquímicos.**

Utilizan calor para transformar la biomasa en condiciones variables de oxígeno, implican reacciones químicas. Esta degradación utiliza principalmente residuos con bajo contenido de humedad, produciendo energía térmica sólida, líquida o gaseosa de diferentes valores energéticos. Se subdividen en:

#### **Combustión directa.**

Reacción química del carbono e hidrógeno en presencia del oxígeno formando dióxido de carbono, agua y presencia de calor, las temperaturas en este proceso oscilan entre 600 y 1300 °C, el tipo de energía producida es utilizada en usos domésticos e industriales.

#### **Pirólisis.**

Proceso por el que se descompone la biomasa en ausencia del oxígeno, obteniendo residuos sólidos carbonosos (carbón vegetal), líquidos efluentes piroleñosos, y gases formados por hidrógeno, dependiendo del tiempo y temperatura de exposición.

#### **Gasificación.**

Proceso de calentamiento y descomposición de la biomasa en presencia de limitadas cantidades de oxígeno, produciéndose un combustible pobre (monóxido de carbono) por su menor poder calorífico. Se utiliza para fabricar combustibles líquidos como el metanol y la gasolina.

### **Procesos bioquímicos.**

Degradación de la biomasa utilizando diferentes microorganismos, presente en la biomasa original o añadidos durante la descomposición. Proceso que utiliza biomasa residual con un alto porcentaje de humedad. Dentro de este proceso están.

#### **Fermentación alcohólica.**

Proceso aeróbico en el cual la materia orgánica se transforma en alcohol por intervención de microorganismos, tras varias etapas como la trituración, molienda, fermentación, destilación y rectificación se obtienen biocombustibles como el metanol o alcohol metílico, y el etanol o alcohol etílico utilizados en la industria.

### Fermentación metánica.

Llamada también digestión anaeróbica, se lleva a cabo en ausencia de aire como sucede con el pirólisis, debida a la acción de bacterias y no a altas temperaturas. La biomasa se fermenta resultando una suspensión acuosa (lodo o fango) y otra gaseosa llamada biogás. Residuos ganaderos con alto contenido de humedad alimentan el proceso en biodigestores, los sólidos resultantes se emplean en alimentación para animales y como fertilizante de terrenos.

A continuación, se muestra un sistema de digestión anaeróbica, principal fuente de biomasa generadora y los usos más importantes según lo descrito anteriormente.

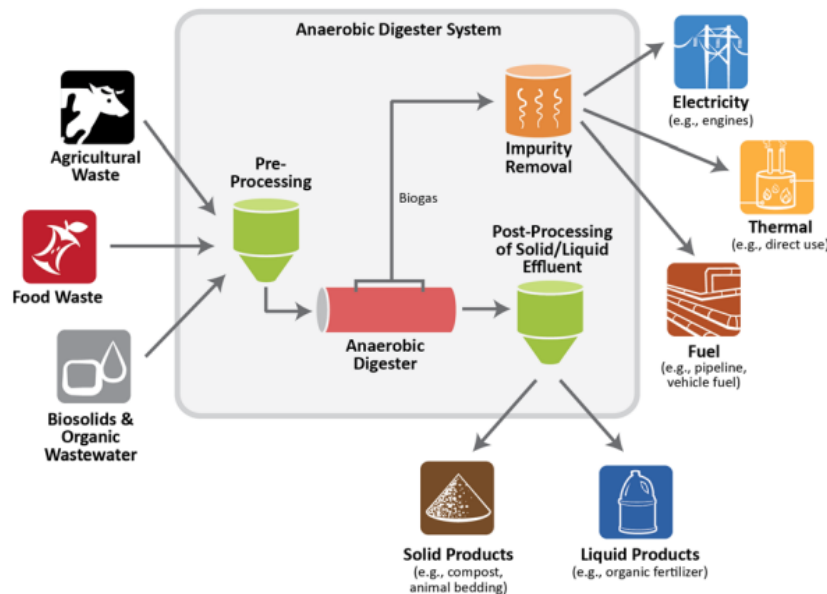


Figura 2 Proceso de digestión anaeróbica Fuente: Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado.

### Características energéticas de la biomasa.

En una conversión de biomasa a energía, la viabilidad técnica y económica es el punto de partida a considerar, estas dependen de ciertas variables, parámetros, composición y mejores condiciones posibles de la materia prima adecuada, dichas características benefician al ambiente y economizan recursos en el proceso de transformación. Estas variables según (de Lucas Herguedas, del Peso Taranco, Rodríguez García, & Prieto Paniagua, 2012, pág. 8) son:

- Composición química.

- Contenido de humedad.
- Porcentaje de cenizas.
- Poder calorífico.
- Densidad aparente.
- Recolección, transporte y manejo.

Recordemos que estas características difieren unas de otras a partir del tipo de recurso orgánico, permitiendo elegir el proceso de transformación más idóneo tanto técnico como económico.

### **Beneficios e impactos del uso de la biomasa**

Para (Fundación energía sin fronteras (EsF), 2012, pág. 27) el uso de la biomasa conlleva consecuencias favorables y desfavorables, tanto ambientales, sociales o económicos.

#### **Ventajas ambientales.**

- Disminución de emisiones de dióxido de carbono comparando con otros combustibles, su combustión no presenta un incremento en el efecto invernadero.
- No emiten contaminantes derivados de compuestos que contienen azufre y nitrógeno (causantes de la lluvia ácida).
- Disminuye residuos por la utilización de la biomasa proveniente de desechos de otras actividades.
- Con la presencia de cultivos energéticos se evita la degradación y erosión del suelo en tierras abandonadas.

#### **Ventajas socioeconómicas.**

- Al aprovechar la biomasa se obtiene variedad de energía, cumpliendo objetivos políticos nacionales.
- Disminuye la utilización de combustibles.
- Crean nuevas oportunidades agrícolas al incorporar cultivos energéticos.
- Al aprovechar los diversos tipos de biomasa aumenta la economía local, disminuyendo la gestión necesaria para adquisición de energía.

### **Impactos ambientales.**

- Quema ineficiente que contribuirá al cambio climático.
- El descontrol en la deforestación disminuiría la capacidad de retención del agua.

### **Impactos socioeconómicos.**

- Menores rendimientos energéticos en comparación con los combustibles fósiles.
- La cantidad de materia prima necesaria para producir una misma cantidad que los combustibles fósiles es mucho mayor, es decir presenta menor rendimiento energético. Lo que conlleva a un menor descanso comunitario y personal, o sea una menor disponibilidad para realizar otras actividades.

Además, según (Fundación energía sin fronteras (EsF), 2012, pág. 27) “infecciones respiratorias provenientes de la inhalación de humos y hollín en espacios interiores, el llamado “asesino de la cocina”, causa más de 1.5 millones de muertes prematuras al año debidas principalmente a neumonía en los niños o a enfermedades crónicas respiratorias en los adultos, principalmente mujeres”.

#### **1.2.4 Biodigestor.**

Para (Martí Herrero, Experiencias Latino Americanas en la implementación de estrategias para democratizar los biodigestores entre pequeños y medianos productores agropecuarios: Aportes a Ecuador, 2019, pág. 11) “Son sistemas en los que, en ausencia de oxígeno y presencia de consorcios bacterianos adecuados, se desarrolla de forma natural la digestión anaerobia y se captura el biogás producido. Un biodigestor en su funcionamiento es similar a un sistema digestivo animal: entra materia orgánica, que es digerida por bacterias, produciendo gases (biogás) y produciendo un subproducto líquido que tiene un alto valor como fertilizante. El biogás es el nombre que recibe la mezcla de gases producida en la digestión anaerobia, y se caracteriza por tener un 50 % - 70 % de metano (CH<sub>4</sub>), 40 - 20% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y trazas de otros gases, entre los que cabe destacar el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S).

#### **Características y parámetros de funcionamiento de un biodigestor.**

Existen varios parámetros y componentes principales que deben considerarse al trabajar con cualquier tipo de biodigestor; necesariamente se cuenta con conductos

de alimentación y evacuación, uno de carga y descarga a la entrada y salida del biodigestor respectivamente.

Su funcionamiento inicia al colocar la materia orgánica en el depósito (cámara de carga), para luego alimentar al biodigestor (reactor) donde se descompone la biomasa, el reactor puede dividirse en dos volúmenes, uno de trabajo formado por la mezcla agua y material orgánico, y el otro volumen gaseoso denominado cúpula o domo, mismo que puede ser rígido, flotante o flexible. Los residuos son evacuados al tanque de almacenamiento de desechos, estos pueden ser utilizados como abono, fertilizante orgánico con altos contenidos de nutrientes.

Tabla IV Composición y característica del biogás.

CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS	CH <sub>4</sub> METANO	CO <sub>2</sub> ANHÍDRIDO CARBÓNICO	H <sub>2</sub> S SULFURO DE HIDRÓGENO	OTROS
Proporciones % Volumen	50-70	20-40	1,5-2	3

Fuente: Manual de construcción y operación de biodigestor tipo hindú y flujo continuo.

Además, al quemarse el metano y transformarse en CO<sub>2</sub> reduce emisiones de efecto invernadero, que producirían estiércoles al descomponerse sin esta transformación.

Tabla V Rendimiento del biogás.

<b>1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a:</b>	
Alcohol	1,1 litros
Gasolina	0,8 litros
Gas - oíl	0,65 litros – 0,45 kg
Gas natural	0,76 m <sup>3</sup>
Carbón de piedra	1,5 kg
Madera	1,3kg

Fuente: Manual de construcción y operación de biodigestor tipo hindú y flujo continuo.

El fertilizante resultado de la descomposición en el interior de los biodigestores llamado (biol), posee nutrientes fácilmente asimilados por las plantas. El proceso de absorción de nutrientes también se manifiesta cuando se aplica el estiércol directamente, pero de una forma más lenta y con pérdidas de nutrientes.

De esta manera los biodigestores aceleran la productividad evitando pérdidas por volatilización, los dos productos asociados biol y biogás, fortalecen la pequeña y

mediana producción a la vez que protegen al ambiente reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero.

### **Tipos de biodigestores.**

La digestión anaeróbica ocurre de manera eficiente a 35°C, llegar a esta temperatura influye un aumento en la inversión de biodigestor, la mayoría de los biodigestores son empotrados en el suelo aprovechando las temperaturas del terreno, se debe evitar al máximo la formación de costras en la superficie, para ello mucho de los diseños de biodigestores actúan con la presión del biogás producido, efectuando una agitación neumática, otra manera de disminuir la formación de la nata es diluyendo la materia orgánica con agua o añadiendo agitadores.

Se pueden identificar una gran variedad de biodigestores de tecnología simple que dependen de varios criterios como, modo de operación, llenado y vaciado, volumen, número de tanques de proceso, orientación o sistemas de movilización de la biomasa. (Arrieta Palacios, 2016, pág. 46)

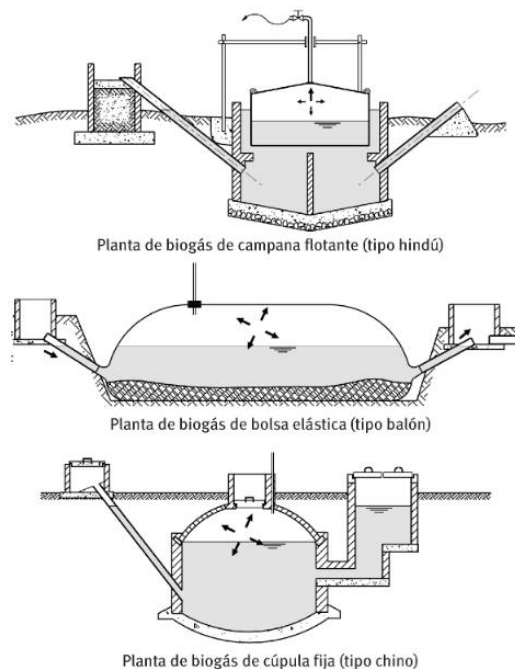


Figura 3 Clasificación de biodigestores simples más empleados Fuente: Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas

### **Biodigestor de domo móvil**

Es alimentado por estiércol de animales 15 a 25 días de retención. Es llamado tipo hindú o canopy flotante, consiste en un tambor de acero dulce, actualmente es



fabricado en plástico reforzado con fibra de vidrio. (Mantilla Suárez, 2017, pág. 30). La campana sube o baja dependiendo el volumen de gas.

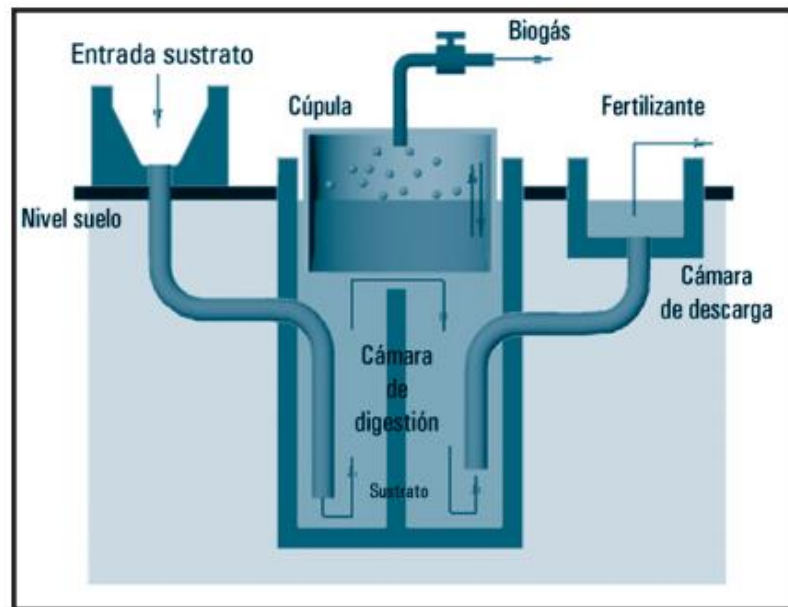


Figura 4 Biodigestor de campana flotante Fuente: Biodigestor

### **Biodigestor de balón**

En este tipo de biodigestor el balón está compuesta por una bolsa de caucho o plástico, el gas se almacena en la parte superior de la bolsa la materia orgánica en la parte inferior.

Según (Mazumbar, 1982) este modelo de digestor de bajo costo fue desarrollado por Chung Po de Taiwán utilizando goma de neopreno. Este diseño combina la cámara de digestión, el tanque de sedimentación y el gasómetro en una sola unidad. El sustrato no ocupa todo el volumen del digestor, ya que debe quedar un espacio para el gas. Así, a medida que la bolsa se hincha, el gasómetro se va formando y llenando (véase figura 5). El funcionamiento de este digestor se basa en la tecnología de digestión anaeróbica plug-flow o de flujo pistón, por la forma en la que se desplaza la carga en su interior, por ello es también llamado tubular o plug Flow.

Este biodigestor se alimenta con todo tipo de materia orgánica como heces, orina y otros residuos animales, residuos vegetales y humanos, con un tiempo de retención de 25 a 50 días.

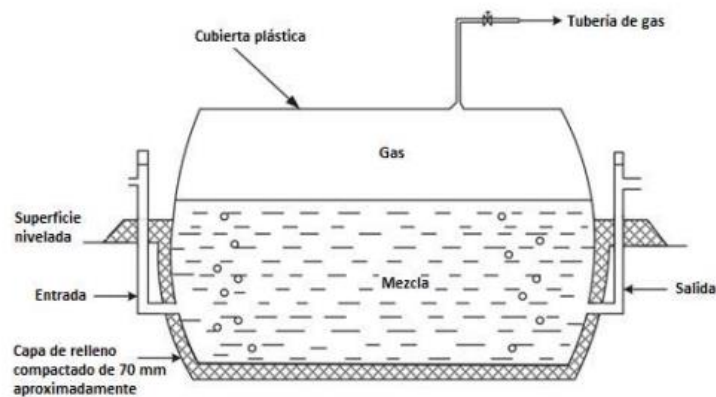


Figura 5 Digestor de balón: la parte superior se infla a medida que el biogás se recoge en ella Fuente: (Consolidation of information)

El gas puede ser almacenado en un gasómetro aparte, su calefacción puede ser influida por la radiación solar gracias a la membrana delgada generando una mayor tasa de biogás.

(Samayoa, Bueso, & Viquez, 2012) manifiesta que la vida útil de estos sistemas es de 10 a 15 años, pero depende de la calidad de los materiales utilizados para la construcción, forma de operarlo, medidas de protección, entre otros.

### Biodigestor de domo fijo

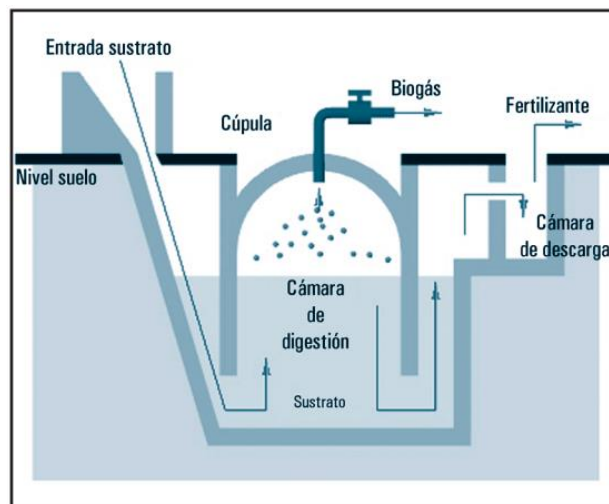


Figura 6 Biodigestor tipo chino Fuente: Biodigestor

Es utilizado principalmente con residuos agrícolas, su retención oscila entre 30 - 60 días de retención. Es llamado también de tipo chino, construido por una cámara hermética de ladrillo, hormigón o piedra. (Mantilla Suárez, 2017, pág. 31).

Almacena un pequeño volumen de gas generado, es de bajo costo de construcción, no posee partes metálicas que se puedan oxidar y, por lo tanto, tiene una larga vida útil.

Al acumularse el gas la cúpula ejerce presión sobre la superficie de la materia orgánica en fermentación, ocasionando su desplazamiento hacia la cámara de carga y la de descarga.

Una serie de ventajas y desventajas de los tipos de biodigestores descritos se resumen en la tabla VI.

Según, (Martí Herrero, Experiencias Latino Americanas en la implementación de estrategias para democratizar los biodigestores entre pequeños y medianos productores agropecuarios: Aportes a Ecuador, 2019, pág. 32) las diferentes experiencias de instalación de biodigestores dieron resultados muy dispares y es por esto que en 2009 nació la Red de Biodigestores de Latinoamérica y Caribe (REDBIOLAC), como espacio pionero para compartir experiencias y lecciones aprendidas. De este modo, comenzó un movimiento bottom-up conectado a nivel regional, donde participan ONGs, fundaciones, universidades, pequeñas y medianas empresas, micro financieras y asociaciones de productores de todo el continente. Apoyándose en las experiencias compartidas, estos actores comenzaron a dar un nuevo impulso a los biodigestores en la región, con un enfoque de sostenibilidad para no repetir errores encontrados en las estrategias de implementación.

Tabla VI Ventajas y desventajas de los biodigestores más comunes

<b>Biodigestor</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>De domo móvil</b>	Fácil manejo. Presión de gas constante. Fácil de construir. Volumen de gas almacenado visible directamente. Errores en la construcción no llevan a problemas mayores de operación.	Alto costo de materiales. Es susceptible a la corrosión. La vida útil es más corta. En casos de sobrepresión el gas se fuga por el espacio entre la campana y el líquido.
<b>De balón</b>	Bajo costo. Fácil transporte. Fácil instalación. Altas temperaturas de digestión. Limpieza descarga y mantenimiento fácil.	Corta vida útil. Susceptible a daños. No crea fuentes de trabajo. Requiere una gran cantidad de agua. Alcanza menores presiones. Se utiliza reservorios de biogás externos para dar más presión.
<b>De domo fijo</b>	Bajo costo de construcción. Alta vida útil. Ahorra espacio, no ocupan espacio en la superficie. Alcanza presiones de biogás muy superiores. Requiere menos cantidad de agua que el modelo hindú.	No son aptos para trabajo en climas fríos. El transporte de los materiales incrementa los costos. Necesita personal experto en la construcción. Mayor complejidad en la construcción y mantenimiento. Dificultad para lograr hermeticidad. Debe ser cargada y descargada con regularidad, dificultad en el manejo.

Fuente: Autor

Tabla VII Diferencias y similitudes entre los modelos de biodigestores más conocidos

Características	TIPO DE BIODIGESTOR		
	Tubular (salchicha)	Cúpula fija (tipo chino)	Cúpula flotante (tipo hindú)
Vida útil	10 - 15 años	≥ 20 años	≥ 15 años
Presión del biogás	Variable y baja	Variable	Constante
Fuga de biogás	No es común	Común	No hay fuga si se da mantenimiento a la cúpula flotante de acero
Tamaño típico del biodigestor	4 - 100 metros cúbicos	5 metros cúbicos	5 - 15 metros cúbicos
Materiales de construcción	Plástico PVC (polietileno)	Cemento, ladrillo o bloque y varillas de hierro	Cemento, ladrillo o bloque y cúpula flotante de acero anticorrosivo
Mantenimiento del sistema	Bajos niveles de mantenimiento siempre y cuando se hayan tomado medidas de protección a la bolsa de PVC (cerco perimetral. techo protector)	Baja, no hay componentes móviles ni elementos que se oxiden	Altos niveles de mantenimiento a la cúpula flotante, eliminación de óxido, recubrimiento con anticorrosivos periódicamente
Ubicación del biodigestor y requerimiento de espacio	Semi enterrado, alto Zanja de aprox. 2,5 m profundidad y 50 cm de largo por cada metro cúbico de biodigestor	Bajo tierra totalmente Requerimiento de espacio muy bajo, generalmente solo la línea de extracción de biogás	Bajo tierra Requerimiento de espacio en la superficie es bajo, solamente cúpula flotante
Generación de empleos locales	Si	Si	Si
Tipo de residuo	Aguas residuales de cualquier sector (café, ganado bovino, porcino y aguas con sangre), evitando el uso de desechos sólidos	Sin restricción	Residuos con mucha fibra suelen causar problemas a la cúpula

Fuente: Guía Implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresa.

### Elementos básicos de un digestor.

Para el proceso de digestión anaeróbica se tiene como principales componentes, un tanque de mezclado, la entrada y descarga de materias orgánicas, el contenedor de materias (reactor), el contenedor de gas, accesorios para salida de biogás.

### Tanque de mezclado o carga.

Es el lugar donde la materia orgánica de alimentación se mezcla con suficiente cantidad de agua para formar una mezcla homogénea.

**Entrada de materia orgánica (afluente).**

El afluente ingresa por la llamada tubería de entrada, permite la descarga dentro del reactor por su parte superior.

**Salida de la materia orgánica (efluente).**

El material digerido, es enviado al tanque de salida por una tubería o alguna abertura en el reactor. En un digestor de cubierta fija puede haber de 3 a 5 tubos de sobrenadante colocados a distintos niveles, o un único tubo con válvulas a distintos niveles, para la extracción de este. Por regla general, se elige aquel nivel que extraiga un efluente de mejor calidad (con la menor cantidad posible de sólidos) (Varnero Moreno, 2011, pág. 79)

**Sistema de extracción de lodos.**

La extracción de lodos se lo realiza por el centro del reactor por medio de tuberías, los conductos de extracción tienen acopladas válvulas tapón con el fin de evitar taponamientos y suelen ser colocadas por bloques e inclinadas a lo largo del suelo.

**Recipiente reactor.**

Es el dispositivo principal donde ocurre el proceso de degradación de la biomasa. Tienen distinta forma de acuerdo con su tipo, cilíndrico, rectangular, ovoide, esférico. El apoyo del reactor tiene una cierta inclinación, con el fin de que los lodos y la sedimentación puedan ser extraídos del tanque. Existen reactores cuyas cubiertas pueden ser flotantes o fijas. Suelen construirse de ladrillo, mortero, concreto, hasta acero inoxidable.

**Sistema de almacenamiento y transporte de biogás.**

El proceso de digestión anaerobia produce de 400 a 700 litros de gas por cada kilogramo de materia orgánica degradada, según las características del influente. El gas se compone fundamentalmente de metano y anhídrido carbónico. El contenido en metano del gas de un digestor que funcione adecuadamente variará del 65% al 70% en volumen, con una oscilación en el anhídrido carbónico del 30% al 35% (Varnero Moreno, 2011, pág. 80).

Gracias a la presencia del 60 % de metano, el gas del biodigestor tiene un poder calorífico de 500 a 600 kilocalorías por litro.

El gas producido en el digestor es almacenado en campanas fijas o flotantes que disponen el gas a la presión de trabajo para luego ser trasladadas a los puntos de consumo. El sistema de almacenamiento de gas está compuesto por:

- Gasómetro o domo de almacenamiento de biogás
- Válvula de seguridad.
- Apagallamas.
- Válvulas térmicas.
- Separadores de sedimentos.
- Purgadores de condensado.
- Medidores de gas.
- Manómetros.
- Reguladores de presión.
- Almacenamiento del gas.
- Quemador de los gases sobrantes (Varnero Moreno, 2011, pág. 82)

### **1.2.5 Fundamentos de la digestión anaerobia.**

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en rigurosas condiciones de ausencia de oxígeno (medio anaerobio), que da lugar a una mezcla de productos gaseosos (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como biogás y a una suspensión acuosa de materiales sólidos (lodo o fango), en la que se encuentran los componentes difíciles de degradar, junto con el nitrógeno, fósforo y los elementos minerales inicialmente presentes en la biomasa (Jarabo Friedrich, Perez Dominguez, Elortegui Escartin, Fernández González, & Macias Hernández, 1988, pág. 161).

Para la digestión anaerobia todo tipo de biomasa puede servir, la más utilizada es la de tipo residual, siendo los más destacados los residuos ganaderos y lodos residuales de aguas urbanas.

La tecnología de digestión anaerobia ofrece algunas ventajas al usar este tipo de materia orgánica:

- Los residuos utilizados tienen gran cantidad de agua.
- Facilitan el crecimiento bacteriano por su alto contenido de nutrientes.

- Son residuos localizados.
- Para su posterior utilización el efluente presenta una concentración mayor de nutrientes respecto con el afluente.
- Generan biogás y es utilizado como aporte energético.

Durante la digestión, las moléculas complejas de la biomasa inicial son descompuestas en moléculas más pequeñas en tres etapas, para dar productos finales como el metano y el dióxido de carbono (Jarabo Friedrich, Perez Dominguez, Elortegui Escartin, Fernández González, & Macias Hernández, 1988).

### **1.2.6 Productos de la digestión anaerobia.**

Los productos principales del proceso de digestión son el biogás y el bioabono (biol) efluente alto en nutrientes y estabilizado.

#### **Biogás.**

El biogás depende de la materia orgánica digerida y del tipo de proceso, está compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono.

- Metano ( $\text{CH}_4$ ): es un gas combustible que se encuentra con una concentración de entre 45% (a partir de la cual se considera que el biogás es inflamable) y 70% molar.
- Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ): es el segundo gas más importante por su proporción. Su concentración varía en un rango de 25% a 45% molar.
- Sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ): es generado por microorganismos anaeróbicos reductores de sulfato, este gas aún en bajas concentraciones es muy tóxico y altamente corrosivo, en consecuencia, se debe eliminar del biogás para que no disminuya la vida útil de los equipos o reactores.
- Hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), generalmente su concentración es inferior a los 5000 ppm.
- Nitrógeno gaseoso ( $\text{N}_2$ ), en sistemas con biodigestores su concentración no supera el 5% molar.
- Oxígeno ( $\text{O}_2$ ), tiene una concentración máxima de 5% molar (Casanovas, Della, Reymundo y Serafini, 2019).



- Agua (H<sub>2</sub>O), se encuentra en forma de vapor, generalmente cuando se trabaja con un proceso termofílico. (FAO, 2019, pág. 23)

En la tabla 6 se anotan las características generales del biogás.

Tabla VIII Características del biogás.

<b>Composición</b>	55 – 70% metano (CH <sub>4</sub> ) 30 – 45% dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Trazas de otros gases
<b>Contenido energético</b>	6,0 – 6,5 kW h m <sup>-3</sup>
<b>Equivalente de combustible</b>	0,60 – 0,65 L petróleo/m <sup>3</sup> biogás
<b>Límite de explosión</b>	6 – 12 % de biogás en el aire
<b>Temperatura de ignición</b>	650 – 750°C (con el contenido de CH <sub>4</sub> mencionado)
<b>Presión crítica</b>	74 – 88 atm
<b>Temperatura crítica</b>	-82.5°C
<b>Densidad normal</b>	1,2 kg m
<b>Olor</b>	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
<b>Masa molar</b>	16,043 kg kmol <sup>-1</sup>

Fuente: Manual de Biogás

### **Equipos donde el biogás puede ser utilizado.**

La mayoría de los biodigestores se diseñan para consumir el biogás generado sin presión, es utilizado para sistema de calefacción, motores, cocinas e iluminación.

La tabla a continuación muestra un listado de los principales equipos donde el biogás es utilizado junto a su consumo promedio y eficiencia.

Según, (Franco, 2010, pág. 80), la relación aire-gas puede ser ajustada aumentando la presión del aire, incrementando la apertura de la válvula dosificadora de gas (el biogás requiere de una apertura 2 a 3 veces mayor a la utilizada por el metano puro y modificando la geometría del paso de aire desde el exterior).

Debido al contenido de dióxido de carbono, el biogás tiene una velocidad de propagación de la llama lenta, 43 cm/s y por lo tanto la llama tiende a escaparse de los quemadores.

Tabla IX Aplicaciones del biogás.

ARTEFACTO	CONSUMO MEDIO	RENDIMIENTO (%)
Quemador de cocina	300-600 l/h	50-60
Lámpara (60 W)	120/170 l/h	30-50
Heladera de 100 L.	30/75 l/h	20-30
Motor a gas	0.5 m <sup>3</sup> /Kwh o Hph	25-30
Quemador de 10 Kw	2 m <sup>3</sup> /h	80-90
Infrarrojo de 2000 W	30 l/h 1 Kw elect.	95-99
Cogenerador	0.5 m <sup>3</sup> /Kwh 2Kw térmica	hasta 90

Fuente: Conocimiento de las fuentes de energía renovable así como su potencial uso para disminuir la dependencia del petróleo extranjero.

La presión para un correcto uso del gas oscila entre los 7 y los 20 mbar. Se debe tener especial cuidado en este aspecto debido a que se deberán calcular las pérdidas de presión de salida del gasómetro (adicionándole contrapesos en el caso de gasómetros flotantes).



Figura 7 Usos de biogás Fuente: Guía Implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas.

Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, agrandando el paso del gas de los quemadores. La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace promisorio e interesante su utilización a gran escala.

Los quemadores infrarrojos comúnmente utilizados en la calefacción de ambientes (especialmente en criadores y parideras) presentan como ventaja su alta eficiencia lo cual minimiza el consumo de gas para un determinado requerimiento térmico (Franco, 2010, pág. 82).

### **Bioabono.**

A igual que el biogás, el digerido depende del tipo de materia orgánica utilizada. Durante la digestión parte de la biomasa se transforma en metano, disminuyendo el contenido de la materia inicial. Gran parte de la materia orgánica de este producto se ha mineralizado, por lo que normalmente aumenta el contenido de nitrógeno amoniacal y disminuye el nitrógeno orgánico (Varnero Moreno, 2011, pág. 16).

El uso agronómico de los digeridos permite sustituir parcial o totalmente el empleo de fertilizantes inorgánicos (urea, fosfato monoamónico y otros) y mejora las propiedades físico-químicas de los suelos por el aporte de materia orgánica (FAO, 2019, pág. 39)

El material obtenido se lo puede utilizar tal cual o como una fracción sólida y otra líquida, para su almacenamiento los sistemas deben ser herméticos, para que no se pierdan nutrientes por volatilización.

Tabla X Composición de bioabono a partir de estiércol vacuno en base húmeda

<b>COMPONENTE</b>	<b>VOLUMEN</b>
Solidos totales	8-9 g/100 g
Solidos volátiles	5.5-6 g/100 g
Nitrógeno total	0.20 %
Fosforo	0.15 %
Potasio	0.10 %

Fuente: BIOGÁS Y BIOABONO APLICACIONES

### **1.2.7 Etapas de la fermentación metanogénica.**

Muchas reacciones son producto del proceso de digestión anaerobia, así como la cantidad de microorganismos involucrados, la documentación existente las divide en tres y cuatro etapas.

#### **La hidrólisis.**

La primera etapa, denominada hidrólisis ciertos tipos de bacterias (aerobias, anaerobias o facultativas) producen la degradación de los polímeros orgánicos complejos constituyentes de la biomasa, dando lugar a moléculas más simples (Jarabo Friedrich, Perez Dominguez, Elortegui Escartin, Fernández González, & Macias Hernández, 1988, pág. 162).

La etapa hidrolítica puede ser el proceso limitante de la velocidad global de la degradación. La hidrólisis depende de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulico, de la composición bioquímica del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del tamaño de partículas, del nivel de pH, de la concentración de  $\text{NH}_4^+$  y de la concentración de los productos de la hidrólisis (Varnero Moreno, 2011, pág. 19).

En esta etapa las proteínas son el sustrato muy importante ya que son fuente de carbono y energía, y los aminoácidos derivados presentan un elevado valor nutricional.

#### **La etapa fermentativa acidogénica y acetanogénica.**

Durante la segunda etapa, otro grupo de bacterias producen varios compuestos simples, entre los que destacan ácidos volátiles como el acético, así como hidrógeno y dióxido de carbono, que serán utilizados como alimento por las bacterias metanogénicas en la siguiente etapa (Jarabo Friedrich, Perez Dominguez, Elortegui Escartin, Fernández González, & Macias Hernández, 1988).

Además, compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan

posteriormente, si no que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema.

Según se ha estudiado, el resultado neto del metabolismo homoacetogénico permite mantener bajas presiones parciales del hidrógeno y, por tanto, permite la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas (Varnero Moreno, 2011, pág. 21).

En esta etapa las bacterias anaeróbicas han extraído el alimento de la materia orgánica, además, eliminan ácidos volátiles que será el sustrato para las bacterias en la siguiente etapa.

### **La metanogénica.**

La tercera etapa, implica la degradación de las sustancias producidas en etapas anteriores a metano y dióxido de carbono por parte de un grupo de bacterias estrictamente anaerobias, denominadas metanogénicas. La magnitud de su población condiciona fuertemente la producción de metano, ya que su velocidad de reproducción es muy baja y necesitan unas condiciones del medio muy propicias (Jarabo Friedrich, Perez Dominguez, Elortegui Escartin, Fernández González, & Macias Hernández, 1988, pág. 163.).

En el proceso intervienen cinco grandes poblaciones de microorganismos. 1) bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2) bacterias acetogénicas; 3) bacterias homoacetogénicas; 4) bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5) bacterias metanogénicas acetoclásticas. Las poblaciones bacterianas involucradas en cada una de las fases cumplen roles específicos y requieren condiciones ambientales apropiadas para su crecimiento y viabilidad, condiciones que son diferentes para cada fase. La mantención y estabilidad de estas condiciones al interior de los reactores utilizados para la digestión anaerobia representa, entonces, el desafío principal de toda la operación para este tipo de plantas. (Energías Renovables No Convencionales, 2012, pág. 26)

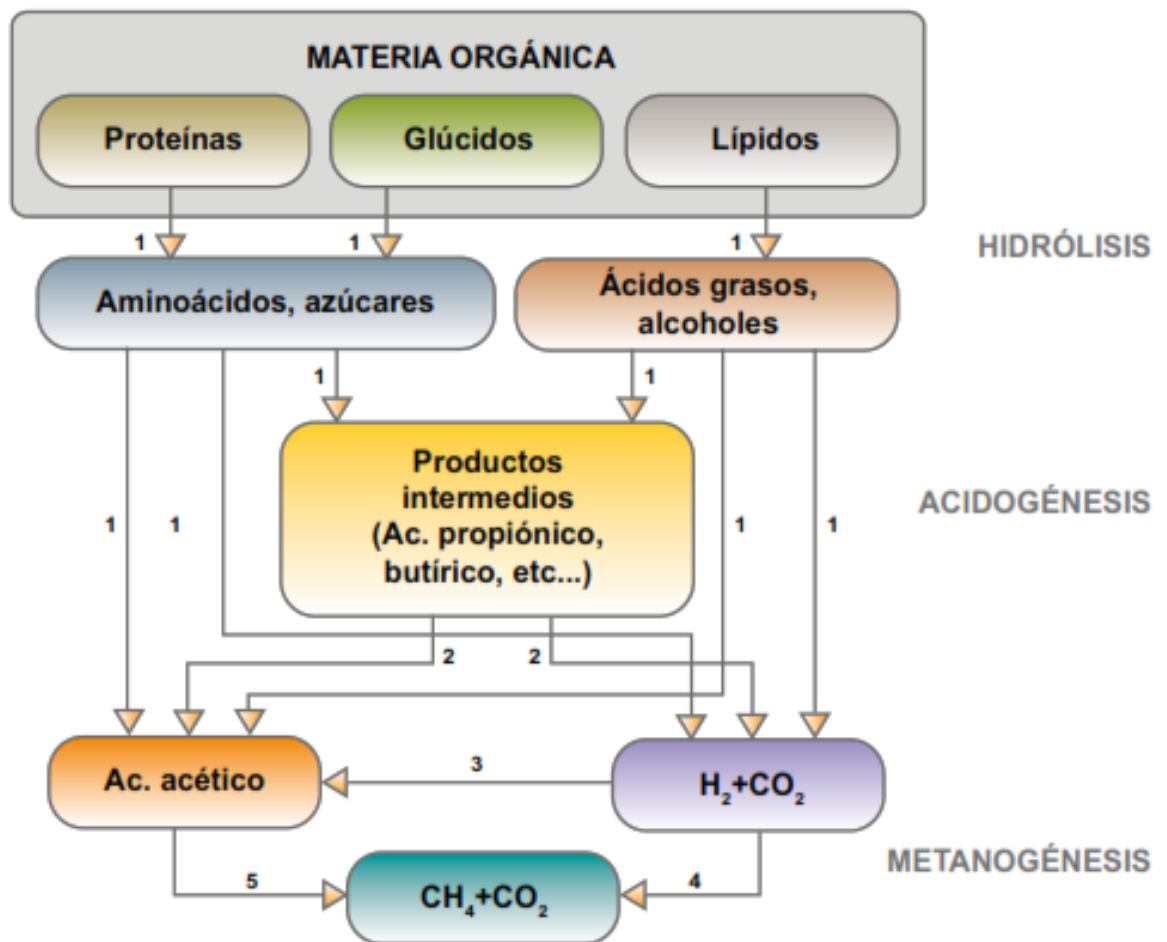


Figura 8 Etapas del proceso de digestión anaerobia Fuente: Guía de planificación para proyectos de biogás en Chile

### 1.2.8 Factores determinantes que condicionan el proceso microbiológico.

Al hablar de los factores importantes que afectan a la digestión anaerobia, existen muchos estudios que varían de una investigación a otra, razones como las diferentes materias orgánicas utilizadas, distintos puntos de vista y hasta las metodologías realizadas han arrojado muchos resultados sin llegar a ningún acuerdo.

Para que la digestión se produzca bajo los mejores escenarios, variables como el contenido de sólidos, la temperatura, acidez, nutrientes y tóxicos condicionan el proceso.

#### Composición y naturaleza de materia orgánica.

La materia orgánica más utilizada es la de origen residual, esta permite la fermentación metanogénica, el desarrollo y la actividad microbiana; estiércoles y

lodos presentan proporciones adecuadas, en donde el contenido de agua varía entre 10 y 90 % del peso del residuo, la tabla a continuación muestra diversas materias primas.

Tabla XI Origen de diversas materias orgánicas

<b>Residuos de origen animal</b>	estiércol, orina, guano, camas, residuos de mataderos (sangre y otros), residuos de pescados.
<b>Residuos de origen vegetal</b>	malezas, rastrojos de cosechas, pajas, forraje en mal estado.
<b>Residuos de origen humano</b>	heces, basura, orina.
<b>Residuos agroindustriales</b>	salvado de arroz, orujos, cosetas, melazas, residuos de semillas.
<b>Residuos forestales</b>	hojas, vástagos, ramas y cortezas.
<b>Residuos de cultivos acuáticos</b>	algas marinas, jacintos y malezas acuáticas.

Fuente: Manual de Biogás

### **Temperatura.**

Si bien es cierto que la digestión anaeróbica puede producirse en un amplio rango de temperaturas, existen zonas claramente definidas que corresponden a tres tipos de bacterias: las que se desarrollan por debajo de los 25 °C (bacterias psicrófilos), entre los 25 y los 45°C (bacterias mesofílicas), y las que lo hacen en un rango de 45 a 65°C (bacterias termofílicas). Sin lugar a duda la producción de gas es máxima en el rango termofílico, pero a su vez, este requiere de un alto consumo de energía mayor al generado.

Tabla XII Tiempo de fermentación y rango de temperatura.

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
<b>Psicrophilica</b>	4 - 10 °C	15 - 18°C	20 - 25°C	Sobre 100 días
<b>Mesophilica</b>	15 - 20 °C	25 - 35°C	35 - 45°C	30 - 60 días
<b>Thermophilica</b>	25 - 45°C	50 - 60°C	75 - 80°C	10 - 15 días

Fuente: Manual de Biogás

Por ello los reactores operan alrededor de los 35 °C en el rango mesofílico, combinando una mayor producción de metano con las mejores condiciones de crecimiento de bacterias. (Jarabo Friedrich, Perez Dominguez, Elortegui Escartin, Fernández González, & Macias Hernández, 1988, pág. 164)

### pH.

Al mantener una alcalinidad o acidez adecuada en el proceso de digestión, se alcanzará las diferentes etapas de degradación, este factor es uno de los principales problemas que se tiene en el proceso, si la materia orgánica contiene una cantidad elevada de acidez o alcalinidad la actividad de las bacterias se verá inhibida, un rango óptimo del pH es de 6,5 a 7,5, siendo el pH neutro el ideal. (Varnero Moreno, 2011, pág. 43), el valor del pH indicara la actividad predominante en el reactor.

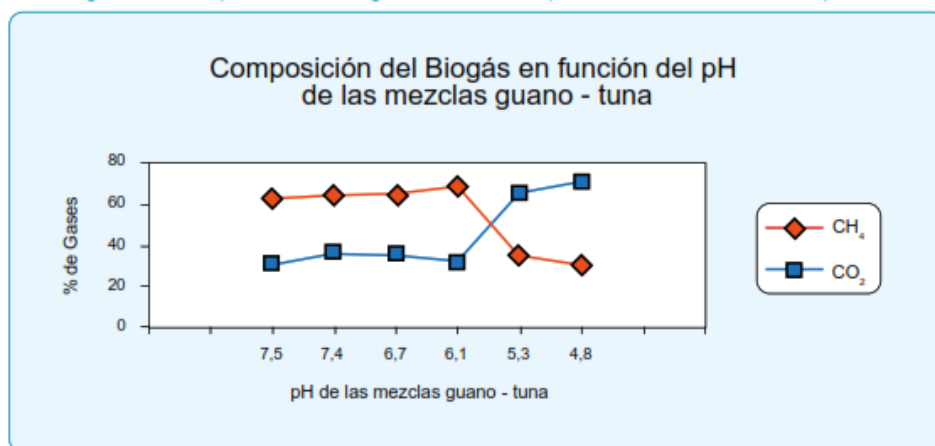


Figura 9 Composición de biogás en función del pH Fuente: Manual de Biogás

### Nutrientes y compuestos inhibidores.

Las bacterias además de la biomasa requieren otros nutrientes para su desarrollo, la relación de los elementos C:N:P:S debería establecerse alrededor de 600:15:5:1, a



fin de proveer a los microorganismos de las condiciones adecuadas para su desarrollo.

Si existe una escasez de nutrientes disminuye la actividad microbiana ósea reduce la velocidad de producción de metano.

### **Presencia de Agentes Inhibidores.**

Al ser un proceso anaerobio el primer tóxico es el oxígeno, sustancias que frenen el proceso pueden ser parte de la materia orgánica al ingresar al reactor, o también suelen ser productos de la actividad metanogénica de los microorganismos. Sustancias tales como amoníaco, metales pesados, compuestos halogenados, cianuro y fenoles, forman parte de la materia prima, en tanto que, sulfuro, amoníaco y ácidos grasos de cadena larga, forman parte de los subproductos de la actividad anaeróbica.

Tabla XIII Sustancias inhibidoras en un proceso anaeróbico

<b>Inhibidor</b>	<b>Concentración inhibidora</b>
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	5000 ppm
NaCl	40000ppm
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.05 mg/ml
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200 - 500 mg/l
CN <sup>-</sup>	25 mg/l
Na	3500 - 5500 mg/l
K	2500 - 4500 mg/l
Ca	2500 - 4500 mg/l
Mg	1000 - 1500 mg/l

Fuente: Manual de Biogás

### **1.2.9 Parámetros de operación básicos.**

Las condiciones ambientales y la actividad de fermentación en los tanques de digestión anaerobia, deben permanecer bajo ciertos parámetros operacionales, los cuales permitan mantener las reacciones controladas dentro del reactor.

### **Velocidad de carga orgánica.**

Parámetro muy importante pues indica el volumen de materia orgánica con que es alimentado el reactor, esto por unidad de tiempo diaria y por unidad de volumen del reactor en metros cúbicos.

Sí partimos del valor de la velocidad de carga orgánica y conociendo además la cantidad de sustrato, se puede calcular el volumen del reactor de este modo se asegura la estabilidad del proceso.

Se debe considerar que no exista una sobrecarga en el reactor ya que se podría inhibir la producción por excesos de ácidos.

$$VCO = \frac{kg\ SV}{m^3\ d}$$

Donde:

VCO Velocidad de carga orgánica  
SV Sólidos Volátiles  
d día

### **Tiempo de retención hidráulico.**

Se requiere de cierto tiempo para que las bacterias actúen sobre la materia orgánica, el tiempo de retención indica el tiempo promedio que los sustratos permanecen en el reactor, al tener una temperatura mayor, el tiempo de retención será menor con el fin de obtener una producción de biogás de calidad.

$$TRH = \frac{V_R}{\dot{V}}$$

Donde

TRH Tiempo de retención hidráulico  
V<sub>R</sub> volumen del reactor  
 $\dot{V}$  volumen de sustrato alimentado por día

Tabla XIV Tiempo de retención hidráulico

Tiempo de retención hidráulico	Características
30 – 40 días	Clima tropical con regiones planas. Ej. Indonesia, Venezuela, América Central.
40 – 60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos. Ej. India, Filipinas, Etiopía.
60 – 90 días	Clima temperado con inviernos fríos. Ej. China, Corea, Turquía.

Fuente: Manual de Biogás

Como ejemplo diremos que en el caso que se tenga un tiempo de retención de 30 días, la carga diaria sería de 1/30 del volumen total en el reactor. El tiempo de retención oscila entre los 20 y 55 días con carga diaria de 1 a 5 kg de los sólidos totales. El tiempo de retención junto con la velocidad de carga orgánica determinada por el tipo de sustrato, son los principales parámetros de diseño (Varnero Moreno, 2011, pág. 41).

#### **Grado de agitación o mezcla en el reactor.**

La remoción de los productos dentro del reactor con el sustrato fresco evita la formación de espacios muertos, lodos y natas en la superficie, al mantener el contacto entre los microorganismos y la biomasa, se busca la homogenización de sustrato fresco con el ya digerido que contiene las bacterias activas.

Una mezcla suficiente logrará la actividad bacteriana en cada etapa, existen agitadores de rotación y hasta una forma de mezcla por el ingreso discontinuo de la materia orgánica que logran remover y mantener a las bacterias activas.

#### **1.2.10 Fuente de investigación.**

El trabajo investigativo se enfoca en la granja “Grupo Avícola San Vicente”, criadero de aves de carne, ubicada en el sector Cerro Negro, ciudad de Riobamba, consta de 19 galpones para el desarrollo de las aves.



Figura 10 Ubicación Grupo Avícola San Vicente Fuente: Autor.

La granja avícola compuesta de 19 galpones con una longitud de 110 m por 14 m, 7 de estos galpones albergan a 20000 aves y otros 12 a 10000, con una producción de 5 rondas en el año, dando un total de 1300000 aves al año.

El área que ocupa actualmente la granja años atrás era utilizada para la agricultura; la avícola inició la producción con la cría de 1000 pollitos por parte del padre de los actuales dueños, hasta alcanzar la producción que posee.

Los pollitos son recibidos de uno o dos días de nacidos y ubicados en los galpones, estos están contruidos de paredes de ladrillo de un metro de altura, malla y techo de zinc. el piso es preparado para cada levante con cascarilla de arroz por un espesor de 20 cm, lo cual garantiza una temperatura adecuada.



Figura 11 Grupo Avícola San Vicente Fuente: Autor

Cada galpón está provisto de bebederos y comederos elaborados en plástico, tras la entrega del pollo adulto transcurrido 45 días, con peso promedio de 2,5 kg, se realiza la limpieza y desinfección del galpón. La pollinaza (cascarilla de arroz y estiércol de pollo) se retira y es vendido para ser utilizado como abono y compostaje tras su proceso.



Figura 12 Distribución de galpón de 20000 aves de engorde Fuente: Autor

Uno de los factores significativos en la crianza de las parvadas es la calefacción, con el cual se disminuye la mortalidad y se alcanza el confort requerido, la cantidad de calor varía según la edad del animal y del interior de temperatura en cada galpón, representando el rubro de mayor egreso de la avícola, para la cría de 20000 aves se requiere del consumo de 210 cilindros de GLP.

### **1.3 Fundamentación Metodológica.**

#### **1.3.1 Enfoque.**

El enfoque de la investigación propuesta es de tipo cuali-cuantitativa es decir de tipo mixto. El investigador obtiene información requerida, compara y evalúa datos, para luego enfocarse en el diseño de un digestor, mismo que será utilizado para la generación de biogás en el grupo avícola, de esta manera se contextualizaría el fenómeno determinado.

### **1.3.2 Modalidad de la investigación.**

La investigación plantada requiere de varios tipos detallados a continuación.

#### **Investigación exploratoria.**

Los estudios exploratorios permiten contribuir con ideas respecto a la forma correcta de abordar una investigación en particular. Con el propósito de que estos estudios no se constituyan en pérdida de tiempo y recursos, es indispensable aproximarnos a ellos, con una adecuada revisión de la literatura. (Grajales, 2000)

El investigador mediante la recolección de literatura, determinará el proceso más idóneo para la construcción del biodigestor, aportando con ello resultados para el mejor el aprovechamiento de excretas en avícolas.

#### **Investigación correlacional.**

Mide el grado de relación entre las variables de una población estudiada, midiéndose coeficientes de correlación que no necesariamente sean causales (Miler Daen, 2011),

Se comparan variables, resultados de estudios similares que permitirán realizar posibles mejoras a las ya planteadas, exponiendo nuevas alternativas económicas sustentables y sostenibles.

#### **Investigación documental.**

Que se basa en la investigación y revisión de libros, en artículos o ensayos de revistas y periódicos, memorias, anuarios, registros, códigos, constituciones, etc. (Miler Daen, 2011)

Estudios realizados, experiencias, conocimientos y técnicas servirán como referencia y alimentación para el investigador, los cuales facilitarán el proceso y análisis de resultados considerando conclusiones y recomendaciones dadas por autores.

### **1.3.3 Determinación de las variables.**

Las variables a continuación nos permiten el desarrollo de la investigación.

**Variable independiente:** Biodigestor.

**Variable dependiente:** Generación de biogás.

Tabla XV Operacionalización de variables

Hipótesis	Variable	Concepto	Indicador	Ítem	Técnica e Instrumento
La biomasa residual del Grupo Avícola San Vicente de la ciudad de Riobamba permite el desarrollo de un biodigestor, que aproveche el poder energético, disminuya el impacto ambiental y promueva un ahorro económico en la avícola.	<b>Independiente:</b> Biodigestor.	Contenedor cerrado, en el cual se introduce residuos orgánicos, donde un grupo de bacterias descompone el material, del cual se puede obtener energía.	Cantidad de estiércol.	kg	Mediciones Balanzas
			Diseño de Biodigestor	Kg/t	Cálculos Ecuaciones
			Cantidad de biogás generado	m <sup>3</sup>	Cálculos Ecuaciones
	<b>Dependiente:</b> Generación de biogás.	Gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica.	Ahorro de la avícola	\$	Cálculos Ecuaciones

Fuente: Autor

Bajo la caracterización de la biomasa se podrá definir la dimensión del biodigestor de acuerdo con la materia orgánica que cuenta el Grupo avícola, además, de determinar la cantidad de biogás generado.

#### 1.3.4 Técnicas e instrumentos de investigación.

En el presente trabajo de investigación la información proviene de fuentes secundarias (información de libros, artículos, guías, manuales, informes de investigación) y demás fuentes que interpretan y emiten criterios relacionados con el manejo de biomasa.

Para el desarrollo del biodigestor se utiliza una matriz de decisión perfeccionada y evaluada por expertos en la construcción de biodigestores, la cual evalúa aspectos

como construcción, vida útil, costo, superficie necesaria, rendimiento entre otras, favoreciendo la selección de tipo de biodigestor (Noyola, Morgan Sagustume, & Guereca, 2013, pág. 118).

Hojas de registro, documentos digitales, permiten realizar cálculos rápidamente para el desarrollo del biodigestor, con la ayuda del programa AutoCAD y SolidWorks.

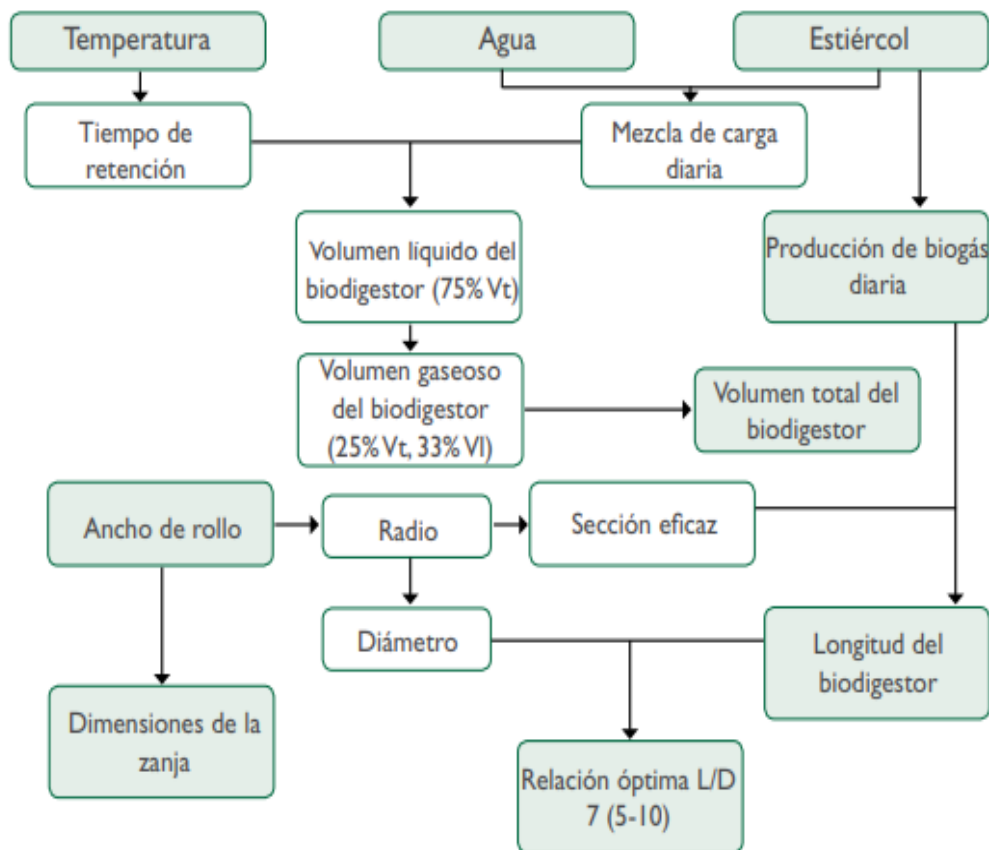


Figura 13 Metodología de diseño del biodigestor Fuente: Guía Implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas.

#### 1.4 Conclusiones Capítulo I

- La investigación documental ayuda a establecer situaciones teórico-metodológicos, mismos que permiten integrar los aspectos más notables a



tratarse en el análisis objeto de estudio, posibilitando una estructura adecuada para proceso de investigación.

- El Grupo Avícola San Vicente cuenta con la materia prima suficiente para la implementación de un biodigestor, su mejor aprovechamiento generaría un beneficio económico derivado del ahorro por el uso del biogás en calefacción, de manera especial en las etapas tempranas de crecimiento de las aves donde se genera la mayor demanda de consumo de combustible, originando un mejor uso de la biomasa que el habitual que es la venta de gallinaza.

## **Capítulo II. PROPUESTA**

### **2.1 Introducción.**

Conceptos iniciales han permitido realizar el desarrollo de la presente investigación, bibliografías proponen el desarrollo de biodigestores, pero si bien en cierto, en la actualidad el bajo costo de materiales en nuestro país ha permitido que se construyan generadores de biogás a costos bajo costo, con un tiempo promedio de vida útil e introduciendo novedosa y nuevas técnicas y tecnologías.

De resultados alcanzados se estable una propuesta para la construcción de un biodigestor, que aproveche el poder energético con que cuenta el Grupo Avícola San Vicente.

### **2.2 Título de la propuesta.**

Diseño de un biodigestor para el aprovechamiento del poder energético de la biomasa localizada en el Grupo Avícola San Vicente del cantón Riobamba.

### **2.3 Objetivo.**

Aprovechar la materia orgánica generada por el Grupo Avícola San Vicente, diseñando un biodigestor que genere biogás.

### **2.4 Justificación de la propuesta.**

La presente propuesta, está basada en la investigación desarrollada y pretende dar a conocer la factibilidad de diseño y construcción de un biodigestor de bajo costo.

Actualmente el cambio climático producto de emisiones de gases de efecto invernadero, desechos y residuos orgánicos de distinta índole, has sido causa de enfermedades y contaminación ambiental.

La utilización de fuentes de energía alternativa distintas a las tradicionales ha permitido desarrollar nuevas expectativas de educación, las IES has direccionada a la creación de nuevas carreras enfocadas en cómo utilizar estas nuevas fuentes de energía y disminuir la contaminación ambiental a nivel mundial.

La nueva matriz productiva y energética de nuestro país, está orientada a apoyar a investigaciones que minimicen el daño a nuestro planeta.

La creación de biodigestores en nuestro país ha tenido aceptación, no tanto, como rentabilidad, pues el subsidio al gas no permite competir al hablar de costos, pero si es una opción frente al grave problema de contaminación ambiental.

La actividad humana y agropecuaria, bajo un contexto de mejor manejo y conversión de residuos animales y vegetales (materia orgánica), permite que, durante el proceso de digestión anaerobia, el biogás puede ser almacenado y utilizado como combustible, siendo un tratamiento de disminución de residuos y que además permite el uso de bioabono estabilizado.

Se pretende con este trabajo contribuir en una mejor utilización de la materia orgánica, no solamente que permita el desarrollo de una energía renovable, sino que contribuya en mitigar el cambio climático, al reducir las emisiones de gas metano producto de la descomposición no controlada, sustituir el uso de fertilizantes no orgánicos y mitigar los costes de producción en la avícola.

Por la exteriorizado anteriormente se desea generar biogás, para ser utilizado como fuente de energía segura y de bajo costo; además de incentivar el uso y aprovechamiento de la materia orgánica de una manera más limpia.

## **2.5 Selección del biodigestor.**

Para la selección del biodigestor a diseñar, se tomarán en cuenta los diferentes tipos de biodigestores estudiados en el capítulo 1, la matriz de decisión permitirá escoger el reactor más idóneo para el diseño.

### **2.5.1 Matriz de decisión.**

La matriz de decisión contribuirá a la selección del biodigestor que mejor se adapte a las condiciones de la avícola (Monar Castillo, 2009, pág. 36).

Aspectos para considerar dentro de la matriz de decisión están:

- Tipo de materia prima.
- Vida útil.
- Requerimientos de área.
- Costos.
- Construcción.

- Operación y mantenimiento.
- Rendimiento.

Tabla XVI Factor por evaluar, con su ponderación.

<b>Factor evaluado</b>	<b>Comentarios</b>	<b>Ponderación (%)</b>
Tipo de materia prima (estiércol)	La materia prima disponible en la avícola es la gallinaza, biodigestores que operen con este tipo de estiércol serán los con mejor opción.	5
Vida útil	Se desea que el digestor posea una vida útil promedio (10 años).	15
Requerimientos de área	En este aspecto la avícola cuenta con poco espacio para la implementación del digestor.	5
Costos	La cuantificación de este aspecto se lo realiza en base al menor costo posible para obtener un ahorro de recursos tanto en la inversión inicial, operación y mantenimiento.	20
Construcción	La construcción del digestor no debe ser compleja.	15
Operación y mantenimiento	Se desea que la operación sea simple, flexible y confiable, además de que una persona con poca capacitación pueda hacer la función de operador, y que el mantenimiento sea de lo más simple.	15
Rendimiento	El digestor que sea diseñado deberá poseer un rendimiento aceptable en la producción de biogás.	25

Fuente: Diseño de un Biodigestor para una Finca del Recinto San Luís de las Mercedes del Cantón Las Naves – Provincia de Bolívar.

La ponderación máxima será sobre el 100 %, misma que será aplicada a los tipos de biodigestores estudiados, al llenar la matriz se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla XVII Matriz de evaluación biodigestor Tipo Chino.

<b>Evaluación biodigestor tipo "CHINO"</b>					
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
#	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACIÓN:	C/5	D*A
			0 = No aplica 1 = Suficiente 3 = Adecuado 5 = Muy bueno		
1	5	Tipo de materia prima	5	1	5
2	15	Vida útil	5	1	15
3	5	Requerimientos de área	3	0,6	3
4	20	Costos	3	0,6	12
5	15	Construcción	1	0,2	3
6	15	Operación y mantenimiento	1	0,2	3
7	25	Rendimiento	5	1	25
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>				<b>66</b>

Fuente: Autor.

El biodigestor ponderado presenta aspectos favorables, como el tipo de materia prima, vida útil, rendimiento, pero la construcción es compleja de realizar, los costos, la operación, mantenimiento y el área requerida han logrado que adquiera una aceptabilidad del 66%.

Tabla XVIII Matriz de evaluación biodigestor Tipo Balón.

<b>Evaluación biodigestor tipo "BALÓN"</b>					
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
#	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACIÓN:	C/5	D*A
			0 = No aplica 1 = Suficiente 3 = Adecuado 5 = Muy bueno		
1	5	Tipo de materia prima	5	1	5
2	15	Vida útil	3	0,6	9
3	5	Requerimientos de área	5	1	5
4	20	Costos	5	1	20
5	15	Construcción	5	1	15
6	15	Operación y mantenimiento	3	0,6	9
7	25	Rendimiento	3	0,6	15
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>				<b>78</b>

Fuente: Autor.

El biodigestor tipo balón alcanza una aceptabilidad de 78 %, siendo la opción más favorable para ser considerado en la realización del proyecto.

Tabla XIX Matriz de evaluación biodigestor Tipo Hindú.

<b>Evaluación biodigestor tipo "HINDÚ"</b>					
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
#	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACIÓN:	C/5	D*A
			0 = No aplica 1 = Suficiente 3 = Adecuado 5 = Muy bueno		
1	5	Tipo de materia prima	5	1	5

2	15	Vida útil	5	1	15
3	5	Requerimientos de área	5	1	5
4	20	Costos	1	0,2	4
5	15	Construcción	3	0,6	9
6	15	Operación y mantenimiento	3	0,6	9
7	25	Rendimiento	5	1	25
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>				<b>72</b>

Fuente: Autor.

La evaluación obtenida en la matriz indica para el biodigestor tipo hindú, posee muchos puntos a favor y podría considerarse para la realización del proyecto.

Dados los resultados alcanzados, el modelo de biodigestor será el modelo taiwanés (tipo balón tubular de bajo costo), de acuerdo a lo manifestado en el capítulo 1 (Tabla V, ventajas y desventajas de los biodigestores más comunes).

- Tipo de materia prima a utilizar en el biodigestor.
- Costo de inversión, facilidad de manejo e instalación.
- Requerimientos del área, que influyen de manera decisiva en la factibilidad de ciertos procesos.
- La alimentación al ser continua es un factor que orienta a la selección de este tipo de biodigestor (un modelo hindú o chino por la cercanía de la entrada y salida, el agregado podría salir sin ser completamente digerido).
- La mayor superficie que presentan los biodigestores tubulares permite que la costra sea menor por la relación volumen/superficie, además que, su temperatura puede aumentar por la utilización de invernaderos.
- Pese a la principal desventaja con respecto a la vida útil en este tipo de biodigestores, materiales utilizados en la actualidad (geomembranas) alargan su vida, además que, problemas de indoles técnicos son más fácilmente de resolver que al utilizar concreto y acero.
- Las fluctuaciones de temperatura presentes en la región sierra, también ocasiona variaciones de producción de biogás. Bajo este contexto el biodigestor de tipo

balón es una de las mejores alternativas para superar las dificultades y limitaciones en nuestra investigación.

## **2.6 Estructura de la propuesta.**

La estructura del diseño del biodigestor se la realiza a partir de la cantidad de excretas generadas por las aves en el “Grupo Avícola San Vicente” de la ciudad de Riobamba, con base en los cálculos realizados, se propone a la avícola la implementación de un biodigestor, que podría ser desarrollado con todo el poder energético que dispone la avícola o una parte de ella, el cual brindaría un mejor aprovechamiento de la biomasa; como propuesta planteada se indica que:

La utilización del biogás como combustible alternativo para el sistema de calefacción en la etapa temprana y media de producción.

## **2.7 Desarrollo de la propuesta.**

El diseño y construcción de un biodigestor es tan importante como su ubicación, la mala ubicación del biodigestor no nos permitirá sacar provecho alguno. Un estudio previo del lugar facilita el manejo y operación a futuro.

Aspectos necesarios deben ser tomados en cuenta al ubicar un biodigestor, dentro de los cuales detallamos:

### **Selección del lugar.**

- Elección del lugar más próxima a la fuente de biomasa.
- El terreno debe permitir la carga de la materia orgánica por gravedad.
- Debe estar provista de una toma de agua, para la realización de la mezcla.
- El almacenamiento del gas debe estar lo más próximo al lugar a utilizar.
- La topología del terreno debe facilitar el uso del bioabono por gravedad.
- Debe existir protección de vientos fríos, debe aprovechar la mayor cantidad de energía solar donde su temperatura permanezca lo más estable posible.
- Debe ubicarse a una distancia aproximada de 10 a 15 metros de alguna fuente de agua para el consumo humano.



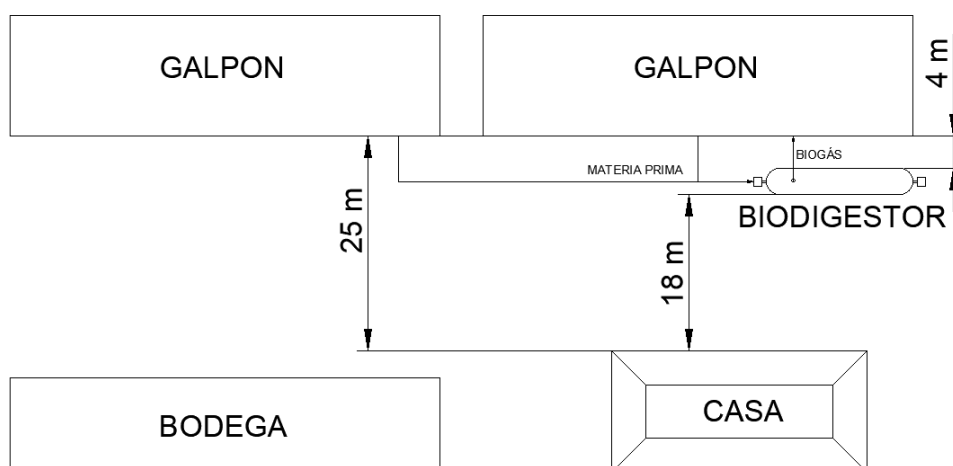


Figura 14 Selección del sitio Fuente: Autor

### En cuanto al tipo de biodigestor.

- Tipo de energía se desea obtener.
- Inversión por realizar.

El área a ser utilizada para la construcción del biodigestor debe estar libre de escombros, raíces de plantas, hiervas, todo aquello que podría entorpecer la instalación y el funcionamiento del mismo.

Según, (Varnero Moreno, 2011, pág. 100), los biodigestores de tipo tubular son de forma horizontal más largos que anchos con una relación de diámetro - longitud superior 1 : 5 hasta 1 : 8, son poco profundos y alargados, se recomiendan cuando se requiere trabajar con volúmenes mayores de 15 m<sup>3</sup>, donde la excavación de un pozo vertical resulta problemática, son instalados sobre el suelo previamente preparado, generalmente en forma de zanja trapezoidal, más ancha en la superficie y angosta en la base, con el objeto de brindar soporte al reactor. Consta de tres aberturas, una a un lado del biodigestor que sirve de entrada del afluente, al otro extremo se posiciona la salida del efluente y en la parte baja la tercera abertura, la cual sirve para succión de lodos y evitar la acumulación dentro del biodigestor.

#### 2.7.1 Residuos orgánicos disponibles.

De acuerdo a la cantidad de excretas de gallina acumulada tras la salida de cada vuelta en la avícola, se determinó la cantidad de materia orgánica diaria con la que

se podría contar para alimentar al biodigestor.

La cría de aves en el año es constante, lo que favorece el material orgánico disponible para la digestión.

El total de animales producto de cada vuelta es de 20000, con un peso promedio de 2,5 kg, la recolección de las excretas se las realizara cada 7 días, de acuerdo a el galpón que termine su venta y distribución.

El diseño del biodigestor se lo puede realizar teniendo en cuenta la disponibilidad de las excretas de los animales o considerando la necesidad de combustible.

Para el caso de avícola el diseño del biodigestor, parte de la disponibilidad de las excretas y se considera el estiércol generado por 1500 aves.

Para (UPME, 2003, pág. 33), considerando los valores y características del estiércol de animales y sus pesos promedio vivo, se puede estimar la cantidad de desechos orgánicos producidos, esto es posible cuando no se puedan obtener datos exactos en  $\frac{kg}{dia}$ , para lo cual se utiliza la siguiente tabla:

Tabla XX Valores y características del estiércol de animales

Clase de animal	% por peso vivo:		% del material de digestión		Relación C/N	P = Producción de biogás (m <sup>3</sup> de gas /1 kg SO)
	PE = Estiércol	PO = Orina	% EST Sólidos	% SO Solidos orgánicos		
Vacunos	5	4	15 - 16	13	20	0,250
Cerdos	2	3	16	12	13	0,350
Cápenos, ovejas	3	1,5	30	20	30	0,200
Caballos	5	4	25	15	20	0,250
Avícolas, gallinas	4,5	4,5	25	17	5-8	0,400
Humanos	1	2	20	15	8	0,300

Fuente: GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

### **Cálculo del estiércol por día.**

La siguiente ecuación nos permite calcular las excretas producidas día en peso:

$$E = NA * PVP * \frac{PE}{100}$$

Donde,

E = Estiércol en kilogramos por día

NA = Número de animales por una especie

PVP = Peso vivo promedio por animal

PE = Producción de estiércol de animal por día en porcentaje de peso vivo (UPME, 2003, pág. 34).

Para nuestro caso:

$$E = 1\,500 \text{ aves} * 2,5 \text{ kg} * \frac{4,5}{100}$$

$$E = 168,75 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

### **Cálculo de la materia prima para carga.**

Aplicamos la siguiente ecuación:

$$MPC = E$$

Donde,

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día.

E = Estiércol en kilogramos por día (UPME, 2003, pág. 34).

$$MPC = 168,75 \text{ kg}$$

### **Cálculo del porcentaje de sólidos totales.**

Utilizando la ecuación:

$$\%ST = E * \% \frac{EST}{MPC}$$

Donde,

%ST = Porcentaje de sólidos totales contenidos en la materia prima para carga.

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día.

%EST = Porcentaje de sólidos en el estiércol. (lo obtenemos de la tabla XX)

E = Estiércol en kilogramos por día (UPME, 2003, pág. 35).

$$\%ST = 168,75 * \frac{25\%}{168,75}$$

$$\%ST = 25\%$$

#### **Cálculo de los sólidos totales.**

$$ST = \frac{\%ST * MPC}{100}$$

Donde,

ST = Cantidad de sólidos contenidos en la materia prima para carga, en kilogramos por día.

%ST = Porcentaje de sólidos en la carga o materia prima, el cual debe ser inferior al

10%.

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día (UPME, 2003, pág. 35)

$$ST = \frac{25\% * 168,75}{100}$$

$$ST = 42 \frac{kg}{día}$$

### **Cálculo de la masa de agua para la mezcla.**

Solamente se calcula cuando el porcentaje de sólidos totales (%ST) es superior al 10%. Como el porcentaje de sólidos totales es superior al 10% calculamos la masa de agua que diluye la mezcla:

$$MH_2O = \frac{MPC * ST}{10} - MPC$$

Donde,

MH<sub>2</sub>O = Masa de agua para mezcla que disminuye hasta un 10% los sólidos orgánicos contenidos en la materia prima, en kilogramos por día.

ST = Cantidad de sólidos orgánicos contenidos en la materia prima para carga, en kilogramos por día (UPME, 2003, pág. 36)

$$MH_2O = \frac{168,75 * 42}{10} - 168,75$$

$$MH_2O = 540 \frac{kg}{día}$$

Dándonos aproximadamente una relación de 1 : 3.

### **Cálculo de la carga.**

Para el cálculo de la carga sumamos, materia prima para carga con la masa de agua para mezcla.

$$C = MPC + MH_2O$$

Donde,

C = carga diaria para alimentar el digestor en kilogramos por día o litros por día (sea asume que un litro pesa un kilogramo).

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día.

MH<sub>2</sub>O = Masa de agua para mezcla, en kilogramos por día (UPME, 2003, pág. 36).

$$C = 168,75 + 540$$

$$C = 708,75 \frac{kg}{día}$$

### **Cálculo del tiempo de retención.**

El tiempo de retención está íntimamente relacionado con la temperatura de exposición, en conjunto con la carga diaria determinar el volumen aproximado del biodigestor.

$$TR = (- 51,227 * Ln(T°C) + 206,72)$$

Donde,

TR= Tiempo de retención en días

Ln= Logaritmo natural

T °C= Temperatura promedio en grados centígrados del sitio donde se instalará el biodigestor (UPME, 2003, pág. 37)

$$TR = (- 51,227 * Ln(25° C) + 206,72)$$

$$TR = 42 \text{ días}$$

### **Cálculo del volumen del digestor.**

$$Vd = C * TR * 1,2$$

Donde,

Vd = Volumen del digestor, en litros

C = Carga diaria para alimentar el digestor en metros cúbicos por día

TR = Tiempo de retención en días.

1,2 = Volumen adicional para el almacenamiento del biogás (UPME, 2003, pág. 38)

$$Vd = C * TR * 1,2$$

Asumimos que la densidad de la carga es de 1000 Kg /m<sup>3</sup>, considerando semejante a la del H<sub>2</sub>O 708,75 kg/día es igual a 0,70875 m<sup>3</sup>/día.

$$Vd = 0,708 * 42 * 1,2$$

$$Vd = 35,68 m^3$$

### **Cálculo de la producción estimada de biogás.**

$$G = MPC * SO * P$$

Donde,

G = Gas producido en litros por día

MPC = Estiércol en kilogramos por día

SO = Porcentaje de materia orgánica del estiércol según la especie.

P = Producción aproximada de  $m^3$  de  $\frac{gas}{1 kg}$  de masa orgánica seca total (UPME, 2003, pág. 37)

Los datos del porcentaje de materia orgánica del estiércol y la producción aproximada de  $m^3$  de gas, los obtenemos de la tabla XX.

$$G = 168,75 * 17\% * 0,4$$

$$PG = 11,475 \frac{m^3 gas}{día}$$

### **2.8 Características constructivas del biodigestor.**

El diseño de biodigestor de flujo continuo tipo balón tubular, ocupa menos espacio y es construido con materiales fácilmente encontrados en el sector, además, no es necesario vaciarlo durante su vida útil; el equilibrio hidráulico entre la entrada y la salida permite que el efluente ya digerido salga cuando se alimente con carga por su entrada.

Conociendo el volumen del biodigestor, se establece las dimensiones de este. Las dimensiones primarias por determinar son la sección transversal y la longitud del biodigestor tubular.

### 2.8.1 Selección de la geomembrana y dimensionamiento de la zanja.

Para el diseño del biodigestor partiremos de las dimensiones de las geomembranas acorde a el espacio disponible para la construcción del biodigestor.

Tabla XXI Ancho de geomembrana.

Ancho del rollo (m)	Perímetro del digestor (m)	Diámetro del digestor (m)
1	2	0,64
1,5	3	0,95
2	4	1,27
2,5	5	1,59
3	6	1,91

Fuente: Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación.

Los plásticos y geomembranas utilizados para el cuerpo de reactor, se comercializan en forma tubular según los anchos de rollo, con lo cual se puede determinar el radio o diámetro del biodigestor a construir. Para el caso de la avícola se selecciona el ancho de 3 metros, considerando que no conviene biodigestores ni demasiado cortos ni largos, y para ello existe una relación óptima entre la longitud y el diámetro que es 7 (Martí Herrero, 2008, pág. 38).

El biodigestor consiste de una manga de geomembrana con su entrada y salida en los extremos.

El área transversal del digestor será:

$$Ad = \pi * \frac{d^2}{4}$$

$$Ad = \pi * \frac{(1.91m)^2}{4}$$

$$Ad = 2,865 \text{ m}^2$$

El biodigestor está diseñado de acuerdo al análisis de los datos obtenidos anteriormente, el volumen del biodigestor calculado es de 35,7 m<sup>3</sup>, donde el volumen para el almacenamiento de gas se considera el 25% del volumen de biodigestor que corresponde a un tercio del volumen del líquido es decir 8,9 m<sup>3</sup>, el restante es el volumen del líquido de 26,8 m<sup>3</sup>.



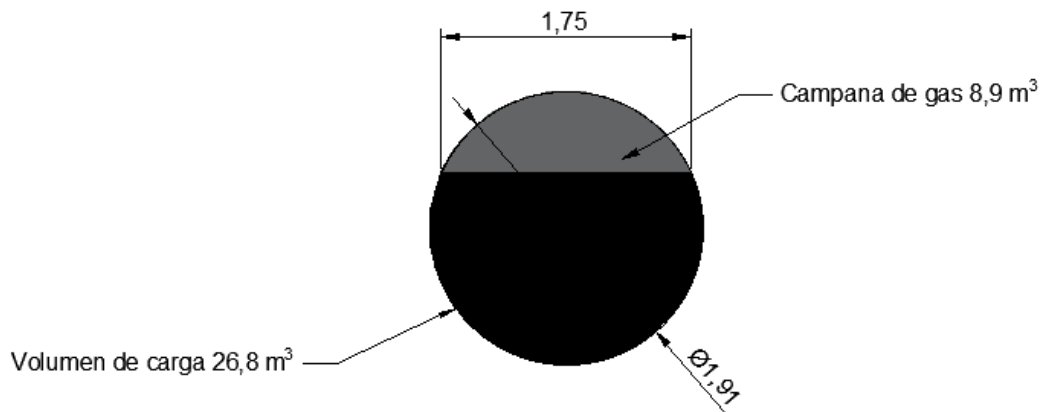


Figura 15 Determinación de la cuerda para cálculo del volumen de gas  
Fuente: Autor

Con apoyo del programa AutoCAD y SolidWorks, conocidos los volúmenes y la dimensión del área transversal de almacenamiento del gas, se determina la distancia de la base superior de la zanja trapezoidal, obteniendo una longitud de  $1,75$  m, se propone una altura de zanja igual a  $1,3$  m, para obtener la distancia de la base de la zanja  $1,3$  m.

Hay que considerar que las paredes de la zanja de ésta sustentarán la presión ocasionada por la carga líquida del biodigestor. La campana de biogás se encontrar en la parte superior, ocupando el 25% del volumen total.

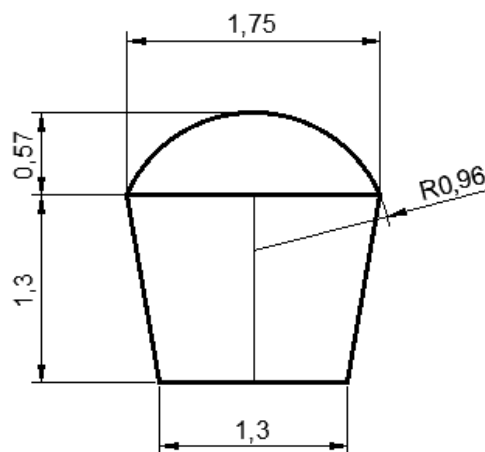


Figura 16 Dimensiones de la zanja Fuente: Autor

Conociendo el volumen total de biodigestor y el área transversal, se obtiene la longitud necesaria, ocupando la ecuación:

$$Vd = Ad * Ld$$

$$Ld = \frac{Vd}{Ad}$$

$$Ld = \frac{35,7 \text{ m}^3}{2,865 \text{ m}^2}$$

$$Ld = 12.46 \text{ m}$$

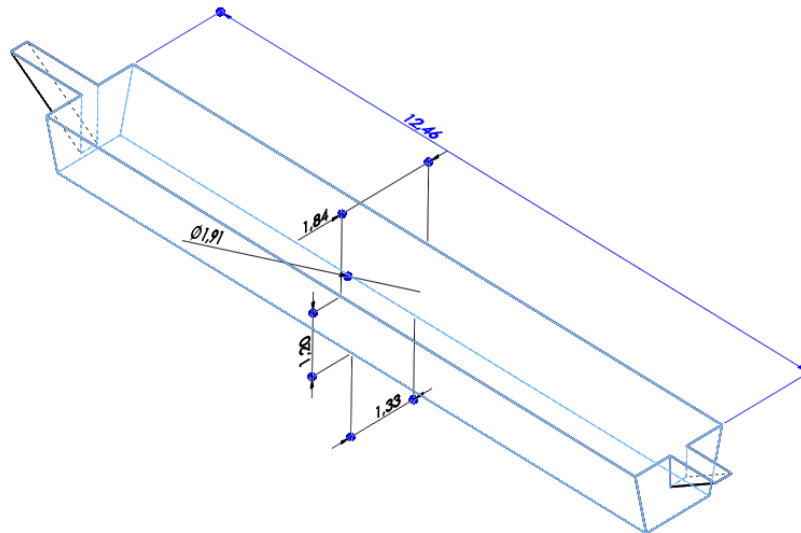


Figura 17 Esquema de excavación de la zanja Fuente: Autor

La figura anterior muestra la excavación de la zanja cumpliendo con las especificaciones de volumen del biodigestor, al momento de realizar la fosa, esta debe quedar libre de raíces, piedras o cualquier elemento punzante para proteger la geomembrana; costales como cama y sobre ellos poliestireno expandible (EPS) conocido como espumaflex de 3 cm se colocarán en dichas superficies, gracias a sus características de bajo peso, capacidad de compresión y facilidad de corte, además que nos permitirá aislar el sistema del exterior.

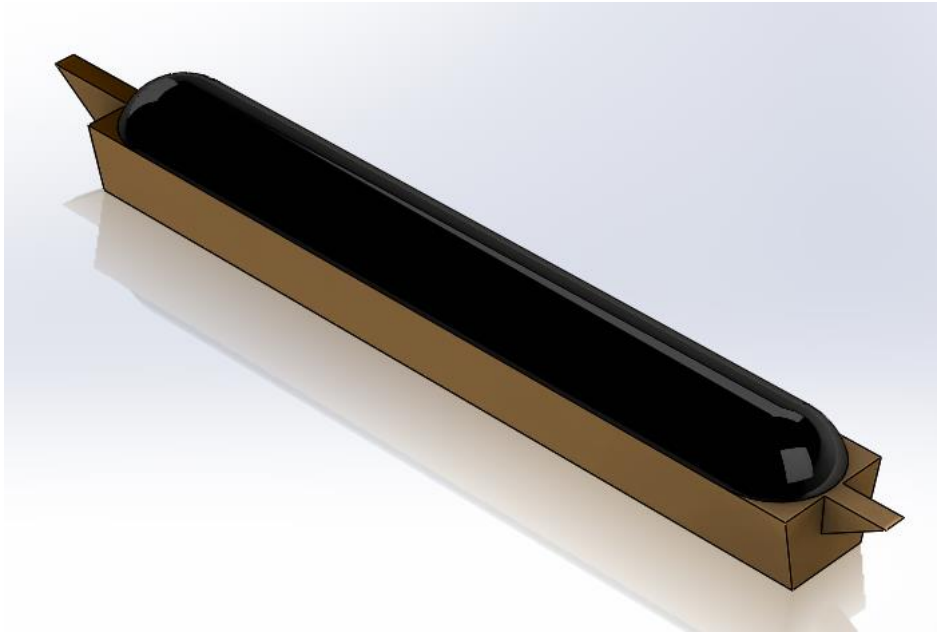


Figura 18 Colocación de geomembrana sobre la fosa preparada Fuente: Autor

Como resumen del desarrollo del biodigestor, se muestra a continuación la tabla con los cálculos para algunas posibilidades de acuerdo con los anchos de rollo de geomembrana. seleccionando el rollo de ancho 3 por la relación óptima entre la longitud y el diámetro que es cercana a 7, según lo manifestado por (Martí Herrero, 2008, pág. 36).

Tabla XXII Resumen del dimensionamiento del biodigestor

<b>Dimensionamiento del biodigestor de 35,7 m<sup>3</sup></b> <b>Materia prima para carga diaria: 168,75 kilogramos</b> <b>Mezcla de carga diaria: 708,75 kilogramos</b> <b>Producción de biogás estimado: 11,475 m<sup>3</sup></b>					
Ancho del rollo (m)	Diámetro del digestor (m)	Área transversal (m <sup>2</sup> )	Volumen total del biodigestor (m <sup>3</sup> )	Longitud del biodigestor (m)	Relación Longitud / diámetro
1	0,64	0,321699088	35,7	110,9732709	173,3957357
1,5	0,95	0,708821842	35,7	50,36526509	53,01606852
2	1,27	1,266768698	35,7	28,18194045	22,19050429
2,5	1,59	1,985565097	35,7	17,97976811	11,30803025
3	1,91	2,86521104	35,7	12,45981518	6,523463443

Fuente: Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación.

La relación óptima entre la longitud y el diámetro que es cercana a 7, según lo manifestado por (Martí Herrero, 2008, pág. 36), admite que la mejor opción es la de ancho de rollo igual a 3 metros.

Tabla XXIII Materiales para la construcción del biodigestor.

Cantidad	Material
15	Geomembrana PVC 500 Micras
2	Liga de neumático
1	PVC 6 pulgadas
1	Pegamento llama roja galón

Fuente: Autor

### 2.8.2 Construcción del agitador.

En el interior de digestor incorporamos el agitador, permitirá ejecutar la mezcla de nuestro material orgánico una vez completo el llenado en el mismo.

Tabla XXIV Materiales para la construcción del agitador.

Cantidad	Material
1	Rollo cabo soga de ½ pulgada
4	Agitadores circulares de 30 cm

Fuente: Autor

### 2.8.3 Implementación del tanque de ingreso de afluente y tanque de salida de efluente.

La medida del tanque de carga será de 1 m<sup>3</sup>, suficiente para realizar la mezcla y alimentación, su descarga se la realiza a través de una tubería de 4 pulgadas por la parte inferior directamente al reactor.

El tanque de descarga lo construiremos con una dimensión mayor al tanque de carga, cuya finalidad será de prevenir descargas por la presión y la fermentación en el interior, 2 m<sup>3</sup> serán las dimensiones del tanque de descarga.

Para la descarga se utilizará tubería de 4 pulgadas, conectada a la parte media de la altura del área transversal ocupada por el líquido dentro del biodigestor, la expulsión del biol ocurre por el nivel entre vasos comunicantes a la entrada, dentro y salida del biodigestor.

Tabla XXV Materiales para la construcción del tanque de carga y descarga.

Cantidad	Material
500	Ladrillos
20	Sacos de cemento
15	Sacos de material pétreo
2	Unidades de varilla de ¼
1	Quintal de varilla de 10 mm

Fuente: Autor

#### 2.8.4 Línea de salida y conducción de biogás.

Una correcta ubicación de la salida del biogás se la realiza a partir de los dos metros de la zona de carga hasta la mitad del reactor, lugar donde se colocará la salida de tanque con rosca, que permitirá realizar las conexiones para su transporte y posterior utilización, la línea de transporte se lo realizará utilizando manguera de polietileno negra con sus respectivos acoples.

Tabla XXVI Materiales para salida y conducción de biogás.

Cantidad	Material
10	Tubería de PVC de ½ pulgada metros
10	Accesorios PVC para conducción de gas de ½"

Fuente: Autor

#### 2.8.5 Válvula de seguridad, filtro atrapa olores y puga de condensado.

La función de la válvula de seguridad es la de formar un sello de agua, para que el exceso de biogás acumulado y no utilizado pueda salir y de esa manera evitar que la geomembrana sufra una sobrepresión.

A una distancia de uno o dos metros de la válvula de seguridad, ubicamos un filtro atrapa partículas de gases como el anhídrido sulfúrico, sulfuros en general, entre otros que son responsables del mal olor.

La línea de alimentación de gas deberá tener una ligera inclinación del 1 %, recomendado al final de cada cambio de dirección, servirá para purgar el condensado producto de las variaciones de temperatura ambiental sobre la línea de biogás.

Tabla XXVII Válvulas de seguridad y purga, filtro atrapa olores.

<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>
1	Válvula de seguridad
1	Filtro atrapa olores
4	Válvula para purga de condensado

Fuente: Autor

## **2.9 Alimentación y primera utilización del biodigestor.**

Concluida la instalación total del biodigestor, iniciará la carga de la mezcla del estiércol con el agua de acuerdo a la proporción establecida, esta carga se la realizará de aquí en adelante todos los días.

Transcurrido el tiempo de retención de 40 - 45 días de la primera carga, el biol y el biogás estarán en su máxima producción de acuerdo con la experiencia de los biodigestores experimentales. El aprovechamiento del biogás podrá utilizarse en la calefacción del interior de los galpones del Grupo Avícola San Vicente.

La mezcla será realizada cada dos o tres semanas con la finalidad de romper la costra superficial formada por la fermentación del estiércol, esta agitación se la realizará utilizando un rollo de sogas en el cual se incrustará secciones circulares, las cuales serán aladas de uno y otro lado, originando una mezcla en el interior del reactor.

Cabe indicar que, todo el poder energético con que cuenta la avícola no ha sido utilizado en la generación del biogás, y que el biol podría ser utilizado en las plantaciones cercanas o empezar con parte de la producción que años atrás tenía en dicho grupo.

## **2.10 Mantenimiento diario y últimos detalles.**

El sistema ya instalado requiere de una inspección visual periódicamente, la finalidad es de verificar si existen filtraciones de agua o presencia de aire en el

reactor, a partir de la primera carga se debe vigilar que no exista la presencia de rocas o ramas o algún material corto punzante que pueda deteriorar la geomembrana.

La carga del biodigestor se la realizara diariamente y con el mayor cuidado posible, de acuerdo a la carga de diseño y mezcla señalada.

Las líneas de transporte del biogás estarán correctamente sujetas para que no exista daño en ellas, se debe revisar la válvula de seguridad, el filtro atrapa olores y las válvulas del condensado, estas últimas deben ser purgadas, con el fin de evitar discontinuidad en el flujo del biogás.

La inspección y revisión del nivel de agua en la válvula de seguridad evitará la presencia de aire, de ser así, podrá morir el biodigestor por la presencia de oxígeno en el sistema.

El biodigestor puede ser rodeado de paredes y de una cubierta, estos mantendrán la temperatura y protegerán de la exposición directa de los rayos solares y de los vientos presentes en el área.

El fertilizante debe evitar ser expuesto a la radiación solar, se lo debe mantener siempre cubierto y de ser posible almacenado.

## **2.11 Conclusiones Capítulo II**

- La selección del biodigestor basa su análisis en la utilización de una matriz de decisión, con la cual se consideran aspectos y condiciones que se adaptan a las necesidades de la avícola.
- El dimensionamiento del biodigestor de flujo continuo utiliza una parte de la biomasa con que cuenta el Grupo Avícola San Vicente, los cálculos utilizados para determinar los volúmenes de carga, de gas y total del biodigestor arrojan valores necesarios para seleccionar la relación idónea entre el diámetro y la longitud del biodigestor tubular y obtener una producción eficiente del biogás.
- La energía alterna generada en el biodigestor, se la utilizará para la calefacción en los galpones reemplazando el uso de combustibles fósiles, permitiendo un ahorro económico para la avícola.

## **Capítulo III. APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA**

### **3.1 Análisis de los resultados.**

La matriz de selección valora parámetros indispensables y necesarios para realizar la preselección del biorreactor a diseñar; esta matriz evalúa las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de biodigestores. Los principales requerimientos de la avícola son el área del terreno, costos de construcción, operación y mantenimiento, mismos que limitan el diseño de un biodigestor de mayores dimensiones.

El Grupo Avícola San Vicente produce una gran cantidad de biomasa, el estudio involucra cálculos para producir biogás a partir de una determinada cantidad de materia orgánica, el área necesaria con la que cuenta la avícola es la principal limitante a considerar para dimensionar el biodigestor, sin embargo, el diseño del biodigestor realizado permite generar biogás necesario para cubrir una cierta demanda dentro de la avícola.

La relación diámetro – longitud del biodigestor, permite un correcto funcionamiento del sistema, con ello se evita la formación de costras en la superficie, logrando el desprendimiento de biogás hacia la superficie durante el proceso de fermentación.

Es importante tener en cuenta el control de la alimentación necesaria de acuerdo con la relación determinada, con ello se mantiene el normal funcionamiento del biodigestor.

La producción estimada de biogás será utilizada en el proceso de calefacción del galpón, en el cual, para el proceso de levante de 20000 aves en un tiempo de 45 días, utilizan 210 cilindros de gas, representando para la avícola un rubro alto en la producción de las aves de carne.

#### **3.1.1 Parámetros y costos de construcción del biodigestor de flujo continuo tipo balón.**

Se detallan a continuación los costos de materiales y obras civil necesarios para la construcción del biodigestor de flujo continua tipo balón.



Tabla XXVIII Parámetros y costos de construcción del biodigestor.

Ítem	Parámetros o características	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Sub total
1	Geomembrana PVC 500 Micras	15	m	\$10,00	\$150,00
2	Liga de neumático	3	U	\$10,00	\$30,00
3	Tuvo PVC 6 pulgadas	1	U	\$16,00	\$16,00
4	Cabo sogá de ½ pulgada	1	U	\$30,00	\$30,00
5	Agitadore circulares de 30 cm	4	U	\$5,00	\$20,00
6	Ladrillo	500	U	\$0,25	\$125,00
7	Saco de cemento	20	U	\$8,45	\$169,00
8	Saco de material pétreo	15	U	\$1,25	\$18,75
9	Varilla utilizada para rejillas en los tanques de carga y descarga de 1/4	1	12 [m] Largo  Ø 1/4[pulg]	\$1,67	\$1,67
10	Varilla utilizada para la construcción de tapas sanitarias de 10 mm	13	12 [m] Largo  Ø 10[mm]	\$49,25	\$49,25
11	Manguera de polietileno metros.	10	m	\$0,85	\$8,50
12	Acoples para plásticos para conducción de gas de ½”	8	U	\$2,50	\$20,00
13	Mano de obra	21	día	\$20,00	\$420,00

14	Transporte	3	U	\$10,00	\$30,00
15	Válvula de seguridad	1	U	\$15,00	\$15,00
16	Filtro atrapa olores	1	U	\$20,00	\$20,00
17	Válvula para fuga de condensado	3	U	\$5,00	\$15,00
<b>TOTAL</b>					\$1138,17

Fuente: Autor

### 3.2 Aplicación en los recursos energéticos de la avícola.

El Grupo Avícola San Vicente anualmente produce 1300000 aves de carne, distribuidas en 7 galpones y 12 galpones que acogen a 20000 y 10000 aves respectivamente cada uno; esta producción se consigue mediante 5 rondas anuales de todos sus galpones, con un intervalo de 7 días para el levante de 20000 pollitos, el lote de aves es recibido en cada galpón con un ciclo de 7 semanas, de las cuales 45 días tarda en convertirse en adulto, y las 3 semana restantes son utilizadas para la limpieza y desinfección de cada galpón.

Para el levante de los 20000 pollitos en cada galpón, es necesario de 210 tanque de GLP de 15 kg no subsidiado para calefacción, es decir que consume 3150 kg en cada levante de GLP.

La tabla V indica que 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a 0,45 kg de GLP, obteniendo:

210 tanques de 15 kg = 3150 kg de GLP por levante de 20000 aves.

$$\frac{3150 \text{ kg GLP}}{20000 \text{ aves}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{0,45 \text{ kg GLP}} = 7000 \frac{\text{m}^3}{20000 \text{ aves}}$$

Los 7000 m<sup>3</sup> representa la cantidad de energía consumida para la calefacción de un galpón, es decir, el 100 % de GLP necesario para el levante de 20000 aves, por razones de espacio y económicas propias de la avícola, el cálculo se lo realizo para 1500 aves, es decir un estimado de 11,5 m<sup>3</sup> de biogás /por día (573,3 m<sup>3</sup> por 7 semana que dura el ciclo de levante), con lo cual se alcanzaría a cubrir el 8,2 % del consumo de energía actual por levante.

### 3.3 Evaluación económica de los resultados.

La creación e instalación de biodigestores, contribuye a la reducción de problemas inherentes a la contaminación, el mejor uso de los residuos orgánicos provee una mejor calidad de vida, y por ende aporta a la matriz energética del país; pues, al encontrar variedad de usos, reduce el consume de energías tradicionales, mejoran la salud de la sociedad, aumenta la fertilidad de los suelos, generando beneficios económicos, sociales, ambientales y a la salud.

Las nuevas técnicas y tecnologías permiten, aplicaciones novedosas de bajo costo que brindan muchos beneficios, haciéndolo atractivo para su implantación.

El bio gas es utilizado directamente como una fuente alternativa de energía no renovable, para la determinación del valor comercial del biogás como fuente de energía en el presente trabajo, utilizamos la tabla V del capítulo 1, en el cual indica que el valor neto de 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a la energía emitida por 0,8 litros de gasolina.

De ahí que, la producción anual de biogás producto del biodigestor propuesto asciende a los 4197,5 m<sup>3</sup> de biogás (11,5 m<sup>3</sup> /día) equivalente a 3358 litros de gasolina. El valor comercial en Ecuador del litro de gasolina es de 0,647 dólares.

Calculando el equivalente energético del biogás con el valor comercial de combustible fósil, existirá un beneficio directo de 2172,6 dólares al utilizar el biogás.

Tabla XXIX Beneficios al generar el biogás.

Ítem	Beneficios del biogás como fuente de energía	VALOR
A	Producción anual de biogás (m <sup>3</sup> / año)	4197,5
B	Equivalencia al combustible fósil (litros de gasolina)	3358,0
C	Precio comercial de combustible fósil (USD \$ / litros)	0,647
	Ahorro anual por el uso de biogás (B x C) USD \$	<b>2172,6</b>

Fuente: Autor.

### 3.4 Validación técnica - económica, de los resultados.

Para verificar el ahorro que genera el proyecto si ha realizado un análisis en función de Van y de la TIR.

Tabla XXX Análisis del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR)

Inversión Inicial	\$1138,17			
Número de periodos	4			
Tasa de descuento	10%			
Beneficio anual	2172,60			
Periodo	Flujo de efectivo neto (FNE)	(1+i) ^n	Valor Actualizado (FNE/(1+i) ^n)	Valor Actualizado Acumulado
0	-\$1138,17	100%	-\$1138,17	-\$1138,17
1	\$2389,86	110%	\$2172,60	\$1034,43
2	\$2628,85	121%	\$2172,60	\$3207,03
3	\$2891,73	133%	\$2172,60	\$5379,63
4	\$3180,90	146%	\$2172,60	\$7552,23

Valor presente de la suma de flujos actualizados. \$8690,40

Valor Neto Actual (VNA) 8690,40

Valor Actual Neto (VAN) \$7552,23

Tasa de Interna de Retorno (TIR) 216,93%

Índice de rentabilidad o Razón Beneficio/costo 7,64

Periodo de recuperación 0,52

Fuente: Autor

La tabla anterior valida la propuesta del diseño del biodigestor en el Grupo Avícola San Vicente, el cual representa una inversión del USD \$ 1138,17. La tabla muestra el análisis de la inversión en un periodo de cuatro años, en el cual se observa una recuperación en un lapso de medio año con un índice de rentabilidad de 7,64 %. Una aprecia una tasa de retorno del 216 % siendo más rentable que invertir en una entidad bancaria.

De los resultados obtenidos, respecto al ahorro que representa la generación de biogás a partir de la selección y diseño del biodigestor, se evidencia la factibilidad del proyecto, considerando que, se utilizó una parte de la biomasa del Grupo Avícola San Vicente, la cual cubrió un 8,2 % del consumo de GLP por cada levante del galpón de 20000 aves, generando un beneficio de USD \$ 2172,6 anuales, con ello el estudio es viable para la avícola.

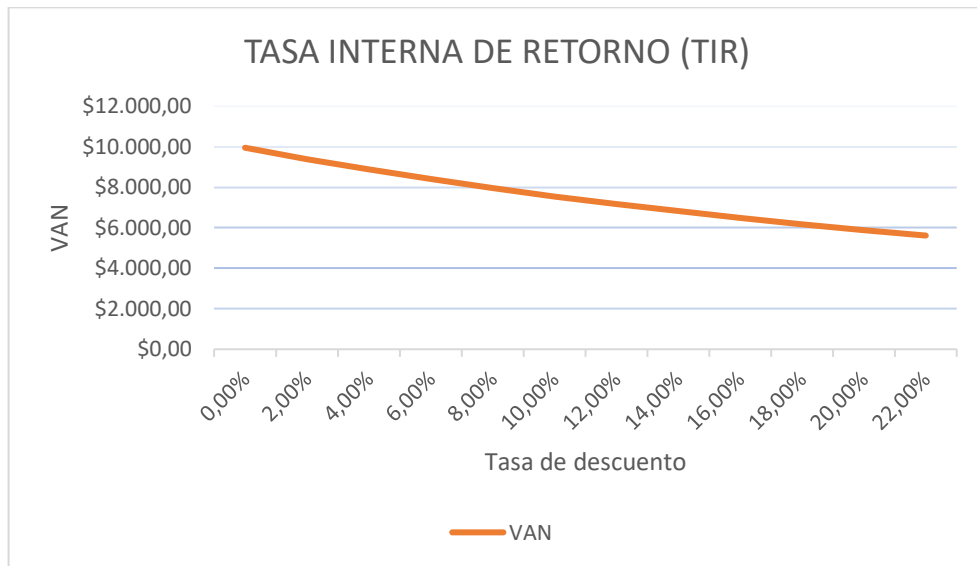


Figura 19 Tasa interna de retorno (TIR) Fuente: Autor

De acuerdo con la tasa de descuento del 10% (beneficio anual esperado por el consumidor), el VAN es positivo, superando el valor de la inversión. De la misma manera la TIR supera a la tasa de descuento apreciada, mostrando la factibilidad económica del proyecto.

### 3.5 Evaluación social.

Muchos son los beneficios de índole social que genera este tipo de proyectos, logra un aumento de los ingresos en los productores por la utilización de residuos orgánicos, generando beneficios a las comunidades cercanas mejorando la calidad de vida y protegiendo directa el medio ambiente.

Técnicamente la avícola podría utilizar esta fuente de energía renovable, que fomenta una manera de convivir con el medio ambiente, sin dañar el ecosistema.

El mantenimiento de un biodigestor no presente complejidad, ya una vez familiarizado el operador con el funcionamiento, las tareas de rutina diarias permitirán el control y correcto funcionamiento del biogenerador además de los productos generados en el mismo.

### **3.6 Evaluación ambiental.**

Años atrás, muchos de los residuos orgánicos no eran aprovechados de la mejor manera, al descomponerse la materia orgánica a la atmosfera, aumenta el calentamiento global del planeta.

Los biodigestores captan los gases y los transforma en una fuente de energía, preservando el medio ambiente, fomentando la creación de ecosistemas que son utilizados por el hombre para satisfacer sus necesidades.

Los productos orgánicos generados en los biodigestores no se evaporan y al ser disueltos no producen efectos contaminantes. Los biodigestores generan productos utilizados como energías limpias y renovables.

Las avícolas han sido catalogadas como pequeñas industrias; por el desprendimiento de gases y olores producto de su labor, han sido alejadas a las zonas rurales, la contención de gases en estos equipos, cusan un gran beneficio, mejorando la calidad de vida de trabajadores y cuidando de una manera amigable nuestro planeta.

### **3.7 Conclusiones capítulo III**

- La producción estimada de 11,5 m<sup>3</sup> de biogás por día, genera un ahorro para el grupo avícola de USD \$ 2172,6 anuales, con lo cual se satisface el 8,2% del consumo por levante de 20000 aves en un galpón.
- La recuperación de la inversión es alcanzada al medio año, apreciando una tasa de retorno de 216%, mejorando a la inversión realizada en una entidad bancaria.
- De acuerdo con los indicadores financieros determinados, la propuesta de diseño de biodigestor es conveniente y se la deberá ponerla en marcha, incentivando de esta manera a la avícola en la construcción del biodigestor para un mejor aprovechamiento de la biomasa.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

- Los escenarios teórico-metodológicos permiten integrar aspectos notables para el desarrollo de la investigación, posibilitando una estructura y metodología adecuada para el progreso de la misma; el Grupo Avícola San Vicente escenario de estudio, permite aplicar la información recolectada y utilizar la materia orgánica de una manera distinta a la manejada hasta el momento.
- La selección del biodigestor tubular de bajo costos se lo realizó utilizando una matriz de decisión, a partir de las excretas de 1500 aves; los cálculos realizados permiten determinar el volumen del biodigestor (35,7 m<sup>3</sup>) y con ellos estimar la producción de biogás por día (11,5 m<sup>3</sup>), para a continuación dimensionar el biodigestor y elegir la mejor opción de eficiencia frente a la producción estimada.
- Los beneficios económicos generados por el biodigestor, representan un ahorro USD \$ 2172,6 anuales, logrando reemplazar el 8,2 % del consumo de energía utilizada por el levante de 20000 aves; se deduce con ello que la propuesta es rentable con un tiempo estimado de recuperación de medio año.
- El biodigestor presta beneficios económicos, sociales y ambientales, al ser un sistema que descompone la biomasa y la almacena para su posterior utilización, minimiza el daño ambiental, mejora la calidad de vida y ahorra recursos.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda el biodigestor tubular para zonas rurales por su fácil diseño, construcción, instalación, operación y bajo costo, logrando ser la mejor opción frente a los otros tipos de biodigestores; la correcta relación entre el diámetro y longitud es necesaria para alcanzar su mayor eficiencia.
- Enmarcados en el estudio de las energías renovables en el sector ganadero, se sugiere un análisis ambiental más amplio, enfocado en las emisiones producidas por este tipo de tecnologías limpias.

- Se sugiere considerar este tipo de metodología de diseño en investigaciones o aplicaciones para las que, a partir de las excretas generadas por un número de animales, se desee desarrollar un biodigestor y estimar la producción de biogás.
- Se recomienda estudios análogos en los cuales se podría analizar otras fuentes de energías renovables, el desconocimiento del poder energético de este tipo de biomasa ha provocado su mal aprovechamiento, ya que, al ser utilizado como abono no tratado, genera una mayor contaminación y por consiguiente daño al medio ambiente.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arrieta Palacios, W. J. (Junio de 2016). Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado. Piura.
- Caputo, A. C., Palumbo, M., Pelagagge, P. M., & Scacchia, F. (2004). Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables. *BIOMASS & BIOENERGY*, 35-51.
- Chávez Revelo, L. M. (2012). *Uso de desechos de camal (contenido ruminal, sangre y estiércol) en la elaboración de compost con la utilización de diferentes sustratos*. Quito: Escuela Politécnica del Ejército.
- de Lucas Herguedas, A. I., del Peso Taranco, C., Rodríguez García, E., & Prieto Paniagua, P. (2012). *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*. Palencia: Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. ITAGRA.CT.
- Domínguez Gómez, D., Granja Ruales, J., Guachagmira, R., & Robalino, L. (2010). *Manual de construcción y operación de biodigestor tipo hindú y flujo continuo*. Ibarra: Identidad Gráfica.
- Energías Renovables No Convencionales. (2012). *Guía de planificación para proyectos de biogás en Chile*. Santiago de Chile: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- FAO. (2013). *Revisión del desarrollo Avícola*. FAO.
- FAO. (2019). *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores*. Buenos Aires: FAO.
- Fontenot, J. P. (1998). *Alimentación del ganado con residuos avícolas*. En: *Memorias de la Conferencia Internacional sobre ganado en el trópico*. Florida: Gainesville.
- Fortalecimiento de la Capacidad en Energía renovable para América Central. (2002). *Manuales sobre energía renovable: Biomasa*. San José: Users Network (BUN-CA).

- Franco, E. (2010). *Conocimiento de las fuentes de energía renovable así como su potencial uso para disminuir la dependencia del petróleo extranjero*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos73/fuentes-energia-renovable/fuentes-energia-renovable5.shtml>
- Fundación energía sin fronteras (EsF). (2012). *Biomasa y desarrollo*. Madrid.
- Grajales, T. (2000). Tipos de investigación. *On Line*, 14.
- Guardado Chacón, J. A. (2007). *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*. La Habana: CUBASOLAR.
- ICAITI. (1985). *Biogás y bioabono aplicaciones*. Guatemala: ICAITI.
- Jarabo Friedrich, F., Perez Dominguez, C., Elortegui Escartin, N., Fernández González, J., & Macias Hernández, J. J. (1988). *El Libro de las energías renovables*. Madrid: Artes Gráficas Gala, S.L.
- Mantilla Suárez, N. F. (2017). Biogás aprovechamiento energético de una granja ganadero - avícola. (*Trabajo de Maestría*). Universidad de Santander - UDES, Bucaramanga.
- Martí Herrero, J. (2008). *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*. La Paz: Corporación Técnica Alemana -GTZ.
- Martí Herrero, J. (2019). *Experiencias Latino Americanas en la implementación de estrategias para democratizar los biodigestores entre pequeños y medianos productores agropecuarios: Aportes a Ecuador*. Ecuador: Climate Technology Centre and Network (CTCN)-UNFCCC.
- Martina , P. (2005). Estudio de la producción de biogas en función de la cantidad de residuos de madera en un biodigestor del tipo de carga unica o batch. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 23-27.
- Mazumbar, M. A. (1982). *Consolidation of information*. Paris: United Nations Educational Scientific and Cultural Organization.
- Miler Daen, S. T. (2011). Tipos de investigación científica. *Revista de Actualización Clínica Investiga Boliviana*, 621-624.

- Monar Castillo, U. R. (2009). *Diseño de un Biodigestor para una Finca del Recinto San Luís de las Mercedes del Cantón Las Naves – Provincia de Bolívar*. Guayaquil.
- Noyola, A., Morgan Sagustume, J. M., & Guereca, L. P. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. México: UNAM.
- Osorio, W. A., Carrera, P. J., Segovia, D. F., Toapanta, M. C., & Pazmiño, R. R. (2018). Evaluación del potencial energético de la biomasa, para el aprovechamiento de la generación de gas metano (CH<sub>4</sub>). *Ciencia Digital*, 473-496.
- Pizarro, S. (2005). *Biodigestor*. Buenos aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación - Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
- Quintero González, J. R., & Quintero González, L. E. (2015). Biomasa: métodos de producción, potencial. *Revista I3+*, 28-44.
- Samayoa, S., Bueso, C., & V iquez, J. (2012). *Guía Implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas*. Honduras: Comunica.
- Sanguino , P. A., Téllez, N. A., Escalante, H., & Vasquez, C. A. (2009). Aprovechamiento energético de la biomasa residual del sector avícola. *Ion*, 43-52.
- UPME. (2003). *Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás*. Bogota: ICONTEC - AENE.
- Varnero Moreno, M. T. (2011). *Manual de Biogás*. Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32 “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”.

**ANEXOS.**

**ANEXO N: \_ 01 Registro fotográfico.**

**Recolección de la gallinaza en el Grupo Avícola San Vicente.**



**ANEXO N: \_ 02 Valores y características del estiércol de algunos animales.**

Clase de animal	% por peso vivo:		% del material de digestión		Relación C/N	P = Producción de biogás (m <sup>3</sup> de gas /1 kg SO)
	PE = Estiércol	PO = Orina	% EST Sólidos	% SO Solidos orgánicos		
<b>Vacunos</b>	5	4	15 - 16	13	20	0,250
<b>Cerdos</b>	2	3	16	12	13	0,350
<b>Cápenos, ovejas</b>	3	1,5	30	20	30	0,200
<b>Caballos</b>	5	4	25	15	20	0,250
<b>Avícolas, gallinas</b>	4,5	4,5	25	17	5-8	0,400
<b>Humanos</b>	1	2	20	15	8	0,300

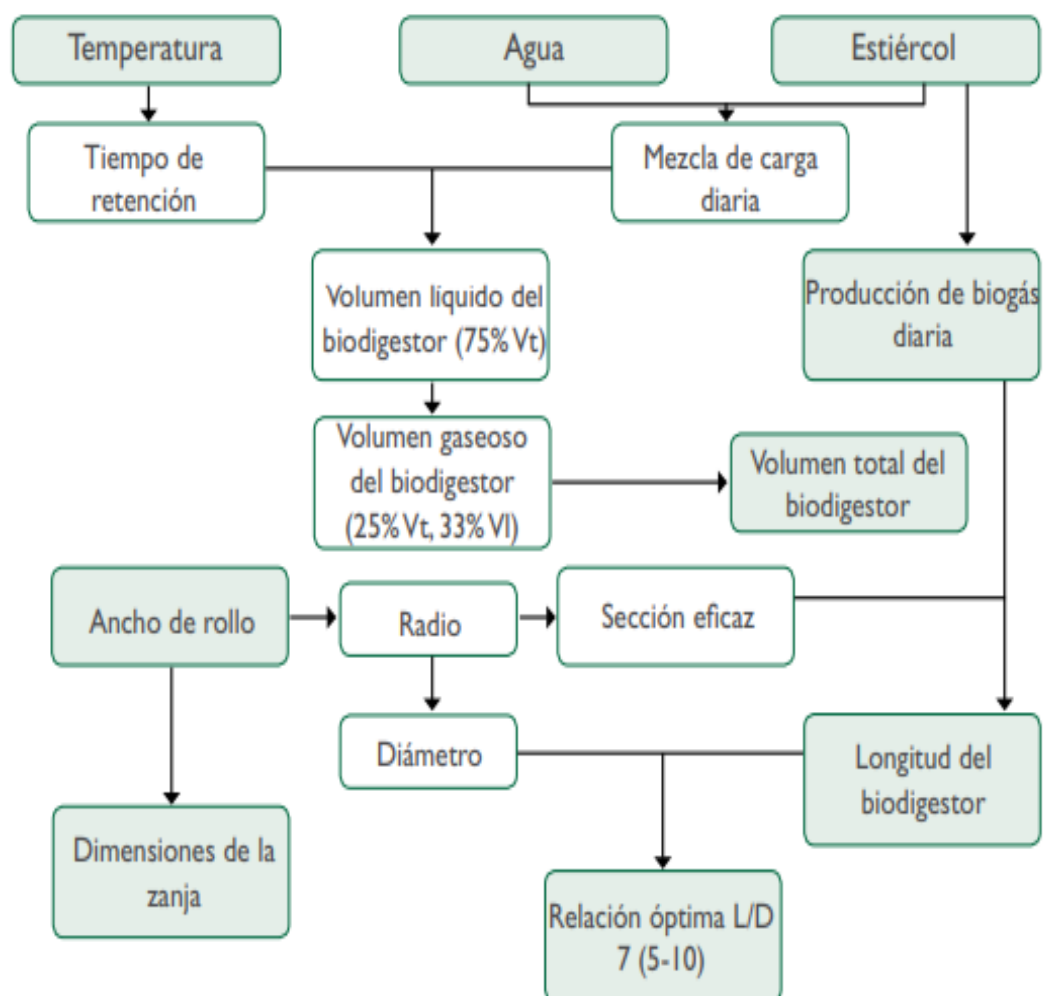
Valores y características del estiércol de algunos animales, Fuente: Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás.

**ANEXO N: \_ 03 Ponderación de la matriz de decisión para preselección del biodigestor.**

<b>Factor evaluado</b>	<b>Comentarios</b>	<b>Ponderación (%)</b>
Tipo de materia prima (estiércol)	La materia prima disponible en la avícola es la gallinaza, biodigestores que operen con este tipo de estiércol serán los con mejor opción.	5
Vida útil	Se desea que el digestor posea una vida útil promedio (10 años).	15
Requerimientos de área	En este aspecto la avícola cuenta con poco espacio para la implementación del digestor.	5
Costos	La cuantificación de este aspecto se lo realiza en base al menor costo posible para obtener un ahorro de recursos tanto en la inversión inicial, operación y mantenimiento.	20
Construcción	La construcción del digestor no debe ser compleja.	15
Operación y mantenimiento	Se desea que la operación sea simple, flexible y confiable, además de que una persona con poca capacitación pueda hacer la función de operador, y que el mantenimiento sea de lo más simple.	15
Rendimiento	El digestor que sea diseñado deberá poseer un rendimiento aceptable en la producción de biogás.	25

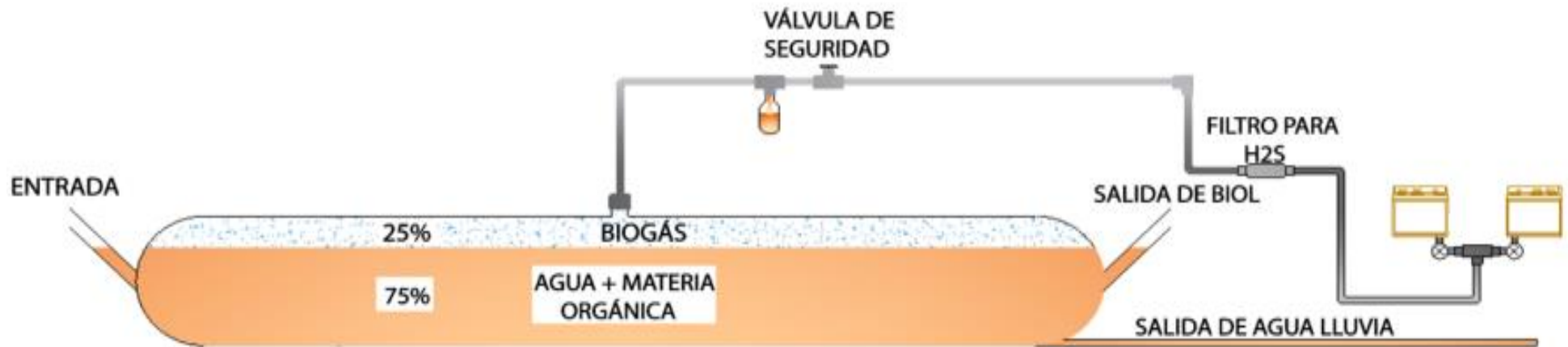
Matriz de decisión, Fuente: Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales.

**ANEXO N: \_ 04 Metodología de diseño del biodigestor.**



Esquema de metodología de diseño, Fuente: Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación.

**ANEXO N: \_ 05 Esquema de biodigestor de flujo continuo.**



Biodigestor tipo salchicha, Fuente: Construcción de un biodigestor para generar energía renovable a partir de desechos orgánicos en el camal de Pacto – Ecuador.



