



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA GENERAR BIOGÁS A
PARTIR DEL EXCREMENTO DE LA GALLINA EN LA GRANJA AVÍCOLA AVES
DEL COTOPAXI.”**

Autores:

Guamanquispe Alulema Leider Alexander

Perdomo Zapata Luis Andrés

Tutor:

Ing. Torres Tamayo Enrique PhD.

Latacunga - Ecuador

Agosto 2018



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Nosotros, Guamanquispe Alulema Leider Alexander; Perdomo Zapata Luis Andrés, declaramos ser autores la presente Propuesta Tecnológica: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA GENERAR BIOGÁS A PARTIR DEL EXCREMENTO DE LA GALLINA EN LA GRANJA AVÍCOLA AVES DEL COTOPAXI.”**, siendo el Ing. Torres Tamayo Enrique PhD. Tutor del presente Trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en la presente Propuesta Tecnológica, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Guamanquispe Alulema Leider Alexander

C.I. 050297250-8



Perdomo Zapata Luis Andrés

C.I. 050368591-9



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el Título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA GENERAR BIOGÁS A PARTIR DEL EXCREMENTO DE LA GALLINA EN LA GRANJA AVÍCOLA AVES DEL COTOPAXI.”, de Guamanquispe Alulema Leider Alexander; Perdomo Zapata Luis Andrés, Estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes Científico-Técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga Julio del 2018

Ing. PhD.

Torres Tamayo Enrique

C.C: 1757121940



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe Tecnológico de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, los postulantes: Guamanquispe Alulema Leider Alexander; Perdomo Zapata Luis Andrés, con el Título de Proyecto de Titulación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA GENERAR BIOGÁS A PARTIR DEL EXCREMENTO DE LA GALLINA EN LA GRANJA AVÍCOLA AVES DEL COTOPAXI”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga Julio del 2018

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso
C.C. I712813

Lector 2

Ing. Mauro Darío Albarracín Álvarez Ms.C
C.C. 050311373-0

Lector 3

Ing. Andrés Germán Arévalo Zabala Ms.C
C.C 171042684-2

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Con el presente documento, Yo, Carlos Tipantuña, con C.C. 050144395-6 propietario de la granja avícola “Aves del Cotopaxi”, con Ruc N° 0501443956001 dejo en constancia que los estudiantes: Guamanquispe Alulema Leider Alexander y Perdomo Zapata Luis Andrés, de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, bajo la tutoría del Ing. Enrique Torres Tamayo (PhD), implementaron en mi propiedad un proyecto cuyo título es: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA GENERAR BIOGÁS A PARTIR DEL EXCREMENTO DE LA GALLINA EN LA GRANJA AVÍCOLA AVES DEL COTOPAXI”**, ubicado en el sector San José Ejido, parroquia Juan Montalvo, de la ciudad de Latacunga.

Por consiguiente, autorizo que usen el presente documento para cualquier fin legal pertinente de la Universidad.

Latacunga, 25 de Julio, del 2018



Sr. Carlos Tipantuña

C.C. 050144395-6

Propietario de la granja avícola “AVES DEL COTOPAXI”

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme guiado a lo largo de mi carrera y no dejarme solo en momentos de angustia.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por permitir consolidarme como profesional, en especial al PhD. Enrique Torres, tutor de nuestro proyecto, quien, con su paciencia y rectitud nos ha guiado, para que se efectuara el proyecto.

A mi madre Carmita, por brindarme todo el apoyo incondicional, y por inculcarme valores para ser mejor persona.

A mi abuelita Carmelina, que pese a la distancia siempre sus sabios consejos me ayudaron para llegar a estas instancias.

A Paulita Paula´s, por compartir grandiosos momentos junto a mí.

A Jacinto, Pedro y Darwin, grandes amigos de la vida.

Y finalmente a todos mis amigos con quienes compartí una experiencia maravillosa en los estamentos universitarios.

Leider

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la sabiduría y fortaleza para culminar mis estudios, por bendecirme e iluminarme en los momentos más difíciles de mi vida.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, en especial a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas por haberme dado la oportunidad de formarme como un profesional.

A mi abuelita Flor Zapata por sus sabios consejos.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, en especial a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas por haberme dado la oportunidad de formarme como un profesional.

A mis tíos, Marlene y Wilson, por apoyarme desde pequeño por sus consejos brindados para cada día ser mejor persona.

A mi novia Katherine Sinchiguano por estar junto a mí en los momentos malos y buenos y por todas sus palabras de aliento durante mi vida estudiantil formación como profesional.

Al Sr. Nelson Sinchiguano y Sra. María Chilinguina por acogerme en su hogar y brindarme su apoyo incondicional.

A mis hermanos Nelson y Patricio quienes con sus palabras me motivaban a seguir adelante.

A mis amigos Luigi, Geovanny, con quienes compartí momentos amenos tanto deportivos, educativos y culturales.

Luis

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a Dios por darme salud y perseverancia para lograr este sueño tan anhelado. A Carmita Alulema mi adorable madre quien con su infinito amor, consejos, y enseñanzas, siempre me ha motivado para seguir adelante, sin importar nuestras diferencias de opinión, quien además ha sido padre y madre y me ha enseñado que la vida sin sacrificio no es vida, y que lo principal que debe primar son los valores y la humildad para ser mejores personas en la vida, lo que le ha convertido en el pilar fundamental de mi vida y un ejemplo de vida y enseñanzas para mí y mi familia. Y por último a todos quienes han compartido conmigo vastas experiencias y alegrías y me han apoyado para lograr tan anhelado sueño.

Leider

DEDICATORIA

Dedico mi proyecto de tesis a Dios por bendecirme en cada paso que doy en mi vida, a la memoria de mi querido padre Valentín Perdomo que fue la persona que con sus palabras y apoyo incondicional me motivo a seguir adelante con mis estudios sin importar las dificultades que se atravesasen en la vida, a mi abuelita Flor Zapata por cuidarme y educarme desde niño inculcándome valores para ser un hombre de bien, a mi querida madre Gladys Zapata que con su trabajo día tras día me apoya para poder seguir luchando por mis sueños, a mis queridos tíos Marlene Zapata y Wilson Gallo por ser como unos padres y aconsejarme como a un hijo, a mi querida enamorada Katherine Sinchiguano por todo el apoyo incondicional por sus sabias palabras que me impulsaban a seguir adelante por mis sueños, a mis hermanos Nelson y Patricio Perdomo por todo su apoyo y amistad.

Luis

INDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	v
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xix
1. INFORMACIÓN BÁSICA	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	2
2.1. Título de la propuesta tecnológica.....	2
2.2. Tipo de alcance.....	2
2.3. Área del conocimiento.....	2
2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica	2
2.5. Objeto de estudio y campo de acción	3
2.5.1. Objeto de estudio.....	3
2.5.2. Campo de acción	3
2.6. Situación problémica y problema	3
2.6.1. Situación problémica	3
2.6.2. Problema.....	3
2.6.3. Matriz causa – efecto.....	4
2.7. Hipótesis	4
2.8. Objetivos.....	4
2.8.1. Objetivo general	4
2.8.2. Objetivos específicos.....	4
2.9. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos.....	5
3. MARCO TEÓRICO.....	7
3.1. Definición de biomasa	7
3.1.1. Tipos de Biomasa	7
3.1.1.1. Biomasa Natural	8
3.1.1.2. Biomasa residual (seca y húmeda)	8
3.1.1.3. Excedentes agrícolas.....	8
3.2. Definición de la Gallinaza	8

3.2.1. Calidad de la gallinaza.....	9
3.2.2. Producción de gallinaza.....	9
3.2.3. Usos de la gallinaza	10
3.3. Composición de la gallinaza.....	10
3.4. Proceso de biodigestión	11
3.4.1. Digestión anaeróbica	11
3.4.2. Ventajas y desventajas de la digestión anaeróbica	11
3.4.3. Condiciones para la digestión anaeróbica	12
3.4.4. Proceso biológico de la digestión anaeróbica.....	12
3.4.5. Sistemas de digestión anaeróbica.....	15
3.5. Definición del Biogás.....	15
3.5.1. Factores a tener en cuenta para la producción de biogás	17
3.5.2. Aplicaciones principales del biogás	18
3.6. Definición del biol.....	18
3.6.1. Utilidad del biol	18
3.6.2. Ventajas y desventajas del biol	18
3.7. Definición del biodigestor	19
3.8. Tipos de biodigestores	20
3.8.1. Biodigestores de flujo discontinuo	20
3.8.1.1. Ventajas y desventajas del biodigestor discontinuo.	20
3.8.2. Biodigestores de flujo continuo	20
3.8.2.1. Biodigestor de cúpula fija (chino).....	21
3.8.2.2. Biodigestor de cúpula Flotante (Indio)	22
3.8.2.3. Biodigestor de estructura flexible (salchicha, Taiwán).....	23
3.9. Partes de un digestor	24
3.9.1. Tanque de carga	24
3.9.2. Tanque digestor.....	25
3.9.3. Pozo de salida.....	25
3.9.4. Línea de conducción del biogás.....	26
3.9.5. Reservorio de biogás	26
3.9.6. Válvulas de seguridad (alivio).....	27
3.9.7. Filtro de ácido sulfhídrico.....	27
3.9.8. Techo de invernadero	28
3.9.9. Medidor de gas natural	28
3.9.10. Manómetro de presión baja	29

3.10. Consideraciones de operación del biodigestor	30
3.10.1. Temperatura.....	30
3.10.2. Disponibilidad de nutrientes	30
3.10.3. Tiempo de retención	30
3.10.4. Agitación - Mezclado	31
3.10.5. Relación Carbono – Nitrógeno	31
3.10.6. Tiempo de retención hidráulico (Thr).	31
3.10.7. Polietileno.....	32
3.10.8. Dimensiones de la zanja para el biodigestor	33
4. METODOLOGÍA.....	34
4.1. Método Experimental	34
4.2. Operacionalización de variables	34
4.3. Métodos para la producción de biogás	35
4.3.1. Etapa I.....	35
4.3.2. Etapa II.....	35
4.3.3. Etapa III.....	35
4.3.4. Etapa IV	35
4.4. Procedimiento de diseño	36
4.4.1. Cantidad de excreta total para la carga diaria	36
4.4.2. Dimensionamiento del digestor.....	37
4.5. Materiales para la construcción del biodigestor	39
5. ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	41
5.1 Implementación de la propuesta tecnológica	41
5.1. Factibilidad técnica	41
5.2. Análisis de la curva de Pareto	42
5.3. Caracterización del excremento	47
5.4. Caracterización del biogás	47
5.4.1. Cromatógrafo de gases clarus 500 perkin-elmer.....	47
5.5 Cálculos de diseño del biodigestor.....	49
5.5.1 Determinación del potencial de excreta.....	49
5.5.2. Determinación de mezcla y carga diaria.....	50
5.5.3. Determinación del diámetro y longitud del biodigestor.	50
5.5.4 Volumen total del biodigestor	50
5.5.5 Volumen líquido total del biodigestor	51
5.5.6 Volumen líquido total del biodigestor	51

5.6. Temperatura promedio de trabajo del biodigestor.....	51
5.7. Presión de trabajo	53
5.8. Producción diaria de biogás.....	53
5.9. Relación flujo medio diario vs temperatura media diaria.....	54
6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS	56
6.1. Costos directos del biodigestor.....	56
6.1.1 Costos de materiales para conducción del biogás	57
6.1.2. Costos de materiales para construcción invernadero y reservorio	58
6.1.3 Costos por utilización de equipos	58
6.1.4. Costos de elementos de seguridad	59
6.1.5. Costos de mano de obra.....	59
6.1.6. Total de costos directos	59
6.2. Costos indirectos del biodigestor.....	60
6.3. Costos totales.....	60
6.4. Rentabilidad.....	61
6.5. Estudio financiero de la propuesta tecnológica	61
6.5.1. Flujo de fondos previsto:	62
6.6. Valor Actual Neto (VAN)	63
6.6.1. Criterios de decisión para el VAN.....	65
6.7. Tasa Interna de Retorno.....	65
6.7.1. Criterios de decisión para el TIR.....	66
6.8 Análisis de impactos.....	67
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
9. ANEXOS	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Matriz causa – efecto.	4
Figura 3.1. Productores de biomasa.	7
Figura 3.2. Proceso biológico de la digestión anaeróbica.	13
Figura 3.3. Proceso de la fase Metanogénica.	14
Figura 3.4. Diseño básico de un biodigestor	19
Figura 3.5. Esquema de un biodigestor de cúpula fija.	22
Figura 3.6. Esquema de un biodigestor de domo flotante.	23
Figura 3.7. Esquema de un biodigestor de estructura flexible (tubular).	24
Figura 3.8. Tanque de carga.	24
Figura 3.9. Tanque digestor.	25
Figura 3.10. Tanque de salida de biol.	25
Figura 3.11. Línea de transporte de biogás.	26
Figura 3.12. Reservorio de biogás.	26
Figura 3.13. Válvula de seguridad o de alivio.	27
Figura 3.14. Filtro de ácido sulfhídrico.	27
Figura 3.15. Invernadero para protección de biodigestor.	28
Figura 3.16. Medidor de gas natural.	28
Figura 3.17. Manómetro de baja presión.	29
Figura 3.18. Rollo de polietileno tubular.	32
Figura 5.1. Distribución de naves en el galpón número 5.	41
Figura 5.2. Croquis del lugar de instalación del biodigestor.	42
Figura 5.3. Curva de relación biomasa vs porcentaje de carbono.	43
Figura 5.4. Curva de relación biomasa vs porcentaje de disponibilidad individual.	44
Figura 5.5. Curva de relación biomasa vs porcentaje de nitrógeno.	45
Figura 5.6. Curva de la relación biomasa vs biogás producido.	46
Figura 6.1. Curva característica del Van vs el Tir.	65

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Descripción de actividades por objetivos.	5
Tabla 3.1. Estimación de la producción de deyecciones de gallinas ponedoras.....	9
Tabla 3.2. Caracterización de la gallinaza.	10
Tabla 3.3. Clasificación de los sistemas de biodigestión anaeróbica por el tiempo de carga.	15
Tabla 3.4. Características generales del biogás.	16
Tabla 3.5. Producción de biogás por tipo de residuo animal.....	17
Tabla 3.6. Tiempos de retención de acuerdo a la ubicación y temperatura.....	30
Tabla 3.7. Valores promedios aproximados de la relación carbono/nitrógeno de algunos residuos disponibles en el medio rural.	31
Tabla 3.8. Tiempos de retención en distintos tipos de estiércol.	32
Tabla 3.9. Tiempos de retención según la temperatura.	32
Tabla 3.10. Características de los rollos de polietileno.	33
Tabla 3.11. Dimensiones de la zanja de acuerdo al ancho del rollo de polietileno.....	33
Tabla 4.1. Operacionalización de variables.....	34
Tabla 4.2. Fuentes de biogás más empleadas.	36
Tabla 5.1. Relación biomasa vs porcentaje de carbono.....	43
Tabla 5.2. Relación biomasa vs porcentaje de disponibilidad individual.....	44
Tabla 5.3. Relación biomasa vs porcentaje de nitrógeno.	45
Tabla 5.4. Relación biomasa vs biogás producido.	46
Tabla 5.5. Relación biomasa vs biogás producido.	47
Tabla 5.6. Caracterización del biogás.....	48
Tabla 6.1. Detalle de costos de materiales para construcción del biodigestor.	56

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I. Análisis de contenido de hierro en el abono de la gallina.	74
ANEXO II. Análisis químico general del abono de la gallina.	75
ANEXO III. Caracterización del biogás.....	76
ANEXO IV. Construcción de la estructura del invernadero.	77
ANEXO V. Excavación de zanja para asentamiento del biodigestor.	77
ANEXO VI. Instalación del acople salida de biogás.....	78
ANEXO VII. Conducto salida de biogás.....	78
ANEXO VIII. Salida de biofertilizante.....	79
ANEXO IX. Filtro de humedad y válvula de alivio.	79
ANEXO X. Tanque de mezcla de biomasa.....	80
ANEXO XI. Recolección de excremento.	80
ANEXO XII. Mezcla de estiércol con agua.	81
ANEXO XIII. Biodigestor tipo tubular.....	81
ANEXO XIV. Medidor de gas natural.	82
ANEXO XV. Instalación de manómetros para medir la presión del biogás.....	82
ANEXO XVI. Filtro de ácido sulfhídrico.....	83
ANEXO XVII. Salida de biogás al reservorio.....	83
ANEXO XVIII. Reservorio de biogás.	84
ANEXO XIX. Instalación completa de la propuesta tecnológica.....	84
ANEXO XX. Manual de operación del biodigestor.	85

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA GENERAR BIOGÁS A PARTIR DEL EXCREMENTO DE LA GALLINA, EN LA GRANJA AVÍCOLA AVES DEL COTOPAXI.”

Autores: Guamanquispe Alulema Leider Alexander
Perdomo Zapata Luis Andrés

RESUMEN

La propuesta tecnológica presentada a continuación fue realizado en el barrio San José de la parroquia Juan Montalvo en la ciudad de Latacunga, en el cual se planteó la implementación de un biodigestor para el aprovechamiento del excremento producido por la gallina de jaula en la granja avícola Aves del Cotopaxi. Para iniciar con la propuesta tecnológica se realizó un levantamiento de información sobre el potencial del excremento de la gallina en el galpón número 5, el mismo que se encuentra dividido en 4 naves que albergan 2000 gallinas cada una, de la cual se seleccionó 1kg, para su respectiva caracterización, obteniendo en su composición un 33,66% de sólidos totales y una relación de C/N de 23:1, que permitió establecer una cuantificación de 25 kg de gallinaza diaria para abastecer el biodigestor flexible de tipo tubular de 1,50 m de diámetro y 5,50 m de longitud con un volumen total de 9,72 m³; para garantizar la estabilidad de la temperatura se protegió al biodigestor por medio de un invernadero y en los extremos del biodigestor se colocó una capa de cascarilla arroz, obteniendo una temperatura promedio de 24,02 °C, la cual se encuentra dentro de los límites establecidos para la producción de biogás. Con los datos obtenidos en el medidor de gases y mediante el análisis de ecuaciones, se obtiene un volumen de producción diaria de 2,65m³ de biogás, para ser adaptado al sistema de calefacción, en el galpón de crianza número 4, cabe destacar que el biogás producido posee un poder calorífico superior de 7719,57 [kcal/m³], y un poder calorífico menor de 2623,29 [kcal/m³], a una temperatura de trabajo de 20°C, el análisis de caracterización del biogás se lo realizó con un cromatógrafo de gases bajo la norma ASTM D 1945-03 (2010), de esta manera se obtiene un mejor tratamiento de la excreta de la gallina y una buena disposición de la biomasa en la granja avícola Aves del Cotopaxi.

Palabras claves: Biodigestor, gallinaza, temperatura, biogás.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND SCIENCE APPLIED

TITLE: “IMPLEMENTATION OF A BIODIGESTER TO GENERATE BIOGAS FROM THE EXCREMENT OF THE HEN AT AVES DEL COTOPAXI POULTRY.”

Authors: Guamanquispe Alulema Leider Alexander

Perdomo Zapata Luis Andrés

ABSTRACT

The technological proposal presented was carried out in the San José neighborhood, Juan Montalvo parish in the Latacunga city, in which the implementation of a biodigester was planned for the use of the excrement produced by the hen of cage, at “Aves del Cotopaxi” poultry. To start with the technological proposal, there was a survey of information on the potential of the hen's excrement in the barn number 5, which is divided into 4 warehouses with 2000 hens each one, of which just one was selected of 1kg, for their respective characterization, getting in its composition a 33.66% of total solids and 23:1 in relation to C:N, which allowed to establish a quantification of 25 kg of daily manure to supply the pilot biodigester of type flexible structure (tubular), with a diameter of 1.5 m, a length of 5, 50m and a total volume of 9, 72m³; also to guarantee the stability of the temperature, the biodigester was protected by means of a greenhouse and at the ends of the biodigester a layer of chaff rice was located, getting an average temperature of 24.02,° C, which is within the limits established for the production of biogas, with the data obtained and by the analysis of equations, a daily production volume of 2,43m³ of biogas was obtained to be adapted to the heating system in the breeding shed number 4, it should be noted that the biogas produced has a higher calorific value of 7719.57 [kcal/m³], and a calorific value of less than 2623.29 [kcal/m³], at a working temperature of 20° C, the analysis of biogas characterization was carried out with a gas chromatograph under the ASTM D 1945-03 (2010) standard, in this way a better treatment of the excreta of the hen and a good disposition of the biomass is obtained, at “Aves del Cotopaxi” poultry.

Key words: Biodigester, excrement of hen, temperature, biogas

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**, de la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, **GUAMANQUISPE ALULEMA LEIDER ALEXANDER Y PERDOMO ZAPATA LUIS ANDRÉS**, cuyo título versa **“IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA GENERAR BIOGÁS A PARTIR DEL EXCREMENTO DE LA GALLINA EN LA GRANJA AVÍCOLA AVES DEL COTOPAXI”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, **27 de Julio** del **2018**

Atentamente,



Lcdo. José Ignacio Andrade
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 050310104-0

1. INFORMACIÓN BÁSICA

Propuesto por:

Sr. Guamanquispe Alulema Leider Alexander

Sr. Perdomo Zapata Luis Andrés.

Tema aprobado:

IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA GENERAR BIOGÁS A PARTIR DEL EXCREMENTO DE LA GALLINA EN LA GRANJA AVÍCOLA AVES DEL COTOPAXI.

Carrera:

Ingeniería Electromecánica

Director de la propuesta tecnológica:

Ing. Torres Tamayo Enrique PhD

Equipo de trabajo:

Ing. Enrique Torres Tamayo. PhD

Ing. Cristian Fabián Gallardo MSc.

Lugar de ejecución:

Cotopaxi – Zona3 - Latacunga – Barrio San José - Granja avícola Aves del Cotopaxi.

Tiempo de duración de la propuesta:

Inicio: Octubre 2017

Finalización: Agosto 2018

Fecha de entrega: Agosto del 2018

Línea de investigación: Energías renovables, eficiencia energética y protección ambiental

Sublínea de investigación: Eficiencia energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

Tipo de propuesta tecnológica:

Se pretende realizar una innovación, al diseñar, construir e implementar un biodigestor tipo tubular, a base de la excreta de gallina, con el fin de producir biogás que permita reducir en un porcentaje la utilización de GLP en el galpón de crianza # 4 de la granja avícola Aves del Cotopaxi, de esta manera aprovechar el uso de fuentes renovables.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1. Título de la propuesta tecnológica

Implementación de un biodigestor para generar biogás a partir del excremento de la gallina en la granja avícola aves del Cotopaxi.

2.2. Tipo de alcance

Desarrollo: Al implementar un biodigestor se pretende incentivar al desarrollo social en el aprovechamiento de la excreta de la gallina como fuente alternativa de energía, en este caso el biogás, y utilizarlo en sustitución de combustibles fósiles, como el GLP.

2.3. Área del conocimiento

Según la norma CINE-UNESCO, vigente en la normativa del SENESCYT, la presente propuesta se encuentra establecida en el área de Ingeniería, industria y construcción, con su respectiva sub área de conocimiento 52, la cual es Ingeniería y profesiones afines, puesto que se dispone al diseño, construcción e implementación de un biodigestor, empleando conocimientos en sistemas electromecánicos, contribuyendo así al uso de energías alternativas, cambio de la matriz productiva y eficiencia energética en la sociedad [1].

2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica

Es común observar que la biomasa no es aprovechada ni dispuesta, por tal razón la presente propuesta tecnológica tiene por objetivo diseñar, construir e implementar un biodigestor tubular que permita la obtención de biogás mediante la descomposición anaeróbica del estiércol de la gallina; con el biogás obtenido, reducir la utilización de GLP utilizado en el sistema de calefacción del galpón de crianza de pollos número 4.

El biodigestor permitirá obtener la cantidad de biogás necesaria para abastecer de energía térmica al galpón de crianza, el propósito de la implementación del biodigestor es el aprovechamiento de las fuentes renovables existentes en el país, en este caso la gallinaza.

Con la implementación de este biodigestor se propone que el propietario de la granja reduzca gastos en el consumo de GLP, y obtenga ingresos extras por el biofertilizante extraído producto

de la digestión anaeróbica del excremento; con ello reducir emanaciones de gas metano al ambiente y mejorando el tratamiento de la biomasa.

2.5. Objeto de estudio y campo de acción

2.5.1. Objeto de estudio

Biodigestor para la producción de biogás, para los sistemas de calefacción en granjas avícolas.

2.5.2. Campo de acción

El proceso de producción de biogás a base de la excreta de la gallina.

2.6. Situación problémica y problema

2.6.1. Situación problémica

En la ciudad de Latacunga existen granjas avícolas con gran producción de estiércol de gallina la misma que no es tratada adecuadamente debido a la ausencia de biodigestores que permitan el aprovechamiento máximo de la excreta, la cual genera malos olores, contaminación de las fuentes hídricas e impactos nocivos hacia la naturaleza, lo que precede al efecto invernadero.

La generación y uso de biogás como fuente de energía renovable es el principal beneficio que se obtiene con la implementación de los biodigestores, la cual se convierte en una alternativa que resuelve la disposición final de desechos orgánicos, representando un ahorro económico para el destinatario, la biomasa es una fuente de generación para la producción de biogás, la misma que mediante un proceso posterior puede convertirse en energía calorífica, reduciendo el gasto y uso de GLP.

2.6.2. Problema

En la granja avícola Aves del Cotopaxi existe gran acumulación de excremento de gallina, la cual no tiene una disposición final, debido a que en la granja no se conoce alternativas de aprovechamiento de la misma, lo que produce emanaciones de gases contaminantes, con la propuesta tecnológica se pretende aprovechar al máximo la excreta producida en los galpones, con la producción de biogás, y de esta manera, reducir la utilización de GLP en el galpón de crianza 4.

2.6.3. Matriz causa – efecto

La siguiente matriz nos ayudara a valorar las mejores alternativas que tienen en común en la implementación del proyecto.

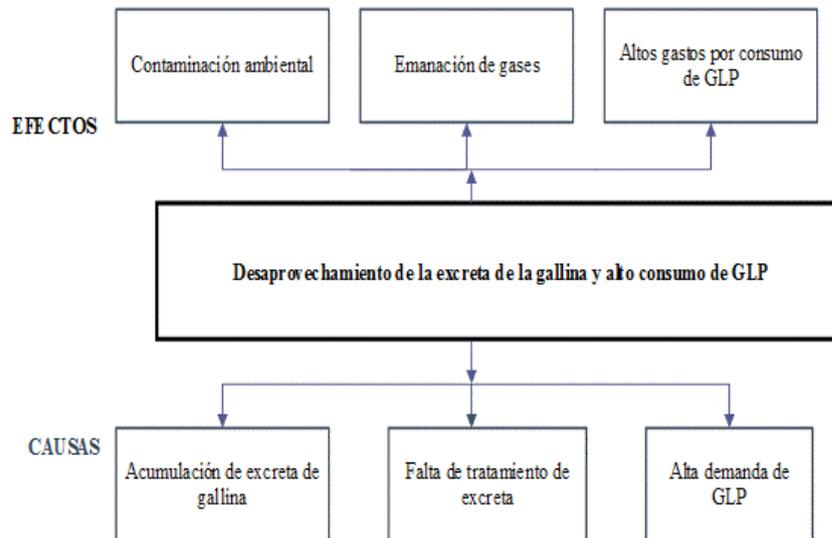


Figura 2.1. Matriz causa – efecto.

2.7. Hipótesis

Es posible el diseño y construcción de un biodigestor tipo horizontal en la granja avícola Aves del Cotopaxi, que permita la obtención de biogás a partir de la excreta de la gallina considerando su caracterización, temperatura y el tiempo de retención en el biodigestor.

2.8. Objetivos

2.8.1. Objetivo general

Implementar un biodigestor tubular que permita el aprovechamiento de la excreta de la gallina con el fin de producir biogás para proveer de calefacción al galpón de crianza número 4 de la granja Avícola Aves del Cotopaxi.

2.8.2. Objetivos específicos

- Analizar fuentes de información que permitan el estudio del estado actual de la temática relacionada con la producción de biogás a partir de residuos sólidos.

- Diseñar el biodigestor en base a los criterios técnicos establecidos para su construcción que permita mejorar la eficiencia en la producción de biogás.
- Determinar la eficiencia de trabajo del biodigestor tipo tubular.

2.9. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos

Tabla 2.1. Descripción de actividades por objetivos.

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD (TÉCNICAS E INSTRUMENTOS)
Analizar fuentes de información que permitan el estudio del estado actual de la temática relacionada con la producción de biogás a partir de residuos sólidos	<p>Recopilar información de libros, artículos científicos o toda fuente de veracidad para el proyecto.</p> <p>Analizar bibliografía a fin de basarnos en antecedentes afines al proyecto.</p>	<p>Obtener información de la composición química de la materia orgánica.</p> <p>Relacionar proyectos antecesores para realizar el proyecto de investigación</p>	<p>Investigación documental y de campo.</p> <p>Investigación documental.</p>
Diseñar el biodigestor en base a los criterios técnicos establecidos para su construcción que permita mejorar la eficiencia en la	<p>Evaluar el potencial de excreta producida semanalmente.</p> <p>Realizar un estudio de campo para la</p>	<p>Obtener cantidad necesaria de excreta para el biodigestor.</p> <p>Obtención del espacio necesario para la</p>	Investigación de campo y experimental.

<p>producción de biogás.</p>	<p>construcción del biodigestor.</p> <p>Seleccionar materiales adecuados para la construcción</p>	<p>construcción del biodigestor.</p> <p>Utilizar materiales óptimos para construcción.</p> <p>Obtención del presupuesto necesario para la construcción.</p>	<p>Investigación de campo y observación.</p> <p>Investigación de campo y observación.</p>
<p>Determinar la eficiencia de trabajo del biodigestor tipo tubular.</p>	<p>Analizar las variaciones de temperaturas de los galpones de crianza.</p> <p>Implementar un sistema de transporte de biogás en el trayecto del biodigestor hacia el galpón.</p> <p>Comparar características económicas y energéticas del biogás frente al GLP</p>	<p>Obtención de la temperatura necesaria para los galpones de crianza.</p> <p>Obtención del biogás necesario para el sistema de distribución.</p> <p>Obtención de valores económicos módicos frente al GLP, y valores energéticos entre ambos.</p> <p>Correcto uso del biodigestor.</p>	<p>Investigación de campo y observación.</p> <p>Investigación de campo y observación.</p> <p>Investigación de campo y observación.</p> <p>Charla técnica.</p>

	Realizar capacitaciones a los beneficiarios sobre el uso y manejo del biodigestor.		
--	--	--	--

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Definición de biomasa

La biomasa es una de las energías renovables más versátiles, además de barata, limpia y rentable. Puede sustituir a combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos, además de ser una opción muy recomendable para abastecer los consumos energéticos de los hogares, e incluso para la producción de energía eléctrica [2].

La biomasa es utilizada como fuente energética desde varios siglos atrás, pero cuando aparecieron los combustibles fósiles como el petróleo, la biomasa fue perdiendo su protagonismo considerablemente, en la figura 3.1, se puede observar los principales productores de biomasa.

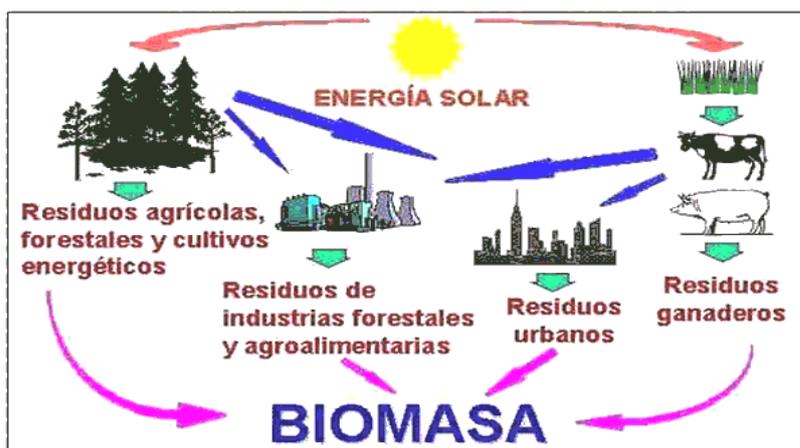


Figura 3.1. Productores de biomasa.

Fuente: [3]

3.1.1. Tipos de Biomasa

Actualmente, los usos de la biomasa son más domésticos que industriales y tiene 3 tipos:

3.1.1.1. Biomasa Natural

Es aquella que se genera en los ecosistemas naturales, sin ningún tipo de intervención por parte del ser humano, un ejemplo de este tipo de biomasa son las ramas de los árboles o cualquier otro tipo de materia que se pueda convertir en leña. El problema es que la explotación de este recurso no respeta la protección del medio ambiente, por lo que ya no estaríamos hablando de un tipo de combustible renovable ni ecológico [4].

3.1.1.2. Biomasa residual (seca y húmeda)

Es aquella que se genera a partir de las actividades que el hombre realiza, como por ejemplo, las actividades agrícolas, ganaderas, industriales de madera o agroalimentaria. Su principal problema a veces es su eliminación por lo tanto convertir estos residuos en un recurso para crear combustibles sostenibles es una muy buena opción [4].

3.1.1.3. Excedentes agrícolas

Los excedentes agrícolas que, por distintos motivos, no se utilizan para la alimentación humana, pueden usarse como combustible en plantas de generación eléctrica, de combustión o como biocombustibles [4].

Se denomina biomasa residual húmeda a la materia biodegradable, es decir, las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos principalmente el estiércol de los animales.

3.2. Definición de la Gallinaza

Es la principal fuente de nitrógeno que ayuda a mejorar las características de fertilidad del suelo contiene nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, hierro, zinc y cobre, dependiendo de su procedencia puede aportar con otros materiales orgánicos en mayor o menor cantidad.

La mejor gallinaza es la de cría de gallinas ponedoras bajo techo y con piso cubierto por otro lado la gallinaza de pollos de engorde presenta residuos de coccidiostáticos y antibióticos que interfieren en el proceso de fermentación [5].

El estiércol de gallina es uno de los componentes de origen natural con mayor contenido de nutrientes entre todos los fertilizantes conocidos; además, en todas las camadas de gallina, contiene fuentes de carbono, que son necesarias para facilitar la conversión del humus [6].

3.2.1. Calidad de la gallinaza

La calidad de la gallinaza está determinada principalmente por: el tipo de alimento, la edad del ave, la temperatura ambiente, la ventilación del galpón y la cantidad de plumas, otro de los aspectos importantes es el tiempo de permanencia en el galpón es decir una conservación prolongada en el gallinero, lo que genera el desprendimiento abundante de olores amoniacales que reduce considerablemente el contenido de nitrógeno [7].

3.2.2. Producción de gallinaza

La cantidad de gallinaza depende de los factores que se describe a continuación:

- **Edad del ave.-** Las aves jóvenes producen menos excretas, debido a su bajo consumo de alimento en sus primeras etapas de vida.
- **Línea.-** En pollos de engorde la situación es compleja debido a que la cantidad de gallinaza producida es una mezcla de deyecciones con el material utilizado como cama (cascarilla de arroz), [7].

Con respecto a la producción de gallinaza de ponedoras, la situación parecería más sencilla al recogerse en forma pura. Sin embargo, la existencia de diversos sistemas de recolección de la excreta, hace que la humedad de éstas varíe considerablemente entre los rangos de (70 a 80%), lo que afecta a la producción aparente [7].

La producción de la gallinaza pura y seca, al final del periodo, depende del peso vivo y de su consumo total, pudiéndose estimar entre 20 y 27 kg/ave, a continuación se puede observar en la tabla 3.1, la estimación de producción de deyecciones de gallinas ponedoras.

Tabla 3.1. Estimación de la producción de deyecciones de gallinas ponedoras

Tipo de gallinaza	Consumo de alimento gr/ave/día	Digestibilidad del alimento, %	Materia seca deyecciones gr/ave/día
Liviana	100 ÷ 110	75 ÷ 80	20 ÷ 27
Semi pesada	110 ÷ 120	75 ÷ 80	22 ÷ 23

Fuente: [8].

3.2.3. Usos de la gallinaza

Dentro de los principales usos de la gallinaza se encuentran los siguientes:

a. Como fertilizante

La Gallinaza es uno de los fertilizantes más completos y que mejores nutrientes puede aportar al suelo. Contiene nitrógeno, fósforo, potasio y carbono en importantes cantidades, de hecho, la gallinaza puede ser mejor fertilizante que cualquier otro tipo de abono, porque la alimentación de las gallinas suele ser más rica y balanceada que los alimentos de otros animales.

Al ser utilizada como abono se le considera un abono orgánico, por lo cual es posible utilizarlo con otros ingredientes en forma de composta, o compost [9].

b. Como biocombustible

La gallinaza, como cualquier otro desecho orgánico, puede ser tratada en biodigestores para la generación de biogás.

Este biogás es un perfecto sustituto del gas propano, 300 m³ de biogás sustituyen 85 m³ de propano, por lo tanto la instalación de plantas productoras de biogás a partir de la gallinaza, es viable e incluso rentable y son fiables y una excelente opción para la sustitución de combustibles fósiles [9].

3.3. Composición de la gallinaza

Para conocer los valores reales de los elementos presentes en la composición de la gallinaza que se genera en los planteles avícolas con un sistema de jaula, se realiza una caracterización con un especialista, como se muestra continuación en la tabla 3.2, (Ver anexo I, II).

Tabla 3.2. Caracterización de la gallinaza.

Parámetros	Unidad	Cantidad	Valor Referencial
Ph Solución al 10%	u	8,10	MAL~52/AOAC943.02
Humedad	%	57,8	MAL~13/AOAC925.10
Cenizas	%	13,32	MAL~02/AOAC923.03
Carbono Orgánica	%	12,8	MAL~13/AOAC924.07
Sólidos Totales	%	34,1	MAL~13/AOAC925.10
Nitrógeno	%	1,20	MAL~04/AOAC981.10
Hierro	mg/kg	334,26	Absorción atómica

3.4. Proceso de biodigestión

La población microbiana juega un papel importante en la transformación de los residuos orgánicos especialmente si se considera que disponen de un amplio rango de respuestas frente a las moléculas de oxígeno, dicho elemento es el componente universal de las células, esto permite establecer bioprocesos en función de la presencia o ausencia del oxígeno, con el objetivo de tratar adecuadamente diversos residuos orgánicos [10].

3.4.1. Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo el cual parte de los materiales orgánicos como residuos animales y vegetales, los cuales son convertidos en biogás, que tiene una composición de dióxido de carbono, metano y pequeñas porciones de otros elementos.

Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles.

En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% de consumido en un sistema aeróbico [10].

Es un proceso complejo en el cual intervienen diferentes grupos de microorganismos, que descompone la materia orgánica en compuestos más sencillos, que son transformados en ácidos grasos volátiles, que son los principales intermediarios y moduladores del proceso. Estos ácidos son consumidos por los microorganismos metanogénicos que producen metano y dióxido de carbono, todos estos procesos tienen lugar de manera simultánea en el biodigestor [11].

3.4.2. Ventajas y desventajas de la digestión anaeróbica

a. Ventaja de la digestión anaeróbica

- Existe la posibilidad de trabajar a tiempos de retención hidráulicos muy bajos, o lo que es igual, se necesitan menores volúmenes de instalación, abaratando las inversiones.

- Los costos de inversión son bajos, porque se aplican altas cargas orgánicas al biodigestor y los tiempos de la retención son cortos. Además, el diseño y la construcción es simple, lo que reduce aún más los costos.
- Son sistemas que asimilan altas y bajas cargas orgánicas.
- El lodo anaerobio puede ser almacenado y conservado fácilmente, lo que simplifica los arranques sucesivos después de paradas o los períodos con cargas orgánicas reducidas [12].

b. Desventaja de la digestión anaeróbica

- En ocasiones, hay presencia de malos olores, para lo cual se requiere de un sistema simple de control [12].
- Coste elevado de la aeración, por consumo de energía eléctrica.
- Se pueden presentar problemas de formación de espumas.
- La mejora en la separación es menor si se mantienen temperaturas en el rango termofílico [11].

3.4.3. Condiciones para la digestión anaeróbica

Las condiciones para la obtención de metano en el digestor son las siguientes:

1. Temperatura entre los 20°C y 60°C
2. pH (nivel de acidez/ alcalinidad) alrededor de siete.
3. Ausencia de oxígeno.
4. Gran nivel de humedad.
5. Materia orgánica.
6. Que la materia prima se encuentra en trozo más pequeños posible.
7. Equilibrio de carbono/ nitrógeno [13].

3.4.4. Proceso biológico de la digestión anaeróbica

La digestión anaerobia es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar, como por la cantidad de grupo de bacterias involucradas en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea como se puede observar en la figura 3.2, [14].

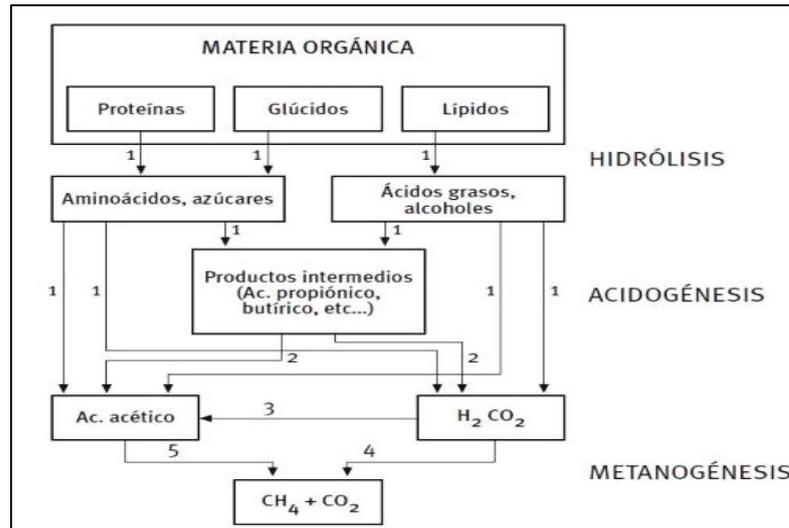


Figura 3.2. Proceso biológico de la digestión anaeróbica.

Fuente: [15].

El proceso de degradación de la materia orgánica se divide en cuatro etapas:

a. Etapa de hidrólisis

La hidrólisis consiste en una transformación controlada por enzimas extracelulares en la que las moléculas orgánicas complejas y no disueltas se rompen en compuestos susceptibles de emplearse como fuente de materia y energía para las células de los microorganismos [14].

Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples liberando hidrógeno y dióxido de carbono [16].

b. Etapa acidogénica

La segunda etapa es controlada por bacterias que permiten la transformación de los compuestos formados en la primera etapa en otros compuestos de peso molecular intermedio; como dióxido de carbono, hidrógeno, ácidos y alcoholes alifáticos, metilamina, amoníaco y sulfhídrico. Esta etapa se denomina acidogénesis [14].

c. Etapa acetogénicas

En esta etapa se desarrollan bacterias acetogénicas que realizan la degradación de los ácidos orgánicos produciendo ácido acético y llevándolos al grupo acético $\text{CH}_3\text{-COOH}$ y liberando

productos como hidrogeno y dióxido de carbono que son los elementos precursores de las bacterias metanogénicas.

Esta reacción es endoenergética pues demanda energía para su realización, gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que substraen los productos finales del medio minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas.

Estas bacterias convierten el ácido propiónico y butírico en ácido acético las mismas que tienen un crecimiento relativamente lento con un tiempo de duplicación mínimo de 1,5 a 4 días [17].

d. Etapa metanogénica

Consiste en la transformación bacteriana del ácido acético y del ácido fórmico en dióxido de carbono y metano y la formación de metano a partir de dióxido de carbono e hidrógeno [14].



Las bacterias que intervienen en esta etapa pertenecen al grupo de las antibacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo tanto, se cree que pertenecen a uno de los géneros más primitivos de la vida colonizadora de la superficie terrestre [16].

En la figura 3.3, se puede observar el proceso de la fase metanogénica:

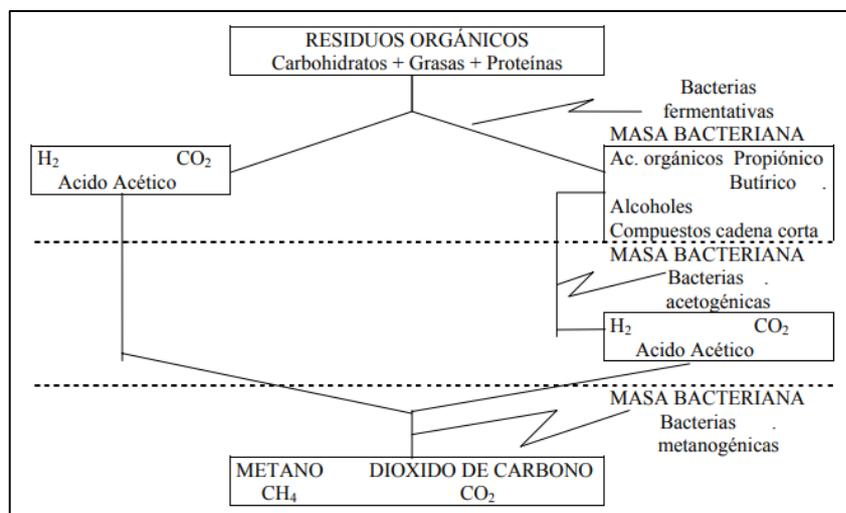


Figura 3.3. Proceso de la fase Metanogénica.

Fuente: [16].

3.4.5. Sistemas de digestión anaeróbica

En la tabla 3.3, se puede observar la clasificación de los sistemas de digestión anaeróbica de acuerdo al tiempo de la carga:

Tabla 3.3. Clasificación de los sistemas de biodigestión anaeróbica por el tiempo de carga.

Tiempo de carga de la materia		
Sistemas continuos	Sistemas semi-continuos	Sistemas discontinuos

Fuente: [18].

- a. **Sistemas Continuos.-** Se usan cuando se dispone de biomasa residual de forma casi continua, y normalmente líquida, dado que la disposición de biomasa líquida es casi diaria y el flujo de la materia que ingresa es constante, y los tiempos de retención son menores que en los discontinuos.
- b. **Sistemas Semi-Continuos.-** Son los que se cargan una vez al día o a la semana, con cierta frecuencia, y permiten tratar biomasa sólida y normalmente mezclada con agua
- c. **Sistemas Discontinuos.-** Una vez realizada la carga se cierran hasta que se produzca todo el biogás y se descargan posteriormente antes de cargar con una nueva biomasa. Los tiempos de retención suelen ser prolongados y pueden instalarse biodigestores en serie y llenarlos en diferentes tiempos para que la producción de biogás sea constante [18].

3.5. Definición del Biogás

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas, la composición depende del material digerido y del funcionamiento del proceso de producción y es inflamable cuando su contenido de metano es superior al 45% [19].

Existen cuatro tipos de bacterias que actúan en la descomposición de la materia orgánica, en ausencia de oxígeno para la producción de biogás [20].

- a. **Bacterias hidrolíticas.-** Producen ácido acético, compuestos de monocarbonados, ácidos grasos orgánicos y otros compuestos policarbonatos.
- b. **Bacterias acetogénicas.-** Productoras de hidrógeno.

c. **Bacterias homoacetogénicas.**- Que pueden convertir una cantidad considerable de compuestos multicarbonados o monocarbonados en ácido acético.

d. **Bacterias metanogénicas.**- Productoras del gas metano, principal componente del biogás, con una proporción de:

- 40 a 70 % de metano (CH₄).
- 30 a 60 % de dióxido de carbono (CO₂).
- 0 a 1 % de hidrógeno (H₂).
- 0 a 3 % de gas sulfhídrico (H₂S).

El gas obtenido se puede utilizar para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, en hornos, estufas, secadores, calderas u otros sistemas de combustión a gas, debidamente adaptados para tal efecto [21].

Tabla 3.4. Características generales del biogás.

Composición	55 ÷ 70% metano (CH ₄) 30 ÷ 45% dióxido de carbono (CO ₂)
Contenido energético	6,0 ÷ 6,5 kW h m ⁻³
Equivalente de combustible	0,60 ÷ 0,65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 ÷ 12% de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 ÷ 750 °C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 ÷ 88 atm
Temperatura crítica	-82,5°C
Densidad normal	1,2 kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16,043 kg kmol ⁻¹

Fuente: [10].

La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables ya que produce un combustible de valor además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico. El biogás tiene como promedio un poder calorífico entre 5500 a 6000 Kcal/m³ [21].

A continuación en la tabla 3.5, se indica los valores de biogás producido de acuerdo a los diferentes residuos orgánicos de animales con un peso promedio de cada uno de ellos.

Tabla 3.5. Producción de biogás por tipo de residuo animal.

Estiércol Kg	Disponibilidad Kg/día	Volumen De Biogás	
	Kg/día	m ³ /kg húmedo	m ³ /día/año
Bovino (500)	10,00	0,04	0,400
Porcinos (50)	2,25	0,06	0,135
Aves (2)	0,18	0,08	0,014
Ovinos (32)	1,50	0,05	0,075
Caprinos (50)	2,00	0,05	0,100
Equinos (450)	10,00	0,04	0,400
Conejos	0,35	0,06	0,021
Excretas Humanas	0,40	0,06	0,025

Fuente: [10].

El biogás puede ser utilizado como cualquier otro combustible, tanto para la cocción de alimentos, en sustitución de la leña, el gas licuado de petróleo, etc., la mezcla de biogás con el aire, con una relación 1:20, forman un gas detonante altamente explosivo, lo cual permite que también pueda ser empleado como combustible en motores de combustión interna adaptados. Es importante aclarar que este gas puede usarse como combustible sólo cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales a 50 % [22].

3.5.1. Factores a tener en cuenta para la producción de biogás

Los factores a considerarse para la producción de biogás son los siguientes:

- Tipo y composición del material orgánico.
- Demanda del biogás y biofertilizantes.
- Disponibilidad y calidad de agua y materia orgánica.
- Disponibilidad de materiales de construcción y accesorios.
- Necesidad e interés del usuario.
- Características del lugar.
- Recurso humano para atender la planta.
- Posibilidades y uso del efluente producido por el biodigestor [16].

3.5.2. Aplicaciones principales del biogás

Dado que, el biogás es un combustible con un alto valor calórico de 19,6 a 25 MJ/m³ de energía, en los lugares donde se implementan pequeños sistemas de biogás se puede emplear la energía calórica para actividades básicas como cocción, calefacción de agua, e iluminación [18].

1 m³ de biogás con 70% de metano equivale a:

- 0,8 litro de Gasolina.
- 1,3 litro de alcohol.
- 1,5 m³ de GLP, y 2,7 kg de madera.

3.6. Definición del biol

Es un abono orgánico líquido, resultado de la descomposición de los residuos animales y vegetales los cuales son fermentados en recipientes herméticamente cerrados con ausencia de oxígeno que contiene nutrientes que son asimilados fácilmente por las plantas haciéndolas más vigorosas y resistentes [23].

3.6.1. Utilidad del biol

El biol estimula el crecimiento de las plantas y permite la protección contra las plagas y enfermedades, además ayuda a mantener el vigor de las plantas y soportar cambios extremos en el clima, es especialmente útil, luego de heladas y granizadas [24].

3.6.2. Ventajas y desventajas del biol

a. Ventajas del biol

- No contamina el suelo, el agua, el aire, ni los cultivos.
- Es de fácil preparación y puede adecuarse a diversos tipos de envase.
- Es de bajo costo, se produce en la misma parcela.
- Permite incrementar la producción.
- Revitaliza las plantas que tienen estrés, por el ataque de plagas y enfermedades, sequías, heladas o granizadas, si aplicamos en el momento adecuado.
- Tiene sustancias (fitohormonas) que aceleran el crecimiento de la planta.

b. Desventajas del biol

- Su preparación es lenta, demora entre 3 a 4 meses, dependerá de la temperatura del ambiente, por lo que se debe planificar su producción antes del inicio de la temporada agrícola.
- Necesita un ambiente oscuro y fresco para el almacenamiento, de lo contrario perderá sus propiedades biológicas y nutritivas.
- Sólo se puede usar entre 3 a 6 meses de su cosecha, después disminuye sus propiedades.
- El mal manejo durante su aplicación puede quemar las plantas.

3.7. Definición del biodigestor

Un biodigestor es un contenedor hermético que permite la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas y facilita la extracción del gas resultante, para el uso como energía. El biodigestor cuenta con una entrada para el ingreso de la biomasa, un espacio para su descomposición, una salida para el biogás con una válvula de control, y una salida para la materia orgánica descompuesta conocida como biol [25].

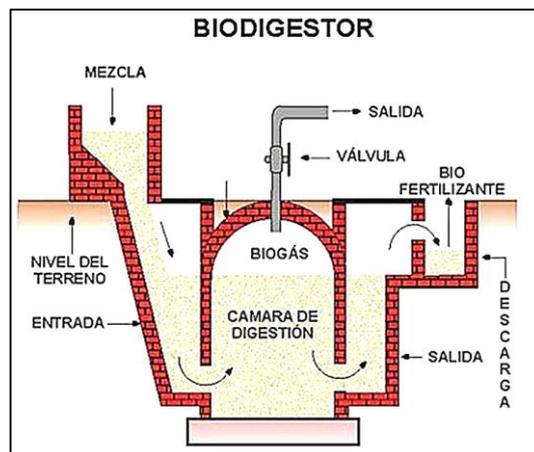


Figura 3.4. Diseño básico de un biodigestor

Fuente: [26].

Para sus diseños se utilizan tanques cilíndricos, rectangulares, esféricos o semiesféricos, dependiendo de la preferencia del usuario y de las facilidades que se tengan para su construcción. Sin embargo, desde el punto de vista físico y del proceso no se recomienda emplear tanques rectangulares por su alto requerimiento de mayor cantidad de materiales de construcción y por su poca efectividad en la descomposición de materia orgánica [26].

3.8. Tipos de biodigestores

Los biodigestores se clasifican en dos grandes tipos de Flujo Discontinuo y de Flujo Continuo.

3.8.1. Biodigestores de flujo discontinuo

La carga total del material a fermentar se hace al inicio del proceso de descomposición y se descarga el efluente al finalizar el proceso; por lo general requieren de mayor mano de obra y de un espacio para almacenar la materia prima si esta se produce continuamente y de un depósito de gas debido a la gran variación en la cantidad de gas producido durante todo el proceso [27].

3.8.1.1. Ventajas y desventajas del biodigestor discontinuo.

a. Ventajas del biodigestor discontinuo

- Puede procesar gran cantidad de materiales y puede recogerse en campos abiertos sin importar si tiene materia seca pues esto no entorpece la operación del biodigestor.
- Puede llenarse con materiales secos que no absorben humedad (que floten en el agua) así como pasto, cascara de frutas y desechos de alimentos.
- Se pueden manejar las variables relacionadas con la fermentación como la de la temperatura, tiempo de retención, carga depositada y los periodos de carga y descarga.
- No requiere atención diaria [28].

b. Desventajas del biodigestor discontinuo

- Cargar el biodigestor requiere de mucho trabajo y paciencia.
- La descarga del biodigestor también es un trabajo muy tedioso [28].

3.8.2. Biodigestores de flujo continuo

La carga total del material a fermentar y la descarga del efluente se realiza de manera continua o por pequeños baches como por ejemplo una vez al día, cada 12 horas, por lo general requieren de menos mano de obra, pero de una mezcla más fluida o movilizadora de manera mecánica y de un depósito de gas si no se utiliza en su totalidad de manera continua [27].

Ventajas y desventajas del biodigestor continuo

a. Ventajas del biodigestor continuo

- Se puede controlar la digestión que es requerida por medio de la cantidad de biomasa depositada diariamente.
- La carga y descarga del biodigestor no requiere de operaciones especializadas [28].

b. Desventajas del biodigestor continuo

- Una baja concentración de sólidos que se pueden depositar adentro.
- No posee un buen diseño para tratar materiales que son más pesados que el agua (que no flotan), ya que no cuenta con un agitador.
- Puede tener problemas de limpieza y espuma.
- Un alto consumo de agua [28].

Clasificación de los biodigestores continuos:

- De cúpula fija.
- De cúpula móvil.
- De salchicha, Taiwán, CIPAV o biodigestores familiares de bajo costo.

3.8.2.1. Biodigestor de cúpula fija (chino)

Este biodigestor consiste en una cámara de gas firme y construido de ladrillos, piedra u hormigón. La cúpula y los fondos son hemisféricos y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme [29].

El gas producido durante la digestión se guarda bajo el domo con presiones de entre 1 y 1.5 m de agua, para la construcción de este biodigestor se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos [30].

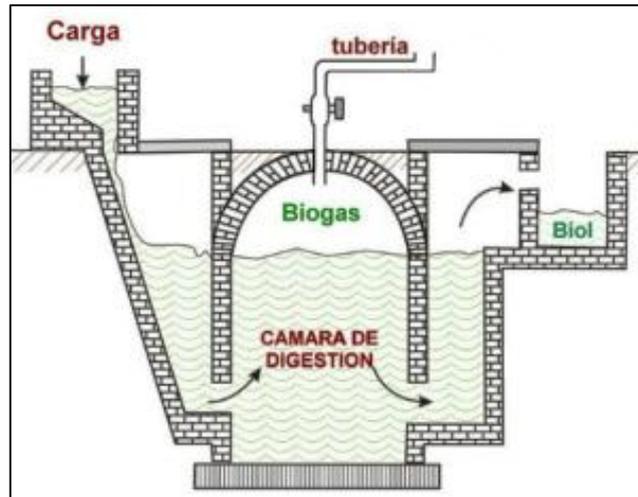


Figura 3.5. Esquema de un biodigestor de cúpula fija.

Fuente: [31].

Ventajas del biodigestor de cúpula fija.

- Costos de construcción relativamente bajos, larga vida útil.
- La construcción subterránea ahorra espacio y protege al digestor de cambios de temperatura;
- La construcción implica la creación de fuentes de empleo.

Desventaja del biodigestor de cúpula fija.

- Los frecuentes problemas con la permeabilidad del recipiente de ladrillos para el gas.
- Son recomendables cuando la construcción puede ser supervisada por técnicos experimentados de biogás.

3.8.2.2. Biodigestor de cúpula Flotante (Indio)

Este biodigestor consiste en una cúpula flotante en forma de bóveda esférica o cilíndrica con un depósito de gas móvil en forma de campana flotante que puede flotar directamente en la masa de fermentación o en un anillo de agua cilíndrico.

El gas acumulado en la campana le hace subir y una vez extraído el gas por medio de un ducto instalado vuelve a bajar. Para evitar que la campana se incline, se construye un soporte de hierro como guía [29].

La presión del gas disponible depende del peso, poseedor de gas por el área de la unidad y normalmente varía entre 4 a 8 cm de agua. El biodigestor se alimenta semi-continuamente a través de una tubería de entrada [30].

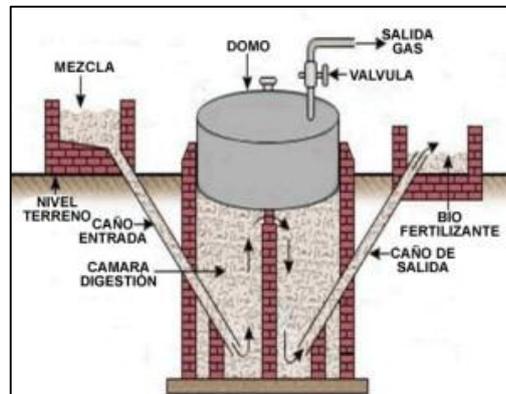


Figura 3.6. Esquema de un biodigestor de domo flotante.

Fuente: [31].

Ventajas del biodigestor de tambor flotante

- Operación simple y fácil de entender.
- El volumen almacenado de gas es visible directamente.
- La presión del gas es constante, determinada por el peso del recipiente de gas.
- La construcción es relativamente fácil; los errores en la construcción no llevan a problemas mayores en la operación y la producción de gas.

Desventajas del biodigestor de tambor flotante

- Son los altos costos de los materiales para el tambor de acero.
- La susceptibilidad a la corrosión de las partes de acero, por lo que la vida útil de la planta es más corta
- Tiene costos fijos de mantenimiento para pintar el tambor.

3.8.2.3. Biodigestor de estructura flexible (salchicha, Taiwán)

Es un digestor tubular horizontal en cuyos extremos se sitúan las cámaras de carga y descarga de biomasa y afluente del sistema. Su configuración alargada impide que la carga líquida inicial y el efluente se mezclen; Esto lo hace útil en el aprovechamiento de residuos que requieran un tratamiento prolongado, tales como excretas de los animales y de los humanos.

Este tipo de biodigestores son populares en países en vías de desarrollo por su facilidad de implementación ya que se fabrican con grandes bolsas de polietileno tubular, suelen situarse dentro de una especie de trinchera y su periodo de vida útil son unos cinco años dependiendo del mantenimiento su durabilidad puede extenderse [30].

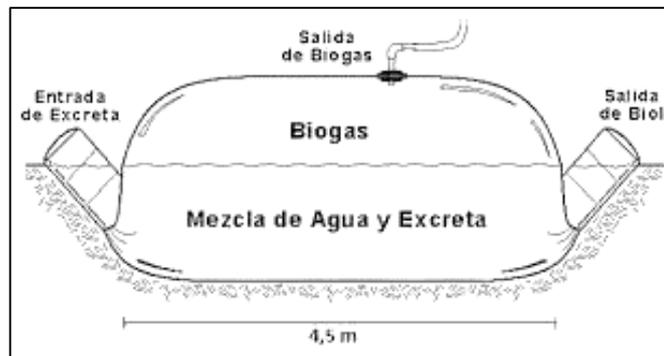


Figura 3.7. Esquema de un biodigestor de estructura flexible (tubular).

Fuente: [32].

- **Mantenimiento.-** Estos biodigestores pueden tener una durabilidad de 20 años, en el caso de presentarse rupturas de éste pueden ser fácilmente reparadas con el mismo material del biodigestor usando un adhesivo fuerte.

3.9. Partes de un digestor

3.9.1. Tanque de carga

Lugar donde se realiza la mezcla del estiércol con el agua, antes de ser ingresada al biodigestor a través de la tubería de entrada, a esta se le coloca una rejilla que impide el paso del material sólido que pueda encontrarse en la composición [33].



Figura 3.8. Tanque de carga.

Fuente: [33].

3.9.2. Tanque digestor

Es el elemento principal del sistema que consiste en una estructura en forma tubular, construida por una geomembrana de PVC o plástico de polietileno de alta densidad.

El 75% del volumen contiene la mezcla de agua y estiércol y el 25% restante contiene el biogás; el biodigestor está compuesto por cuatro tuberías [33].

- Una conectada al tanque de entrada, donde se realiza la mezcla.
- Otra conectada al pozo de salida, donde se almacena el biol.
- Una tercera para la salida de los sólidos.
- Una última que sirve para la salida del biogás.

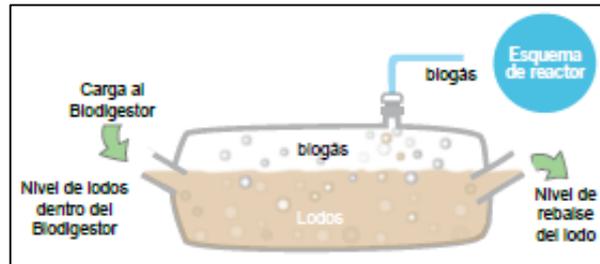


Figura 3.9. Tanque digestor.

Fuente: [33].

3.9.3. Pozo de salida

Es la pileta donde se descarga la mezcla ya procesada que sale del tanque digestor, este pozo es hondo y su profundidad es mayor a la del tanque digestor y por su parte superior es abierto para que sea posible recoger y retirar el biol [34].



Figura 3.10. Tanque de salida de biol.

Fuente: [33].

3.9.4. Línea de conducción del biogás

Las dimensiones de la línea de conducción para el biogás, van a depender de:

- Del flujo de gas que se desea transportar y
- De la distancia existente entre la planta y el lugar de uso.

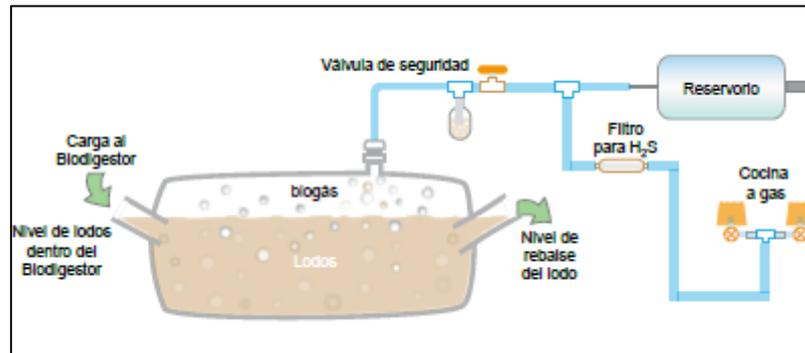


Figura 3.11. Línea de transporte de biogás.

Fuente: [33].

3.9.5. Reservorio de biogás

Es el lugar donde se almacena el biogás producido cuando no es utilizado, está construido con plástico simple, pero también puede ser de geomembrana. Su ubicación puede ser horizontal o vertical, en un lugar no muy transitado, evitando que elementos extraños puedan dañarlo.

Las dimensiones recomendadas son de 3 m de largo por 1.5 m de diámetro, y permite almacenar aproximadamente 5 m³ de biogás [33].



Figura 3.12. Reservorio de biogás.

Fuente: [33].

3.9.6. Válvulas de seguridad (alivio)

Es construida en base a una botella plástica transparente conectada a la tubería de conducción de biogás mediante una conexión en (T), dicha botella contiene una cantidad determinada de agua y su función es dejar escapar parte del biogás cuando hay mucha presión en el reservorio o en el biodigestor, evitando que estos se rompan.

El nivel de agua no debe sobrepasar los 3 o 4 cm a la salida de la tubería, ya que una altura mayor haría que no cumpla su función de seguridad [33].



Figura 3.13. Válvula de seguridad o de alivio.
Fuente: [33].

3.9.7. Filtro de ácido sulfhídrico

Es una estructura tubular construida de tubería PVC, la cual contiene en su interior limalla de hierro como filtro, instalado en la tubería por donde pasa el biogás.

Su función es purificar el biogás, ayudando a atrapar el ácido sulfhídrico (H_2S) antes de llegar a los quemadores, de modo que no cause problemas en el sistema (como la corrosión), malos olores y, en casos extremos, alguna molestia a los que utilizan el biogás [33].



Figura 3.14. Filtro de ácido sulfhídrico.
Fuente: [33].

3.9.8. Techo de invernadero

Es la cubierta superior compuesta por una estructura y sellado con un plástico de invernadero calibre 6 o 7, para de protegerlo de los posibles daños causados por personas, animales, lluvia, etc., y su función principal es mantener una temperatura apropiada y constante que para las bacterias que habitan en el biodigestor produzcan biogás [33].



Figura 3.15. Invernadero para protección de biodigestor.
Fuente: [33].

3.9.9. Medidor de gas natural

Los medidores de gas son aparatos de medición muy similares a los medidores de agua, se instalan generalmente en el conducto que lleva el gas hacia las instalaciones interiores, donde es utilizado por diversos equipos como estufas y calefactores.

Su función es medir y registrar el volumen de gas consumido en relación a un período de tiempo [35].



Figura 3.16. Medidor de gas natural.
Fuente: [35].

Características del medidor de gas natural

- Medición de un caudal máximo de 2,5 m³/h.
- Medición de un caudal mínimo de 0,016 m³/h.
- La presión que soporta oscila entre 1,5 ÷ 50 kpa.
- La temperatura de trabajo oscila de -5°C ÷ 50°C.
- Tiene una velocidad de 0,7 dm³, por cada revolución.

Recomendaciones de seguridad

1. Evite que sea golpeado accidentalmente o intencionalmente.
2. No coloque objetos encima del medidor.
3. No intente ajustar o reparar partes del medidor o líneas de gas.
4. No intente modificarlo bajo ninguna circunstancia.
5. Al detectar un fuerte olor a gas usted puede cerrar la válvula candado ubicada en la parte inferior del regulador.
6. Por ningún motivo trate de violar el medidor para que marque menos flujo de gas, el intentar hacerlo le puede causar un grave accidente.
7. Los medidores están sellados y si usted intenta abrirlo provocara una fuga de gas natural, arriesgando con ello su integridad física.

3.9.10. Manómetro de presión baja

Un manómetro es un instrumento empleado para medir la presión de un fluido o gas en el interior de un circuito, que nos permite controlar la producción de biogás [36].



Figura 3.17. Manómetro de baja presión.
Fuente: [36].

3.10. Consideraciones de operación del biodigestor

3.10.1. Temperatura

Una de las principales consideraciones es la temperatura en el biodigestor, esta se clasifica en tres rangos de temperatura:

- a. Rango de temperatura psicrófila que está por debajo de 20°C.
- b. Rango de temperaturas mesofílicas que está entre 20 y 40°C.
- c. Rango de temperaturas termofílicas que es mayor a 40°C.

Las fluctuaciones de temperatura no deben exceder los siguientes rangos para que puedan ser considerados como no inhibitorias para el proceso de fermentación [37].

3.10.2. Disponibilidad de nutrientes

Las bacterias necesitan sustancias orgánicas como fuente de carbón, nitrógeno, sulfuros, fosforo, potasio, calcio, magnesio y de energía, y de un cierto número de elementos esenciales como el hierro, cobalto, entre otros [37].

3.10.3. Tiempo de retención

El tiempo de retención es el tiempo que requieren las bacterias para digerir la mezcla y producir biogás este tiempo varía dependiendo de la temperatura y de la ubicación geográfica donde se encuentre instalado el sistema [37].

A continuación se observa en la tabla 3.6, los diferentes tiempos de retención de acuerdo a la ubicación geográfica:

Tabla 3.6. Tiempos de retención de acuerdo a la ubicación y temperatura.

Región	Altura sobre el Nivel del mar (m.)	Temperatura ambiente	Tiempo de retención (días)
Trópico	0 ÷ 1800	13 °C ÷ 38 °C	20
Valle	1800 ÷ 2900	5 °C ÷ 30 °C	30
Altiplano	2900 ÷ 4500	-12 °C ÷ 20 °C	60

Fuente: [37].

3.10.4. Agitación - Mezclado

El propósito de la agitación es la remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanógenas, mezclando el sustrato fresco con la población bacteriana para evitar la formación de costras que se forman dentro del digester para favorecer la transferencia de sustratos a cada población o agregados de bacterias [15].

3.10.5. Relación Carbono – Nitrógeno

El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células.

Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1, la relación C-N de los diferentes residuos se especifican en la tabla 3.7.

Tabla 3.7. Valores promedios aproximados de la relación carbono/nitrógeno de algunos residuos disponibles en el medio rural.

Residuos Animales	C	N	C/N
Bovinos	30	1,30	25:1
Equinos	40	0,80	50:1
Ovinos	35	1,00	35:1
Porcinos	25	1,50	16:1
Caprinos	40	1,00	40:1
Gallinas	35	1,50	23:1
Patos	38	0,80	47:1
Excretas Humanas	2,5	0,85	3:1

Fuente: [19].

3.10.6. Tiempo de retención hidráulico (Thr).

El tiempo de retención hidráulico es la duración del proceso de digestión anaerobia, es el tiempo que requieren las bacterias para digerir el lodo y producir biogás, este parámetro indica la cantidad de tiempo promedio que los sustratos permanecen en el reactor, cuando se tienen procesos de flujo continuo [38].

En general, si la degradación ocurre en un proceso durante los primeros 20 a 30 días se degrada la mayor cantidad de materia orgánica, para garantizar la degradación se necesita un tiempo

adecuado, en el cual las bacterias anaeróbicas cumplirán el proceso de digestión para la generación de biogás, los valores de THR se muestran en la tabla 3.8.

Tabla 3.8. Tiempos de retención en distintos tipos de estiércol.

Materia prima	Tiempo de retención (días)
Estiércol vacuno liquido	20 ÷ 30
Estiércol porcino liquido	15 ÷ 25
Estiércol aviar liquido	20 ÷ 40

Fuente: [39].

En Ecuador, específicamente en nuestra región la temperatura promedio oscila entre los 15° C, es por ello que para mantener la temperatura adecuada para el proceso de digestión, se implementará un invernadero, que aparte de mantener la temperatura adecuada en el biodigestor, protegerá de agentes climáticos y externos al biodigestor, asegurando la producción de biogás, los mismos que se muestran en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Tiempos de retención según la temperatura.

Región característica	Temperatura del medio ° C	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	20 ÷ 30
Valle	20	15 ÷ 25
Altiplano	10	20 ÷ 40

Fuente: [39].

3.10.7. Polietileno

Para la construcción de biodigestores tubulares, se utiliza el plástico de polietileno de alta densidad que permite hacer una cámara hermética sellando ambos extremos de la manga. El ancho de rollo determina el diámetro y radio del biodigestor.



Figura 3.18. Rollo de polietileno tubular.

Fuente: [19].

Según los anchos del rollo los más comunes en el mercado se detallan a continuación en la tabla 3.10:

Tabla 3.10. Características de los rollos de polietileno.

Según el ancho del rollo			
Ancho de rollo (m)	Perímetro de la circunferencia (m)	Radio (m)	Diámetro (m)
1	2	0,32	0,64
1,25	2,5	0,40	0,80
1,50	3	0,48	0,96
1,75	3,5	0,56	1,12
2	4	0,64	1,28

Fuente: [39].

3.10.8. Dimensiones de la zanja para el biodigestor

Una vez ubicado el lugar donde se instalara el biodigestor se excavara una zanja con las dimensiones de acuerdo al ancho del rollo del plástico que se use para el biodigestor.

La longitud de la zanja queda determinada por la longitud del biodigestor y la profundidad y el ancho de la misma manera dependerá del ancho de rollo empleado en la construcción del biodigestor.

De forma general se puede emplear las siguientes dimensiones para la zanja como se puede observar en la tabla 3.11:

Tabla 3.11. Dimensiones de la zanja de acuerdo al ancho del rollo de polietileno.

	Dimensiones de la zanja, según ancho de rollo (AR)				
AR (m)	2	1,75	1,5	1,25	1
Base menor (m)	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
Base mayor (m)	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
Profundidad (m)	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Fuente: [39].

4. METODOLOGÍA

4.1. Método Experimental

El Método experimental es una prueba o ensayo, en la que es posible manipular deliberadamente una o más variables independientes para observar en los cambios en la variable dependiente en una situación o contexto estrictamente controlado por el investigador.

El método experimental se utiliza debido a que es de gran importancia realizar un experimento para determinar la viabilidad del proyecto de investigación para la implementación del biodigestor de polietileno.

4.2. Operacionalización de variables

Tabla 4.1. Operacionalización de variables.

Variables	Conceptualización	Unidad de medida	Instrumentos de medición.
Dimensiones del biodigestor	Datos y medidas necesarias y reales para la construcción del biodigestor	m^3	Uso de ecuaciones Cinta métrica
Volumen de la mezcla	Magnitud que determina el espacio ocupado por la mezcla.	m^3	Uso de ecuaciones
Temperatura del medio	Es una magnitud que mide el nivel térmico o el calor que posee el medio de trabajo.	$^{\circ}C$	Termómetro o sensores de temperatura.
Tiempo de retención de la mezcla	Magnitud mediante la cual se determina el período de espera que debe tener la mezcla.	Días	Cronómetro

Volumen de biogás	Magnitud mediante la cual se mide la capacidad de producto obtenido , la cual depende la temperatura y presión	m^3	Uso de ecuaciones
Presión de trabajo	Magnitud que se encuentra determinada por la fuerza que ejerce determinado fluido sobre una superficie.	Pa Bar	Manómetro Barómetro

4.3. Métodos para la producción de biogás

4.3.1. Etapa I

Planificación, estudio y evaluación de la factibilidad técnica y económica de la implementación de un biodigestor tipo continuo para el tratamiento de las excretas de la gallina, en las instalaciones de la granja avícola Aves del Cotopaxi.

4.3.2. Etapa II

Caracterización y obtención del potencial del excremento para la carga diaria en el biodigestor.

4.3.3. Etapa III

Diseño, construcción e implementación del biodigestor tipo continuo de estructura flexible el cual se lo implementa por su fácil manejo y menor costo, adaptado de acuerdo a las necesidades de la granja.

4.3.4. Etapa IV

Caracterización del biogás y evaluación del funcionamiento del biodigestor.

4.4. Procedimiento de diseño

Para realizar la construcción e implementación del biodigestor, se debe seguir diferentes parámetros de diseño, los mismos detallados a continuación.

4.4.1. Cantidad de excreta total para la carga diaria

a) Volumen de carga diaria

El biodigestor siempre debe estar con mezcla en su interior, es por ello que hay que cargar todos los días la cantidad exacta de excreta en mezcla diluida con agua, llamada también mezcla de carga diaria, de acuerdo al dimensionamiento del biodigestor, con ello se asegura que el biodigestor sea continuo y produzca la cantidad necesaria de biogás, para ello se toma como base la tabla 4.2:

Tabla 4.2. Fuentes de biogás más empleadas.

Posibles fuentes de biogás			
	Excreta húmeda (kg)/día por animal	Metros cúbicos de biogás/días.	Proporción Excreta: Agua
Vaca	10	0,360	1:1
Toro	15	0,540	1:1
Cerdo (50 kg)	2,25	0,101	1:1-3
Gallina (2 kg)	0,18	0,008	1:3-8
Caballo	10	0,300	1:1-3
Carnero	2	0,100	1:1-3
Persona adulta	0,40	0,025	1:1

Fuente: [18].

Así por ejemplo, en el caso de la gallinaza para la carga diaria, se considera, que 1kg de excreta tiene el volumen de 1 litro, entonces, la proporción excreta: agua es de 1:3-8 y el tiempo de retención de acuerdo a la tabla 3.6 es (20-40 días).

4.4.2. Dimensionamiento del digestor

a) Longitud del biodigestor (L_D)

La longitud a calcularse depende de las necesidades de la granja y establece solo el volumen total del biodigestor, para lo cual hay que tomar en cuenta que se necesita añadir a cada extremo longitudes para la fijación de la tubería de entrada y salida.

b) Diámetro de la estructura tubular (D)

Para la ecuación para determinar el diámetro de sección de la estructura tubular será:

$$C = \pi \cdot D \quad (4.1)$$

Donde:

- C = Longitud de circunferencia de la estructura tubular [m]
- D = Diámetro de la estructura tubular [m]
- π = Constante de relación entre la longitud de una circunferencia y su diámetro

c) Volumen líquido del biodigestor (V_L)

Para determinar la parte líquida que corresponde al 75% del biodigestor, se considera el tiempo de retención, así entonces se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_L = V_{CD} \cdot T_{RH} \quad (4.2)$$

Donde:

- V_L = Volumen líquido del biodigestor [m³]
- V_{CD} = Volumen carga diaria [m³/día]
- T_{RH} = Tiempo de retención hidráulico [días]

d) Volumen total del biodigestor (V_T)

El volumen total del biodigestor está constituido por una parte líquida que generalmente corresponde al 75%, y una parte gaseosa que corresponde al 25%. El volumen total resulta ser la suma del volumen gaseoso y el volumen líquido.

Las ecuaciones para el cálculo son:

$$V_T = V_L + V_G \quad (4.3)$$

Donde:

- V_T = Volumen total del biodigestor [m³]
- V_L = Volumen líquido [m³]
- V_G = Volumen gaseoso [m³]

Ó a su vez se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_T = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L_D \quad (4.4)$$

Donde:

- V_T = Volumen total del biodigestor [m³].
- π = Constante que relaciona circunferencias. [adimensional].
- D^2 = Diámetro de la estructura tubular [m].
- L_D = Longitud del biodigestor [m].

e) **Tubería de conducción de gas**

Para calcular tuberías en baja presión se aplica la fórmula lineal de Renouard, la cual establece una relación entre la pérdida de carga, densidad relativa del gas, caudal, longitud, y diámetro de la tubería.

La misma que se detalla a continuación:

$$\Delta H = 232,00 \cdot \delta_s \cdot L_E \cdot \frac{Q^{1.82}}{D^{4.82}} \quad (4.5)$$

Donde:

- H=Presión. [mmca].
- δ_s = Densidad relativa del gas.
- L_E = Longitud equivalente del tramo de la tubería [m].
- D= Diámetro interior tubería [m].
- Q= Caudal que circula por la tubería [m³/h].

f) Cantidad de biofertilizante diario (C_{BD})

$$C_{bd} = C_{ed} \quad (4.6)$$

Donde:

- C_{BD}= Cantidad de biofertilizante diario [m³].
- C_{CD}= Cantidad de carga diaria [m³].

g) Cantidad de energía diaria que produce biodigestor

$$E_d = 1 \frac{m^3 \text{ biogás}}{\text{día}} * \frac{1,2 \text{ Kwh}}{1m^3 \text{ biogás}} \quad (4.7)$$

4.5. Materiales para la construcción del biodigestor.

Para implementar el biodigestor, se emplean los siguientes materiales:

a. Materiales biodigestor

- Plástico polietileno reforzado LDPE pigmentado color blanco.

b. Materiales tanque mezcla

- Tanque PVC de 120 litros.
- Válvula de presión PVC de 4 pulgadas.

c. Material de conducción entrada mezcla

- 2 Codos de 45° de 4 pulgadas.
- 2 Segmentos de 50 cm de tubo PVC de 4 pulgadas.

d. Materiales conducción salida mezcla

- 2 codos PVC de 45° de 4 pulgadas
- Segmento de 70 cm PVC de 4 pulgadas
- Válvula de presión PVC de 4 pulgadas.
- 1 tubo PVC de 4 pulgadas

e. Materiales conducción gas

- Acople de presión PVC de ½ pulgada.
- Segmento de 1,30 cm de tubo PVC de ½ pulgada.
- Codo de 90° PVC de ½ pulgada.
- 2 válvulas de paso de ½ pulgada.
- 2 universales de ½ pulgada.
- Filtro de humedad.
- 2 neplós PVC de ½ pulgada.
- Acople de ½ pulgada.
- T de PVC de ½ pulgada.
- 15 m de manguera ½ cristal lisa.

f. Materiales filtro ácido sulfhídrico

- 2 acoples de presión PVC de ½ pulgada.
- Segmento de 50 cm de tubo 3 pulgadas PVC.
- Viruta o limalla de acero.

g. Materiales invernadero

- Pingos para base del invernadero.
- Plástico transparente con filtro UV.
- Clavos.

h. Instrumentos de medida

- Sensor de humedad relativa.
- Sensor de temperatura.

5. ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

5.1 Implementación de la propuesta tecnológica

La propuesta tecnológica se implementó en la granja avícola Aves del Cotopaxi, ubicado en el barrio San José Ejido, de la ciudad de Latacunga, la cual empezó con la factibilidad técnica del lugar, posteriormente con la caracterización del excremento, diseño y construcción de biodigestor, y finalmente la producción del biogás y su evaluación pertinente, cabe recalcar que es un biodigestor piloto y construido en polietileno LDPE reforzado.

5.1. Factibilidad técnica

Para la construcción del biodigestor se realizó un estudio de campo para determinar la factibilidad técnica, lugar y condiciones apropiadas para la instalación.

En la granja avícola Aves del Cotopaxi existen 6 galpones de gallinas ponedoras, en la cual para nuestro estudio se tomó como referencia el galpón numero 5 el cual se encuentra dividido en cuatro naves de 2000 gallinas cada uno de un peso aproximado de 2 Kg por unidad, como se puede observar en la figura 5.1:



Figura 5.1. Distribución de naves en el galpón número 5.

Para la instalación del biodigestor se deben tomar en cuenta algunos aspectos para su correcto funcionamiento:

- Materia prima (estiércol).
- Fuente de agua.
- Lugar para utilización de biogás generado.
- Lugar para utilización de biofertilizante.

En la figura 5.2, se puede observar un croquis del lugar de instalación del biodigestor.

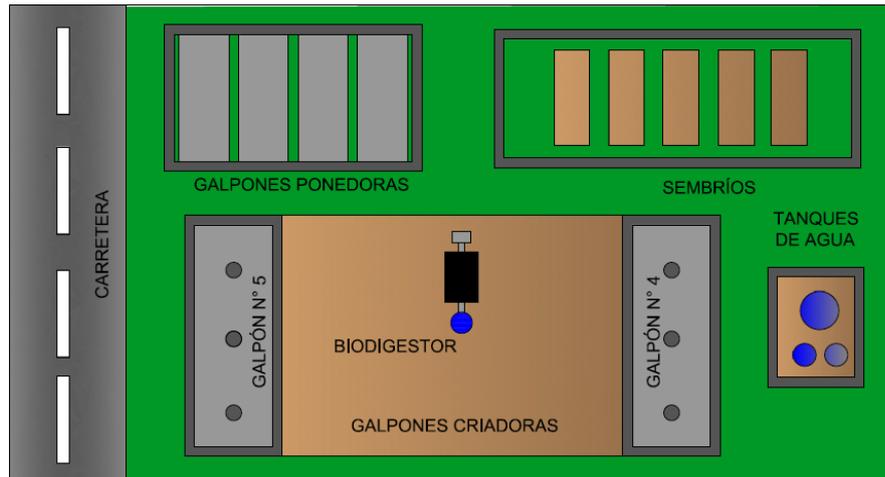


Figura 5.2. Croquis del lugar de instalación del biodigestor.

Gran parte de la gallinaza es utilizada como fertilizante de sembríos de maíz, papas, entre otros después de pasar por un periodo de descomposición y un cierto porcentaje no tiene ningún tipo de tratamiento.

5.2. Análisis de la curva de Pareto

El análisis de Pareto permitirá detectar los problemas que tienen más relevancia mediante un método gráfico que permite organizar los datos de menor a mayor de pendiente de la relevancia.

A continuación se establecen los indicadores que influyen en el proceso de diseño e implantación del biodigestor mediante el análisis de la curva de Pareto.

- Relación biomasa vs porcentaje de carbono.
- Relación biomasa vs porcentaje de disponibilidad individual.
- Relación biomasa vs porcentaje de nitrógeno.
- Relación biomasa vs biogás producido.

Las siguientes relaciones se detallan a continuación:

a. Relación biomasa vs porcentaje de carbono.

Tabla 5.1. Relación biomasa vs porcentaje de carbono.

Biomasa	% Carbono	porcentaje	acumulado
Equino	43,500	13,840	13,84
Caprino	42,500	13,522	27,36
Ovino	40,500	12,886	40,25
Patos	35,000	11,136	51,38
Porcino	31,700	10,086	61,47
Gallinas	31,500	10,022	71,49
Pavos	29,200	9,290	80,78
Conejos	29,000	9,227	90,01
Bovino	28,900	9,195	99,20
Humanos	2,500	0,795	100,00
total	314,300	100,000	

En la figura 5.3. Se puede observar la curva característica con respecto a la variación de la biomasa vs el carbono:

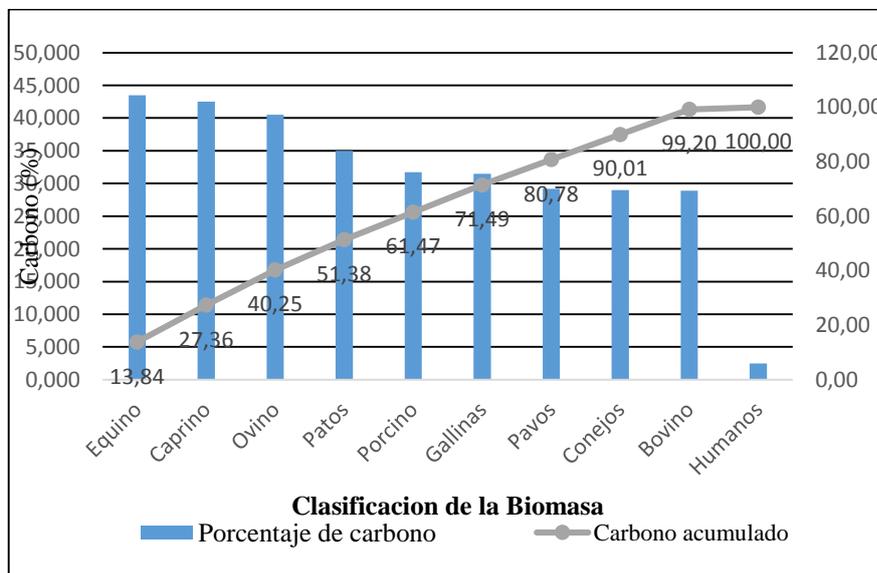


Figura 5.3. Curva de relación biomasa vs porcentaje de carbono.

La curva de Pareto indicada en la figura 5.3, representa el porcentaje de carbono existente en el excremento de la gallina, indicando un valor aproximado del 71%, por lo tanto se encuentra dentro de los límites establecidos, para que el biodigestor y la producción de biogás, alcancen los niveles requeridos y por consiguiente un buen funcionamiento del sistema.

b. Relación biomasa vs porcentaje de disponibilidad individual.

Tabla 5.2. Relación biomasa vs porcentaje de disponibilidad individual.

Excremento	Disponibilidad kg/día	porcentaje	acumulado
Equino	10	37,453	37,45
Bovino	10	37,453	74,91
Porcino	2,25	8,427	83,33
Caprino	2	7,491	90,82
Ovino	1,50	5,618	96,44
Humanos	0,40	1,498	97,94
Conejo	0,35	1,311	99,25
Gallinas	0,20	0,749	100,00
total	26,700	100,000	

En la figura 5.4, se puede observar la curva de relación de biomasa vs porcentaje de disponibilidad individual:

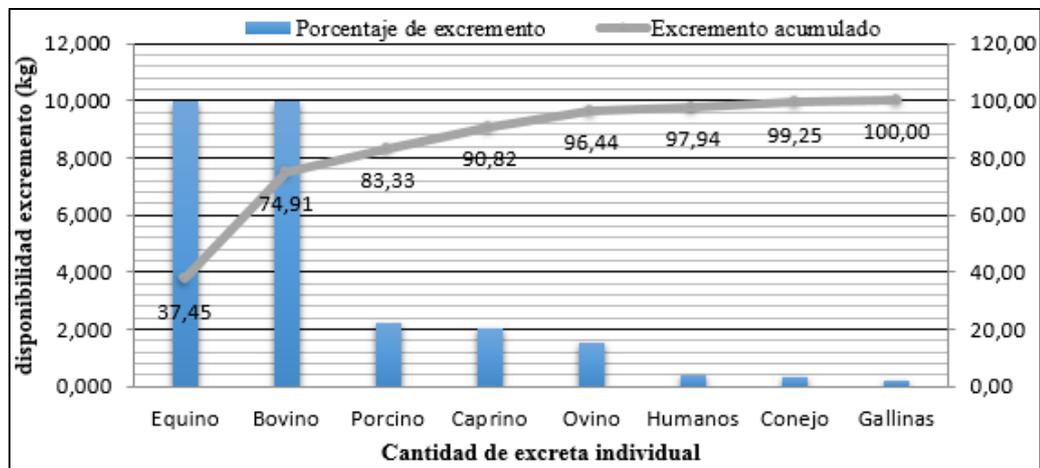


Figura 5.4. Curva de relación biomasa vs porcentaje de disponibilidad individual.

La figura 5.4, representa la curva característica del potencial de excremento producido diariamente por la gallina, y como se puede observar, se encuentra en límites muy bajos, indicando un valor despreciable, pero sin embargo el galpón cuenta con un gran potencial de excreta, entonces de esa manera se puede contrarrestar y obtener un potencial adecuado para la producción del biogás.

c. Relación biomasa vs porcentaje de nitrógeno.

Tabla 5.3. Relación biomasa vs porcentaje de nitrógeno.

BIOMASA	% Nitrógeno	porcentaje	acumulado
Porcino	1,80	15,00	15,00
Gallinas	1,70	14,17	29,17
Caprino	1,50	12,50	41,67
Ovino	1,50	12,50	54,17
Conejos	1,45	12,08	66,25
Bobino	1,15	9,58	75,83
Humana	0,90	7,50	83,33
Patos	0,70	5,83	89,17
Pavos	0,70	5,83	95,00
Equino	0,60	5,00	100,00
total	12,00	100,00	

En la figura 5.5 se puede observar la curva de relación de biomasa vs porcentaje de nitrógeno.

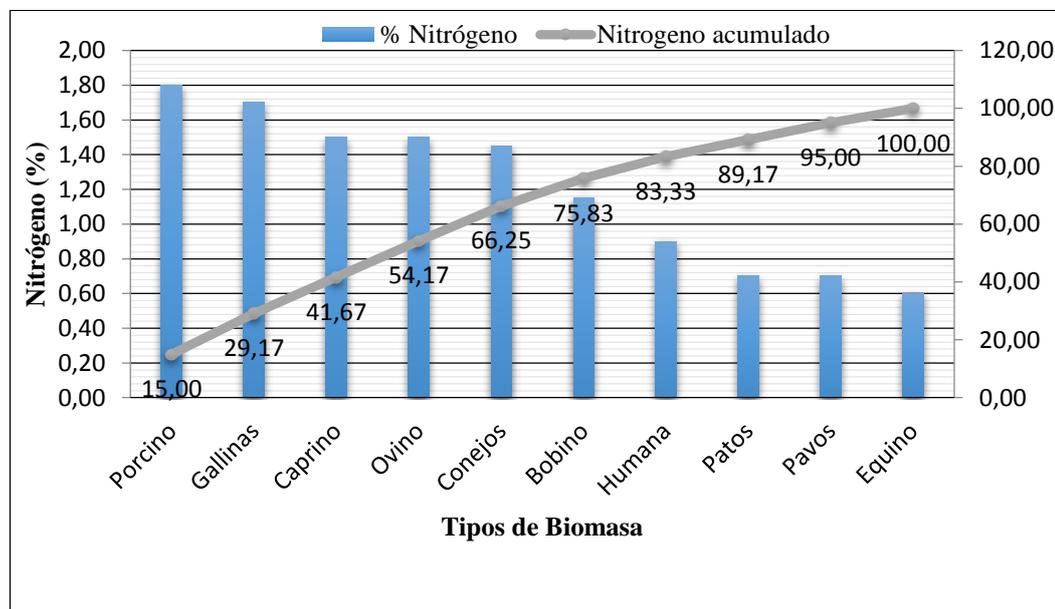


Figura 5.5. Curva de relación biomasa vs porcentaje de nitrógeno.

La figura 5.5, representa la curva característica del porcentaje de nitrógeno existente en el excremento de la gallina, indicando un valor aproximado del 29%, por lo tanto al relacionar los resultados con la tabla 5.3, se determinó una relación de 23:1, que se encuentra dentro de los límites establecidos, que ayuda a la digestión anaeróbica para la producción de biogás.

d. Relación biomasa vs biogás producido.

Tabla 5.4. Relación biomasa vs biogás producido.

BIOMASA	Volumen Biogás por cada kg húmedo	por ciento	acumulado
Aves	0,08	18,18	18,18
Porcinos	0,06	13,64	31,82
Conejos	0,06	13,64	45,45
Humana	0,06	13,64	59,09
Ovinos	0,05	11,36	70,45
Caprinos	0,05	11,36	81,82
Bovinos	0,04	9,09	90,91
Equino	0,04	9,09	100,00
total	0,44	100,00	

En la figura 5.6 se puede observar la curva de relación de biomasa vs el volumen de biogás producido.

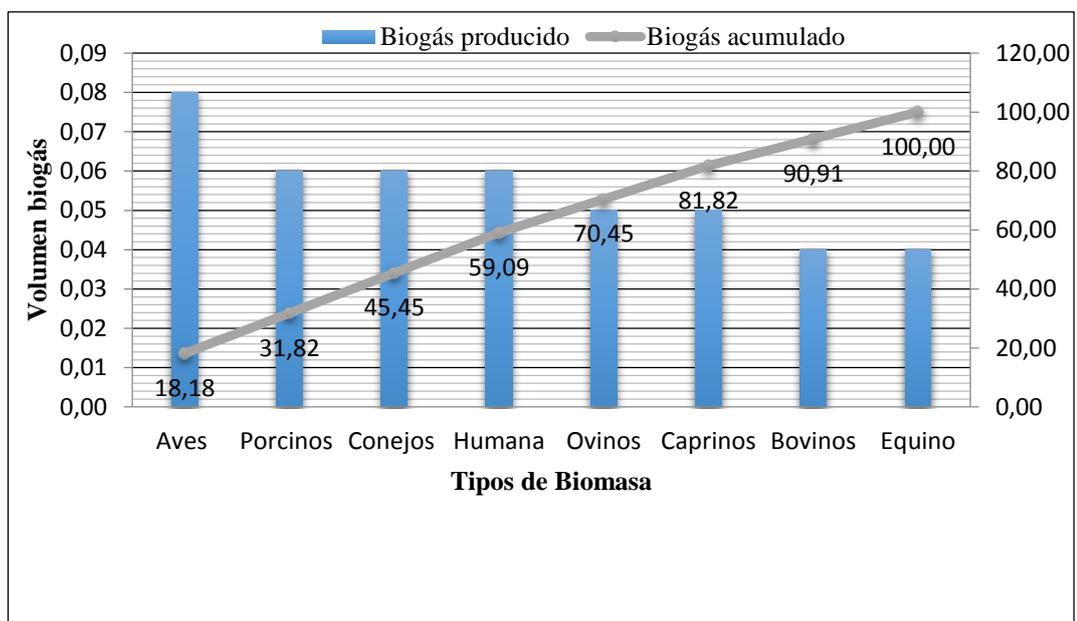


Figura 5.6. Curva de la relación biomasa vs biogás producido.

La figura 5.6, representa la curva característica del gas producido, como se puede observar la producción de biogás por aves tiene un promedio del 18% por unidad que se encuentra por debajo de los demás sim embargo al relacionar los resultados con la tabla 5.4, se determinó que por la cantidad de aves en el galpón se puede cuantificar una cantidad de 25kg diarios de excreta.

5.3. Caracterización del excremento

La caracterización del excremento permitirá obtener datos reales de porcentaje de humedad, relación C/N y cantidad de sólidos totales. Para su estudio se recolectó una muestra de 1 kg en fundas ziploc, para posteriormente transportarlo al laboratorio ANIMALAB, ubicada en la ciudad de Machachi. A continuación se muestran los resultados obtenidos en la tabla 5.5. (Ver Anexo I, II).

Tabla 5.5. Relación biomasa vs biogás producido.

Parámetros	Unidad	Cantidad	Valor Referencial
Ph Solución al 10%	u	8,10	MAL~52/AOAC943.02
Humedad	%	57,8	MAL~13/AOAC925.10
Cenizas	%	13,32	MAL~02/AOAC923.03
Carbono Orgánica	%	12,8	MAL~13/AOAC924.07
Sólidos Totales	%	34,1	MAL~13/AOAC925.10
Nitrógeno	%	1,20	MAL~04/AOAC981.10
Hierro	mg/kg	334,26	Absorción atómica

5.4. Caracterización del biogás

La caracterización del biogás se lo realizó en la Escuela Politécnica Nacional con un cromatógrafo de gases clarus 500 perkin-elmer en el laboratorio de instrumentación química.

5.4.1. Cromatógrafo de gases clarus 500 perkin-elmer

Equipo que permite la separación de compuestos orgánicos volátiles, con detector de ionización de llama (FID, "Flame Ionization Detector") y detector de conductividad térmica (TCD, "Thermal Conductivity Detector"). El equipo dispone de un muestreador automático con 82 muestras. La medida de las muestras no puede ser superior a 2 ml [40].

Características del cromatográfico

- Válvulas con accionamiento neumático que controlan la circulación de la muestra y de los gases portadores.
- Elementos detectores.
- Columnas analíticas.

- Un bloque calefactor con control de temperatura [41].

Los resultados analizados por el cromatógrafo de gases clarus 500 perkin-elmer se los puede observar en la tabla 5.6: (VER ANEXO III).

Tabla 5.6. Caracterización del biogás.

Resultados			
COMPOSICIÓN	Componente	% Peso	% Moles
	Nitrógeno	0,48	0,55
	Oxígeno	2,28	2,28
	CO	11,26	12,88
	Metano	26,75	23,43
	CO ₂	58,69	39,96
	Agua	0,48	0,85
	H ₂ S	0,03	0,03
	Total	100,00	100,00
	PROPIEDADES	Densidad relativa	1,11
Peso molecular promedio [g/mol]		32,01	
		[BTU/pie³]_{CN}	[kcal/m³]_{CN}
Poder calorífico superior		866,92	7719,57
Poder calorífico inferior		294,60	2623,29

Según el análisis realizado con el cromatógrafo a una temperatura de trabajo de 20 °C, y según la norma ASTM D 1945-03(2010), se obtuvo un poder calorífico superior de 7719,57 [kcal/m³]_{CN}, y un poder calorífico inferior de 2623,29 [kcal/m³]_{CN} [42].

En la tabla 5.7, se observan las características físicas químicas del biogás y del GLP.

Tabla 5.7. Características físico químicas del Biogás y del GLP.

Propiedades	Biogás	GLP
Metano (%)	26,75	0
Propano (%)	0	60
Butano (%)	0	40
Formula química	CH ₄	C ₄ H ₁₀ ; C ₃ H ₈
Temperatura de trabajo °C	20	20
Poder calorífico superior [kcal/m ³]	7719,57	22244
Poder calorífico inferior [kcal/m ³]	2623,29	15739

Fuente: [43].

En la figura 5.7, se puede observar la variación de los poderes caloríficos con una temperatura de trabajo de 20°C.

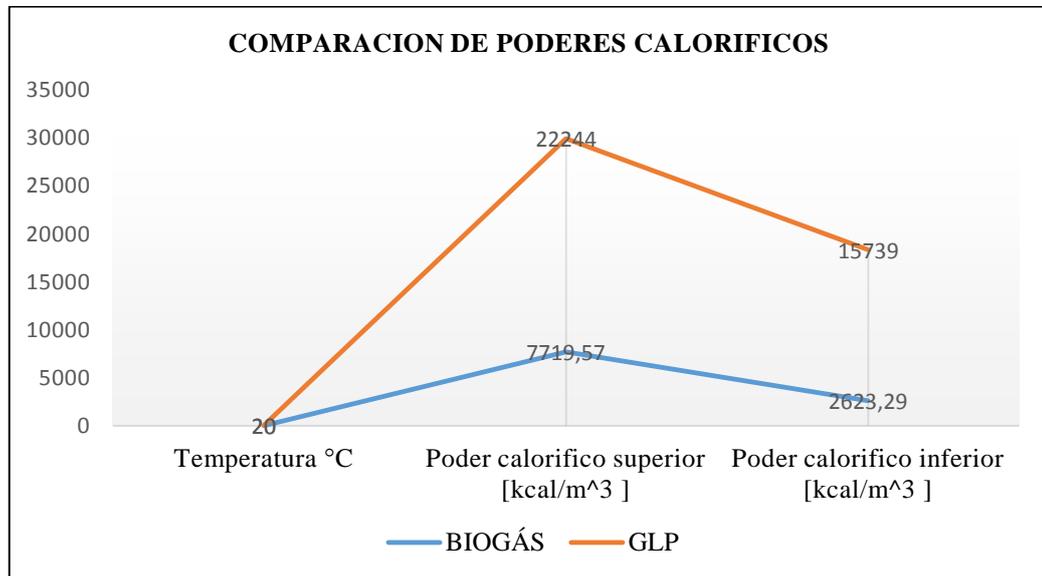


Figura 5.7. Variación de los poderes caloríficos de los gases a una temperatura de 20°C.

Según la comparación de la tabla 5.7, la variación de los poderes caloríficos a una temperatura de trabajo de 20°C, es bastante considerable por el contenido de diferentes elementos y porcentajes en su composiciones química, por un lado el GLP es utilizado en el sector industrial, residencial y tiene mayor eficiencia calorífica y por el otro lado el biogás es un gas natural que por su bajo poder calorífico no puede ser adaptado a sistemas que requieren presiones altas.

5.5 Cálculos de diseño del biodigestor

5.5.1 Determinación del potencial de excreta

Para determinar el potencial de excreta a utilizar, se tomó una muestra de 25kg diariamente, recolectado con pala en un saquillo de 50 kg y pesado mediante una balanza de gancho, debido a que en el galpón de recolección se produce diariamente un aproximado de 1440 kg de gallinaza, al existir 8000 aves y de acuerdo a la tabla 4,2; cada gallina de un peso promedio de 2kg produce 0,18 kg de excreta al día.

Entonces para la carga diaria, se determinó un potencial de excreta de 25kg.

$$C_D = 25\text{kg}$$

5.5.2. Determinación de mezcla y carga diaria

La mezcla diaria a ingresar en el biodigestor, estará constituido de una mezcla entre el excremento determinado y agua, para obtener una consistencia adecuada para el buen funcionamiento del biodigestor. Para la determinación de mezcla se utiliza la tabla 4.2, la cual indica una relación de 1:3-8, lo que significa que por cada parte de excremento hay que utilizar de 3 a 8 partes de agua; la cantidad de agua dependerá del estado en que se encuentre el excremento.

Para este caso, el estiércol se encuentra en un estado sólido húmedo, entonces para obtener una buena consistencia, la relación a emplear es de 1:4, que significa que por cada 1kg de excremento utilizamos 4litros de agua, entonces en el digestor se emplea 25 kg de excreta y 100 litros de agua, obteniendo un volumen de mezcla de carga diaria de:

$$V_{CD} = 125 \text{ kg}$$

5.5.3. Determinación del diámetro y longitud del biodigestor.

Para determinar el diámetro y longitud del biodigestor, se tomó en cuenta el lugar y disponibilidad proporcionado por la granja, como se manifestó anteriormente, el material del biodigestor, es de polietileno LDPE reforzado, y al venderlo en el mercado de forma tubular y laminar, se optó por un tubular, con un diámetro de 1,50m, Entonces:

$$D = 1.50\text{m}$$

Entonces una vez obtenido el diámetro se procede a calcular la longitud de la estructura tubular, recordando cómo se manifestó anteriormente, que corresponde solo al largo del biodigestor, mas no al largo total de la bolsa, entonces utilizando la **ecuación 4.4**, se obtiene una longitud de:

$$L = 5,50 \text{ m}$$

5.5.4 Volumen total del biodigestor

Para determinar el volumen total del biodigestor se utiliza la **ecuación 4.4**, obteniendo un volumen total de:

$$V_T = 9,72 \text{ m}^3$$

5.5.5 Volumen líquido total del biodigestor

De acuerdo al cálculo del volumen total del biodigestor, se obtiene un volumen líquido correspondiente al 75%, lo que equivale a:

$$V_{LIQUIDO} = 7,29 \text{ m}^3$$

5.5.6 Volumen gaseoso total del biodigestor

De la misma manera, la parte gaseosa corresponde al 25% del volumen total del biodigestor, obteniendo un valor de:

$$V_{GASEOSO} = 2,43 \text{ m}^3$$

5.6. Temperatura promedio de trabajo del biodigestor

A continuación se puede observar en la tabla 5.8, los datos de la producción promedio de biogás, registrada diariamente, en el lapso de los primeros 20 días del mes de Julio del presente año:

Tabla 5.8. Temperatura promedio de trabajo el biodigestor.

REGISTRO DIARIO DE TEMPERATURA MES JULIO 2018				
Días	T1 (8:30) [°C]	T2(13:00) [°C]	T3(19:00) [°C]	°T media diaria
1	17	25	11	17,7
2	18	30	10	19,3
3	21	31	11	21,0
4	19	28	10	19,0
5	20	33	12	21,7
6	17	27	11	18,3
7	21	32	11	21,3
8	18	26	10	18,0
9	20	34	12	22,0
10	19	29	11	19,7

11	17	27	10	18,0
12	21	31	12	21,3
13	18	34	9	20,3
14	20	28	11	19,7
15	17	24	9	16,7
16	19	31	10	20,0
17	16	23	10	16,3
18	20	35	12	22,3
19	19	28	11	19,3
20	17	30	10	19,0
Temperatura promedio de trabajo	19,6			

En la figura 5.8 se puede observar la variación de temperatura registrada con relación al tiempo:

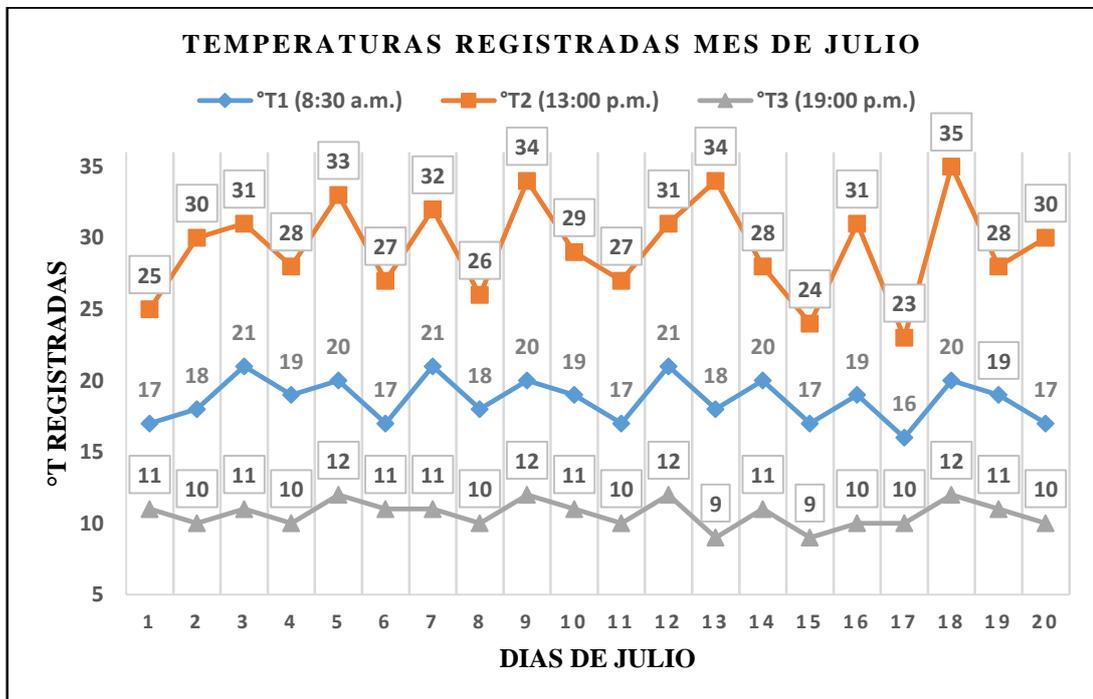


Figura 5.8. Curva de la variación de la temperatura con respecto al tiempo.

5.7. Presión de trabajo

El biodigestor de estructura flexible, trabaja a una presión máxima de 0,05 atmosferas, que es aproximadamente 0,73 psi, por lo cual no es necesario instalar un manómetro para medir su presión de trabajo, sin embargo si se desea conocer valores, se deberá instalar un manómetro de alta sensibilidad y de costo elevado con unidades en milibares, que permita medir continuamente la presión de trabajo del biodigestor.

5.8. Producción diaria de biogás

Para obtener resultados de producción diaria de biogás, se incorporó un contador de gas natural y se midió a diferentes horas del día, del cual a continuación se puede observar en la tabla 5.9, los datos registrada diariamente, en un lapso de los primeros 20 días, del mes de Julio, del presente año, cabe recalcar que su unidad es dm^3/min :

Tabla 5.9. Producción de Biogás.

REGISTRO DIARIO DE PRODUCCIÓN BIOGÁS MES JULIO 2018			
Días	(8:30a.m) [dm^3/min]	(13:00p.m) [dm^3/min]	(19:00p.m) [dm^3/min]
1	18	22	15
2	18,5	24,5	14,5
3	20	25	15
4	19	23,5	14,5
5	19,5	26	15,5
6	18	23	15
7	20	25,5	15
8	18,5	22,5	14,5
9	19,5	26,5	15,5
10	19	24	15
11	18	23	14,5
12	20	25	15,5
13	18,5	26,5	14
14	19,5	24	15
15	18	21,5	14

16	19	25	14,5
17	17,5	21	14,5
18	19,5	27	15,5
19	19	23,5	15
20	18	25	14,5

Con los datos registrados a diario en el contador de gas, se obtuvo la siguiente curva, cabe recalcar que varían de acuerdo a la temperatura de trabajo:

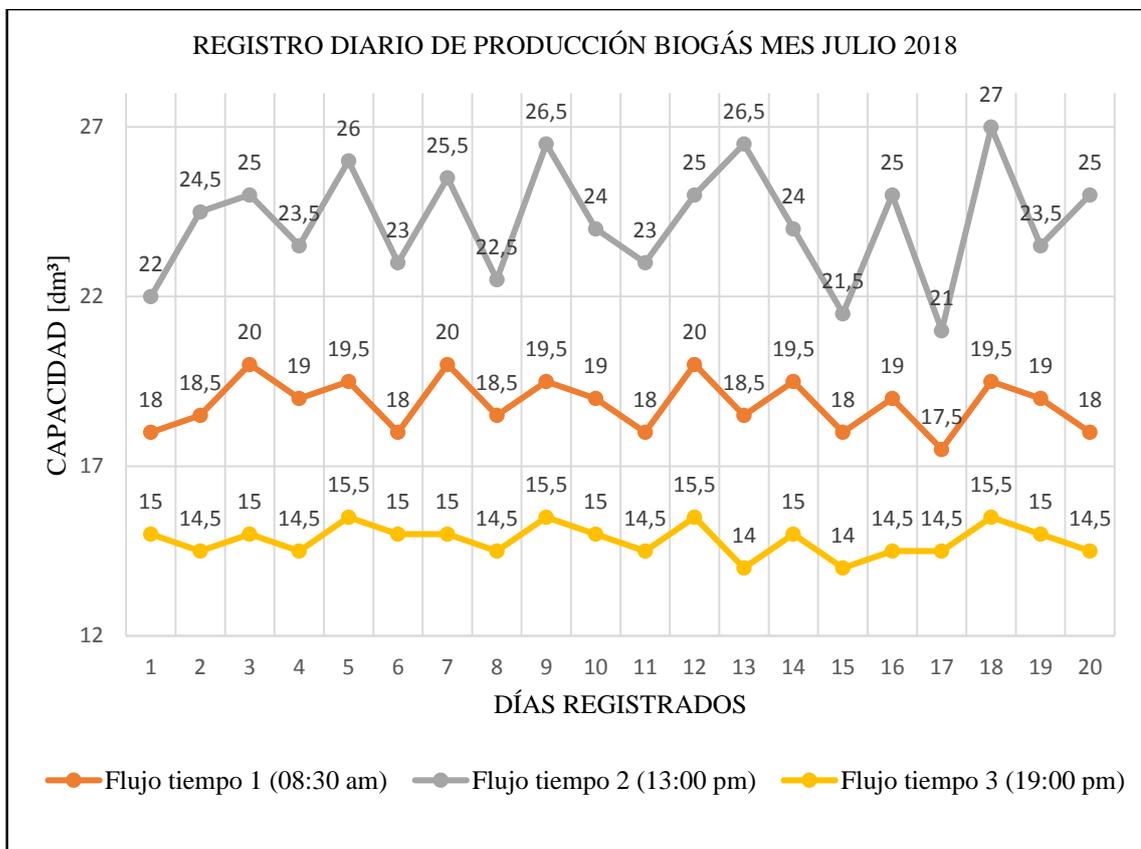


Figura 5.9. Curva de la variación de producción de biogás con respecto al tiempo.

5.9. Relación flujo medio diario vs temperatura media diaria

Tabla 5.10. Relación flujo medio vs temperatura media diaria

RELACIÓN FLUJO MEDIO VS TEMPERATURA MEDIA		
Días	Flujo medio diario[dm ³ /min]	°T media diaria [°C]
1	18	17
2	18,5	18
3	20	21
4	19	19
5	19,5	20
6	18	17
7	20	21
8	18,5	18
9	19,5	20
10	19	19
11	18	17
12	20	21
13	18,5	18
14	19,5	20
15	18	17
16	19	19
17	17,5	16
18	19,5	20
19	19	19
20	18	17

En la figura 5.10 se puede observar la variación del flujo medio vs temperatura media:

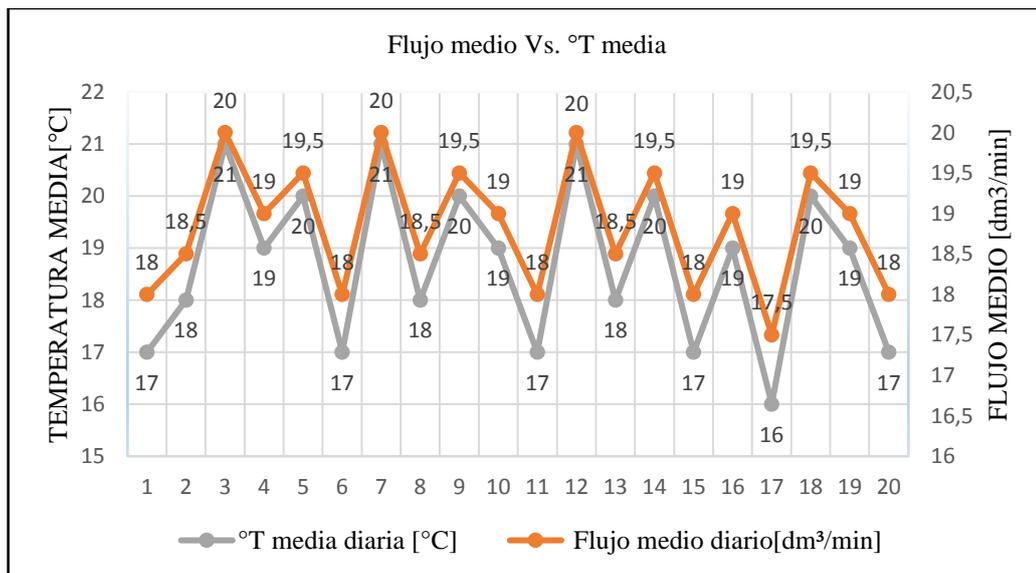


Figura 5.10. Curva de la variación de producción de biogás con respecto al tiempo.

6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

En la implementación de un biodigestor de un sistema continuo, los costos dependen básicamente de los métodos y procedimientos que se utilice en su construcción, asimismo de los requerimientos de producción de biogás, teniendo presente que la ejecución de un biodigestor no constituye un gasto, sino una inversión que traerá a mediano y largo plazo grandes beneficios económicos y ambientales al lugar, al ser una tecnología renovable y de fácil instalación y disposición.

Presupuesto para la implementación del biodigestor

Para realizar el análisis de costos de la propuesta tecnológica, se debe identificar cada de uno de los procedimientos que influyen en la construcción del biodigestor, teniendo cuenta que los biodigestores de tipo continuo de estructura flexible, tiene una vida útil aproximada de ocho a diez años, para lo cual se realiza el siguiente análisis:

6.1. Costos directos del biodigestor

Aquí se representa el costo final del biodigestor implementado, el cual se relaciona con la materia prima y la mano de obra directa, cabe recalcar que la construcción se desarrolla en 15 días y dichos valores se detallan en la tabla 6.1:

Tabla 6.1. Detalle de costos de materiales para construcción del biodigestor.

RUBRO	DIMENSIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/ UNIDAD (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Polietileno pigmentado LDPE-MP reforzado.	1x3 e = 150micras	m	20	5,80	116
Tubo PVC de desagüe.	6x0,01 e=3 mm	m	2	23,50	47
Llave de bola de presión	Ø = 4	pulg.	2	49,90	99,80
Rodajas de bronce para fijación.	Ø = 4	pulg.	4	11,60	46,40

Codo 90° PVC de desagüe	Ø = 110	mm	2	7,80	15,60
Codo 45° PVC de desagüe	Ø = 110	mm	1	8,00	8,00
Tanque PVC	120	litros	2	18	36
				SUBTOTAL	368,80

6.1.1 Costos de materiales para conducción del biogás

En tabla 6.2 se representa el costo de los materiales que transportan el circuito del biogás:

Tabla 6.2. Detalle de costos de materiales para conducción del biogás.

RUBRO	DIMENSIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/ UNIDAD (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Adaptador para salida de biogás.	1/2	pulg.	5	4,50	22,50
Tubo PE-AL-PE.	Ø = 1/2	pulg.	6	2,50	15,00
Llave de paso de bronce.	1/2	pulg.	6	6,00	36,00
Filtro de humedad	Fabricante	c/u	1	17,00	17,00
Manómetro 0-15 Psi	Fabricante	c/u	1	12,40	12,40
Codos PVC 90°	Ø = 1/2	pulg.	2	1,50	3,00
T PVC	Ø = 1/2	pulg.	2	2,25	4,50
Neplo PVC	l= 3,93 Ø = 1/2	pulg.	5	1,90	9,50
Codos bronce 90°	Ø = 1/2	pulg.	2	4,80	9,60
Medidor gas natural	Fabricante	c/u	1	175,00	175,00
				SUBTOTAL	304,50

6.1.2. Costos de materiales para construcción invernadero y reservorio

En tabla 6.3 se representa el costo de los materiales que fueron empleados para la construcción del invernadero y reservorio del biodigestor:

Tabla 6.3. Detalle de costos de materiales para construcción del invernadero y reservorio.

RUBRO	DIMENSIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/ UNIDAD (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Pingos de madera	2 x 0,10ø	m	10	1,50	15,00
Pingos de madera	2,50 x 0,10ø	m	5	2,00	10,00
Pingos de madera	6,50 x 0,10ø	m	2	4,00	8,00
Pingos de madera	0,50x0,50x3	m	12	0,75	9,00
Plástico calibre 8	2,5x2,50	m	7	8,75	61,25
Clavos	2	pulg.	50	0,06	3,00
Clavos	3	pulg.	24	0,10	2,40
Bisagras	2	pulg.	4	0,80	3,20
Lámina de Zinc	1,60 x 1,80	m	1	7,15	7,15
Malla verde	2 x 1	m	24	2,15	51,60
				SUBTOTAL	170,60

6.1.3 Costos por utilización de equipos

En la tabla 6.4 se aprecia los costos por la utilización de equipos en el proceso de la construcción del biodigestor de estructura flexible.

Tabla 6.4. Detalle de costos por utilización de equipos en el biodigestor.

MÁQUINAS	HORAS EMPLEADAS	COSTO/HORA (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Pulidora	5	3,00	15,00
Taladro	4	2,00	8,00
Torno	1	7,00	7,00
Llaves	40	0,50	20,00
		SUBTOTAL	50,00

6.1.4. Costos de elementos de seguridad

En la tabla 6.5 se aprecia los costos por la utilización de implementos de seguridad.

Tabla 6.5. Detalle de costos de elementos de seguridad.

ELEMENTO	CANTIDAD	COSTO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Overol	2	---	---
Casco	2	5,00	10,00
Guantes	2	3,00	6,00
Gafas	2	1,50	3,00
Mascarillas	2	0,50	1,00
		SUBTOTAL	20,00

6.1.5. Costos de mano de obra

Se refiere al gasto de mano de obra empleada en la construcción del biodigestor, considerada como mano de obra directa (MOD) y se lo hace en relación al sueldo básico mensual, valorado actualmente en \$ 386 USD, para el desarrollo de mezcla, entrada y salida de la misma, es necesario tres horas de trabajo diario en el biodigestor, por lo que se aprecia una remuneración de \$ 1,61 USD/hora, de igual manera para el técnico a cargo de la instalación, en la tabla 6.6 se visualiza el costo total de mano de obra directa:

Tabla 6.6. Detalle de costos de mano de obra.

OPERARIO	CARGO	TIEMPO	COSTO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
1	Técnico	45	2,00	90,00
2	Ayudante	45	1,61	72,45
			SUBTOTAL	162,45

6.1.6. Total de costos directos

El total de los costos directos una vez terminada la construcción del biodigestor es de \$ 1530,09, como se puede observar en la tabla 6.7.

Tabla 6.7. Total de costos directos.

TOTAL COSTOS DIRECTOS	
Componente del gasto	Costo total (\$)
Construcción del biodigestor	\$ 368,80
Construcción del conducto de biogás	\$ 304,50
Construcción invernadero y reservorio	\$ 170,60
Costos por utilización de equipos	\$ 50,00
Costos de elementos de seguridad	\$ 20,00
Costos de mano de obra	\$ 162,45
TOTAL	\$ 1076,35

6.2. Costos indirectos del biodigestor

En la tabla 6.8 representa los costos indirectos, para la implementación del sistema del biodigestor:

Tabla 6.8. Total de costos indirectos

TOTAL COSTOS INDIRECTOS	
Componente del gasto	Costo total (\$)
Transporte	\$ 50
Comida	\$ 30
TOTAL	\$ 80

6.3. Costos totales

En la tabla 6.9 se indican los costos totales efectuados en la implementación del biodigestor tubular flexible:

Tabla 6.9. Inversión total del biodigestor

INVERSIÓN TOTAL DEL BIODIGESTOR	
Componentes del costo	Costo total (\$)
Gastos directos	\$ 1076,35
Gastos indirectos	\$ 80,00
10% Imprevistos	\$ 115,63
TOTAL	\$ 1271,98

Con lo anterior se puede denotar que el costo total de inversión para la implementación del biodigestor es de \$1271,98.

6.4. Rentabilidad

Los beneficios directos del empleo del biodigestor se los puede valorar de acuerdo al uso del gas, al ser una energía alternativa y de la misma manera a la generación del efluente, conocido como biol o biofertilizante, la cual es una sustancia rica en nutrientes, la cual podría ser utilizada en reemplazo de fertilizantes químicos.

6.5. Estudio financiero de la propuesta tecnológica

Mediante el estudio de factibilidad económica, se determina si la propuesta tecnológica es rentable o no, además de ello sirve como soporte entre alternativas de acción para recomendarlo o cuando se realice un proyecto similar, y de esta manera sea aprobado o rechazado por la persona a construir.

El análisis financiero se lo realizó en base los indicadores financieros del Valor Actual Neto (VAR) y la Tasa Interna de Retorno (TIR); para lo cual se establece las siguientes consideraciones:

- El m³ de biogás reemplaza a 0,45 kg de GLP.
- El costo actual del cilindro de 15 kg de GLP es de \$3,00 USD.
- La producción diaria de biogás es de 2,43 m³ que equivale a 2 tanques de gas de 15 kg al mes.
- El biofertilizante al por mayor tiene un costo de 0,09 USD/l.
- La producción de biofertilizante, se estima en 50 l/día.

Por lo tanto se detalla un ingreso anual de:

Ingresos por biogás al año:

- Producción de biogás anual:

$$\frac{2,43m^3}{día} \times 365días = 730 \frac{m^3}{año} \text{ Biogás.}$$

- Producción de tanques GLP por biogás:

$$1m^3 \text{ biogás} \longrightarrow 0,45 \text{ kg GLP}$$

$$730m^3 \text{ biogás} \longrightarrow X$$

$$\therefore X = 328,5 \text{ kg GLP} \rightarrow 22 \text{ tanques GLP } 15\text{kg}.$$

- Ingreso USD:

$$22 \text{ tanques} \times 3\$ = \$66,00 \frac{m^3}{\text{año}}$$

Ingresos por biofertilizante al año:

Se estima la venta de una caneca de 50 litros durante 200 días (lun-vie) al año.

$$50 \text{ litros} \times 200 \text{ días} = 10000 \frac{\text{litros}}{\text{año}}.$$

$$10000 \text{ litros} \times \$0,09 \text{ USD} = \$900 \text{ USD año}.$$

6.5.1. Flujo de fondos previsto:

El flujo de fondos se establece bajo las siguientes consideraciones, y se visualiza en la tabla 6.10:

- Los flujos de caja son para ocho años, tiempo estimado de vida útil del biodigestor.
- Los ingresos corresponden a la producción del biogás y el biofertilizante que se producen en el biodigestor.
- Los gastos o egresos corresponden al costo de construcción y a los costos de operación y mantenimiento del biodigestor.

Tabla 6.10. Flujo de fondos neto.

FLUJO DE FONDOS NETOS									
AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Egresos									
Costo biodigestor	-1272	0	0	0	0	0	0	0	0
Ingresos									
Biogás	0	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0
Biofertilizante	0	900	900	900	900	900	900	900	900
TOTAL	-1272	966							

6.6. Valor Actual Neto (VAN)

El valor actual neto, es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial; sumar los flujos descontados en el presente y restar la inversión inicial equivale a comparar todas las ganancias esperadas contra todos los desembolsos necesarios para producir estas ganancias, en términos de su valor equivalente, en tiempo presente; es claro que para aceptar un proyecto las ganancias deberán ser mayores que los desembolsos, lo cual dará por resultado que el VAN sea mayor a cero.

La fórmula para el cálculo del VAN, son las siguientes:

$$VAN = -I_0 + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FNE_N + VR}{(1+i)^n}$$

Donde:

- I_0 = Inversión en el momento cero de la evaluación. [USD].
- FNE = Flujo neto efectivo [USD].
- i = Tasa de descuento [%].
- n = número de años [años].

Por consiguiente se obtiene la tabla 6.11 y 6.12:

Tabla 6.11. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN).

Tasa de descuento	VAN
5%	\$4.971,46
10%	\$3.881,54
15%	\$3.062,75
20%	\$2.434,70
25%	\$1.943,73
30%	\$1.553,26
35%	\$1.237,83
40%	\$979,36
45%	\$764,81
50%	\$584,62
55%	\$431,65
60%	\$300,51
65%	\$187,10
70%	\$88,22
75%	\$1,36
80%	-\$75,46
85%	-\$143,81
90%	-\$204,99
95%	-\$260,02
100%	-\$309,77

Tabla 6.12. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN).

Nº años	FNE	$(1+i)^n$	$FNE/(1+i)^n$
0	-1272		-1272
1	966	110%	878,18
2	966	121%	798,35
3	966	133%	725,77
4	966	146%	659,79
5	966	161%	599,81
6	966	177%	545,28
7	966	195%	495,71
8	966	214%	450,65
		VAN	3881,54

De la relación del Van y el Tir se obtiene la siguiente grafica mostrada en la figura 6.1:

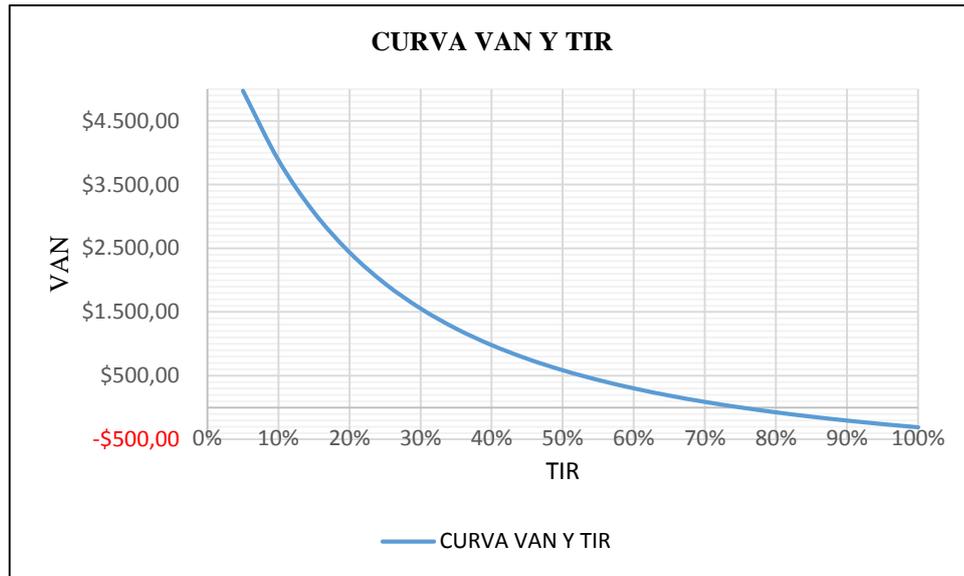


Figura 6.1. Curva característica del Van vs el Tir.

A continuación se establecen los criterios para el análisis del Van y del Tir.

6.6.1. Criterios de decisión para el VAN

Para evaluar el VAN, se obtienen los siguientes criterios:

VAN > 0, El proyecto es aceptado.

VAN < 0, El proyecto es rechazado.

VAN = 0, El proyecto es analizado, para ser aceptado rechazado.

De la tabla 6.11 y 6.12, se puede observar que el VAN adquiere un valor positivo de \$3881,54 USD al término de los 8 años, y consigue un valor negativo cuando se lo determina a una tasa del 80%, para lo cual, significa que el proyecto es aceptado.

6.7. Tasa Interna de Retorno

La tasa interna de retorno, es la tasa de descuento a la cual el VAN es igual a cero; es la tasa que iguala la suma de los flujos obtenidos descontados a la inversión inicial. La TIR representa la tasa de interés más alta que un inversionista podría pagar al momento de obtener un financiamiento de terceros.

Por consiguiente el TIR evalúa el proyecto basado a una tasa de rendimiento por el período de 8 años, el cual es el tiempo valorado de vida útil del proyecto, con lo cual se permite llenar la totalidad de costos y gastos de operación efectuados en el proyecto.

La fórmula para calcular la tasa interna de retorno es la siguiente:

$$TIR = T_p + \frac{VAN_p}{VAN_p - VAN_n} \cdot (T_n - T_p)$$

Donde:

$$T_p = \text{Tasa positiva. [\%]}$$

$$T_n = \text{Tasa negativa. [\%]}$$

$$VAN_p = \text{Valor actual neto positivo. [USD]}$$

$$VAN_n = \text{Valor actual negativo. [USD]}$$

Para lo cual reemplazando valores se obtiene:

$$TIR = 75 + \frac{1,36}{1,36 - (-75,46)} \cdot (80 - 75)$$

$$TIR = 75 + 0,018 \cdot (5)$$

$$TIR = 75,09\%$$

6.7.1. Criterios de decisión para el TIR

$TIR >$ Costo de oportunidad, el proyecto es aceptado.

$TIR <$ Costo de oportunidad, el proyecto es rechazado.

$TIR =$ Costo de oportunidad, el proyecto es analizado, para ser aceptado o rechazado.

En este caso, la TIR, indica que la rentabilidad del proyecto es del 75,09% para llegar alcanzar el valor cero del VAN, por consiguiente la factibilidad económica es aceptada, obteniendo una recuperación de la inversión en menos de un año.

6.8 Análisis de impactos

a. Técnicos

La implementación del biodigestor, aportó al desarrollo de energías alternativas y al tratamiento y disposición final de las excretas de la gallina, cabe recalcar que se puede utilizar la presente información como aporte para la investigación con otros residuos del medio agrícola, en el caso de futuras implementaciones.

La propuesta se lo realizó con todas las normas establecidas para la producción de biogás, además de construirlo con materiales existentes en la región, permitiendo de esta manera que los costos de implementación sean accesibles para el sector rural, y el inversionista que desee construirlo.

b. Ambientales

Para la sociedad es un factor importante mantenerse en equilibrio con la naturaleza, y de tal manera preservar el medio ambiente, por tal motivo surgió la necesidad de las tecnologías alternativas, que permitieran el uso y explotación de materiales renovables y de tal manera reducir el uso de fuentes no renovables, como el caso del GLP, contribuyendo de esta manera a la reducción de la contaminación ambiental, obteniendo un beneficio para el sector agrario.

Para realizar un proyecto, en este caso una propuesta tecnológica, se utilizan varios aspectos económicos, los mismos que son necesarios especificar para su correcto análisis, por tal razón a continuación se detalla el aspecto de costos, del desarrollo e implementación del biodigestor tubular de estructura flexible.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- De acuerdo a la investigación realizada en las diferentes fuentes de información se concluye que la construcción del biodigestor tipo horizontal es factible considerando los parámetros de temperatura, tiempo de retención y de la caracterización de la gallinaza que permite cuantificar la carga diaria que se debe suministrar al digestor.
- De acuerdo a la caracterización de la gallinaza se pudo cuantificar una cantidad de 25kg de estiércol, a ser suministrada en el biodigestor de 1,5m de ancho y 5,50m de largo obteniendo una capacidad máxima de 9,72m³.
- Con una composición de la mezcla de 25kg de estiércol y 100 litros de agua, con una temperatura promedio de trabajo de 24,02°C, y una relación de C/N de 23:1, se generan 2,43m³ de biogás al día registrados por medio de un medidor de gas natural.
- Según la caracterización del biogás en el cromatógrafo con una temperatura de trabajo de 20 °C, se obtuvo un poder calorífico superior de 7719,57 [kcal/m³], y un poder calorífico inferior de 2623,29 [kcal/m³], analizado bajo la norma ASTM D 1945-03(2010).
- La producción de biogás dependerá netamente de la temperatura promedio de trabajo del biodigestor, que oscila entre los 20 a 25°C, que ayuda a la descomposición de la materia orgánica suministrada.
- La implementación del biodigestor resulta factible puesto que tras el análisis del van y el Tir se obtuvo una tasa del 75%, a un costo de interés del 10%, y un van de 3881 dólares al periodo de los 8 años que se considera la vida útil del biodigestor.

Recomendaciones

- Para mantener una presión constante en proyectos futuros se recomienda la instalación de un contrapeso controlado por un sensor de nivel para evitar daños en el biodigestor.
- Evitar que en la composición de la mezcla se introduzcan objetos cortos punzantes para evitar daños internos en el biodigestor.
- Para tener una mayor durabilidad y mayor protección del sistema se recomienda construirlo con geomembrana.
- Se recomienda la utilización de tubería de PVC para la línea de conducción del biogás para evitar la corrosión producida por el ácido sulfhídrico.
- Se recomienda buscar un proceso con el cual se pueda presurizar el gas obtenido, que permita la utilización en sistemas de combustión o generación.
- La instalación del biodigestor debe estar en una área libre, debido a que se pueden emitir malos olores y nocivos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SNIESE, «SENESCYT,» 29 Marzo 2012. [En línea]. Available: <https://www.puce.edu.ec/intranet/documentos/PISP/PISP-Areas-Subareas-Conocimiento-UNESCO-Manual-SNIESE-SENESCYT.pdf>. [Último acceso: 8 Junio 2018].
- [2] L. Martín, «Compromiso Empresarial,» 13 Marzo 2013. [En línea]. Available: <https://www.compromisoempresarial.com/rsc/medio-ambiente/2013/03/biomasa-la-energia-natural/>. [Último acceso: 4 Junio 2018].
- [3] ECOADMIN, «ECOLOGIAHOY,» 04 Febrero 2011. [En línea]. Available: <https://www.ecologiahoy.com/biomasa>. [Último acceso: 04 Junio 2018].
- [4] C. P, «Combustibles Aragón,» 1 Abril 2016. [En línea]. Available: <https://combustiblesaragon.es/tipos-de-biomasa/>. [Último acceso: 4 Junio 2018].
- [5] B. Mosquera, «FONAG,» Septiembre 2010. [En línea]. Available: http://www.fonag.org.ec/doc_pdf/abonos_organicos.pdf. [Último acceso: 4 Junio 2018].
- [6] K. Moriya, «abc color,» 24 Septiembre 2008. [En línea]. Available: <http://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/abc-rural/gallinaza-como-fertilizante-1107254.html>. [Último acceso: 4 Junio 2018].
- [7] E. Mónica, «Manejo y procesamiento de la gallinaza,» *Lasallista de Investigación*, vol. II, nº 1, pp. 43-48, Enero-Junio 2005.
- [8] Castello, «La gallinaza,» *Selecciones Avícolas*, pp. 5-35, 2000.
- [9] G. S. Viera, «Scribd,» 28 Mayo 2012. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/95091904/La-Gallinaza#scribd>. [Último acceso: 4 Junio 2018].
- [10] M. Varnero, Manual de biógas, Santiago de Chile, 2011.
- [11] J. P. J. A. F. S. A. M. Elena Campos, «Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas,» Catalunya, 2004.

- [12] Y. Lorenzo Acosta y M. C. Obaya Abreu, La digestión anaerobia, La Habana, 2005.
- [13] Biomax, «Universo Porcino,» El portal del cerdo, 9 Abril 2008. [En línea]. Available: http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/que_es_un_biodigestor.html. [Último acceso: 4 Junio 2018].
- [14] Lab.Beni, «Agrowaste,» Febrero 2013. [En línea]. Available: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/DIGESTION-ANAEROBIA.pdf>. [Último acceso: 14 Junio 2018].
- [15] I. (. p. l. D. y. A. d. l. Energía), «BiodiSol,» 13 Julio 2018. [En línea]. Available: <http://www.biodisol.com/que-es-el-biogas-digestion-anaerobia-caracteristicas-y-usos-del-biogas/digestion-anaerobia-proceso-de-produccion-de-biogas-biocombustibles-energias-renovables/>. [Último acceso: 14 Junio 2018].
- [16] J. Hilbert, Manual para la producción de biógas, 2003.
- [17] G. Moncayo, «Aqualimpia Engineering e.K.,» 8 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://www.aqualimpia.com/digestion-anaerobica/>. [Último acceso: 14 Junio 2018].
- [18] E. A. D. S. E. H. G. P. Jaime Herrero, «Introducción de Biodigestores en Sistemas Agropecuarios en el Ecuador,» Quito, 2015.
- [19] B. Villanueva, Proyecto para la construcción de una planta de biogás a partir de desechos, Mexico, 2001.
- [20] B. Lugones, «CUBASOLAR,» [En línea]. Available: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo04.htm>. [Último acceso: 14 Junio 2018].
- [21] P. Laner, «Producción de Biogas a partir del estiércol animal,» Buenos Aires, 2014.
- [22] J. Lapeña, «LA ENERGÍA EN LA PROVINCIA DE SANTA FE,» 2007.
- [23] INIA, Producción y uso del biol, Primera ed., A. Roldán, Ed., Lima, 2008.
- [24] FONCODES, «Producción y uso de abonos orgánicos; biol, compost y humus,» Tarea Asociación Gráfica Educativa, Lima, 2014.

- [25] L. Guerrero, «ABOUTESPAÑOL,» 24 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.aboutespanol.com/que-es-un-biodigestor-3417683>. [Último acceso: 20 Junio 2018].
- [26] I. Corona, «Biodigestores,» 2007.
- [27] W. Amador, «Biodigestor,» 10 Agosto 2010. [En línea]. Available: <http://kbiodigestor.blogspot.com/2010/10/tipos-de-biodigestores.html>. [Último acceso: 20 Junio 2018].
- [28] L. Guerrero, «ABOUTESPAÑOL,» 3 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.aboutespanol.com/tipos-de-biodigestores-y-sus-disenos-3417696>. [Último acceso: 20 Junio 2018].
- [29] F. Almanza, «CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN BIODIGESTOR MODELO CHINO MEJORADO PARA ZONAS ANDINAS,» 2011.
- [30] E. renovables, «Ecocosas,» 10 Agosto 2011. [En línea]. Available: <https://ecocosas.com/energias-renovables/biodigestor/>. [Último acceso: 20 Junio 2018].
- [31] Jayr, «Biocombustibles, biogas,» 17 Septiembre 2009. [En línea]. Available: <https://energiacasera.wordpress.com/tag/biodigestor/>. [Último acceso: 20 Junio 2018].
- [32] R. Braun, «Eliminación mediante impactos ambientales positivos de estercoles y purines en las empresas porcinas,» 2013.
- [33] R. G. V. Cotrina, Biodigestores tubulares unifamiliares, Primera ed., G. Reaño, Ed., Lima: GMC Digital SAC, 2013.
- [34] E. Caceres, «mailxmail,» 2 Febrero 2011. [En línea]. Available: <http://www.mailxmail.com/curso-produccion-biogas-construccion-biodigestor/biodigestor-componentes>. [Último acceso: 20 Junio 2018].
- [35] A. Wong, «heatwave,» 24 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.heatwave.com.mx/noticias/medidores-de-gas/>. [Último acceso: 20 Junio 2018].

- [36] R. García, «DISEÑO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA ZONAS RURALES DE LA REGIÓN PIURA,» Piura, 2017.
- [37] V. Morales, «MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO,» 15-16 Septiembre 2011. [En línea]. Available: http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/bioenergia/cusco_cedepac/presentacion_biogas_tubular-vladimir_morales.pdf. [Último acceso: 27 Junio 2018].
- [38] B. GRASS, «EVALUACIÓN Y DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUO ORGÁNICOS AGROINDUSTRIALES EN LA REGIÓN METROPOLITANA,» Santiago de Chile, 2013.
- [39] J. M. Herrero, Biodigestores familiares guía de diseño y manual de instalación, La paz, 2008.
- [40] U. P. d. Catalunya, «Servicios Científicos - Técnicos de la UPC,» [En línea]. Available: <https://www.upc.edu/sct/es/equip/431/cromatografo-gases.html>. [Último acceso: 23 Julio 2018].
- [41] D. Measurement, «EMERSON,» Julio 2010. [En línea]. Available: <http://www.emerson.com/documents/automation/manual-model-500-gas-chromatograph-hardware-reference-rev-k-spanish-es-70686.pdf>. [Último acceso: 23 Julio 2018].
- [42] Admin, «SpectraLab,» [En línea]. Available: <http://spectralabsci.com/PDFFiles/ASTM%20D1945%20pro.pdf>. [Último acceso: 23 Julio 2018].
- [43] L. E. Víctor Ormeño, «Organismo supervisor de la inversión de la energía y minería,» 2012. [En línea]. Available: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/hm000661.pdf>. [Último acceso: 23 Julio 2018].

9. ANEXOS

ANEXO I	Análisis de contenido de hierro en el abono de la gallina.	1-1
----------------	--	-----



CENTRO DE DIAGNÓSTICO CLÍNICO VETERINARIO
"ANIMALAB CIA. LTDA."

Direc.: Av. Pablo Guarderas y Mariana de Jesús
 Telfs.: Of. 022314376 / Cel.: 0984 484 385 / 0997 984 371 • Mail: c.d.c.v.animalab@hotmail.com
 Machachi - Ecuador

INFORME DE RESULTADOS DEL ENSAYO

Código: R PG AB-19 01
 Revisión: 05
 Fecha de Aprobación: 2017 - 12 - 26

N. DE CASO: A-1349-18
 CÓDIGO: BAH-LJ-006-18

Fecha de recepción:	Martes, 19 de junio del 2018		
Fecha de realización:	Martes, 19 de junio del 2018		
Fecha de finalización:	Miércoles, 04 de julio del 2018		
Fecha de entrega:	Miércoles, 04 de julio del 2018		
PROPIETARIO:	Sr. Leider Guanoanquitope	TELÉFONO:	0987738181
RUC:	0502972508	UBICACIÓN:	Cotopaxi-Latacunga-La Motita
HACIENDA:	Aves de Cotopaxi	MAIL:	leider22@hotmail.com
SOLICITANTE:	Sr. Leider Guanoanquitope	RESPONSABLE:	M.V.Z. Hernán Calderón
ESPECIE:	Aves	TIPO DE MUESTRA:	Heces
EDAD:	Sin dato		
Nº DE MUESTRAS:	1		
PRUEBAS SOLICITADAS:	Bromatológico		
METODO:			
OBSERVACION:			

RESULTADOS

MUESTRA:	HECES		
IDENTIFICACION:	GALPON		

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	
CARACTERÍSTICA	Característico
ESTADO	Sólido
CONTENIDO	2kg
OBSERVACION	Los resultados se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregados al personal de "Animalab Cia. Ltda"

INFORME			
PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	VALOR REFERENCIAL
Hierro	mg/kg	354,90	ABSORCION ATOMICA

Estos resultados son válidos solo para la (s) muestra (s) analizada (s) y se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento, sin la autorización de ANIMALAB CIA LTDA.



M.V.Z. HERNÁN CALDERÓN
 DIRECTOR TÉCNICO "ANIMALAB LTDA"



CENTRO DE DIAGNÓSTICO CLÍNICO VETERINARIO "ANIMALAB CIA. LTDA."

Direc.: Av. Pablo Guarderas y Mariana de Jesús
Telfs.: Of. 022314376 / Cel.: 0984 484 385 / 0997 984 371 • Mail: c.d.c.v.animalab@hotmail.com
Machachi - Ecuador

INFORME DE RESULTADOS DEL ENSAYO

Código: R PG AB-19 01

Revisión: 06

Fecha de Aprobación: 2017 - 12 - 26

No DE CASO: A-1549-15
CÓDIGO: BA1-4.5- 001-15

Fecha de recepción: Martes, 19 de junio del 2018
Fecha de realización: Martes, 19 de junio del 2018
Fecha de finalización: Viernes, 29 de junio del 2018
Fecha de entrega: Viernes, 29 de junio del 2018

PROPIETARIO: Sr. Leides Guzmanquique TELÉFONO: 0987728886
RUC: 0502972508 UBICACIÓN: Cotacachi-Lotocungo-La Muela
HACIENDA: Avns de Cotacachi MAIL: lea572@ymail.com
SOLICITANTE: Sr. Leides Guzmanquique RESPONSABLE: MVZ. Hernán Calderón
ESPECIE: Aves TIPO DE MUESTRA: Hece
EDAD: Sin dato
Nº DE MUESTRAS: 1
PRUEBAS SOLICITADAS: Bacteriológico
MÉTODO:
OBSERVACION:

RESULTADOS

MUESTRA: HECE
IDENTIFICACIÓN: GALPON

CARACTERÍSTICA ORGANOLEPTICAS	
COLOR	Característico
OLOR	Característico
ESTADO	Sólido

INFORME

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	VALOR REFERENCIAL
Humedad	%	66.54	MAL-15/AOAC 925.10
Sólidos Totales	%	35.00	MAL-15/AOAC 925.10
Nitrógeno Kjeldahl	%	1.90	MAL-04/AOAC 981.10
Centosa	%	15.32	MAL-02/AOAC 925.05
pH Solución al 10%		8.10	MAL-52/AOAC 943.02

Estos resultados son válidos solo para la(s) muestra(s) analizada(s) y se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento, sin la autorización de ANIMALAB CIA. LTDA.


 ANIMALAB CIA. LTDA.
 M.V.Z. HERNÁN CALDERÓN
 DIRECTOR TÉCNICO "ANIMALAB LTDA."



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL

REPORTE DE ANÁLISIS LAI-018-029
DIQ-OTI-004-2018

PARÁMETROS DE LA MUESTRA

Ciente	Luis Perdomo		
Muestra	Muestra de biogás		
Fecha de recepción de la muestra	16/07/2018	Fecha de entrega del informe	19/07/2018
Observaciones	El laboratorio no se responsabiliza por la toma ni almacenamiento de la muestra antes de llegar a las instalaciones de la Institución		

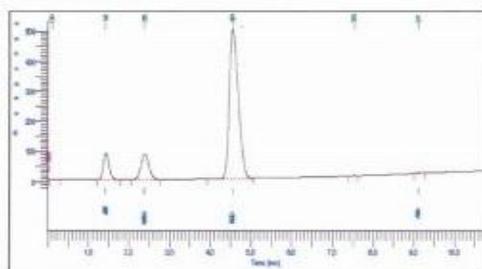
CONDICIONES DE TRABAJO

Temperatura (°C)	20	Norma de referencia	ASTM D 1945-03 (2010)
-------------------------	----	----------------------------	-----------------------

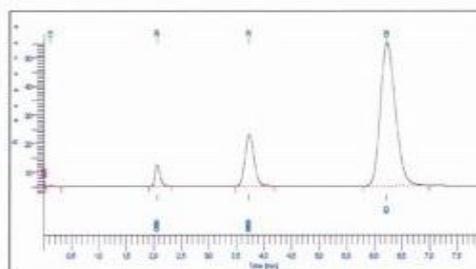
RESULTADOS

COMPOSICIÓN	COMPONENTE	% Peso	% Moles
	Nitrógeno		0.48
Oxígeno		2.28	2.28
CO		11.26	12.88
Metano		26.75	23.43
CO ₂		58.69	39.96
Agua		0.48	0.85
H ₂ S		0.03	0.03
Total		100.00	100.00
PROPIEDADES	Densidad relativa	1.11	
	Peso molecular promedio [g/mol]	32.01	
	Poder calorífico superior [Btu/pie ³] _{CN}	866.92	
	Poder calorífico inferior [Btu/pie ³] _{CN}	294.60	
NOTA			

CROMATOGRAMAS



Cromatograma obtenido con columna Porapak Q (la columna separa aire, metano, CO₂ y agua)



Cromatograma obtenido con columna Molecular sieve 13X (la columna separa nitrógeno, oxígeno y CO)

Ing. Lucia Montenegro

Jefe de Laboratorio de Análisis Instrumental

Ing. Gabriela Pérez

Especialista en técnicas de Análisis Químico

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL
Quito - Ecuador

ANEXO IV	Construcción de la estructura del invernadero.	4-1
		

ANEXO V	Excavación de zanja para asentamiento del biodigestor.	5-1
		

ANEXO VI	Instalación acople salida de biogás.	6-1
-----------------	--------------------------------------	-----



ANEXO VII	Conducto salida de biogás.	6-2
------------------	----------------------------	-----



ANEXO VIII	Salida de biofertilizante.	8-1
-------------------	----------------------------	-----



ANEXO IX	Filtro de humedad y válvula de alivio.	9-1
-----------------	--	-----



ANEXO X	Tanque de mezcla de biomasa.	10-1
		

ANEXO XI	Recolección de excremento.	11-1
		

ANEXO XII	Mezcla de estiércol con agua.	12-1
------------------	-------------------------------	------



ANEXO XIII	Biodigestor tubular.	13-1
-------------------	----------------------	------



ANEXO XIV	Medidor de gas natural.	14-1
-----------	-------------------------	------



ANEXO XV	Instalación de manómetros para medir la presión del biogás.	15-1
----------	---	------



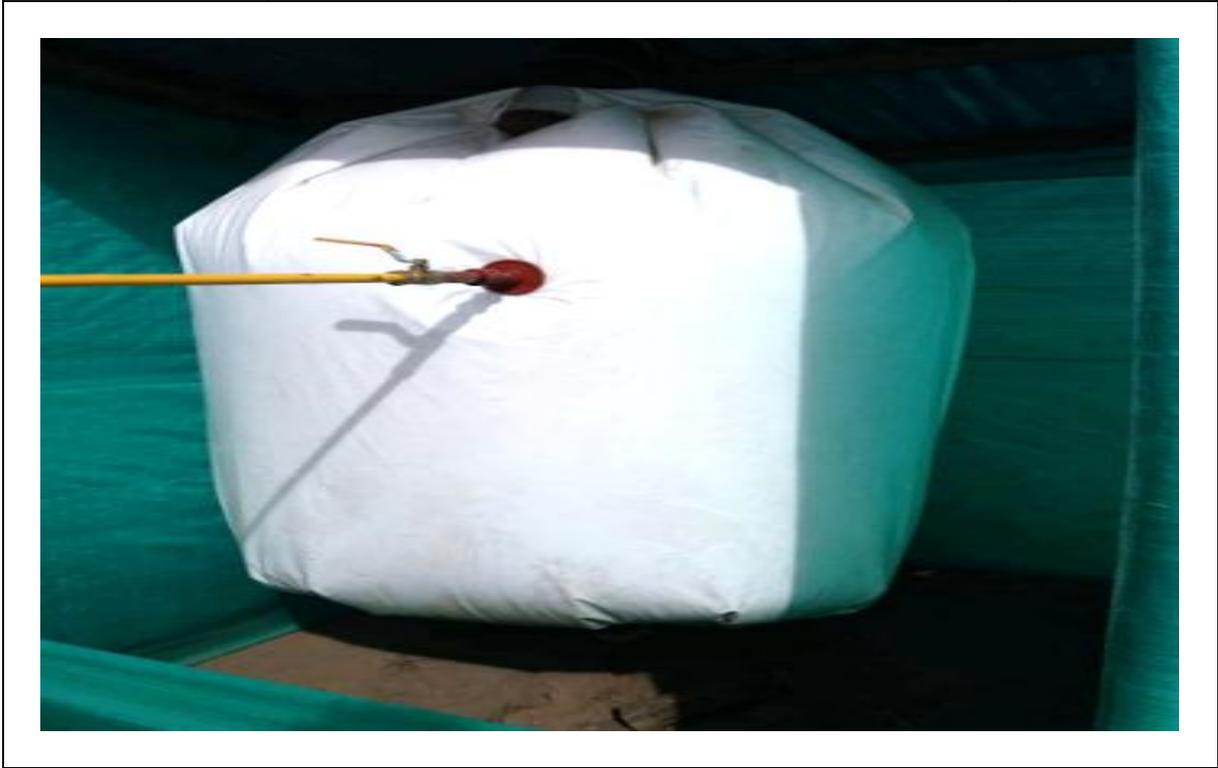
ANEXO XVI	Filtro de ácido sulfhídrico.	16-1
------------------	------------------------------	------



ANEXO XVII	Salida de biogás al reservorio.	17-1
-------------------	---------------------------------	------



ANEXO XVIII	Reservorio de biogás.	18-1
--------------------	-----------------------	------



ANEXO XIX	Instalación completa de la propuesta tecnológica.	19-1
------------------	---	------



ANEXO XX	Manual de operación del biodigestor	20-1
<p data-bbox="272 324 584 356">1. INTRODUCCIÓN</p> <p data-bbox="225 416 1414 669">El biodigestor tubular de estructura flexible, es un sistema que aprovecha los residuos orgánicos que se generan a nivel doméstico, agropecuario o industrial, que mediante un proceso de degradación anaeróbica, debido a la presencia de bacterias metanogénicas, convierten los desechos en biogás, que puede ser aprovechado para obtener energía calorífica y por consiguiente en la reducción o sustitución del GLP.</p> <p data-bbox="225 692 1414 945">El gas natural que se genera mediante la descomposición de la materia es recomendado para zonas rurales, debido a que permite obtener un sistema de abastecimiento de energía, y por otro lado el efluente (biol) rico en nutrientes para un mejor tratamiento de tierras en la agricultura, sin embargo para su buen funcionamiento es recomendable seguir varias instrucciones que se detallan a continuación.</p> <p data-bbox="272 1003 815 1034">2. COMPONENTES BIODIGESTOR</p> <p data-bbox="225 1097 1414 1350">Para que exista una buena descomposición de las bacterias dentro del reactor, se deben elegir los materiales y equipos adecuados, que permitan la durabilidad y generación adecuada de biogás; dichos materiales deben ser en su totalidad de material PVC o bronce, pues deben soportar la corrosión producida por la presencia de ácido sulfhídrico, un biodigestor consta principalmente de los siguientes elementos:</p> <ul data-bbox="245 1413 1414 1973" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="245 1413 1414 1496">• Tanque de entrada y salida de la mezcla, el cual puede ser de hormigón, o en este caso de PVC. <li data-bbox="245 1525 1414 1666">• Biobolsa de estructura tubular, que por lo general es de polietileno LDPE, debido a su fácil instalación y menor costo, aunque si se desea mayor durabilidad puede ser construido en geo membrana, sin embargo es de mayor costo. <li data-bbox="245 1695 1414 1836">• Equipos de medición y control, los cuales permiten el tratamiento eficaz del biogás producido, pues se debe obtener un biogás ideal para el consumo final, siendo el principal, el de aportar de energía calorífica para las criadoras de los galpones. <li data-bbox="245 1865 1414 1973">• Reservorio, el mismo que es construido del mismo material de la biobolsa, dimensionado hasta tres veces del tamaño de la producción diaria de biogás, y permite el almacenamiento del mismo en caso de no de utilizarlo a diario, a su vez puede ser 		

transportado al lugar de utilización final, aunque no es recomendado debido a fugas o daños que pudieran provocarse debido a su transporte.

3. INGRESO DE LA MEZCLA

Una vez que se encuentra establecido el potencial de excremento a ser ingresado a diario al digestor, en este caso 25kg, debe ser mezclado con agua en una relación de 1:4, es decir por cada 10 kg de agua se establecen 40 litros de agua, siendo al final, por los 25 kg de excremento agregar 100 litros de agua para una mejor consistencia de la mezcla, cabe destacar que antes de ingresar la mezcla se debe diluir la excreta en el agua por completo y a su vez tratar de eliminar todo residuo ajeno que inhiben la producción de biogás o que causaren daño a la biobolsa.

4. OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR

El biodigestor debe producir la cantidad de biogás requerida y establecida de 2,43 m³, por tal motivo se debe dar un control diario mediante equipos y/o instrumentos implementados, que garanticen el biogás generado, mismos que se detallan a continuación:

- **Filtro de humedad**, se debe observar que su regulación, ubicada en su parte superior debe estar totalmente abierta para que mediante su purga atrape la humedad que pudiera obtener el biogás producido, devolviendo al sistema de esa manera un aire filtrado y seco.
- **Termómetro**, este instrumento permite que el biodigestor mediante la instalación del invernadero, se encuentre dentro de los rangos promedios de 25°C a 30 °C, para garantizar la producción de biogás, sin embargo en caso de encontrarse bajo los niveles establecidos, se debe buscar un mecanismo que permita mantenerse en la temperatura promedio, como por ejemplo, protegiendo al biodigestor con paja seca cubriéndolo totalmente, de esta manera se garantiza que se obtenga los resultados esperados de producción de gas natural.
- **Filtro ácido sulfhídrico**, debido a la descomposición del excremento de la gallina, en el proceso de producción de biogás se genera ácido sulfhídrico, el cual es un gas muy contaminante y que inhibe la producción de biogás, por tal razón el filtro instalado, el cual en su interior está constituido por 600g de viruta de acero, debe ser revisado cada mes y cambiado por la misma cantidad de viruta o limallas, para que mediante estequiometria química se pierda en su mayoría el gas tóxico H₂S.

- **Medidor de biogás**, con este equipo se permitirá la visualización y control de la generación de biogás a diario, de tal manera que en caso de no utilizar el gas producido, se almacene en el reservorio hasta el límite permitido de 6m^3 , de esta manera optimizando el uso y disposición del biogás.
- **Válvula de alivio**, esta válvula construida artesanalmente, permite que el gas se desfogue hacia la atmósfera, en caso de q haya exceso de gas, por tal motivo el nivel de agua en su interior siempre debe estar en el límite establecido, para que no exista riesgos de causar daño al personal de la granja.

5. SALIDA DEL BIOGÁS

Al finalizar el proceso de digestión en un tiempo de retención promedio entre 20-30 días, se logra generar biogás de acuerdo a las dimensiones del biodigestor construido, en este caso 6m de largo por 1,50 m de diámetro, y un volumen de producción de biogás de $2,43\text{ m}^3$ para al final ser empleado en las criadoras de pollos, y en caso de no ser utilizado, almacenarlo en la bolsa para su respectivo uso final.

6. SALIDA DEL BIOL

Con la construcción e implementación del biodigestor, se obtiene un valor agregado que resulta de la descomposición de la gallinaza, siendo este producto, el biofertilizante o biol, que ayuda que las tierras y los cultivos sean productivos, y generen ganancias y estabilidad en los habitantes de zonas rurales, por tal razón se debe extraer del digestor a diario la misma cantidad de mezcla que se introduce, para que se cumpla el ciclo de las bacterias metanogénicas, y el sistema se mantenga en un equilibrio que garantice la producción de biogás.

7. RECOMENDACIONES

El biogás generado al no poseer una presión elevada, no es considerado como inflamable, sin embargo al ser un gas con composición de metano, al mezclarlo especialmente con el oxígeno puro se convierte en un gas altamente inflamable, por tal razón se debe tener en cuenta condiciones de seguridad, tales como no jugar con fuego ni fumar cerca del sistema de generación de biogás.