



**Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi**

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**CARRERA: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero  
Electromecánico

**Autores:**

Quelal Chugá Kevin Alejandro

Ullauri Cueva Daniel Ramiro

**Tutores:**

PhD. Torres Tamayo Enrique

Ing. MSc. Gallardo Molina Cristian Fabián

**Latacunga-Ecuador**

**Julio, 2019**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Quelal Chugá Kevin Alejandro** portador del número de cedula **172484277-6**, **Ullauri Cueva Daniel Ramiro** portador del número de cedula **230007448-7** declaramos ser los autores del presente proyecto de investigación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS”** siendo PhD. Torres Enrique Tamayo, 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 el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Quelal Chugá Kevin Alejandro

C.I. 172484277-6

Ullauri Cueva Daniel Ramiro

C.I. 230007448-7



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS”**, de Quelal Chugá Kevin Alejandro y Ullauri Cueva Daniel Ramiro, de la carrera en 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 Consejo directivo Académico de la facultad de CIENCIAS DE LAS INGENIARÍAS Y APLICADAS de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Julio del 2019

---

PhD. Torres Tamayo Enrique  
Tutor Principal

---

Ing. M.Sc. Molina Gallardo Cristian Fabián  
Tutor secundario

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Propuesta tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de las Ingenierías y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Quelal Chugá Kevin Alejandro portador del número de cedula 172484277-6 y Ullauri Cueva Daniel Ramiro portador del número de cedula 230007448-7, con el título de Proyecto de titulación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS”** 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 2019, para constancia firman:



**Lector 1 (Presidente)**  
PhD. Laurencio Alfonso Héctor Luis  
CC: 175836725-2



**Lector 2**  
Ing. M.Sc. Arévalo Zabala Andrés German  
CC: 171032684-2



**Lector 3**  
Ing. M.Sc. Corrales Bastidas Byron  
CC: 050234776-8



## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Sr. Freddy Patricio Mencias Alberca  
Gerente propietario  
Finca “EL PROGRESO”

Presente. –

En calidad de Gerente propietario de la finca “**EL PROGRESO**”, confirmo la realización del proyecto “**IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS**” implementado por los señores estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi de la carrera de Ingeniería Electromecánica; **Quelal Chugá Kevin Alejandro** con CI: 172484277-6 y **Ullauri Cueva Daniel Ramiro** con CI: 230007448-7, bajo la supervisión y coordinación de la finca. Aceptamos conocer y estar **CONFORMES** con los términos y condiciones de las actividades que se realizaron en la finca “**EL PROGRESO**”, para la ejecución del proyecto de los señores estudiantes.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, se expide el presente para el interesado pueda hacer uso para los fines que crea conveniente.

Atentamente:

**GERENTE PROPIETARIO**  
Sr. Freddy Patricio Mencias Alberca  
C.C.: 1708705213



## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a mis padres y hermanos por ser el principal motor que me empuja a seguir adelante inspirado y con ganas de romper cadenas, a mi familia que siempre están presentes para apoyarme y guiarme por el buen camino.*

*A mi querida Universidad Alma Mater que me permitió formarme profesionalmente con unas gratas experiencias, por permitirme conocer nuevas personas y amigos. Gracias a cada docente que hizo parte de este proceso de formación.*

*Gracias a Dios, ya que sin la fuerza espiritual que me dio esto no hubiera sido posible.*

***Kevin Quelal***





### **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios, a mi Familia y amigos quienes estuvieron siempre apoyándome a lo largo de mi carrera Universitaria en esta bella institución.*

*Una expresión de gratitud al PhD. Enrique Torres Tamayo por ser quien encamino el desarrollo de este proyecto de acuerdo a su excelente metodología.*

*A los Docentes de la Universidad Técnica por haberme brindado sus conocimientos, sabiduría y encaminarme a ser un gran profesional.*

***Daniel Ullauri***



### ***DEDICATORIA***

*La presente tesis se la dedico a Dios, ya que gracias a la fuerza y salud que me brinda cada día, he logrado permanecer junto a mi familia.*

*A mis padres y hermanos, todos mi logros y éxitos se los debo y deberé a ellos.*

*A mi demás familia por haberme brindado su ayuda incondicional, ya sea moral o económica a lo largo de mis años de estudio, sin su ayuda llegar hasta esta etapa de culminación de mi educación superior no hubiese sido posible.*

*Gracias a todos.*

***Kevin Quelal***





### ***DEDICATORIA***

*A mi Familia y amigos en general ya que fueron las personas que se mantuvieron como pilar brindándome su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera universitaria, a mi querida madre Gladys Cueva por su inmenso amor, paciencia y los valores inculcados que me han permitido mejorar día a día, a mi padre Gabriel Ullauri por hacerme conocer el valor del trabajo, por transmitirme su fuerza de voluntad y perseverancia, a mis hermanos Darwin y Ronald por el apoyo incondicional en los buenos y malos momentos.*

***Daniel Ullauri***

## ÍNDICE

|   |          |
|---|----------|
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....  | ii       |
| AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN .....  | iii      |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....  | iv       |
| AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....   | v        |
| AGRADECIMIENTO.....   | vi, vii  |
| DEDICATORIA.....  | viii, ix |
| RESUMEN.....  | xiii     |
| ABSTRACT .....  | xiv      |
| AVAL DE TRADUCCIÓN .....  | xv       |
| <br>  |          |
| 1. INFORMACIÓN BÁSICA .....   | 1        |
| 2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA .....                                   | 1        |
| 2.1. Título de la propuesta tecnológica.....  | 1        |
| 2.2. Tipo de alcance.....   | 1        |
| 2.3. Área del conocimiento.....   | 1        |
| 2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica.....  | 2        |
| 2.5. Objeto de estudio y campo de acción .....  | 2        |
| 2.5.1. Objeto de estudio.....   | 2        |
| 2.5.2. Campo de acción .....  | 2        |
| 2.6. Situación problemática y problema.....   | 2        |
| 2.6.1. Situación problemática .....   | 2        |
| 2.6.2. Problema.....  | 3        |
| 2.7. Hipótesis.....   | 3        |
| 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..... | 4        |
| 3. MARCO TEÓRICO .....  | 5        |
| 3.1. Análisis de los trabajos precedentes .....   | 5        |
| 3.2. Normativas .....   | 6        |
| 3.3. Que es un biodigestor .....  | 6        |
| 3.3.1. Clase de biodigestores .....   | 6        |
| 3.3.2. Características de un biodigestor.....   | 7        |
| 3.4. Biodigestor de tipo tubular o Taiwán .....   | 7        |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.4.1.  | Características del biodigestor tipo Taiwán.....                               | 7  |
| 3.4.2.  | Tipo de material y forma del biodigestor .....                                 | 8  |
| 3.4.3.  | Estructura del biodigestor .....   | 8  |
| 3.5.    | Parámetros a controlar en el digestor .....                                    | 9  |
| 3.5.1.  | Temperatura.....   | 10 |
| 3.5.2.  | Nivel de pH (Acidez).....  | 11 |
| 3.5.3.  | Relación de carbono y nitrógeno C: N .....                                     | 12 |
| 3.5.4.  | Materia prima para la biodigestión .....                                       | 12 |
| 3.6.    | Procesos de conversión de biomasa.....   | 13 |
| 3.7.    | La Biodigestión anaeróbica .....   | 13 |
| 3.7.1.  | Productos finales de la Biodigestión.....                                      | 14 |
| 3.7.2.  | Etapas bioquímicas de la biodigestión anaeróbica .....                         | 14 |
| 3.7.3.  | Tiempo de proceso de biodigestión .....  | 15 |
| 3.7.4.  | Inhibidores del proceso.....   | 15 |
| 3.8.    | La biomasa.....  | 16 |
| 3.8.1.  | Ventajas y desventajas.....  | 16 |
| 3.9.    | Tipos de biomasa.....  | 17 |
| 3.9.1.  | Biomasa animal .....   | 17 |
| 3.10.   | Que es el Biogás .....   | 18 |
| 3.10.1. | Composición del gas.....   | 18 |
| 3.10.2. | Equivalencias del biogás en relación a combustibles convencionales .....       | 19 |
| 3.10.3. | Usos que se le puede dar al biogás .....                                       | 19 |
| 3.11.   | Utilización del Biol.....  | 19 |
| 4.      | METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....  | 20 |
| 4.1.    | Métodos para el dimensionamiento de un sistema de biodigestión anaeróbica..... | 20 |
| 4.1.1.  | Cálculo del volumen requerido del biodigestor tipo Tubular .....               | 20 |
| 4.1.2.  | Cálculo de las dimensiones del biodigestor .....                               | 24 |
| 4.1.3.  | Procedimiento para el cálculo de producción de biogás.....                     | 25 |
| 4.1.4.  | Dimensionamiento de la zanja.....  | 27 |
| 4.2.    | Componentes del biodigestor .....  | 33 |
| 4.2.1.  | Tanque de alimentación.....  | 33 |
| 4.2.2.  | Tuberías de alimentación y descarga .....                                      | 33 |
| 4.2.3.  | Conducción y filtrado de biogás .....  | 33 |
| 4.2.4.  | Válvula de seguridad para el control de presión.....                           | 35 |
| 4.2.5.  | Trampa de agua .....   | 35 |
| 4.2.6.  | Laguna de descarga de efluente.....  | 36 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 4.3.   | Control e instrumentación para el proceso de biodigestión.....          | 37 |
| 4.3.1. | Volumen de flujo de carga (Mezcla de Excretas + H <sub>2</sub> O) ..... | 37 |
| 4.3.2. | Temperatura en el biodigestor .....                                     | 37 |
| 4.3.3. | Concentración del pH .....  | 38 |
| 4.3.4. | Presión del biogás generado .....                                       | 39 |
| 5.     | Análisis y Resultados.....  | 39 |
| 5.1.   | Información de campo .....  | 39 |
| 5.2.   | Resultados del dimensionamiento del sistema de biodigestión .....       | 40 |
| 5.2.1. | Determinación del volumen del Biodigestor .....                         | 41 |
| 5.2.2. | Dimensiones del biodigestor .....                                       | 42 |
| 5.2.3. | Estimación teórica de producción de biogás .....                        | 43 |
| 5.2.4. | Dimensiones de la zanja .....   | 44 |
| 5.2.5. | Tipo de material y forma del biodigestor .....                          | 46 |
| 5.3.   | Dimensionamiento de los componentes del biodigestor .....               | 46 |
| 5.3.1. | Tanque de carga y descarga.....   | 46 |
| 5.3.2. | Tubería de carga y descarga. ....                                       | 48 |
| 5.3.3. | Conducción y filtrado del biogás.....                                   | 48 |
| 5.3.4. | Tubería de conducción de biogás. ....                                   | 48 |
| 5.4.   | Análisis de las condiciones de trabajo del biodigestor .....            | 50 |
| 5.4.1. | Cargas realizadas al biodigestor .....                                  | 51 |
| 5.4.2. | Análisis de Monitoreo de temperatura y pH.....                          | 52 |
| 5.4.3. | Análisis de presión del biodigestor.....                                | 52 |
| 5.4.4. | Análisis de producción de biogás .....                                  | 53 |
| 6.     | Presupuesto y Análisis de impactos.....                                 | 56 |
| 6.1.   | Presupuesto.....  | 56 |
| 6.2.   | Análisis de impactos.....   | 56 |
| 6.2.1. | Impacto económico.....  | 56 |
| 6.2.2. | Impacto ambiental .....   | 57 |
| 6.2.3. | Impacto social.....   | 57 |
| 7.     | Conclusiones y recomendaciones.....                                     | 57 |
| 7.1.   | Conclusiones.....   | 57 |
| 7.2.   | Recomendaciones .....   | 58 |
| 8.     | Referencias .....   | 58 |



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TÍTULO:**” IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS”

**Autores:**

Quelal Chuga Kevin Alejandro,  
Ullauri Cueva Daniel Ramiro

### RESUMEN

El Ecuador un país donde la agricultura y las nuevas tecnologías crecen, así como también la contaminación y el calentamiento global debido al crecimiento de la producción industrial nos permite buscar medios de solución para estos efectos, existen zonas en el país que cada vez aumentan y se dedican a la agricultura, formando parte de ellas la producción de leche a partir del ganado vacuno y a la vez una de las fuentes que causan el calentamiento global debido a los desechos de los animales. Este proyecto se encuentra enfocado en dar solución al problema de contaminación generados por las excretas del ganado vacuno, a partir del tratamiento anaeróbico bioquímico implementando un sistema de biodigestión, generando principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ) el cual es un elemento energético renovable que sustituye al gas GLP, incluso pudiendo ser aplicado para la generación de energía eléctrica. Se realizó la implementación de un biodigestor para la producción de biogás y utilizarlo como energía térmica para la cocción de alimentos o iluminación, como productos secundarios de la biodigestión se obtiene biofertilizante y biosol. Se dimensionó e implementó cada una de las partes que conforman el sistema de biodigestión acoplándose adecuadamente al proceso. La producción diaria de biogás aproximadamente fue de  $3,82 \text{ m}^3/\text{día}$ , haciendo la relación en cuanto al volumen  $1 \text{ m}^3$  de biogás representa a  $0,5 \text{ kg}$  de gas GLP, en cuanto al poder calorífico del biogás en relación al GLP se concluyó que para la cocción de alimentos se requiere de más tiempo, por lo que se debe ejercer una fuerza al gasómetro para mantener una presión constante. Aprovechando esta fuente de energía alternativa como lo es la biomasa se logró reducir la contaminación en la finca y se redujeron los gastos de consumo del gas GLP y la utilización de fertilizantes químicos.

**Palabras clave:** Biodigestión, biogás, biodigestor, geomembrana, poder calorífico, biomasa, energía, contaminación.



# TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

## FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

**TITLE:** " BIODIGESTOR IMPLEMENTATION TO PRODUCE BIOGAS"

**Authors:**

Quelal Chuga Kevin Alejandro,

Ullauri Cueva Daniel Ramiro

### ABSTRACT

Ecuador is a country where agriculture and new technologies grow, as well as pollution and global warming due to the growth of industrial production, for this reason, it allows finding means of solution for these purposes, there are areas in the country that are increasing and devoted to agriculture, with the production of milk from cattle and both one of the sources that cause global warming due to animal waste. This project is focused on providing a solution to the pollution problem generated by the cattle excreta, from the biochemical anaerobic treatment implementing a biodigestion system, generating mainly methane ( $\text{CH}_4$ ) which is a renewable energy element that replaces LPG gas, even being applied for power generation. The biodigestor implementation to produce biogas was carried out and used as thermal energy for food cooking or lighting, as secondary products of biodigestion is obtained biofertilizer and biosun. Each of the parts that make up the biodigestion system was measure and implemented appropriately attaching to the process. The daily production of biogas was approximately 3.82 m<sup>3</sup>/day, relate in terms of volume 1 m<sup>3</sup> of biogas representing 0.5 kg of LPG gas, in terms of the calorific power of the biogas relative to LPG it was concluded that food cooking requires more time, so a force must be exerted on the gasometer to maintain constant pressure. Taking advantage of this alternative energy source such as biomass, pollution in the farm was reduced and LPG gas consumption costs and the use of chemical fertilizers were reduced.

**Keywords:** Biodigestion, biogas, biodigestor, geomembrane, calorific power, biomass, energy, pollution.



## ***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 la propuesta tecnológica al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS, QUELAL CHUGÁ KEVIN ALEJANDRO Y ULLAURI CUEVA DANIEL RAMIRO**, cuyo título versa **“IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS”**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

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

Latacunga, Julio del 2019

Atentamente,

Lcda. Mg. Carolina Cisneros  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
C.C. 0502766439



**CENTRO  
DE IDIOMAS**





## 1. INFORMACIÓN BÁSICA

**Propuesto por:** Quelal Chuga Kevin Alejandro, Ullauri Cueva Daniel Ramiro

**Tema aprobado:** Implementación de un biodigestor para la producción de biogás y análisis de eficiencia energética.

**Carrera:** Ingeniería electromecánica

**Director de la propuesta tecnológica:**

**Equipo de trabajo:**

**Tutor de la propuesta tecnológica, asesor técnico (1):**

PhD. Enrique Torres Tamayo

**Tutor de propuesta tecnológica, asesor técnico (2):**

Ing. MSc. Cristian Gallardo Molina

**Lugar de ejecución:** Región Costa, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón Santo Domingo, parroquia Valle Hermoso.

**Tiempo de duración de la propuesta:**

**Fecha de entrega:** Agosto 2019

**Línea de investigación institucional:**

El proyecto recae sobre la línea de investigación 5: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

**Sub línea de investigación de la carrera:**

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

**Tipo de propuesta tecnológica:** Producto

## 2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

### 2.1. Título de la propuesta tecnológica

Implementación de un biodigestor para la producción de biogás y análisis de eficiencia energética.

### 2.2. Tipo de alcance

**Productivo:** La propuesta a realizarse es de origen productivo ya que centra en el aprovechamiento de desechos orgánicos generados por los animales bovinos de la hacienda para la producción de biogás y utilizarlo para iluminación y como energía térmica para la calefacción de agua, cocción de alimentos sustituyendo al gas GLP y la energía eléctrica convencional.

### 2.3. Área del conocimiento

Ingeniería, Industria y Construcción: Carrera de ingeniería electromecánica, Eléctrica, diseño y construcción, Electrónica y automatización.

## **2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica**

Las excretas de ganado bovino no son aprovechados adecuadamente en los corrales y ordeños de las diferentes haciendas que se dedican a trabajar con la ganadería y producción de leche, las mismas que son desviadas a quebradas y ríos contaminando el medio ambiente.

La selección e implementación de un biodigestor se realizarán con el objetivo de aprovechar esta fuente energética generada a través de las excretas de ganado, que no está siendo generada en la finca “El Progreso”, para producir biogás el cual se lo puede utilizar como energía térmica o eléctrica, adicionalmente se producirá un biofertilizante utilizado como abono para la agricultura, y de esa manera remplazar al gas GLP o combustibles fósiles, como también los fertilizantes químicos. Existen diferentes tipos de biodigestores para realizar tratamiento a las excretas de ganado, la propuesta consiste en seleccionar el biodigestor más adecuado, que se adapte a las condiciones ambientales y que sea accesible para los pequeños ganaderos y productores que a través de su respectiva producción obtengan residuos o desechos orgánicos e implementando el biodigestor satisfagan un porcentaje en las necesidades de la energía térmica o eléctrica disminuyendo la utilización de lo convencional.

## **2.5. Objeto de estudio y campo de acción**

### **2.5.1. Objeto de estudio**

Proceso de producción de biogás a través del tratamiento de las excretas de ganado como materia prima para la biodigestión anaeróbica.

### **2.5.2. Campo de acción**

Condiciones atmosféricas y número de animales del lugar donde se va a implementar el biodigestor.

## **2.6. Situación problemática y problema**

### **2.6.1. Situación problemática**

El problema de los desechos se originan mundialmente en distintas áreas de producción, estos desperdicios ocasionan gases químicos a partir de la descomposición o putrefacción, sin saber que con el debido tratamiento se los puede convertir en una fuente de energía limpia para la utilización en las diferentes necesidades del ser humano, aplicado de manera residencial o industrial para reducir el consumo de combustibles fósiles o energía convencional que actualmente se están convirtiendo en problema debido a la gran demanda y esto conlleva a la búsqueda de fuentes de energía alternativa.

La contaminación y la falta de aprovechamiento de fuentes de energías naturales han llevado a la investigación de alternativas que ayuden al ambiente y beneficien a las personas, uno de los problemas localizados es en las diferentes fincas o haciendas que se dedican a la crianza de ganado vacuno para la producción de leche, las personas que trabajan en el lugar en la mayoría de las fincas reúnen el ganado lechero 2 veces al día para su ordeño en un establo, una vez terminado la actividad de ordeño los trabajadores proceden al lavado del establo ya que ahí es el lugar donde se reúne un gran porcentaje de excremento del ganado, el lavado se realiza por medio de la circulación de agua a presión por una manguera y toda la cantidad de excremento más agua se va por canales o sequias que conducen hacia quebradas, esto ocasiona una gran contaminación al medio ambiente, principalmente el área de la hacienda. La falta de conocimiento por las tecnologías e investigaciones que se desarrollan por el bien común o desinterés por parte de los dueños llevan al no aprovechamiento de una fuente de energía alternativa derivada del proceso de biodigestión que al ser tratadas las excretas se puede obtener biogás para el uso de calefacción o generación de energía eléctrica, y biol usado como fertilizante para sus cultivos.

### 2.6.2. Problema

Falta de aprovechamiento de la biomasa generada por el ganado vacuno, gran contaminación por la emanación de gases tóxicos al medio ambiente y el alto consumo de energía y combustibles convencionales.

| CAUSA  | EFEECTO   |
|--|---|
| Gran producción de desechos  | Contaminación ambiental                             |
| Desechos no aprovechados como fuentes alternativas de energía                  | Alto consumo de combustibles fósiles                |
| Falta de tratamiento a desechos animales en las haciendas productoras de leche | Contaminación de ríos y propagación de malos olores |
| Falta de conocimiento de tecnologías   | Deficiencia en el aprovechamiento de los recursos   |

### 2.7. Hipótesis

¿La implementación de un biodigestor en la Finca “El Progreso” ubicada en la Parroquia Valle Hermoso, adoptara las condiciones requeridas de temperatura y pH para el trabajo estable del biodigestor produciendo biogás a una presión contante para su combustión?

## 2.8. Objetivos

### 2.8.1. Objetivo general

Implementar un biodigestor para la producción de biogás mediante el tratamiento de excretas de ganado vacuno.

### 2.8.2. Objetivos específicos

- Buscar información acerca del proceso de los biodigestores para la obtención de biogás a partir de las diferentes biomásas.
- Establecer el procedimiento para la selección del biodigestor adecuado según las condiciones atmosféricas y de acuerdo con las propiedades de la biomasa producida.
- Poner en marcha el biodigestor y determinar de forma experimental el flujo de biogás en función de la temperatura, tiempo y cantidad de desecho orgánico en el biodigestor.

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

| Objetivos  | Tareas   | Resultado de la actividad   | Medios de Verificación                           |
|--|--|---|--|
| Obtener información acerca del proceso de los biodigestores para la obtención de biogás a partir de las diferentes biomásas. | 1. Recolección de información                        | Conocimiento del proceso de biodigestión                                      | Desarrollo del Marco Teórico                     |
|  | 2. Análisis de normativas                            | Conocimiento de normas que respalden el uso de fuentes de energía renovables. | Esquema Grafico en Anexos                        |
|  | 3. Análisis de productos similares                   | Conocimiento del potencial energético de los diferentes tipos de biomásas.    | Desarrollo del Marco Teórico                     |
| Establecer el procedimiento para el dimensionamiento del sistema de biodigestión.  | 1. Estudio de alcance del proyecto                   | Delimitación del proyecto   | Desarrollo de la metodología                     |
|  | 2. Elaboración de la memoria de cálculo              | Aplicación de fórmulas para el dimensionamiento                               | Metodología y análisis de resultados             |
|  | 3. Selección de los instrumentos de medida y control | Búsqueda de los instrumentos de medida  | Metodología y características técnicas en anexos |
|  | 4. Construcción de la ingeniería de detalle.         | Diseño preliminar del sistema de biodigestión                                 | Planos   |

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| Poner en marcha el biodigestor y determinar de forma experimental el flujo de biogás en función de la temperatura, tiempo y cantidad de desecho orgánico en el biodigestor. | 1. Análisis de los costos de implementación                               | Compra de materiales y realización de tabla de presupuesto   | Anexos                                       |
|   | 2. Análisis del proceso   | Procedimiento de trabajo para poner en marcha el biodigestor | Desarrollo de análisis y resultados          |
|   | 3. Monitoreo y pruebas de funcionamiento.                                 | Conocimiento de las condiciones de trabajo                   | Desarrollo de análisis y resultados          |
|   | 4. Caracterización química del biogás producido y análisis de combustión. | Conocimiento del potencial del biogás generado               | Análisis y resultados, fotografías y anexos. |

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Análisis de los trabajos precedentes

La biodigestión nació en el siglo XVII donde se percibió en un lago Italiano, el físico Alessandro Volta entre los años 1776 y 1778 observo burbujeros y determino que era un gas inflamable, descubriendo de esa manera el metano que se generaba por los desechos orgánicos luego de la descomposición, ya en el siglo XIX gracias al científico Louis Pasteur se realizaron los primeros experimentos para el tratamiento de los desechos y aprovecharla para producir energía a partir de la combustión y producción de metano [1].

Actualmente en el Ecuador se han desarrollado y se sigue incursionando en la investigación para la ejecución de diferentes proyectos los cuales benefician a las personas productoras que generan algún tipo de residuo o desecho orgánico con el objetivo de incentivar a la utilización de fuentes de energía alternativa que sustituyan a las energías comerciales y convencionales.

Generalmente en nuestro país es una tecnología nueva que poco a poco va creciendo para el tratamiento de los desechos orgánicos, se desarrollan distintos proyectos de diferentes instituciones superiores, así como también por parte del ministerio de electricidad y energía renovable (MEER) que ayudan a los productores a satisfacer un porcentaje en la utilización de energía limpia con respecto a la convencional.

En consecuencia, en el 2014 el MAE, mediante el proyecto GENCAPER (Generación de capacidades para el aprovechamiento energético de residuos agropecuarios) se publicó el “Manual

Básico de Aprovechamiento Energético de Residuos Agropecuarios en el Ecuador”, el cual contiene información sobre los posibles usos de estos insumos para fines energéticos. Seguido de dicho trabajo, y posterior a un análisis de sus beneficios sociales, económicos, y ambientales; se escogió a los sistemas de biodigestión anaerobia (biodigestores) como una de las tecnologías a difundirse [2].

### 3.2. Normativas

La implementación de un biodigestor principalmente está dirigido hacia el beneficio del agricultor ganadero, en los cuales se genera grandes cantidades de desechos orgánicos, en el caso de las fincas o haciendas que se dedican a la crianza de animales se produce grandes cantidades de excretas las cuales son principales causantes del calentamiento global, es por eso que se han establecido normativas ambientales y de control de calidad por parte del Ministerio del medio ambiente (MAE) y por el Ministerio de agricultura y ganadería (MAGAP).

De igual manera se encuentran normas establecidas para el diseño del biodigestor, la seguridad y los requerimientos necesarios para que los productos finales obtenidos a partir del proceso de biodigestión sean utilizados. En el anexo I, se presenta varias normas que se han investigado y se integran para el diseño del biodigestor.

### 3.3. Que es un biodigestor

Los biodigestores son sistemas naturales que aprovechan residuos orgánicos, procedentes de actividades agropecuarias, principalmente estiércol, para producir biogás (combustible) y biol (fertilizante natural) mediante el proceso de digestión anaerobia [3].

Un biodigestor como un recinto cerrado donde se producen reacciones anaeróbicas (sin aire) en el que se degrada la materia orgánica disuelta en un medio acuoso, para dar como resultado metano y dióxido de carbono y otras trazas [4].

#### 3.3.1. Clase de biodigestores

En la actualidad se han ido diseñando distintas clases de biodigestores según el tipo de carga de biomasa que se realice. “Los biodigestores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización. Los más sencillos caen dentro de la clasificación de digestores discontinuos o de cargas por lotes y los más complejos se caracterizan por poseer dispositivos que permiten alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación”. Según el tiempo de carga existen tres tipos:

- **Sistemas Continuos:** Se usan cuando se dispone de biomasa residual de forma casi continua, Dado que la disposición de biomasa líquida es casi diaria, el flujo de materia que ingresa es constante, y los tiempos de retención son menores.

- **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.
- **Sistemas Discontinuos:** Se cargan y cierran hasta que se produzca todo el biogás, se descargan posteriormente antes de cargarse con nueva biomasa.

A continuación, se enlista los tipos de biodigestores más conocidos y diseñados para el tratamiento de desechos orgánicos y la producción de biogás.

- ❖ De cúpula fija (Modelo chino)
- ❖ De cúpula móvil (Modelo hindú)
- ❖ Tipo tubular o tipo Taiwán
- ❖ Tipo horizontal

### 3.3.2. Características de un biodigestor

Para que un digestor de residuos orgánicos opere en forma correcta, deberá reunir las siguientes características [5]:

- Ser hermético con el fin de evitar la entrada de aire, el que interfiere con la digestión anaeróbica y a la vez, impedir las fugas del biogás producido.
- Estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura, lo que usualmente se consigue construyéndolos enterrados.
- Aun no siendo en recipiente de alta presión, el contenedor primario de gas deberá contar con una válvula de seguridad.
- Contar con medios para efectuar la carga y descarga del sistema.
- Tener acceso para el mantenimiento.

### 3.4. Biodigestor de tipo tubular o Taiwán

También conocido como salchicha o taiwanés, funciona como un intestino. La carga de estiércol y agua ingresa por la tubería, y mientras se degrada fluye hasta llegar al otro extremo produciendo biogás en el proceso [2].

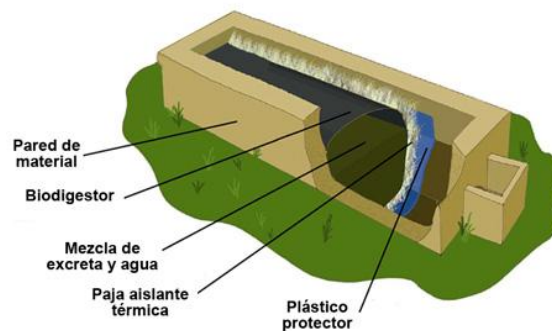
En este modelo de biodigestor el gas es almacenado en la parte superior de la bolsa de fermentación; la entrada y la salida, por su parte, están sujetas, directamente, a las paredes de la bolsa. El sustrato no ocupa todo el volumen de la bolsa, ya que debe dejar espacio para el gas [6].

#### 3.4.1. Características del biodigestor tipo Taiwán

En el anexo II se muestra las características de los modelos de biodigestores tipo Taiwán, contruidos a partir de mangas de polietileno tubular, se caracterizan por su bajo costo, fácil



instalación y mantenimiento, así como por requerir sólo de materiales locales para su construcción [7]. La elección del material de la bolsa tubular será elegida en función al área de instalación, como mencionan varios autores el material de la bolsa puede ser un plástico normal de baja densidad el cual se lo forma por varias capas para que, por rasgaduras, golpes, etc, externos no afecte la funcionalidad del sistema, utilizando este material se debe tener claro que la vida útil es mínima por su sensibilidad ya que está expuesto a diferentes circunstancias externas. El otro material es la geomembrana que presenta varias ventajas con respecto al plástico normal. En el anexo II se observan las características de la geomembrana.



**Figura 3.1.** Biodigestores tubulares o familiares de bajo costo.

**Fuente:** [7]

### 3.4.2. Tipo de material y forma del biodigestor

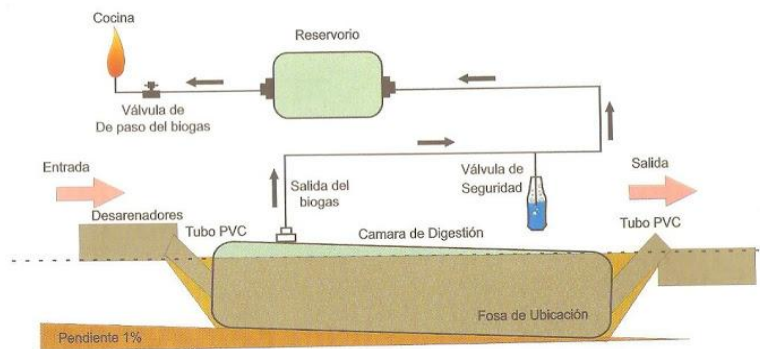
El reactor o biodigestor, donde se lleva a cabo la digestión anaeróbica, es el principal elemento de un sistema de biogás. La geomembrana debido al mayor espesor de las geomembranas, su vida útil con respecto a los films plásticos es mayor. Zahirul, Gross y Rowe (2011), por ejemplo, concluyeron que una geomembrana de polietileno de baja densidad lineal o LLDPE (1 mm de espesor) y una de HDPE (1.5 mm de espesor) expuestas a condiciones ambientales pueden cumplir adecuadamente sus funciones por más de 8 años.

En el mercado se tiene diferentes tipos de geomembranas con diferentes características mecánicas y químicas, en el anexo III se presentan ventajas y desventajas de estos materiales.

### 3.4.3. Estructura del biodigestor

Los principales componentes de un digestor anaeróbico lo constituyen un reactor o contenedor de las materias primas a digerir; un contenedor de gas, con los accesorios para salida de biogás, entrada o carga de materias orgánicas primas y salida o descarga de materias orgánicas estabilizadas [5]. Los elementos que comúnmente se incorporan son:

- ❖ Cámara de fermentación o digestor
- ❖ Entrada o carga del efluente
- ❖ Separador de sólidos
- ❖ Salida o descarga del efluente
- ❖ Extracción de lodos
- ❖ **Sistema de biogás:** Es por donde circula el biogás hasta llegar al almacenamiento o consumo. A lo largo de la línea de conducción cuenta con los siguientes elementos:
  - Cúpula de gas.
  - Válvulas de seguridad y rompedora de vacío.
  - Apagallamas.
  - Válvulas térmicas.
  - Separadores de sedimentos.
  - Purgadores de condensado.
  - Medidores de gas.
  - Manómetros.
  - Reguladores de presión.
  - Almacenamiento del gas



**Figura 3.2.** Estructura del proceso de biodigestión.

Fuente: [8]

### 3.5. Parámetros a controlar en el digestor

El entorno anaeróbico se debe tener en condiciones óptimas para la vida y trabajo de los microorganismos con todos los procesos biológicos, la constancia de las condiciones de vida es importante. Un cambio de temperatura o cambios en los sustratos o la concentración de sustrato puede llevar al cierre de la producción de gas.

“Los procesos del metabolismo microbiano dependen de muchos parámetros, de modo que, para un proceso de fermentación óptimo, se deben cumplir numerosos parámetros tomado en consideración y controlado”. Además, presenta una tabla con los valores para el trabajo adecuado del reactor o biodigestor [9].

**Tabla 3.1.** Requisitos del ambiente anaeróbico.

| Parámetro     | Hidrólisis/acidogénesis | Formación de metano                                  |
|---------------|-------------------------|--|
| Temperatura   | 25 – 35 ° C             | Mesophilic: 32 – 42 ° C<br>Thermophilic: 50 – 58 ° C |
| Nivel pH      | 5,2 – 6,3               | 6,7 – 7,5  |
| Relación C: N | -----                   | 30:1 - 20:1  |

**Fuente:** [10]

Existen otros parámetros a tomarse en cuenta como, tipo de materia prima, niveles de sólidos totales, sólidos volátiles, tiempo de retención hidráulico y nitratos [11].

Entorno anaeróbico del biodigestor debe ser hermético ya que los metanógenos necesitan un ambiente libre de oxígeno. “Un reactor de biogás tiene que ser hermético. La pequeña cantidad de oxígeno disuelto en el líquido/biomasa es absorbido por las bacterias para su evolución” [12].

### 3.5.1. Temperatura

“La tasa de procesos bioquímicos en general aumenta con la temperatura, como una regla de oro, la tasa se duplica por cada aumento de 10 grados en temperatura dentro de ciertos límites. Este también es el caso con el proceso de biogás” [12].

“La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que, a su vez, dependen de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayores producciones de biogás” [11]. En la tabla 3.2 se especifica lo que cada autor manifiesta acerca de este parámetro, si la temperatura de trabajo aumenta o se tiene un control se generaría una producción de metano mucho más rápido.

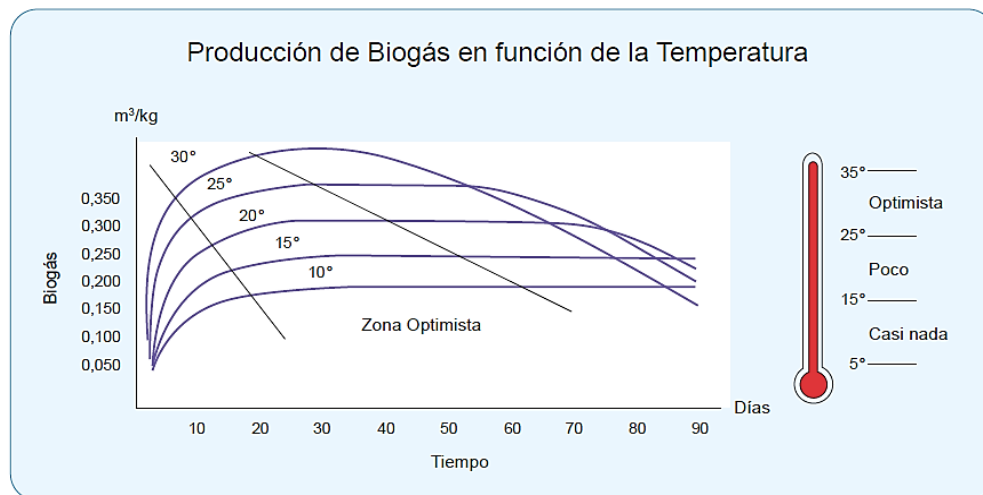
“El régimen termofílico suele ser más inestable a cualquier cambio de las condiciones de operación y presenta además mayores problemas de inhibición del proceso por la mayor toxicidad de determinados compuestos a elevadas temperaturas, como el nitrógeno amoniacal o los ácidos grasos de cadena larga” [11].

**Tabla 3.2.** Rangos de temperatura y tiempos de fermentación.

| Fermentación | Mínimo   | Óptimo   | Máximo   | Tiempo de fermentación |
|--------------|----------|----------|----------|------------------------|
| Psicrofílico | 4-10 °C  | 15-18 °C | 20-25 °C | Sobre 100 días         |
| Mesofílico   | 15-20 °C | 25-35 °C | 35-45 °C | 30-60 días             |
| Termofílico  | 25-45 °C | 50-60 °C | 75-80 °C | 10-15 días             |

Fuente: [11]

Para el óptimo funcionamiento del digestor, se recomienda que el tratamiento anaeróbico se diseñe para que opere con variaciones de temperatura, en la figura 3.3 se muestra los valores óptimos a los que debería ajustarse el proceso.



**Figura 3.3.** Producción de biogás en función de la temperatura y tiempo de retención.

Fuente: [11]

### 3.5.2. Nivel de pH (Acidez)

El pH, abreviatura de Potencial Hidrógeno, es un parámetro muy usado en química para medir el grado de acidez o alcalinidad de las sustancias. Esto tiene enorme importancia en muchos procesos tanto químicos como biológicos [13]. La escala del pH va desde 0 hasta 14. Los valores menores que 7 indican el rango de acidez y los mayores que 7 el de alcalinidad. El valor 7 se considera neutro.

El ambiente óptimo para el proceso de biodigestión es un pH de entre 6.5 y 8, y el nivel preferido es 7.2. Cuando el proceso está en equilibrio, la acidez en el reactor será dentro de este rango y como la capacidad de amortiguación en el reactor es muy grande, toma mucho para alterar eso [12].

### Medidas de control de pH

Para el control del nivel de pH se debe generar condiciones ambientales favorables para el desarrollo y crecimiento de las bacterias. Se pueden aplicar varios productos químicos para el control del pH [14].

- La cal, es aplicada usualmente para subir el pH, pero reacciona con el  $\text{CO}_2$  pudiendo provocar vacuos.
- El bicarbonato de sodio, es fácil de manipular y es bastante más soluble que la cal, no reacciona con el  $\text{CO}_2$ .
- Para bajar el pH también se utiliza ácido clorhídrico o sulfato ácido de sodio (bisulfato sódico)

#### 3.5.3. Relación de carbono y nitrógeno C: N

Cada tipo de sustrato que ingresa al biodigestor cuenta con sus propiedades físico-químicas que generan una cantidad de nutrientes y proteínas que se desarrollan en las diferentes etapas, siendo la más importante la metanogénesis ya que es ahí donde se produce metano.

“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” [11]. Si los resultados no están entre los rangos establecidos es necesario la mezcla de materiales para llegar a las condiciones óptimas.

#### 3.5.4. Materia prima para la biodigestión

Para el proceso anaeróbico la materia prima debe necesariamente ser desechos orgánicos de cualquier tipo. Para llevar a cabo el proceso se debe tener claro los tipos de desechos a ser tratados para la adecuada selección del biodigestor. “El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno, sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores)” y que “Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas” [11].

### 3.6. Procesos de conversión de biomasa

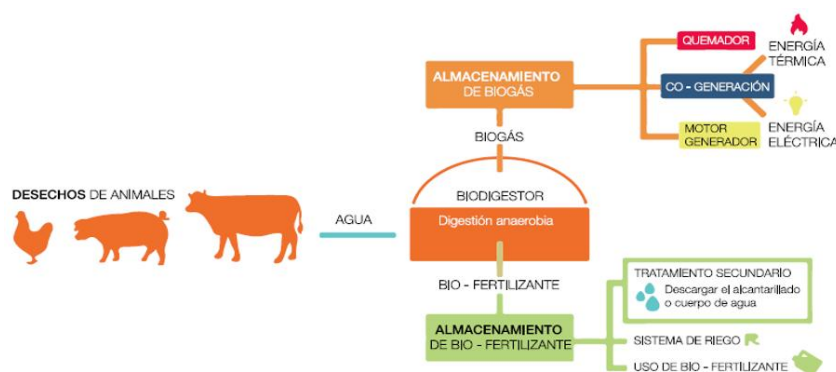
Para la obtención de un recurso final a partir de la biomasa se debe realizar un proceso de transformación, existen diferentes métodos para cada tipo de biomasa. “La biomasa es convertida en formas derivadas tales como carbón vegetal, briquetas, gas, etanol y electricidad” [15]. A continuación, se presentan los procesos de conversión de biomasa más relevantes, los cuales se pueden clasificar en tres categorías [16]:

- Procesos físico-químicos.
- Procesos termo-químicos.
- Procesos bio-químicos.

Para el tratamiento de las excretas de ganado se realiza por medio del proceso bioquímico ya que es una clase de biomasa con un gran porcentaje de humedad, el proceso conllevará a ser realizado por medio de la biodigestión anaeróbica en el que actuarán diferentes microorganismos para la producción de biogás.

### 3.7. La Biodigestión anaeróbica

La biodigestión es un proceso necesario para la producción de biogás a partir de los desechos orgánicos. “La digestión de biomasa humedecida por bacterias en un ambiente sin oxígeno (anaeróbico) produce un gas combustible llamado biogás. En el proceso, se coloca la biomasa (generalmente desechos de animales) en un contenedor cerrado (el digestor) y allí se deja fermentar” [15]. En la figura 3.4 se aprecia un diagrama en el que se representa el ciclo completo de biodigestión.



**Figura 3.4.** Ciclo de la biodigestión

**Fuente:** [17]

Para el ciclo de biodigestión se requiere de un biodigestor. “Este es una tecnología mediante la cual se puede aprovechar la digestión anaerobia para convertir la materia orgánica en biogás

(combustible) y biol (fertilizante). El estiércol de vaca y cerdo, las aguas negras, los residuos lácteos y otras aguas residuales, son materiales orgánicos que pueden ser aprovechados mediante biodigestores” [2].

### 3.7.1. Productos finales de la Biodigestión

Los productos principales del proceso de biodigestión son el biogás y biol, estos tienen diferentes aplicaciones que sustituyen a productos típicos convencionales.

**Biogás:** “El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso” [5].

#### **Biol (Bioabono)**

“Depende en gran medida del tipo de tecnología y de las materias primas utilizadas para la digestión. Durante el proceso anaeróbico, parte de la materia orgánica se transforma en metano, por lo que el contenido en materia orgánica es menor al de las materias primas [5].

### 3.7.2. Etapas bioquímicas de la biodigestión anaeróbica

El estiércol fresco contiene bacterias que continúan digiriéndolo y producen metano, dióxido de carbono y otros gases. Si esta digestión se hace en ausencia de aire (digestión anaerobia) se produce biogás. El biodigestor que es aquel en donde se produce la digestión hay una producción en cadena de diferentes tipos de bacterias. Observar el proceso químico en la figura 3.5.

- Hidrólisis,
- Acidogénesis,
- Acetogénesis y
- Metanogénesis

#### **Hidrolisis**

La hidrolisis es el primer paso para que la materia orgánica sea degradada y produzca los sustratos que serán digeridos por las bacterias. “La primera fase es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos) que son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga)” [5].

#### **Metanogénesis**

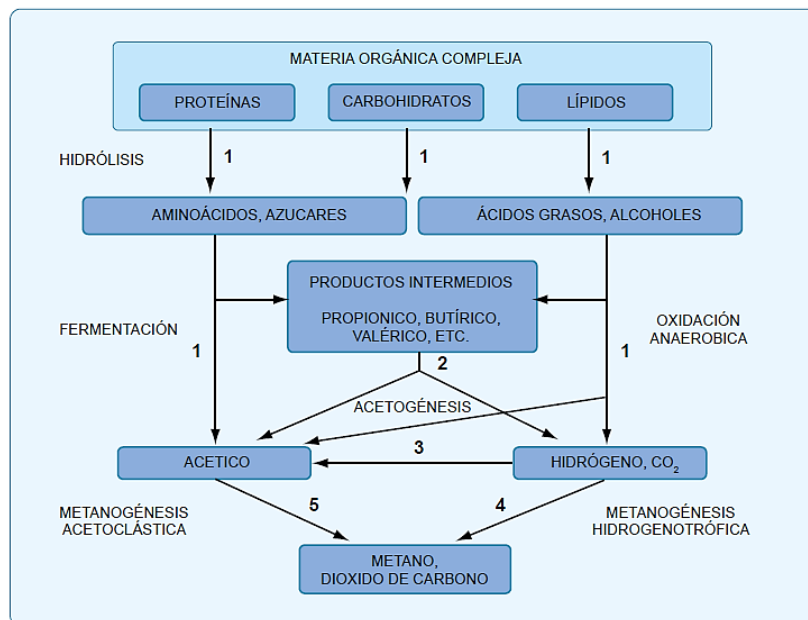
Esta es la última etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas estrictas, actúa sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Los metanogénicos pueden ser considerados como los



más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de biometanización.

### 3.7.3. Tiempo de proceso de biodigestión

Al empezar el proceso luego de haber realizado la carga orgánica al biodigestor comienza a realizarse las etapas de biodigestión, en cada etapa actúan microorganismos que generan un tipo de compuesto químico que con el tiempo se van transformando hasta llegar a la producción de metano y otros compuestos. En la tabla 3.2 se muestra los tiempos de regeneración de las bacterias en un entorno anaeróbico.



**Figura 3.5.** Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica.

**Fuente:** [5]

### 3.7.4. Inhibidores del proceso

Al planificar y operar un sistema generador de biogás, hay que tener en cuenta que algunos compuestos que se forman, incluso de forma limitada, como productos del metabolismo de la degradación anaeróbica, inhiben el proceso e incluso pueden ser tóxicos a concentraciones más altas.

Los posibles inhibidores pueden ser los mostrados en el anexo IV. Cuando se alimenta al biodigestor se debe tomar en cuenta que añadir excesivo sustrato también puede inhibir el proceso

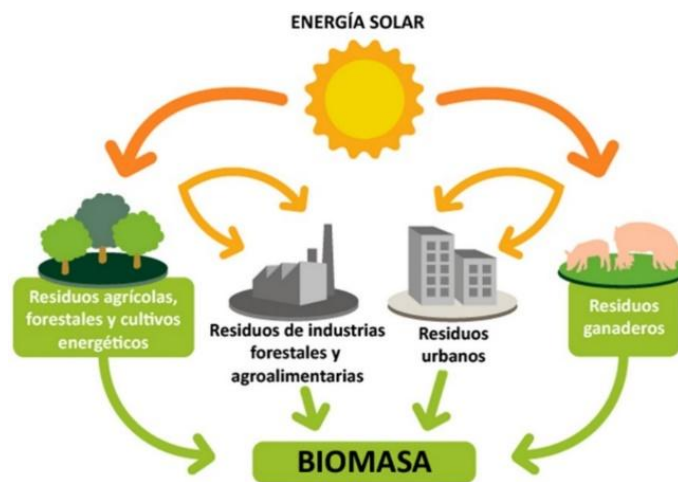
de digestión porque cualquier constituyente de un sustrato puede tener un efecto dañino en las bacterias si su concentración es demasiada alta.

### 3.8. La biomasa

Define que la biomasa es cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en un proceso biológico, de origen vegetal o animal [18].

Se considera que la biomasa es una fuente renovable de energía porque su valor proviene del Sol. A través del proceso de fotosíntesis, la clorofila de las plantas captura su energía, y convierte el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) del aire y el agua del suelo en carbohidratos, para formar la materia orgánica. Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua, liberando la energía que contienen [19].

El proceso de fotosíntesis es parte clave para la producción de biogás ya que mediante la descomposición de los diferentes tipos de materia orgánica se libera su energía, pero a la vez en forma de biogás, en la figura 3.6 se muestra el proceso de transformación de la energía que contiene la materia orgánica en energía térmica (biogás) la cual puede ser empleada de acuerdo sus necesidades.



**Figura 3.6.** Ciclo de la producción de la biomasa.

**Fuente:** [20]

#### 3.8.1. Ventajas y desventajas

##### Ventajas

- La biomasa es una fuente renovable de energía y su uso no contribuye a acelerar el calentamiento global.

- La captura del metano de los desechos agrícolas y los rellenos sanitarios, y la sustitución de derivados del petróleo, ayudan a mitigar el efecto invernadero y la contaminación de los acuíferos.

### Desventajas

- Por su naturaleza, la biomasa tiene una baja densidad relativa de energía; es decir, se requiere su disponibilidad en grandes volúmenes para producir potencia, en comparación con los combustibles fósiles, por lo que el transporte y manejo se encarecen y se reduce la producción neta de energía.
- El potencial calórico de la biomasa es muy dependiente de las variaciones en el contenido de humedad, clima y la densidad de la materia prima [19].

### 3.9. Tipos de biomasa

Los tipos de biomasa se clasifican de diferente forma, entre las clasificaciones se tiene a las siguientes: Biomasa natural, Biomasa residual, Cultivos energéticos.

Los tipos de biomasa se clasifican de diferente forma, entre las clasificaciones se tiene a las siguientes:

- Biomasa natural
- Biomasa seca
- Biomasa húmeda
- Biomasa animal

#### 3.9.1. Biomasa animal

La materia prima para la producción de biogás es el estiércol fresco, porque en el estiércol seco se habrán perdido las bacterias activas [21] . El estiércol que mayor cantidad de biogás produce es el de vacuno y cerdo como se muestra en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3.** Producción de estiércol fresco diario.

| <b>Ganado</b> | <b>Kg de estiércol fresco producido por cada 100 kg de peso de animal</b> |
|---------------|---|
| <b>Cerdo</b>  | 4   |
| <b>Bovino</b> | 8   |

|        |   |
|--------|---|
| Conejo | 3 |
|--------|---|

Fuente: [21]

El estiércol más equilibrado es el de vaca, ya que por cada animal se produce gran cantidad de estiércol, y por tanto es más fácil de recoger.

### 3.10. Que es el Biogás

Como el nombre lo indica, el biogás se produce en un proceso biológico. En ausencia de oxígeno (anaeróbico significa sin oxígeno), la materia orgánica se descompone formando una mezcla de gases conocida como biogás.

La mezcla de gases resultantes consiste principalmente de metano (50-75 vol. %) y de dióxido de carbono (25-50 vol. %). El biogás también contiene pequeñas cantidades de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y otros gases. La composición del gas está determinada esencialmente por los sustratos, la fermentación (digestión) y los distintos diseños técnicos de las plantas de biodigestión. El proceso por el que se forma el biogás puede dividirse en una serie de pasos [22].

#### 3.10.1. Composición del gas

Se puede utilizar la composición del biogás para evaluar una variedad de circunstancias. Los componentes individuales y su significado para el proceso se explican en la figura 3.7.

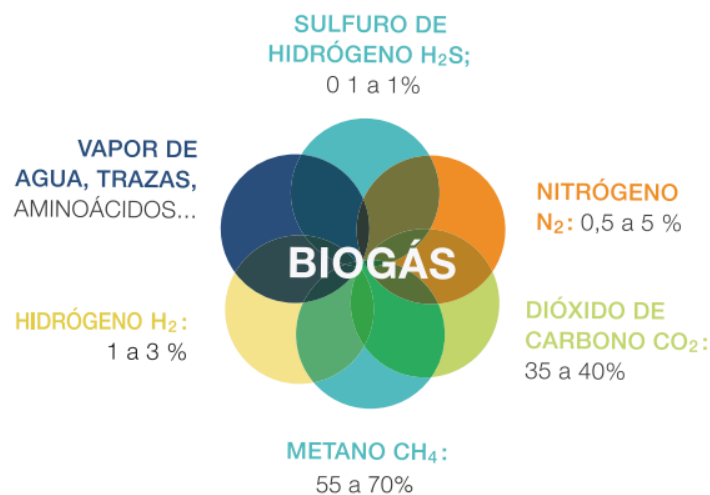


Figura 3.7. Composición aproximada de biogás.

Fuente: [2]

El biogás está compuesto por un conjunto de gases, de los cuales destaca el metano, el dióxido de carbono, y el ácido sulfhídrico.

Este último da mal olor y corroe las partes metálicas; por tal razón, el biogás debe ser filtrado antes de usarse. Los porcentajes de la composición del biogás van a variar de acuerdo con la composición del residuo, la climatología y temperatura del ambiente.

### 3.10.2. Equivalencias del biogás en relación a combustibles convencionales

El biogás producido se emplea normalmente como sustituto de la leña, bosta seca, o gas de garrafa, para cocinar dependiendo su equivalencia como se muestra en la tabla 3.4.

El poder calorífico del biogás es menor al del butano o propano, e implica que se tarda en cocer más tiempo los alimentos que cuando se hace con gas natural o de garrafa. El consumo de una cocina doméstica normal se puede estimar en 130-170 litros por hora [7].

**Tabla 3.4.** Equivalencias del biogás vs combustibles convencionales.

| <b>(1 m<sup>3</sup>) de biogás equivale a:</b> |             |
|--|-------------|
| <b>Madera</b>                                  | 1,3 kg      |
| <b>Alcohol</b>                                 | 1,1 litros  |
| <b>Gasolina</b>                                | 0,75 litros |
| <b>Gas natural</b>                             | 0,76        |
| <b>Carbón</b>                                  | 0,7 kg      |
| <b>Electricidad</b>                            | 2,2 kw/h    |
| <b>Gas GLP</b>                                 | 0,5 kg      |

**Fuente:** [7]

### 3.10.3. Usos que se le puede dar al biogás

Existen diversas opciones para la utilización de biogás. Dentro de estas destacan la producción de calor o vapor, generación de electricidad y combustibles de vehículos. El biogás puede sustituir una variedad de combustibles fósiles como gas natural, diésel y gasolina, así como otras fuentes de energía como la madera y la energía eléctrica.

### 3.11. Utilización del Biol

La carga de mezcla diaria de estiércol con agua que se introduce al biodigestor será digerida por las bacterias y se producirá biogás. Pero por otro lado quedará un líquido ya digerido, que ha producido todo el biogás que podía, y que se convierte en un excelente fertilizante.

El biol es un producto estable biológicamente, rico en humus y una baja carga de patógenos. El biol tiene una buena actividad biológica, desarrollo de fermentos nitrosos y nítricos, microflora, hongos y levaduras que serán un excelente complemento a suelos improductivos o desgastados [23].

### **Ventajas**

- Se puede elaborar en base a insumos que se encuentran en la comunidad
- No tiene una receta fija, los insumos pueden variar de acuerdo a la disponibilidad del agricultor
- Estimula el trabajo de los microorganismos benéficos del suelo
- Promueve las actividades fisiológicas y estimula el desarrollo de las plantas
- Es de rápida absorción para las plantas, por su alto contenido de hormonas de crecimiento vegetal, aminoácidos y vitaminas

### **Desventajas**

- Tiene un largo tiempo de preparación: entre dos y tres meses. Esto hace necesario planificar su producción anticipadamente, dependiendo de las necesidades de abono.
- En grandes extensiones de terreno, es necesaria una mochila para su aplicación.

## **4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1. Métodos para el dimensionamiento de un sistema de biodigestión anaeróbica**

Para la operación de un biodigestor tubular o en el cual se desarrollará la biodigestión anaeróbica se debe realizar los siguientes cálculos y métodos de dimensionamiento:

- Cálculo del volumen requerido del biodigestor tipo Tubular
- Cálculo de las dimensiones del biodigestor
- Procedimiento para el cálculo de producción de biogás
- Dimensionamiento de la zanja
- Componentes del sistema de biodigestión

#### **4.1.1. Cálculo del volumen requerido del biodigestor tipo Tubular**

Para el dimensionamiento de un biodigestor es necesario conocer varios datos y efectuar los siguientes cálculos [14]:

- Cantidad de biomasa disponible ( $Q$ ) en kg/día
- Cálculo de cantidad de agua para la mezcla ( $M_{H_2O}$ ) en kg/día
- Cantidad de carga diaria de biomasa ( $Q_{diaria}$ )
- Cálculo del tiempo de retención hidráulica (TRH)

➤ Cálculo del volumen del biodigestor

Para el dimensionamiento se debe tener claro los siguientes aspectos que intervienen en el proceso y se deben tomar en cuenta para el dimensionamiento del sistema, entre los más importantes se tiene: Masa seca, masa volátil, carga orgánica volumétrica (COV) y tiempo de retención (TRH).

**La masa seca (MS):**

Se define como la cantidad de sólidos que contiene la biomasa. Es el contenido de biomasa orgánica más la masa inorgánica que contiene un sustrato.

El porcentaje óptimo de sólidos en la mezcla que se alimenta a un biodigestor, debe ser del 8 - 12%. En la práctica, se ha generalizado utilizar un porcentaje de dilución del 10%. Se logra esta dilución mezclando la biomasa con agua o recirculando biol o bioabono [14].

**Masa volátil (MV)**

La masa volátil o sólidos volátiles es el contenido de masa orgánica que tiene la biomasa. La masa volátil (MV) es el componente que se volatiliza después de la incineración de la masa seca durante 6 horas a 550 grados centígrados. El porcentaje de sólidos volátiles respecto al de los sólidos totales (% de sólidos volátiles o MV) suele variar entre el 70 - 95%. Los residuos que tienen un porcentaje inferior al 60% no suelen considerarse buenos sustratos para la digestión anaeróbica [14].

**Tiempo de retención (TRH)**

Es el tiempo que permanecerá el sustrato dentro del biodigestor para su degradabilidad. Este parámetro se determina de acuerdo a la temperatura del interior del biodigestor y el tipo de materia orgánica que será utilizada.

Se considera como límite inferior un TRH de 10 días como mínimo para la producción de bacterias metanogénicas. El límite superior del TRH está dado por aspectos económicos ya que es un parámetro por el cual se determina el volumen del biodigestor [14]. Estos tiempos de retención se han establecido de acuerdo experimentos con la variación de la temperatura, en la tabla 4.1 se plantea los posibles tiempos de retención de sustrato de acuerdo a las temperaturas de las distintas regiones de un país.

**Tabla 4.1.** Tiempo de retención según la temperatura ambiente.

| Región característica | Temperatura (°C) | Tiempo de retención (días) |
|-----------------------|------------------|----------------------------|
| Trópico               | 30               | 20                         |
| Valle                 | 20               | 30                         |



|           |    |    |
|-----------|----|----|
| Altiplano | 10 | 60 |
|-----------|----|----|

Fuente: [7]

### Cantidad de biomasa disponible (Q)

El purín de vacuno corresponde a la mezcla producida por las excretas y orina de las vacas, el agua utilizada para el lavado de las instalaciones del plantel y las aguas lluvias captadas en los corrales de espera [24]. En la tabla 3.3 se muestra la producción de estiércol fresco diario para diferentes animales, por cada 100 kilogramos de peso del animal. Se determinó el peso promedio de la vaca en ordeña de acuerdo a la clasificación de estratos según tamaño predial [24]. Los resultados se presentan en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2.** Detalle de número de animales y pesos promedios.

| # Vacas ordeño | Peso/ vaca (kg) | Tiempo en el establo (hr/día) |
|----------------|-----------------|-------------------------------|
| 0 a 9          | 450             | 3                             |
| 10 a 24        | 450             | 3                             |
| 25 a 49        | 500             | 4                             |
| 50 a 99        | 500             | 4                             |
| 100 a 299      | 550             | 4                             |

Fuente: [24]

Se asume que la producción de estiércol es igual al 8% del peso del animal. Para el cálculo de la producción de biogás no se debe considerar las aguas que se utilizan en el lavado de pisos [14].

Al ser encerradas en corral sólo en las horas de ordeño, para asumir la cantidad aproximada que se puede recoger se realizaría una regla de 3 con los datos de la tabla 3.3, la cantidad de estiércol que se puede recoger es un 17% del total producido a lo largo del día. La ecuación para el cálculo es la siguiente [25]:

$$Q = \left( \frac{NA \cdot PVP \cdot 8}{100} \right) \cdot 0,17 \quad (4.1)$$

Dónde:

Q= Cantidad de biomasa disponible  $\left(\frac{kg}{día}\right)$ ; NA= Número de animales; PVP= Peso vivo promedio del animal (kg); 8%= Producción de estiércol por animal por día en porcentaje de peso vivo.

### Cantidad de agua para la mezcla ( $M H_2O$ )

El uso primordialmente de excreta humana y orines, estiércol, y desechos de agricultura, como alimento para el digestor, deberá conllevar a una razón de biomasa a agua entre 1:1 y 1:2; por cada 100 kg de heces y orina, se requerirán entre 100 y 200 litros de agua [26].

$$M H_2O = Q \cdot 2 \quad (4.2)$$

Dónde:

- $M H_2O$  = Cantidad de masa de agua para la mezcla (*Litros*);  $Q$  = Biomasa disponible ( $\frac{kg}{dia}$ ).

### Cantidad de carga diaria de biomasa ( $Q_{diaria}$ )

Cuando el contenido de solidos es superior al porcentaje establecido como normal se aumenta agua, y la cantidad de sustrato que ingresara al biodigestor está dada por la siguiente ecuación [25]:

$$Q_{diaria} = Q + M H_2O \quad (4.3)$$

Dónde:

- $Q_{diaria}$  = Carga diaria de Biomasa (*Litros*);  $M H_2O$  = Volumen de agua para la mezcla;  $Q$  = Biomasa disponible (*Litros*).

### Cálculo del tiempo de retención hidráulica (TRH)

El posible tamaño del digestor (volumen del digestor) es determinado por el tiempo de retención (TR) y por la carga diaria. Se recomienda escoger el TR apropiado de acuerdo a la temperatura promedio del sitio en el cual va a operar, y se utiliza la siguiente formula [25]:

$$TRH = (-51,227 \cdot \ln(T^{\circ}C) + 206,72) \quad (4.4)$$

Dónde:

- TRH= Tiempo de retención Hidráulico en días; Ln= Logaritmo natural;  $T^{\circ}C$ = Temperatura promedio en grados centígrados del sitio donde se instalará el biodigestor.

### Cálculo del volumen total del biodigestor

Es recomendable que el volumen de diseño se seleccione un 20% más de lo calculado con el objeto de tener un margen de seguridad [14].

### Volumen líquido

La fórmula para el cálculo del volumen del líquido es la siguiente [25]:

$$V_L = Q_{diaria} \cdot TRH + (Q_{diaria} \cdot TRH \cdot 0,2) \quad (4.5)$$

Dónde:

- $V_L$  = Volumen líquido (*litros*);  $Q_{diaria}$  = cantidad de biomasa diaria;  $TRH$  = Tiempo de retención hidráulica (*días*).

### Volumen de gas

Para la campana de gas se da un porcentaje de 25% lo que significa un tercio del volumen Líquido, se tiene la siguiente ecuación.

$$V_g = \frac{V_L}{3} \quad (4.6)$$

### Volumen total del biodigestor

El volumen total del biodigestor ha de albergar una parte líquida y otra gaseosa. Normalmente se da un espacio del 75% del volumen total a la fase líquida, y del 25% restante a la fase gaseosa [7].  $1m^3 = 1000$  litros

$$V_{dT} = \frac{V_L + V_g}{1000} \quad (4.7)$$

- $V_{dT}$  = Volumen total del biodigestor ( $m^3$ );  $V_L$  = Volumen del líquido (*litros*);  $V_g$  = Volumen gaseoso (*litros*).

#### 4.1.2. Cálculo de las dimensiones del biodigestor

Conociendo el volumen total de un biodigestor se deberá determinar las dimensiones del mismo. Las primeras dimensiones a determinar son la longitud y radio del biodigestor [27].

El polietileno tubular se vende en rollos de 50 metros, con un ancho de rollo que varía normalmente entre 1; 1,25; 1,50; 1,75; 2 y 2,5 metros. El ancho de rollo determina el diámetro y radio del biodigestor.

#### Cálculo del volumen de la manga

El biodigestor es una manga de plástico amarrada por ambos extremos a una entrada y una salida. El volumen total de este manga equivale al volumen de un cilindro (en metros cúbicos) que se calcula con la siguiente formula [7]:

$$V_{dT} = \pi \cdot r^2 \cdot L \quad (4.8)$$

Dónde:

- $V_{dT}$  = Volumen del biodigestor total ( $m^3$ );  $\pi = 3.1416$ ;  $r$  = Radio del rollo (m);  $L$  = Longitud del biodigestor (m).

### Cálculo de la longitud del rollo requerido

Conociendo el volumen total del biodigestor y las secciones eficaces de los rollos disponibles se determina la longitud necesaria [7].

$$L = \frac{V_{dT}}{(\pi \cdot r^2)} \quad (4.9)$$

Dónde:

- $L$  = Longitud de biodigestor tubular requerida (m);  $V_{dT}$  = Volumen del biodigestor total ( $m^3$ );  $r$  = radio del rollo (m).

### Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor

Según lo anterior, se tendrán diferentes posibilidades de longitudes y anchos de rollo para alcanzar el volumen total deseado. Los anchos de rollo más grandes exigirán menor longitud para alcanzar el volumen deseado. No conviene biodigestores demasiado cortos ni largos, y para ello existe una relación óptima entre el diámetro y la longitud. Esta relación es flexible en un rango de 5-10, siendo la mejor 7 [7]. Para el cálculo de la relación se utiliza la siguiente formula:

$$R = \frac{L}{d} \quad (4.10)$$

Dónde:

- $R$  = relación optima;  $L$  = Longitud de biodigestor tubular requerida (m);  $d$  = diámetro del rollo (m).

#### 4.1.3. Procedimiento para el cálculo de producción de biogás

En un sistema de biodigestión con condiciones adecuadas del entorno anaeróbico va a comenzar la producción de biogás de acuerdo a la degradabilidad de la materia. En la siguiente tabla se muestra el factor de producción de biogás de diferentes sustratos en función de la masa volátil (MV).

**Tabla 4.3.** Factor general de producción de biogás.

| Sustrato           | Factor general |
|--------------------|----------------|
| Estiércol de cerdo | 0,350          |
| Estiércol de vaca  | 0,250          |

|           |       |
|-----------|-------|
| Humanos   | 0,300 |
| Gallinaza | 0,400 |

Fuente: [25]

Para estimar la producción de biogás de un sistema se procede a realizar los siguientes cálculos.

- Cálculo de sólidos totales secos (MS)
- Cálculo de la masa volátil (MV)
- Cálculo de la producción de biogás ( $P_{bT}$ )

### Cálculo de la cantidad de Sólidos totales

Es importante que para cada proyecto se realice un análisis de MS y MV para trabajar con porcentajes del sustrato y no se trabaje con datos de otros proyectos o valores asumidos [14]. En la tabla 4.4 se muestran valores generalizados de sólidos totales.

**Tabla 4.4.** Valores generalizados de sólidos totales en el estiércol.

| Material         | Sólidos totales (%) |
|------------------|---------------------|
| Estiércol fresco | 17                  |
| Mezcla 1:4       | 3,4                 |
| Mezcla 1:3       | 4,25                |

Fuente: [7]

La ecuación es la siguiente [7]:

$$ST = Q \cdot \frac{MS}{V_L} \quad (4.11)$$

Dónde:

- ST= Cantidad de sólidos totales en la biomasa disponible ( $\frac{kg}{m^3}$ ); Q= Biomasa disponible; MS (%) = Porcentaje de masa seca en el estiércol;  $V_L$  = volumen del líquido ( $m^3$ ).

### Cálculo del contenido de masa volátil (MV) en la biomasa

Los sólidos volátiles representan la parte de los sólidos totales del estiércol que están sujetos a pasar a fase gaseosa. Su valor corresponde aproximadamente y de forma general es al 77% del sólido total introducido por día.

$$MV = ST \cdot MV \quad (4.12)$$

Dónde:

- MV= Cantidad de masa volátil en la biomasa  $\left(\frac{kg}{m^3 \cdot día}\right)$ ; ST= Cantidad de solidos totales en el estiércol  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$ ; MV (%) = Porcentaje de masa volátil en la biomasa, se utiliza el valor generalizado o de acuerdo con el resultado del examen de laboratorio de la biomasa.

### Cálculo de la producción de biogás ( $P_{biogás}$ )

La mezcla de estiércol con agua en el interior del biodigestor, en ausencia de aire, producirá biogás. Esta producción no es constante, y es un proceso que dura, más o menos, el tiempo de retención estimado según la temperatura de trabajo. De esta forma, un kilo de estiércol irá produciendo biogás de poco a poco a lo largo del tiempo de retención al que esté sometido [7].

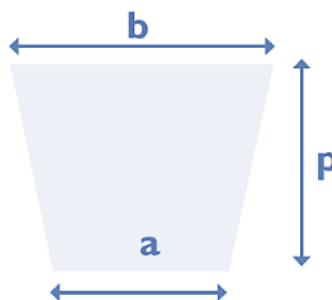
$$P_{biogás} = (F \cdot MV) \cdot V_L \quad (4.13)$$

Dónde:

- $P_{biogás}$ = Gas producido en ( $m^3/día$ ); MV = Masa volátil de materia orgánica del estiércol según la especie  $\left(\frac{kg}{m^3 \cdot día}\right)$ ; F = Factor general de producción aproximada de biogás (ver en la tabla 4.3);  $V_L$ = Volumen del líquido  $\left(\frac{m^3}{día}\right)$ .

#### 4.1.4. Dimensionamiento de la zanja

La longitud de la zanja queda determinada por la longitud del biodigestor y la profundidad y ancho de la misma dependerán del ancho de rollo empleado en la construcción del biodigestor. La zanja debe tener la forma de un trapecio como se puede observar en la figura 4.1, dicha zanja debe tener sus respectivas medidas de acuerdo a las dimensiones de la bolsa digestora.

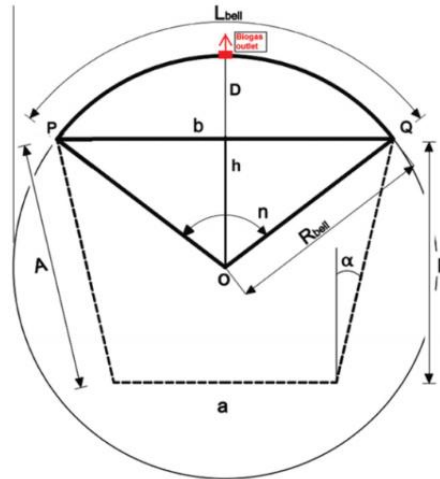


**Figura 4.1.** Forma geométrica de la zanja.

**Fuente:** [7]

Para realizar los cálculos se debe analizar la geometría que formará la zanja, en la figura 4.2 se presenta dicha geometría a la cual se deberá realizar la síntesis de los cálculos para únicamente determinar los vértices de interés.

De la figura 4.2 se realiza el análisis de cálculo para determinar las dimensiones de  $b$  (base superior),  $a$  (base inferior),  $p$  (profundidad),  $\alpha$  (ángulo de inclinación de las paredes) y la altura desde el arco superior hasta el límite del líquido.



**Figura 4.2.** Geometría formada por la bolsa tubular y la zanja.

**Fuente:** [28]

### Cálculo del área total

El área total la forman el líquido (excretas + H<sub>2</sub>O) y el área del biogás. Analizando el área total del biodigestor se calcula con la siguiente expresión.

$$A_T = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (4.14)$$

De igual manera se debe calcular el perímetro o longitud de circunferencia que forma la bolsa tubular y se calcula con la siguiente expresión.

$$C = \pi \cdot D \quad (4.15)$$

Dónde:

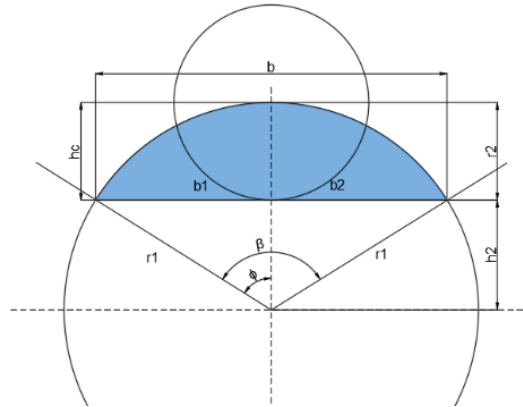
- $A_T$  = Área total (m<sup>2</sup>);  $D$  = Diámetro (m);  $C$  = Perímetro o longitud de la circunferencia (m).

Para calcular los vértices de la zanja primeramente se analiza la geometría que se forma en la parte superior formada por el área del biogás, para determinar el ancho de zanja superior (vértice  $b$ ) que se necesitará excavar como primer paso en la construcción de la zanja y para a partir de los extremos del vértice  $b$  ir dando la inclinación a los dos vértices de los lados (vértice  $c$ ). En la figura 4.3 se observa los datos que se debe calcular.



Conociendo el área total del biogás y asumiendo como un círculo completo la longitud  $h_c$  se convierte en un radio y se calcula con la siguiente expresión.

$$r_2 = \sqrt{\frac{A_G}{\pi}} \quad (4.16)$$



**Figura 4.3.** Geometría formada por el área del biogás.

Determinado el radio 2 el cual es la longitud que existe desde la parte superior de la geomembrana hasta el nivel del líquido dentro del biodigestor se calcula la longitud que existe desde el nivel del líquido superior hasta el centro de la bolsa tubular para el cálculo de los ángulos interiores  $\beta$  y  $\Phi$ .

$$h_2 = r_1 - r_2 \quad (4.17)$$

Dónde:

- $h_2$  = altura del centro de la bolsa hasta el nivel del líquido superior (m);  $r_1$  = radio de la bolsa de geomembrana tubular (m);  $r_2$  = altura o longitud de la parte superior de la bolsa hasta el nivel de líquido superior (m).

El cálculo de los ángulos interiores está dado por las siguientes expresiones:

$$\Phi = \cos^{-1}\left(\frac{h_2}{r_1}\right) \quad (4.18)$$

$$\beta = \Phi \cdot 2 \quad (4.19)$$

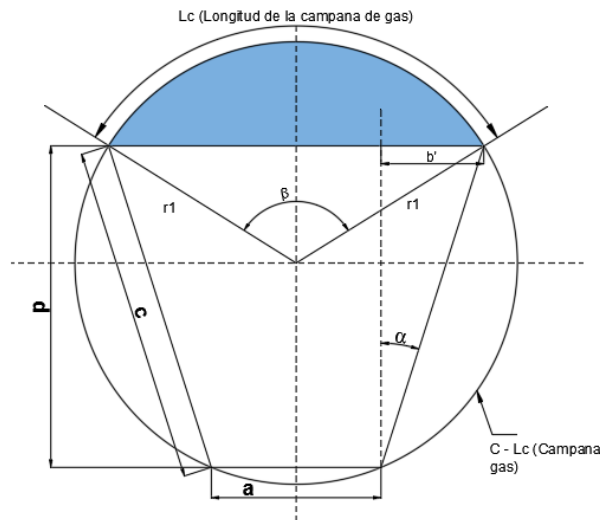
Finalmente, para el cálculo del vértice  $b$  se utiliza la siguiente expresión:

$$b = (r_1 \cdot \text{seno } \Phi) * 2 \quad (4.20)$$

Dónde:

- $b$  = ancho superior de la zanja (m)

Una vez determinado el vértice b se analiza la geometría completa para realizar los cálculos de los vértices faltantes, como menciona [28] la geometría de la zanja debe ser en forma de trapecio y al instalar la bolsa de geomembrana esta toma la forma geométrica de la zanja, en la figura 4.4 se observa la forma geométrica para el cálculo de los demás vértices.



**Figura 4.4.** Geometría formada por la zanja y la geomembrana

Analizando la geometría de la figura 4.4 se deduce las fórmulas para el cálculo de las distintas variables para determinar las longitudes de los vértices faltantes.

Se debe conocer la longitud de la campana de gas, es el arco superior que se forma por la división del líquido y el gas, es decir se va a tener una longitud de campana de gas y otra de líquido que se obtiene restando el valor obtenido una vez calculado el perímetro o la longitud total de la circunferencia.

La longitud de la campana de gas se calcula con la siguiente expresión:

$$L_{cg} = \frac{\pi}{180} \cdot r_1 \cdot \beta \quad (4.21)$$

Dónde:

- $L_{cg}$  = Longitud de la campana de gas;  $r_1$  = Radio de la geomembrana;  $\beta$  = Angulo interior.

Para obtener la ecuación para el cálculo del vértice (a) se aplica la siguiente expresión:

$$\text{seno } \alpha = \frac{b'}{c} \quad (4.22)$$

$$b' = c \cdot \text{seno } \alpha \quad (4.23)$$

$$a = b - 2c \operatorname{seno} \alpha \quad (4.24)$$

Dónde:

- a = Longitud del vértice interior de la zanja (m); b = Longitud del vértice superior de la zanja (m); c = Longitud del vértice lateral de la zanja (m);  $\alpha$  = Ángulo de inclinación del vértice c (grados).

Cuando la bolsa tubular es instalada en la zanja que tiene una geometría igual a la de un trapecio, la forma de la bolsa se va a adoptar a la de la zanja, por lo que se iguala las longitudes de circunferencia del gas y del líquido por las longitudes de los vértices de la zanja, y queda expresado de la siguiente manera:

$$c - L_{cg} = a + 2c \quad (4.25)$$

Al asumir en la ecuación 4.25 que el valor de a es cero ya que es el valor mínimo que puede adoptar, despejando b y analizando la figura 4.4 se obtiene la ecuación para el cálculo del ángulo ( $\alpha$ ) de inclinación del vértice c.

$$b = 2c \cdot \operatorname{seno} \alpha \quad (4.26)$$

$$2c = \frac{b}{\operatorname{seno} \alpha} \quad (4.27)$$

Sustituyendo la ecuación (4.27) en la (4.25) y analizando con el valor de a mínimo que es cero se obtiene las siguientes expresiones:

$$\frac{b}{\operatorname{seno} \alpha} = \pi * D - L_{cg} \quad (4.28)$$

[28] definieron unos factores adimensionales  $f_a = a/r$  y  $f_b = b/r$ , siendo r el radio del biodigestor, por el cual despejando b del factor y sustituyendo en la ecuación (4.28) se obtiene lo siguiente:

$$\operatorname{seno} \alpha = \frac{f_b \cdot r}{D \left( \frac{2\pi - \beta}{2} \right)} = \frac{f_b}{2\pi - \beta} \quad (4.29)$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left( \frac{f_b}{2\pi - \beta} \right) \quad (4.30)$$

Dónde:

- $\alpha$  = Ángulo de inclinación del vértice c (grados);  $f_b$  = Factor de b;  $\beta$  = Ángulo interior (radianes).

Conocida la geometría de la zanja se puede obtener la fórmula para el cálculo de su área, por lo que para determinar la longitud del vértice c se parte con las siguientes expresiones.

$$A_z = \left(\frac{a+b}{2}\right) \cdot p \quad ; \quad p = c \cdot \text{coseno } \alpha$$

$$A_z = \left(\frac{a+b}{2}\right) \cdot c \cdot \text{coseno } \alpha \quad (4.31)$$

Despejando c de la ecuación (4.24) y sustituyendo en la ecuación (4.31) y desarrollando matemáticamente la expresión se obtiene la ecuación (4.32).

$$c = \frac{b-a}{2 \cdot \text{seno } \alpha}$$

$$A_z = \left(\frac{a+b}{2}\right) \cdot \left(\frac{b-a}{2 \cdot \text{seno } \alpha}\right) \cdot \text{coseno } \alpha$$

$$A_z = \left(\frac{b^2 - a^2}{4 \cdot \text{seno } \alpha}\right) \cdot \text{coseno } \alpha \quad (4.32)$$

Finalmente sustituyendo nuevamente la ecuación (4.24) en la ecuación (4.32), se obtiene la expresión para el cálculo de la longitud del vértice c.

$$c = \frac{D \cdot \left(\pi - \frac{\beta}{2}\right) - b}{2 \cdot (1 - \text{sen } \alpha)} \quad (4.33)$$

Dónde:

- c = Longitud del vértice lateral de la zanja (m); D = Diámetro del biodigestor; b = Longitud del vértice superior de la zanja (m);  $\alpha$  = Ángulo de inclinación del vértice c (grados);  $\beta$  = Ángulo interior (radianes).

Una vez determinado el valor de la longitud del vértice c se puede calcular la longitud de la profundidad de excavación de la zanja de la siguiente manera:

$$\text{coseno } (\alpha) = \frac{P}{c} \quad (4.34)$$

$$p = c \cdot \text{coseno} (\alpha) \quad ( 4.35 )$$

## 4.2. Componentes del biodigestor

Las partes fundamentales que componen al biodigestor son las siguientes:

- Tanque de alimentación.
- Tubería de alimentación y descarga.
- Conducción y filtrado de biogás.
- Válvula de seguridad para el control de presión.
- Trampa de agua condensada
- Gasómetro
- Laguna de descarga de efluente del biodigestor.

### 4.2.1. Tanque de alimentación

Los tanques de alimentación, se dimensionan para el volumen diario de alimentación del biodigestor. El volumen de agua que se debe adicionar para la dilución de la biomasa, depende del porcentaje de masa saca de la biomasa [14]. El volumen se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_T = a \cdot b \cdot p \quad ( 4.36 )$$

Dónde:

- $V_T$  = Volumen total ( $m^3$ ); a = Ancho de la fosa de carga (m); b = Longitud de la base de la fosa (m); p = Altura de la fosa (m).

### 4.2.2. Tuberías de alimentación y descarga

El diámetro de la tubería, debe ser de mínimo a 100 mm; lo más recomendable, es que la tubería sea de 150 mm. Si se trata sustratos con alto contenido de sólidos, como la gallinaza o estiércol de ganado, se deben instalar tuberías de 200 mm.

- **Tuberías de alimentación:** Las tuberías de alimentación conducen la biomasa desde un tanque de mezcla pequeño de control hacia el fondo del biodigestor. Estas tuberías descargan a unos 50 - 100 cm del fondo del biodigestor.
- **Tuberías de descarga:** Las tuberías de descarga extraen el biol (componente líquido) del biodigestor. Se deben instalar siempre con un diámetro mínimo de 100 mm.

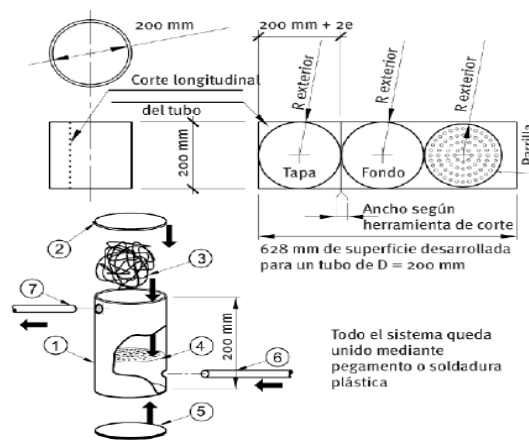
### 4.2.3. Conducción y filtrado de biogás

**Tubería de conducción de biogás**

La tubería se debe seleccionar con el espesor de pared suficiente gruesa para así poder soportar la presión del diseño del biodigestor, y en su caso, resistir cargas externas previstas, así como la variación de temperaturas debido a los cambios climáticos [29].

### Filtro de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S)

El sulfuro de hidrógeno H<sub>2</sub>S (gaseoso), o ácido sulfhídrico en disolución acuosa, es un gas inflamable y se forma en el digestor por la transformación de compuestos que contienen azufre como las proteínas. Se puede asumir que con el uso de estiércol de vaca se obtendrá un biogás con un contenido de 0.3% en volumen (aproximadamente 3000 ppm) de H<sub>2</sub>S.



**Figura 4.5.** Filtro de ácido sulfhídrico.

**Fuente:** [28]

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| 1) Tramo de tubo D=100 o 200 mm | 5) Tapa de fondo                          |
| 2) Tapa                         | 6) Entrada de biogás crudo                |
| 3) Viruta de hierro             | 7) Salida de biogás sin ácido sulfhídrico |
| 4) Parrilla intermedia          |   |

El filtro de ácido sulfhídrico está compuesto por varias partes y al interior consiste en la colocación de un conjunto de virutas de metal (ver figura 4.5), ya sea de desechos de un taller de tornería o la malla de limpieza (estropajo de acero) que se coloca en el interior de la tubería, solamente 2/3 del volumen de la tubería contiene la viruta. 1 kg de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> puede remover 0.56 kg H<sub>2</sub>S / kg Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, para determinar la cantidad de ácido sulfhídrico a remover es necesario conocer la densidad de la carga diaria.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4.37)$$

Dónde:

- $\rho$  = densidad de la carga diaria ( $\frac{kg}{m^3}$ );  $m$  = masa ( $kg$ );  $V$  = volumen ( $m^3$ ).

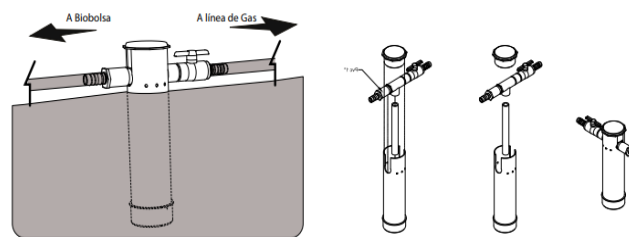
$$CH_2S = \frac{Q_{diaria} \cdot \rho}{0,56} \quad (4.38)$$

Dónde:

- $CH_2S$  = Cantidad de ácido sulfhídrico a remover ( $kg$ );  $Q_{diaria}$  = carga diaria ( $m^3$ ).

#### 4.2.4. Válvula de seguridad para el control de presión.

La reducción del vapor de agua en el biogás se puede lograr mediante trampas de agua que funcionan a la vez como reguladores de la presión del gas. Este accesorio funciona también como un regulador de la presión del biogás debido a que esta presión es igual a la altura de la columna de agua ( $h$ ) a la que está sumergida la parte inferior de la T (ver figura 4.6).



**Figura 4.6.** Válvula de alivio sobrepresión.

**Fuente:** [23]

Para determinar la presión del fluido deseada en la trampa de agua es necesario conocer la densidad y aplicar la siguiente ecuación:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (4.39)$$

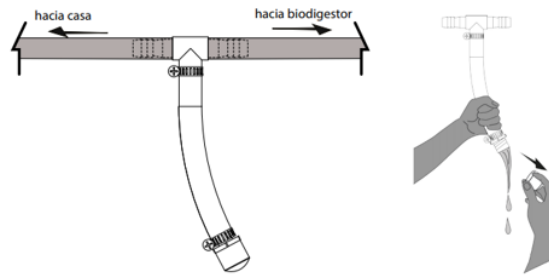
Dónde:

- $P$  = presión del fluido ( $\frac{N}{m^2}$ );  $\rho$  = densidad del agua ( $\frac{kg}{m^3}$ );  $g$  = constante de la gravedad  $9,81 \frac{m}{s^2}$ ;  $h$  = altura (m).

#### 4.2.5. Trampa de agua

La trampa de agua está diseñada para dar una salida fácil al agua que se irá acumulando en las tuberías. No siempre son necesarias ya que en algunas granjas la instalación de las líneas de biogás no forma valles.





**Figura 4.7.** Trampa de agua.

**Fuente:** [23]

#### 4.2.6. Laguna de descarga de efluente

La laguna o tanque de descarga se encuentra en la salida del biodigestor, esta es la estructura que permite recibir y almacenar el biol (biofertilizante) que se obtiene como producto de la carga y descarga diaria del biodigestor, es recomendado que las dimensiones de la laguna correspondan al volumen de carga del biodigestor de esta manera evitar derrames al realizar la carga, [30] recomienda dimensionar la laguna de acuerdo a los días que se desea tener acumulado el biol y darle un uso general ya sea semanalmente o dependiendo el uso planificado en días establecidos para la fertilización de cultivos.

$$Ld = Q_{diaria} \cdot Dr_{biol} \quad ( 4.40 )$$

Dónde:

- $Ld$  = cantidad de biol para almacenamiento (litros);  $Q_{diaria}$  = cantidad de carga diaria de biomasa (litros);  $Dr_{biol}$  = días de retención del biol (días).

En la ecuación 4.7 se determina la cantidad de biofertilizante que se desea almacenar en un periodo de tiempo deseado, basándose en este volumen de biofertilizante se determinara las dimensiones del tanque de descarga.

$$V_{TL} = a \cdot b \cdot p \quad ( 4.41 )$$

Dónde:

- $V_{TL}$  = Volumen total de laguna ( $m^3$ );  $a$  = Ancho de la fosa de carga (m);  $b$  = Longitud de la base de la laguna (m);  $p$  = Altura de la laguna (m).

### 4.3. Control e instrumentación para el proceso de biodigestión

En el anexo V se puede observar la estructura de ubicación de los componentes por medio de un diagrama P&ID, para lo cual en el sistema de biodigestión se debe controlar las siguientes variables para que el proceso sea estable y funcione correctamente:

- Volumen de flujo de carga (Mezcla de excretas + H<sub>2</sub>O)
- Temperatura en el biodigestor
- Concentración de pH
- Presión del biogás generado
- Flujo del biogás

En el anexo VI, se muestra un diagrama del proceso y las variables a monitorear y controlar.

#### 4.3.1. Volumen de flujo de carga (Mezcla de Excretas + H<sub>2</sub>O)

Para la dosificación de los materiales que ingresaran al biodigestor se realizara de manera manual. Para la medición de la cantidad de excretas se medirá el peso utilizando una balanza con unidad de kilogramos, por lo que se lo debe recoger en algún tipo de recipiente.

El agua la cual se mezclará con las excretas debe cuantificarse de acuerdo a la carga diaria, la relación establecida y recomendada será que por cada kg de excretas se colocara 3 litros de agua, esto ayudará a que la acumulación de sólidos en el interior del biodigestor sea mínima, para esto al igual que las excretas se utilizará un recipiente.

#### 4.3.2. Temperatura en el biodigestor

El sistema de biodigestión debe trabajar en un rango de temperatura controlada, mínima la temperatura deberá ser de 30 °C y máximo 35 °C para entrar en el rango de fermentación mesofílico, para eso se debe monitorear la temperatura del interior del biodigestor ya que el lugar a implantarse el proyecto es un lugar tropical, por ende, si no se consigue entrar en esos rangos se implementará un sistema de calefacción.

#### Sensor de temperatura digital DS18B20

Es un termómetro digital proporciona 9 bits a mediciones de temperatura Celsius de 12 bits, el DS18B20 se comunica sobre un bus 1-Wire que por definición requiere solo una línea de datos (y tierra) para la comunicación con un microprocesador. En el anexo VII se presenta el datasheet del sensor.

### 4.3.3. Concentración del pH

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución, la escala de pH varía de 0 a 14. El pH indica la concentración de iones hidrógeno  $[H]^+$  presentes en determinadas disoluciones. Se puede cuantificar de forma precisa mediante un sensor que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: Un electrodo de referencia (de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno. En el anexo VIII se muestra las condiciones de trabajo de esta sonda. Esto es lo que formará la sonda. Además, hay que utilizar un circuito electrónico para acondicionar la señal adecuadamente y que podamos usar este sensor con un microcontrolador [31].



**Figura 4.7.** Electrodo Ph.

**Fuente:** [32]

### Controlador

El funcionamiento del sensor o electrodo de pH y el sensor de temperatura se utilizará un controlador con el objetivo de mostrar la medida más precisa en una interfaz gráfica o pantalla LCD. Para realizarla se utilizará un controlador Arduino mega 2560, en la figura 4.8 se observa el controlador.

El Arduino Mega 2560 es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560. Contiene todo lo necesario para utilizarlo como microcontrolador y utilizarlo en diferentes aplicaciones [33].



**Figura 4.8.** Controlador arduino UNO.

**Fuente:** [33]

#### 4.3.4. Presión del biogás generado

Para el monitoreo de la presión generada por la producción de biogás en la tubería se utilizará un manómetro de columna de agua de baja presión, la simplicidad de su método de medición permite que pueda ser fabricado para su uso como patrón de referencia de alta exactitud para la calibración de manómetros. La selección de la configuración de la columna y del fluido manométrico permite la medición de todos los tipos de presión: absoluta, barométrica, bajo vacío, vacío negativo, relativa y diferencial [34]. En la figura 4.9 se parecía el manómetro el cual se instalará en la línea principal a la salida del biodigestor.



**Figura 4.9.** Manómetro columna de agua de baja presión.

**Fuente:** [34]

## 5. Análisis y Resultados

En este capítulo se reflejará los resultados de los diferentes parámetros a tomar en cuenta en el dimensionamiento de un biodigestor tubular y el análisis de cada uno de ellos. Se conocerá también la cantidad de sustrato con la que aproximadamente funcionará el biodigestor como también la cantidad de biogás producido de acuerdo a las condiciones de las variables que intervienen en la biodigestión anaeróbica.

### 5.1. Información de campo

Para el dimensionamiento del sistema de biodigestión se necesita conocer varios datos los cuales se recopila mediante la investigación de campo, para lo cual la finca donde se implementará el proyecto está ubicada en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas en la parroquia Valle Hermoso (ver figura 5.1), este sector se encuentra a una altura máxima de 1800 msnm con una temperatura promedio de 25 °C según fuentes Geográficas.



**Figura 5.1.** Ubicación de la finca.

**Fuente:** Google Earth

La cantidad de biomasa que se produce y se puede recolectar en la hacienda de acuerdo a el número de vacas, su peso y el porcentaje estimado de la cantidad de excretas que se genera en el establo durante el tiempo de ordeño, este tiempo es aproximadamente de 4 horas al día, una vaca produce estiércol el 8% de su masa corporal, la cual solo se puede aprovechar el 17% de esa cantidad producida ya que son vacas de pastoreo.

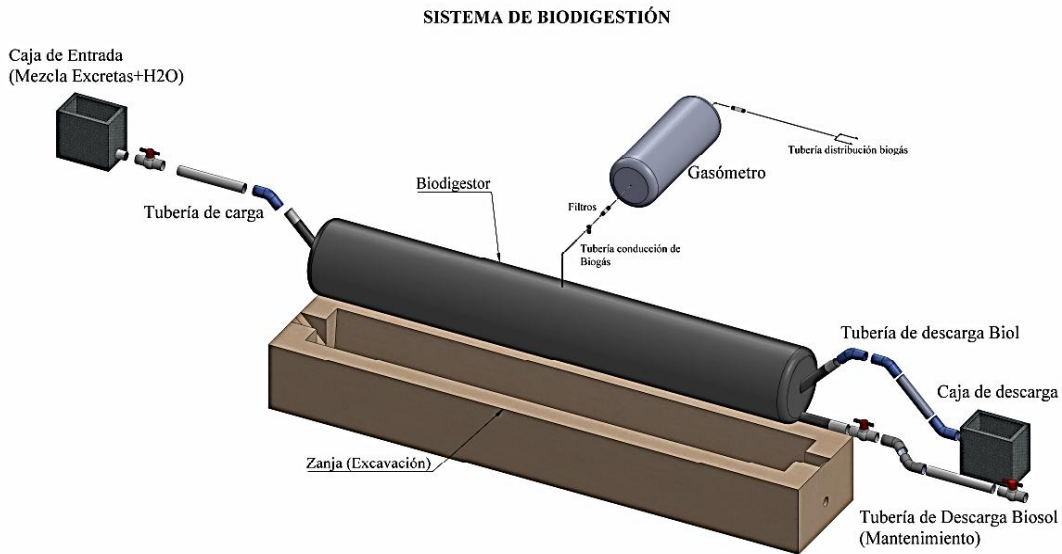
**Tabla 5.1.** Datos para el cálculo del volumen biodigestor.

|   |           |
|---|-----------|
| <b># Animales</b>                             | <b>18</b> |
| <b>Peso promedio Animal (kg)</b>              | 450       |
| <b>Prod. estiércol animal por cada 100 kg</b> | 8%        |
| <b>Horas en el establo</b>                    | 4         |
| <b>% cantidad posible de recolección</b>      | 17        |
| <b>Relación excretas-agua</b>                 | 3         |
| <b>Temperatura °C</b>                         | 30        |

**Fuente:** Autores

## 5.2. Resultados del dimensionamiento del sistema de biodigestión

El proceso del sistema del biodigestor se lo determina mediante tres subsistemas que son: el biodigestor, tanques de carga y descarga y el sistema de conducción de biogás en la figura 5.2 se muestra sus diferentes componentes y equipos. Y en el anexo V se puede ver el sistema en un diagrama de instrumentación y tuberías.



**Figura 5.2.** Sistema de biodigestión.

**Fuente:** Autores.

### 5.2.1. Determinación del volumen del Biodigestor

De acuerdo con la información de la tabla 5.1 se empieza realizando y aplicando las ecuaciones mencionadas en la metodología y se obtiene los resultados proyectados en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2.** Resultados del dimensionamiento del volumen del biodigestor.

| Nº Ecuación | Parámetros calculados   | Unidades             | Resultados   |
|-------------|---|----------------------|--------------|
| 4.1         | Cantidad de biomasa disponible (Q)                                | kg/día               | 108          |
| 4.2         | Cantidad de agua para la mezcla (MH <sub>2</sub> O)               | litros               | 324          |
| 4.3         | Cantidad de carga diaria de biomasa (Q <sub>diaria</sub> )        | litros               | 432          |
| 4.4         | Cálculo del tiempo de retención hidráulica (TRH)                  | días                 | 32,49        |
| 4.5         | Cálculo del volumen Líquido (V <sub>L</sub> )                     | litros               | 16841,19     |
| 4.6         | Cálculo del volumen del gas (V <sub>g</sub> )                     | litros               | 5613,73      |
| 4.7         | <b>Cálculo del volumen total del biodigestor (V<sub>Td</sub>)</b> | <b>m<sup>3</sup></b> | <b>22,45</b> |

**Fuente:** Autores

De la tabla 5.2 se puede concluir que, con una cantidad de 108 kg de excreta generada al día por 18 animales vacunos, con una relación de mezcla de 1:3 y logrando tener una temperatura de 30 °C en el interior del biodigestor se necesitara una bolsa tubular de 22,45 m<sup>3</sup> aproximado a 22 m<sup>3</sup> de volumen total que corresponde el 25% al biogás y el 75% al líquido.



### 5.2.2. Dimensiones del biodigestor

En el mercado la geomembrana se vende por rollos de diferentes medidas, según las que solicite el cliente para obtener el volumen requerido. Aplicando la ecuación 4.9 se determina la longitud necesaria. Se obtiene que la longitud deberá ser de 11 m.

Para comprobar que las medidas obtenidas de la bolsa tubular de geomembrana sean las adecuadas, se debe aplicar la ecuación 4.10 y verificar si se cumple con la relación entre la longitud y diámetro e ingresar al rango de 5 a 10 como la manifiestan varios investigadores acerca del tema, ya que si existe un sobredimensionamiento en la longitud o el diámetro la materia orgánica se acumulara en un solo sitio del biodigestor. En la tabla 5.3 se presenta los resultados obtenidos, por lo que la relación si ingresa en el rango adecuado.

**Tabla 5.3.** Dimensiones del biodigestor.

| N° Ecuación | Parámetro calculado                       | Unidad         | Resultado |
|-------------|---|----------------|-----------|
|             | Ancho de rollo                            | m              | 2,5       |
|             | Diámetro                                  | m              | 1,60      |
| 4.9         | Longitud de rollo requerido (L)           | m              | 11,17     |
| 4.10        | Relación óptima entre longitud y diámetro |                | 6,98      |
|             | <b>Volumen</b>                            | m <sup>3</sup> | 22        |

**Fuente:** Autores

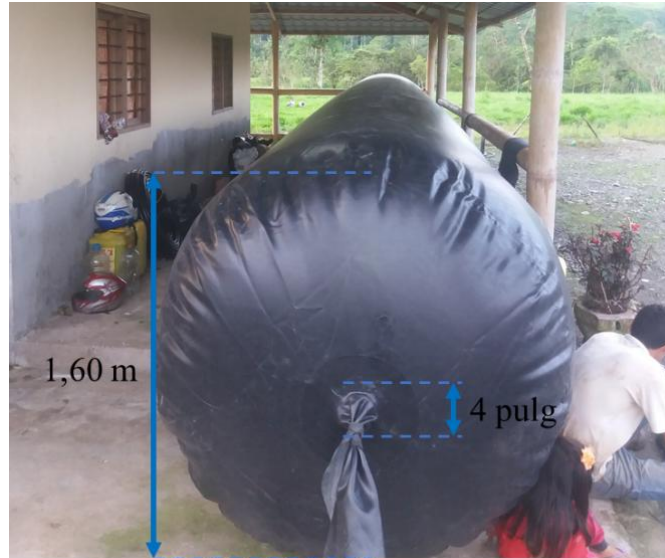
En las figuras 5.3 y 5.4 se aprecia el biodigestor implementado con las dimensiones calculadas.



**Figura 5.3.** Longitud del biodigestor.

**Fuente:** Autores





**Figura 5.4.** Diámetro de biodigestor y mangas.

**Fuente:** Autores.

### 5.2.3. Estimación teórica de producción de biogás

Para estimar la producción de biogás diaria en la metodología se menciona que se debe tomar en cuenta 2 aspectos, estos son la cantidad de sólidos totales y la cantidad de sólidos volátiles.

Para un desecho como las excretas de ganado vacuno el factor general de producción de biogás es 0.27 y se establece que la cantidad de sólidos totales que la componen en la materia fresca es del 17%, mientras que para la masa volátil el valor correspondiente aproximado es del 77%. Con esos datos se aplican las ecuaciones 4.11 y 4.12 para obtener estos porcentajes en  $\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{día}$  y con la ecuación 4.13 obtener la cantidad de biogás diario generado.

**Tabla 5.4.** Resultados de producción de biogás Teórico.

| N° Ecuación | Parámetros calculados | Unidad de medida                        | Resultados |
|-------------|-----------------------|---|------------|
| 4.11        | Sólidos totales       | $\text{kg}/\text{m}^3$                  | 1,09       |
| 4.12        | Sólidos volátiles     | $\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{día}$ | 0,84       |
| 4.13        | Producción de biogás  | $\text{m}^3/\text{día}$                 | 3,82       |

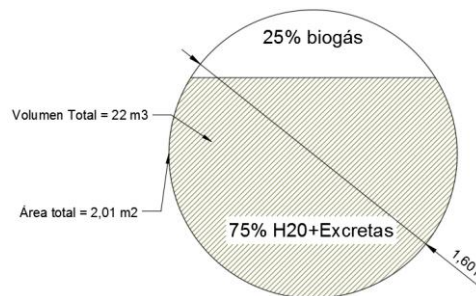
**Fuente:** Autores

El biogás se almacenará diariamente en el gasómetro, esto nos ayudará a cuantificar la cantidad real de biogás generado de acuerdo al tiempo.

#### 5.2.4. Dimensiones de la zanja

La geometría de la zanja va a ser de forma trapezoidal, en la cual la bolsa tubular será insertada en esta zanja tratando de que la bolsa tome la forma trapezoidal, para eso en la metodología se planteó las ecuaciones para su dimensionamiento, por lo que se empieza determinando el ancho superior de la zanja (vértice b). En la figura 5.5 se presenta la figura con los valores ya determinados como el diámetro de la bolsa, la longitud y el volumen total los cuales serán necesarios para dimensionar la zanja.

Para el dimensionamiento de la zanja se trabajará con el área de la bolsa tubular, conociendo que el volumen se obtiene multiplicando el valor del área por la longitud, se conoce que del área total es  $2,01 \text{ m}^2$  se divide en el 25% para gas y 75% para el líquido, por lo que se obtiene que el área del gas será de  $0,50 \text{ m}^2$  y  $1,51 \text{ m}^2$  para el líquido.



**Figura 5.5.** Datos para dimensionamiento de la zanja.

**Fuente:** Autores

Aplicando la ecuación 4.15 se puede determinar la longitud de circunferencia total de la bolsa, la cual da como resultado 5,03 m. Se obtiene los resultados de la tabla 5.5 y se representa los valores en la figura 5.6.

**Tabla 5.5.** Resultados de los cálculos para determinar el ancho superior de la zanja.

| N°<br>Ecuación | Parámetros calculados  | Unidades     | Resultado |
|----------------|--|--------------|-----------|
| 4.14           | Área total (bolsa)   | $\text{m}^2$ | 2,01      |
| 4.15           | Longitud de circunferencia   | m            | 5,03      |
|                | 25% del At (Área del gas)  | $\text{m}^2$ | 0,50      |
| 4.16           | longitud r2  | m            | 0,40      |
| 4.17           | Altura centro de la bolsa hasta el nivel del líquido superior (h2) | m            | 0,40      |

| Ángulos interiores geomembrana |                                  |        |      |
|--------------------------------|----------------------------------|--------|------|
| 4.18                           | $\varphi$ Angulo interior medio  | grados | 60   |
| 4.19                           | $\beta$ Angulo Interior completo | grados | 120  |
| Cálculo del vértice superior b |                                  |        |      |
| 4.20                           | Ancho superior de la zanja       | m      | 1,39 |

Fuente: Autores

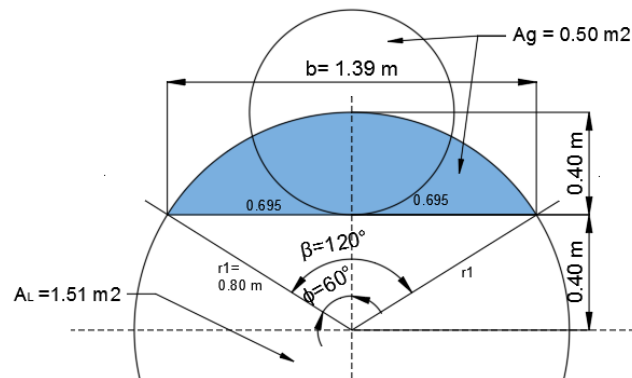


Figura 5.6. Resultados de las variables calculadas.

Fuente: Autores

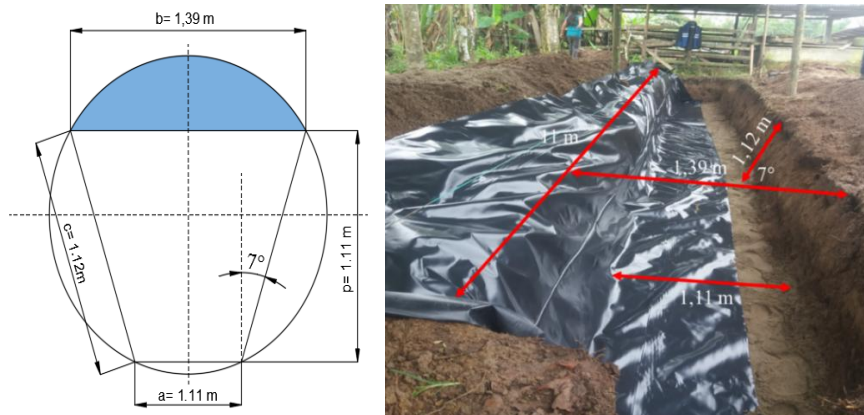
Las ecuaciones para determinar los demás vértices se obtuvieron a partir de la figura 4.1. El orden de las ecuaciones planteadas en la metodología establece que para conocer el valor del vértice (a) primero se debe obtener el valor del vértice (c), para eso se calcula el valor de  $\alpha$  con la ecuación 4.30.

$$\alpha = \sin^{-1} \left( \frac{1,73}{2\pi - 2,094} \right) = 24,39^\circ$$

Este resultado es el ángulo máximo que pueden llegar a tener las paredes del biodigestor o el vértice (c) (ver figura 4.1), ya que si se tiene esa inclinación se dice que el vértice (a) va a ser igual a cero. Por lo tanto, para determinar el valor adecuado del ángulo se debe realizar un cálculo desde el ángulo 0 hasta  $24,39^\circ$  el cual es el máximo y elegir el valor más alto aplicando una relación entre el área de la zanja con el área total de la bolsa tubular. En el anexo IX se aprecia los resultados.

En el anexo se puede notar que el valor más alto de la relación entre el área de la zanja y la bolsa se da con un ángulo de  $7^\circ$ , para lo cual se adoptaran las medidas de los vértices obtenidas en ese ángulo, en el anexo X se presenta un comportamiento de la variación del resultado de la relación con respecto al cambio del ángulo, se puede notar que conforme el ángulo aumenta esta disminuye

existiendo un solo punto el más alto de todos, el cual es el adecuado. Las medidas de la zanja son las presentadas en la figura 5.7.



**Figura 5.7.** Dimensiones de la zanja.

**Fuente:** Autores

### 5.2.5. Tipo de material y forma del biodigestor

El reactor o biodigestor, donde se lleva a cabo la digestión anaeróbica, es el principal elemento del sistema de biogás. En el caso del modelo taiwanés, este reactor prácticamente se puede construir a partir de cualquier material plástico; generalmente con film de polietileno o geomembrana de PVC.



**Figura 5.8.** Biodigestor de geomembrana.

**Fuente:** Autores

Cada uno de los parámetros y dimensionamientos realizados aplicando la memoria de cálculo de la metodología, se presenta en la sección de anexos los planos en detalle de cada elemento.

## 5.3. Dimensionamiento de los componentes del biodigestor

### 5.3.1. Tanque de carga y descarga

El sistema de carga y descarga consiste en dos tanques que se los construirá de hormigón uno para la mezcla que alimentara al biodigestor y el segundo tanque es de descarga en el cual se encargara de recibir el biol (biofertilizante).

### Tanque de carga (alimentación)

El dimensionamiento del tanque de alimentación se lo realiza en base al volumen diario de la mezcla de alimentación del biodigestor, es necesario agregar un 10% más del volumen de la mezcla diaria ya que con esto se evitará derrames de la mezcla, el volumen de la mezcla es de 432 litros y el 10% es de 43,2 litros lo cual nos indica que el volumen del tanque debe de ser de 475,2 litros, para conocer las dimensiones es necesario pasar estos datos a metros cúbicos que nos daría 0,4752 m<sup>3</sup>.

$$V_T = 1 \cdot 1 \cdot 0,60$$

$$V_T = 0,60 \text{ m}^3$$

Se obtiene el volumen de 0,60 m<sup>3</sup> con la longitud y el ancho del tanque de 1 m y la altura de 0,60 m, con estas medidas se procede a el diseño del tanque. El cual se aprecia en la figura 5.9.



**Figura 5.9.** Geometría y forma de tanque de alimentación.

**Fuente:** Autores.

### Tanque de descarga.

El tanque de descarga depende mucho del tanque de carga ya que almacenara el biol producido diariamente, su constitución debe ser de concreto y ladrillos ya que debe almacenar la misma cantidad de carga diaria, por lo tanto las dimensiones serán las mismas que las presentadas en la figura 5.9, en caso de que no sea utilizado el biol todos los días se debe multiplicar el volumen de la carga diaria por el tiempo de retención del biol obteniendo el volumen requerido para el almacenamiento del biol.



### 5.3.2. Tubería de carga y descarga.

Varios autores mencionan que las tuberías de alimentación y descarga debe ser de 100 mm como mínimo, el diámetro de la tubería depende del tipo de materia orgánica con la que se va a trabajar, la tubería debe de ser resistente a la corrosión, lo más recomendable es utilizar material PVC ya que son muy resistentes y no se corroen, en base a estos datos se optó por seleccionar la tubería de PVC de 4 pulgadas, esta tubería no estará sometida a ningún tipo de presiones que ejerza el biodigestor.

### 5.3.3. Conducción y filtrado del biogás.

El proceso de biodigestión necesita de varios componentes para su funcionamiento, así como para mejorar la calidad de los productos que nos brindara, entre sus componentes se determinara las dimensiones de las tuberías a utilizar tanto para la conducción de biogás, en esta se instala el filtro, la válvula de alivio de presión y el gasómetro.



**Figura 5.10.** Sistema de conducción y filtrado de biogás.

**Fuente:** Autores.

Entre sus componentes se puede mencionar los siguientes:

- 1) Tubería de conducción de biogás.
- 2) Válvula de alivio de presión.
- 3) Filtro de ácido sulfhídrico.
- 4) Gasómetro.

### 5.3.4. Tubería de conducción de biogás.

La tubería de conducción de biogás se la determino teniendo en cuenta que el sistema de biodigestión deberá trabajar a baja presión, con una presión no mayor a los 100 mbar, para ello se

seleccionó la tubería de PVC ya que es bastante resistente a la corrosión, se puede utilizar tubería galvanizada pero es de mucho mayor costa por el mismo modo que se optó por la tubería de PVC de 3/4 pulgada en base a una tabla de valoración, se la debe seleccionar tomando en cuenta el caudal de consumo la longitud por cada tramo y el diámetro de la tubería véase el anexo XI.

### **Válvula de seguridad y control de presión.**

La válvula de seguridad nos permite controlar la presión del biogás, este elemento permite proteger al biodigestor de una sobrepresión, para poder instalar una válvula de presión es necesario conocer la presión que puede soportar el biodigestor, para interviene la altura, la densidad del agua y la gravedad, estos datos permitirán el diseño de la válvula, también se toma en cuenta las presiones que puede soportar el biodigestor, de acuerdo con la cotización realizada la cual se muestra en el anexo XII.



**Figura 5.11.** Válvula de seguridad.

**Fuente:** Autores.

Es necesario recalcar que la presión del biogás depende mucho de las necesidades de los diferentes equipos de consumo de este producto.

### **Filtro de ácido sulfhídrico.**

El filtro de ácido sulfhídrico nos permite remover la mayor cantidad de sulfuro que existe en el biogás, sabiendo que el ganado vacuno produce 0,3% por cada metro cubico de biogás, conociendo que la producción de biogás es de 3,82 m<sup>3</sup> se deberá remover la cantidad de 0,54 m<sup>3</sup> de sulfuro, conociendo la densidad de biogás que es de 1,45 kg/m<sup>3</sup> se aplica la ecuación 4.37 y se obtiene que



la cantidad de remoción es de 3 kg 6 meses, siendo necesario 5 kg de aluminio. El filtro de remoción se lo diseño de PVC como se lo muestra en la figura 5.12.



**Figura 5.12.** Filtro de ácido sulfhídrico.

**Fuente:** Autores.

### Gasómetro

En la figura 5.13 se muestra el gasómetro instalado. El biogás que se va produciendo será conducido por las tuberías hasta el depósito, este se lo realizo con el mismo material del biodigestor por lo que tiene las mismas características técnicas, y va ubicado cerca al lugar de consumo de biogás, las dimensiones de este gasómetro son elegidas de acuerdo al tiempo en el que se va a realizar la combustión al biogás. Este gasómetro se lo dimensiono teóricamente para un tiempo de retención máximo de 3 días, ya que el costo del material es elevado.



**Figura 5.13.** Gasómetro.

**Fuente:** Autores.

### 5.4. Análisis de las condiciones de trabajo del biodigestor

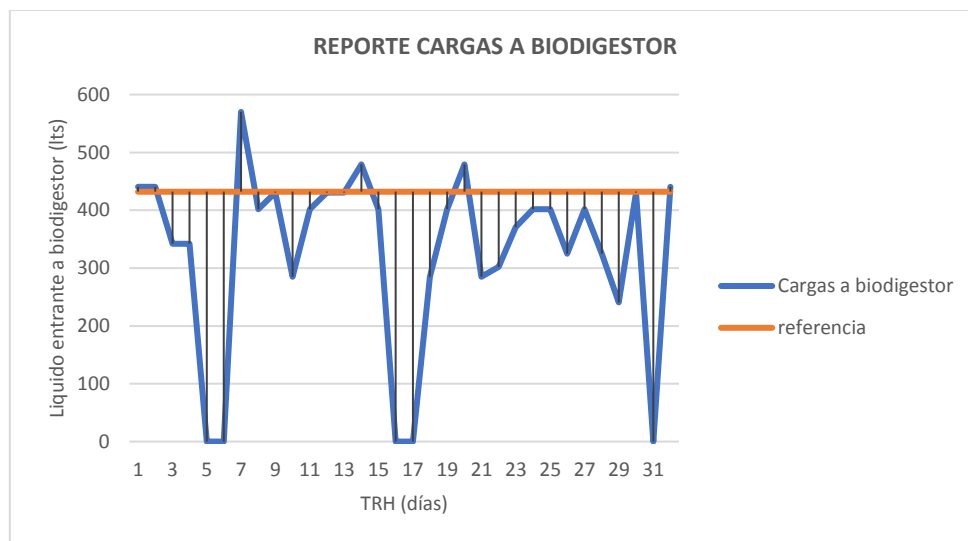
El biodigestor debe trabajar bajo ciertas condiciones las cuales nosotros debemos conocer y controlar. Primeramente, se realizó un registro de las cargas realizadas al biodigestor, se diseñó un sistema electrónico para el monitoreo de temperatura y pH dentro del biodigestor, para medir la

presión generada por el biogás se diseñó un manómetro de columna de agua debido a las presiones bajas que este genera y la cuantificación de biogás se llevó a cabo de acuerdo al estado del gasómetro.

#### 5.4.1. Cargas realizadas al biodigestor

Para que el trabajador de la finca realice el llenado (actividad realizada manualmente) se cuantifico la cantidad de excretas y agua utilizando un balde de 20 litros teniendo un peso en vacío de aproximadamente 2 kg, llenándolo completamente de excretas se obtuvo un peso de 19 kg, por lo que el peso total de excretas por balde fue de 17 kg. Con este dato se obtiene que para satisfacer la carga diaria se debe mezclar 6,5 baldes de excretas con 16 baldes y medio de agua (relación de 1:3).

Para conocer las cargas realizadas se llevó a cabo un control de registro, el cual se presenta en el anexo XIV, con esto se puede ver que las cargas realizadas no fueron como debía hacerse, ya que las actividades del trabajador no le permitieron hacer las cargas, intentando compensar con cargas más elevadas de la normal. En la figura 5.14 se aprecia un comportamiento de las cargas realizadas en el tiempo de retención estimado.



**Figura 5.14.** Primeras cargas de sustrato a biodigestor

**Fuente:** Autores

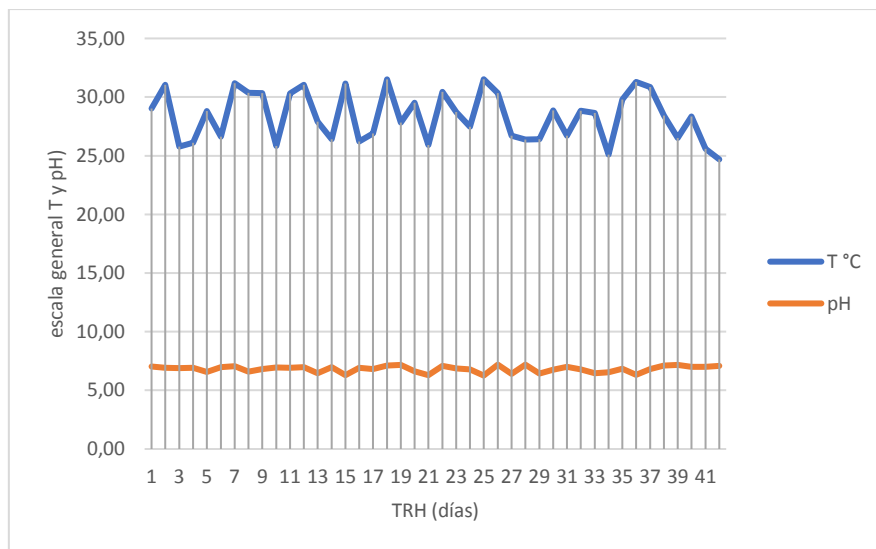
La carga al biodigestor debía haber sido el valor enunciado en la tabla 5.6 el 100% el valor adecuado de cantidad de carga en el TRH, pero por las cargas no constantes y no haber respetado el valor normal de carga diaria se obtiene que en los 32 días el biodigestor ha alcanzado el 81% de su capacidad.

**Tabla 5.6.** Comparación de carga real de sustrato

|   |                      |         |      |
|---|----------------------|---------|------|
| 1 | Carga total esperada | 13824   | 100% |
| 2 | Carga total real     | 11217,5 | 81%  |

#### 5.4.2. Análisis de Monitoreo de temperatura y pH

El monitoreo de estas variables es de gran importancia, por lo que se debe conocer el comportamiento de las mismas para conocer bajo qué condiciones trabaja el biodigestor y si se encuentra estabilizado o no. Para esto se diseñó un circuito eléctrico que permita la medición de estas variables y guardarlas diariamente en una memoria SD, se utilizó los sensores y controlador mencionados en la metodología, en el anexo XV se presenta la programación realizada para el controlador. Esta caja de monitoreo se instaló luego de haberse realizado varias cargas al biodigestor, por lo que los resultados del tiempo de monitoreo se presentan en el anexo XVI. En él se puede ver una variación constante de la temperatura y el pH pero esto no afecta al proceso de biodigestión se encuentra en los rangos normales de trabajo, observar la figura 5.15.



**Figura 5.15.** Resultados de monitoreo de temperatura y pH.

**Fuente:** Autores

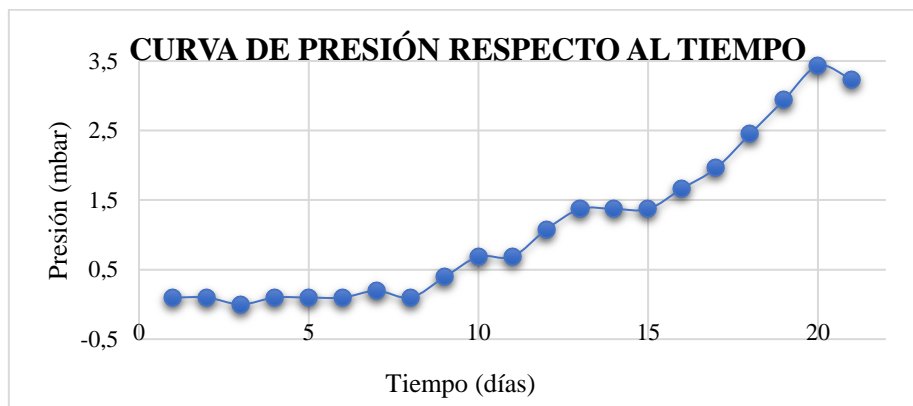
De acuerdo al gráfico y los datos se obtiene que la temperatura promedio de trabajo del biodigestor es de 28,37 °C y un valor de pH de 6,82.

#### 5.4.3. Análisis de presión del biodigestor

La toma de datos de presión en el sistema de biodigestión es muy importante ya que nos permite conocer las presiones con las que está trabajando nuestro biodigestor respecto al tiempo de retención, además nos permite regular la presión con ayuda de la válvula de alivio ya al momento

de superar los 10 mbar entraría en funcionamiento la válvula manteniendo una presión que no supere los 10 mbar.

Se tomó datos de presión mediante un manómetro de columna de agua durante un periodo de 21 días, se pudo observar que nuestro sistema está trabajando con presiones menores de 3,5 mbar, para conocer la presión por milímetro de columna de agua, se realizó una tabla de presiones que se muestran en el anexo XVII, esto se debe a que su producción está en sus primeros días es decir aún no se encuentra estabilizado el sistema, observar la figura 5.16.



**Figura 5.16.** Resultados de monitoreo de presión respecto al tiempo.

**Fuente:** Autores

#### 5.4.4. Análisis de producción de biogás

La producción de biogás se denoto luego de haber transcurrido los 32 días de retención desde la primera carga que se realizó en el biodigestor, para poder determinar la producción de biogás se la cuantifico mediante el gasómetro, conociendo el peso del gasómetro que es de 5 kg y un volumen de  $0,75 \text{ m}^3$  se puede cuantificar el volumen de biogás producido diariamente mediante la fórmula de la densidad sabiendo que la densidad del biogás es de  $1,36 \text{ kg/m}^3$ .

Para realizar la cuantificación se tomó el peso del gasómetro siendo este de 5,6 kg, dándonos un peso neto de biogás de 0,6 kg, de este modo se determinó que el volumen del biogás almacenado después de instalar el gasómetro y de haber culminado su primera etapa de retención, fue de  $0,44 \text{ m}^3$  en un día, esto debido a que el sistema se encuentra en su etapa inicial de producción de biogás en el anexo XVIII se muestra la combustión directa.

#### Composición química del biogás

La composición química del biogás se la realiza con el objetivo de compararla con la composición de gases comunes y convencionales. Este análisis se la opta adoptando las composiciones bibliográficamente, obteniendo la tabla 5.7.

**Tabla 5.7.** Composición de biogás

| Componentes      | Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) | Relación de densidad con el aire | Temperatura de encendido (°C) | Contenido de oxígeno para la explosión (% vol.) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---|
| CH <sub>4</sub>  | 0,72                          | 0,55                             | 600                           | 4,4 – 16,5                                      |
| CO <sub>2</sub>  | 1,85                          | 1,53                             | -                             | -   |
| H <sub>2</sub> S | 1,44                          | 1,19                             | 270                           | 4,3 – 45,5                                      |
| CO               | 1,57                          | 0,97                             | 605                           | 10,9 – 75,6                                     |
| H <sub>2</sub>   | 0,084                         | 0,07                             | 585                           | 4 – 77  |

Fuente: [35]

Según la manifestación del autor el poder calorífico del biogás depende del contenido de metano, siendo los valores promedios de 4700 a 5500 kcal/m<sup>3</sup> (6,4 kWh/m<sup>3</sup>). De acuerdo a este valor se obtiene que la cantidad de calor es de 21837,7 BTU/m<sup>3</sup>.

En la tabla 5.8 se puede ver la diferencia del poder calorífico del biogás en comparación con otros tipos de gases.

**Tabla 5.8.** Características de diferentes gases en comparación del biogás

| Tipos de gas | Poder calorífico (kWh/m <sup>3</sup> ) | Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) | Relación de densidad con el aire | Temperatura de ignición (°C) | Contenido de oxígeno para la explosión (% vol.) |
|--------------|--|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------|---|
| Biogás       | 6                                      | 1,2                           | 0,9                              | 700                          | 6 – 12  |
| Gas natural  | 10                                     | 0,7                           | 0,54                             | 650                          | 4,4 – 15  |
| Propano      | 26                                     | 2,01                          | 1,51                             | 470                          | 1,7 – 10,9                                      |
| Hidrógeno    | 3                                      | 0,09                          | 0,07                             | 585                          | 4 – 7   |

Fuente: [35]

Como se puede ver en la tabla 5.8 el poder calorífico del biogás es menor que los gases convencionales, por lo que la aplicación del biogás como intercambiador de calor por medio de la combustión directa necesitara de mayor tiempo.

### Análisis experimental de la combustión del biogás

Para analizar lo mencionado se realiza un análisis experimental hirviendo un litro de agua utilizando biogás y posteriormente gas GLP. El análisis se lo realiza hasta que el agua llegue a su temperatura máxima, es decir el tiempo que toma hasta que el agua llegue a su punto de ebullición. En la tabla 5.9 se presenta los valores de temperatura y el tiempo que conllevó a que el agua hierva totalmente.

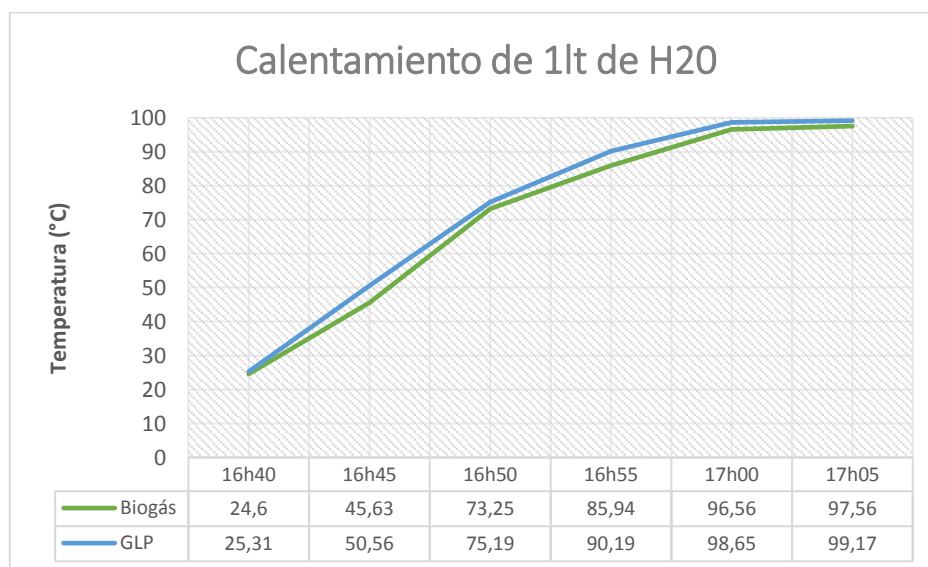
Los datos de la tabla 5.9 reflejaron que hervir un litro de agua tanto con el biogás como con el GLP lleva alrededor de 30 minutos, esto se realizó sin tapar la olla. La diferencia en el experimento fue que si se utiliza biogás para la cocción se debe ejercer presión constante en el gasómetro para que la llama se mantenga encendida, ya que a presión del sistema la llama se apaga a los 10 minutos de haberse encendido el quemador de la cocina, en el anexo XIX se calcula la presión requerida de acuerdo a la fuerza ejercida en el gasómetro, esto nos da como resultado que para la combustión directa del biogás se debe ejercer una fuerza de 294,30 N logrando tener una presión de 1635 Pa o 16,35 mbar a la salida.

**Tabla 5.9.** Tiempo y temperatura hirviendo agua-biogás vs GLP

| Biogás |       | Gas GLP |       |
|--------|-------|---------|-------|
| Tiempo | T °C  | Tiempo  | T °C  |
| 16h40  | 24,6  | 20h25   | 25,31 |
| 16h45  | 45,63 | 20h30   | 50,56 |
| 16h50  | 73,25 | 20h35   | 75,19 |
| 16h55  | 85,94 | 20h40   | 90,19 |
| 17h00  | 96,56 | 20h45   | 98,65 |
| 17h05  | 97,56 | 20h50   | 99,17 |

**Fuente:** Autores

En la figura 5.17 se aprecia la diferencia de temperatura del biogás con respecto al GLP, se puede ver que la diferencia no es tan grande si se logra tener una presión cercana a la del gas GLP utilizando una cocina normal.



**Figura 5.17.** Comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo del biogás y GLP

## 6. Presupuesto y Análisis de impactos

En la implementación de un biodigestor se considera varios aspectos como, la construcción, costos por mantención del biodigestor, gastos en mantenimiento, egresos o ahorros económicos por la producción de biogás y biol.

### 6.1. Presupuesto

La implementación de un biodigestor conlleva en la adquisición de diferentes equipos y materiales que deberán ser instalados para el correcto funcionamiento del biodigestor, en el anexo XX se puede observar todos los gastos a realizar en la adquisición de los materiales directos e indirectos y demás gastos. De manera general los gastos en la implementación se aprecian en la tabla 6.1.

**Tabla 6.1.** Presupuesto de implementación del biodigestor.

| Detalle           | Costo              |
|-------------------|--------------------|
| Costos directos   | \$ 1.371,87        |
| Costos indirectos | \$ 146,82          |
| Mano de obra      | \$ 518,40          |
| Imprevistos       | \$ 100,00          |
| <b>Total</b>      | <b>\$ 2.137,09</b> |

### 6.2. Análisis de impactos

El proyecto tendrá tres tipos de impactos principales, económico, ambiental y social.

#### 6.2.1. Impacto económico

En la implementación de un biodigestor se considera varios aspectos como, la construcción, costos por mantención del biodigestor, gastos en mantenimiento, egresos o ahorros económicos por la producción de biogás y biol, y el análisis de costo y beneficio. Para conocer el impacto económico se aplica los métodos de cálculo de VAN y TIR que se presentan en la tabla 6.2. Estos resultados se obtuvieron realizando la comparación de los productos de biogás con el gas GLP y biol con los fertilizantes químicos. Para esto se proyectó un tiempo de 5 años con una tasa de inflación del 8% para los flujos de caja y un interés del 10% para el cálculo del VAN. El procedimiento para la obtención de estos resultados se detalla a partir del anexo XI.

**Tabla 6.2.** Factibilidad económica de implementación del biodigestor.

| Año       | 0           | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         |
|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Inversión | \$ 2.137,09 |           |           |           |           |           |
| Ingresos  | 0           | \$ 579,13 | \$ 625,46 | \$ 675,50 | \$ 729,54 | \$ 787,90 |



|                 |               |           |           |           |           |             |
|-----------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| Costo operación | 0             | \$ 243,12 | \$ 243,12 | \$ 243,12 | \$ 243,12 | \$ 243,12   |
| Utilidad        | \$ (2.137,09) | \$ 822,25 | \$ 868,58 | \$ 918,62 | \$ 972,66 | \$ 1.031,02 |
|                 |               |           |           |           | VAN       | \$ 1.322,94 |
|                 |               |           |           |           | TIR       | 31%         |

### 6.2.2. Impacto ambiental

La implementación de un biodigestor nace de la necesidad de reducir la contaminación ambiental que producen las excretas de ganado vacuno tales como malos olores, contaminación a ríos y quebradas, este equipo nos permite cumplir con las normativas ambientales vigentes mencionadas en el marco teórico y resumidas en el anexo I, la sustitución de abonos químicos por biofertilizante (biol) producido por el biodigestor para el uso en los terrenos de pastoreo del ganado vacuno. El sistema de biodigestión está en el auge del crecimiento como fuentes de energía alternativas y renovables amigables con el medio ambiente.

### 6.2.3. Impacto social

Los productores podrán percibir los beneficios energéticos, ambientales y económicos de convertir al manejo de los desechos en una oportunidad de negocio auto-sostenible al obtener recursos como biocombustible, compostaje, biogás. Así como transferencia de tecnología y conocimiento. El objetivo de la transferencia de tecnología es que se desarrollen proyectos a través de organizaciones de pequeños productores en todo el país que incluyan capacitaciones y proyectos demostrativos.

Todas las industrias lecheras necesitan de diferentes recursos para obtener un producto final de calidad y así exista una estabilidad económica que brinde sostenibilidad para la industria, entre los más básicos son: la energía eléctrica, gas GLP y fertilizantes. La implementación de un biodigestor produce los tres tipos de recursos básicos que una industria productora de leche necesita, es decir satisfacer un porcentaje considerable en el consumo de esos recursos minimizando los egresos económicos hacia los proveedores de dichos recursos.

## 7. Conclusiones y recomendaciones

### 7.1. Conclusiones

- ❖ Mediante la investigación de campo y teórica se determinó que el biodigestor tubular es el más adecuado para las zonas rurales porque su tipo de material nos facilita su instalación y su mantenimiento, nos permite manejar presiones constantes y es fácil de reparar.

- ❖ Las indagaciones en las fuentes bibliográficas nos permitieron determinar que el biodigestor tubular es el ideal para realizar el proceso de biodigestión y obtener una buena producción de biogás en base a las cargas diarias en el biodigestor.
- ❖ El dimensionamiento del biodigestor se lo debe de realizar tomando en cuenta los parámetros ambientales y las características de la biomasa a utilizar ya que de estos parámetros depende su correcto funcionamiento.
- ❖ El sistema electrónico nos permitió conocer los diferentes parámetros de trabajo del biodigestor como la temperatura, pH, y así mantener o mejorar las condiciones de trabajo requerido para el proceso de biodigestión anaeróbica.

## 7.2. Recomendaciones

- ❖ Se debe diseñar los sistemas de biodigestión de acuerdo con los parámetros de ambiente y composición de la biomasa, teniendo en cuenta las necesidades del lugar.
- ❖ Es necesario construir una cerca perimetral para evitar que animales y personal no autorizado ingrese a manipular el sistema, así como un techo para evitar daños por ramas de árboles.
- ❖ Es de vital importancia mantener la válvula de alivio con suficiente agua para su correcto funcionamiento, no se debe colocar ninguna llave de paso antes de este equipo.
- ❖ Verificar constantemente que no existan fugas de biogás en todo el sistema de biodigestión, se debe verificar que la tubería de biogás no se llene de agua en lugares donde existen valles.
- ❖ Cambiar las virutas hierro que se encuentran dentro del filtro de ácido sulfhídrico, así evitar malos olores, enfermedades y daños a los equipos.

## 8. Referencias

- [1 L. Redel, «Blogspot BioDigestor,» 05 Junio 2014. [En línea]. Available: ] <https://infodigestor.blogspot.com/2014/06/historia-de-los-biodigestores.html>.
- [2 M. d. A. d. E. MAE, Introducción de Biodigestores en Sistemas Agropecuarios en el Ecuador, ] Ecuador-Quito: Axionar Consulting Group C.L., 2015.
- [3 J. Herrero, Desarrollo, difusión e implementación de tecnologías apropiadas en el área rural., ] Bolivia- La Paz: EnDev-Bolivia GIZ y CIMNE, 2013.
- [4 O. Cayturo, «Civilgeeks,» 24 Mayo 2015. [En línea]. Available: ] <https://civilgeeks.com/2015/05/27/los-biodigestores-importancia-y-beneficios/>. [Último acceso: 24 Noviembre 2018].
- [5 M. Varnero, Manual de biogás, Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32, 2011. ]
- [6 S. Pizarro, Educación- Técnico Profesional- Biodigestor, Buenos Aires: Gráfica Pinter S. A.,

] 2011.

[7 J. M. Herrero, Biodigestores familiares, guía de instalación, La Paz-Bolivia: Proyecto EnDev  
] Bolivia - Acceso a Energía., 2008.

[8 Cinico, «Blogger,» 01 Abril 2012. [En línea]. Available:  
] <http://biodigestoresdeflujo.blogspot.com/>. [Último acceso: 25 Noviembre 201].

[9 D. Deublein y A. Steinhauser, Biogas from Waste and Renewable Resources, Alemania: Federal  
] Republic of Germany, 2008.

[1 D. Deublein y A. Steinhauser, Biogas from Waste and Renewable Resources, Alemania: Federal  
0] Republic of Germany, 2008.

[1 M. Varnero, Manual de Biogas, Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32, 2011.

1]

[1 P. Jørgensen y PlanEnergi, Biogas-Green energy, Dinamarca- Aarhus: Digisource Danmark A/S,  
2] 2009.

[1 P. Arroyo, «Química y algo más,» 20 Mayo 2011. [En línea]. Available:  
3] <https://quimicayalgomas.com/quimica-general/acidos-y-bases-ph-2/>. [Último acceso: 18  
Noviembre 2018].

[1 G. Moncayo, *Manual de dimensionamiento y diseño de biodigestores industriales para clima  
4] tropical*, vol. I, Alemania: Maike Moncayo Hilmer, 2017.

[1 Bun-ca, Manual sobre la energía renovable-Biomasa, San Jose-Costa Rica, 2002.

5]

[1 L. Apples, J. Lauwers, J. Degreve, L. Helsen, B. Lievens, K. Willems, J. V. Impe y R. Dewil,  
6] *Digestión anaeróbica en la producción global de bioenergía: desafíos potenciales y de  
investigación*, Elsevier, 2011.

[1 (. F. d. A. A. y. P. a. C. BMELV, Guía sobre el Biogás Desde la producción hasta el uso,  
7] Alemania-Gülzow: FNR, Abt. Öffentlichkeitsarbeit, 2010.

[1 B. Francisco y C. Oporto, La biomasa como fuente de energía sustentable, Chile:  
8] InnovaChileCORFO, 2010.

[1 FORCER, Manual sobre energía renovable, Coasta Rica: BUN-CA, 2002.

9]

[2 M. Balbuena, «Pisismo Inmobiliaria,» 31 julio 2015. [En línea]. Available:  
0] <https://www.pisismoinmobiliaria.com/biomasa-ventajas-e-inconvenientes/>. [Último acceso: 19  
Noviembre 2018].

[2 V. Tapia, Manual Técnico instalación y uso de biogás, Perú: CARE PERÚ, 2016.

1]

[2 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Guía sobre el biogás desde la producción  
2] hasta el uso, Alemania: FNR, Abt. Öffentlichkeitsarbeit, 2010.

[2 sistema biobolsa, manual de biol, Mexico: sistema biobolsa, 2010.

3]

[2 M. Ávila, Descripción y análisis de alternativas tecnológicas para la producción de biogás, vol. I,  
4] Valdivia-Los Rios: Imprenta América de Osorno, 2016.

[2 (. d. p. m. e. UPME, «Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de  
5] energías alternativas y difusión,» Marzo 2003. [En línea]. Available:  
[http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias\\_alternativas/normalizacion/  
GUIA\\_PARA\\_LA\\_IMPLEMENTACION\\_DE\\_SISTEMAS\\_DE\\_PRODUCION\\_DE\\_BIO.pdf](http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/GUIA_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_SISTEMAS_DE_PRODUCION_DE_BIO.pdf).

[Último acceso: 10 Junio 2018].

- [2 Y. Olaya y L. Gonzales, «bdigital,» Julio 2009. [En línea]. Available: 6] <http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>. [Último acceso: Junio 2018].
- [2 (. d. a. d. E. MAE, Introducción de Biodigestores en Sistemas Agropecuarios en el Ecuador, 7] Ecuador-Quito: Axionar Consulting Group C.L., 2015.
- [2 M. Herrero y J. Cipriano, «Design methodology for low cost tubular,» Barcelona-España, 8] Elsevier Ltd, 2012.
- [2 INEN, INT INEN 2 493:2009, Quito: Republica del Ecuador, 2009. 9]
- [3 W. Palacios, «Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del 0] estiercol de ganado,» Universidad de Piura, Piura, 2016.
- [3 D. Cervantes, «Science and technology,» 10 Marzo 2017. [En línea]. Available: 1] <https://scidle.com/es/como-usar-un-sensor-de-ph-con-arduino/>. [Último acceso: 21 Enero 2019].
- [3 Amazon, «Amazon,» [En línea]. Available: [https://www.amazon.es/electrodo-Conector-2\] controlador-Acuario-hidrop%C3%B3nico/dp/B01JE3BHE6](https://www.amazon.es/electrodo-Conector-2] controlador-Acuario-hidrop%C3%B3nico/dp/B01JE3BHE6).
- [3 J. Pomares, Manual de Arduino, Alicante-España, 2009. 3]
- [3 V. A. & S. M. G. Aranda, «COLUMNA DE LÍQUIDO, MANÓMETRO PRIMARIO EN 4] LABORATORIOS 'SECUNDARIOS',» Laboratorio de Metrología, Mexico-Jalisco.
- [3 J. Scheirs, Una guía para las geomembranas poliméricas, 2009. 5]
- [3 J. Guardado, Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas, Cuba: cubasolar, 2007. 6]

# **ANEXOS**

| Anexo I   | Normas que respaldan la implementación de un biodigestor | 1-1 |
|---|--|-----|
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p>Requisitos para sistemas de distribución de gases combustibles por medio de ductos.</p> <p>Requisitos que deben cumplir el gas natural para el consumo final de los sectores industrial, automotriz, residencial y comercial</p> <p>Establece los requisitos técnicos y las medidas de seguridad mínimas que deben cumplirse al diseñar y operar las instalaciones receptoras de gases combustibles para uso residencial. Instrumentos de control y medición.</p> </div> <div style="width: 40%; text-align: center;"> </div> <div style="width: 30%;"> <p>Art 30. Conservar la biodiversidad, Establecer y ejecutar las normas de bioseguridad, la restauración de la biodiversidad.</p> <p>Art 164. Prevención, control, seguimiento y reparación integral.</p> <p>Artículo 225. Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos.</p> <p>Art 226. Principio de jerarquización de los desechos.</p> <p>Art 238. Responsabilidades del generador.</p> <p>Art 243. El cumplimiento de la norma ambiental y la producción más limpia serán reconocidos</p> <p>Artículo 245. Obligaciones generales para la producción más limpia y el consumo sustentable.</p> <p>Color de identificación de tubería<br/>Identificación de la dirección del flujo.</p> <p>Símbolos gráficos. Colores de seguridad y señales de seguridad<br/>Diseño para señales de seguridad</p> <p>Art 29. Toda actividad que representen riesgos de incendio; deben contar con extintores de incendio del tipo adecuado a los materiales usados y a la clase de riesgo.</p> <p>Art 31. Se colocará extintores de incendios de acuerdo a la distancia normalizada de la ubicación del extintor.</p> </div> </div> |  |     |

| Anexo II  | Características del biodigestor tipo Taiwán                                      | 2-1 |                 |                                       |           |            |                |   |                          |                 |                           |  |                                      |               |              |               |       |       |                 |   |                      |                       |             |          |
|---|--|-----|-----------------|---------------------------------------|-----------|------------|----------------|---|--------------------------|-----------------|---------------------------|--|--------------------------------------|---------------|--------------|---------------|-------|-------|-----------------|---|----------------------|-----------------------|-------------|----------|
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Características</th> <th>Biodigestor tubular (Geomembrana PVC)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vida útil</td> <td>10-15 años</td> </tr> <tr> <td>Presión biogás</td> <td>Variable y baja, es necesario aumentar la presión con sobrepeso</td> </tr> <tr> <td>Material de construcción</td> <td>Geomembrana PVC</td> </tr> <tr> <td>Mantenimiento del sistema</td> <td>Cerco perimetral y techo, válvula para evacuar sólidos en la base de biodigestor</td> </tr> <tr> <td>Ubicación y requerimiento de espacio</td> <td>Semienterrado</td> </tr> <tr> <td>Reparaciones</td> <td>Fácil parchar</td> </tr> <tr> <td>Costo</td> <td>Medio</td> </tr> <tr> <td>Tipo de residuo</td> <td>Aguas residuales de producción y letrinas</td> </tr> <tr> <td>Reservorio de biogás</td> <td>Geomembrana de biogás</td> </tr> <tr> <td>Reubicación</td> <td>Factible</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><b>Fuente:</b> [27]</p> |  |     | Características | Biodigestor tubular (Geomembrana PVC) | Vida útil | 10-15 años | Presión biogás | Variable y baja, es necesario aumentar la presión con sobrepeso | Material de construcción | Geomembrana PVC | Mantenimiento del sistema | Cerco perimetral y techo, válvula para evacuar sólidos en la base de biodigestor | Ubicación y requerimiento de espacio | Semienterrado | Reparaciones | Fácil parchar | Costo | Medio | Tipo de residuo | Aguas residuales de producción y letrinas | Reservorio de biogás | Geomembrana de biogás | Reubicación | Factible |
| Características   | Biodigestor tubular (Geomembrana PVC)  |     |                 |                                       |           |            |                |   |                          |                 |                           |  |                                      |               |              |               |       |       |                 |   |                      |                       |             |          |
| Vida útil   | 10-15 años   |     |                 |                                       |           |            |                |   |                          |                 |                           |  |                                      |               |              |               |       |       |                 |   |                      |                       |             |          |
| Presión biogás  | Variable y baja, es necesario aumentar la presión con sobrepeso                  |     |                 |                                       |           |            |                |   |                          |                 |                           |  |                                      |               |              |               |       |       |                 |   |                      |                       |             |          |
| Material de construcción  | Geomembrana PVC  |     |                 |                                       |           |            |                |   |                          |                 |                           |  |                                      |               |              |               |       |       |                 |   |                      |                       |             |          |
| Mantenimiento del sistema   | Cerco perimetral y techo, válvula para evacuar sólidos en la base de biodigestor |     |                 |                                       |           |            |                |   |                          |                 |                           |  |                                      |               |              |               |       |       |                 |   |                      |                       |             |          |
| Ubicación y requerimiento de espacio  | Semienterrado  |     |                 |                                       |           |            |                |   |                          |                 |                           |  |                                      |               |              |               |       |       |                 |   |                      |                       |             |          |
| Reparaciones  | Fácil parchar  |     |                 |                                       |           |            |                |   |                          |                 |                           |  |                                      |               |              |               |       |       |                 |   |                      |                       |             |          |
| Costo   | Medio  |     |                 |                                       |           |            |                |   |                          |                 |                           |  |                                      |               |              |               |       |       |                 |   |                      |                       |             |          |
| Tipo de residuo   | Aguas residuales de producción y letrinas  |     |                 |                                       |           |            |                |   |                          |                 |                           |  |                                      |               |              |               |       |       |                 |   |                      |                       |             |          |
| Reservorio de biogás  | Geomembrana de biogás  |     |                 |                                       |           |            |                |   |                          |                 |                           |  |                                      |               |              |               |       |       |                 |   |                      |                       |             |          |
| Reubicación   | Factible   |     |                 |                                       |           |            |                |   |                          |                 |                           |  |                                      |               |              |               |       |       |                 |   |                      |                       |             |          |

| Anexo III  | Ventajas y desventajas de los tipos de geomembrana   | 3-1   |             |          |             |      |   |   |       |  |   |     |  |   |
|--|--|---|-------------|----------|-------------|------|---|---|-------|--|---|-----|--|---|
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Geomembrana</th> <th>Ventajas</th> <th>Desventajas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HDPE</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Buena resistencia a químicos.</li> <li>➤ Resistente a la radiación UV.</li> <li>➤ Relativamente barata.</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Son duras y no flexibles.</li> <li>➤ Tienen poca resistencia a perforaciones y pobres propiedades multiaxiales.</li> <li>➤ Tienen poca elongación elástica.</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>LLDPE</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mejor flexibilidad que el HDPE.</li> <li>➤ Buenas propiedades de tensión multiaxial.</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Menor resistencia UV que el HDPE.</li> <li>➤ Menor resistencia química que el HDPE.</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>PVC</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Son flexibles y fáciles de manejar.</li> <li>➤ Se ajustan fácilmente a los sitios y son difíciles de perforar.</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pobre resistencia a los rayos UV y el ozono, a menos que sea especialmente formulada (más cara).</li> <li>➤ Pobre resistencia a la intemperie.</li> <li>➤ Disminuyen su rendimiento en temperaturas bajas y elevadas.</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><b>Fuente:</b> [35]</p> |  |   | Geomembrana | Ventajas | Desventajas | HDPE | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Buena resistencia a químicos.</li> <li>➤ Resistente a la radiación UV.</li> <li>➤ Relativamente barata.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Son duras y no flexibles.</li> <li>➤ Tienen poca resistencia a perforaciones y pobres propiedades multiaxiales.</li> <li>➤ Tienen poca elongación elástica.</li> </ul> | LLDPE | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mejor flexibilidad que el HDPE.</li> <li>➤ Buenas propiedades de tensión multiaxial.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Menor resistencia UV que el HDPE.</li> <li>➤ Menor resistencia química que el HDPE.</li> </ul> | PVC | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Son flexibles y fáciles de manejar.</li> <li>➤ Se ajustan fácilmente a los sitios y son difíciles de perforar.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pobre resistencia a los rayos UV y el ozono, a menos que sea especialmente formulada (más cara).</li> <li>➤ Pobre resistencia a la intemperie.</li> <li>➤ Disminuyen su rendimiento en temperaturas bajas y elevadas.</li> </ul> |
| Geomembrana  | Ventajas   | Desventajas   |             |          |             |      |   |   |       |  |   |     |  |   |
| HDPE   | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Buena resistencia a químicos.</li> <li>➤ Resistente a la radiación UV.</li> <li>➤ Relativamente barata.</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Son duras y no flexibles.</li> <li>➤ Tienen poca resistencia a perforaciones y pobres propiedades multiaxiales.</li> <li>➤ Tienen poca elongación elástica.</li> </ul>   |             |          |             |      |   |   |       |  |   |     |  |   |
| LLDPE  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mejor flexibilidad que el HDPE.</li> <li>➤ Buenas propiedades de tensión multiaxial.</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Menor resistencia UV que el HDPE.</li> <li>➤ Menor resistencia química que el HDPE.</li> </ul>   |             |          |             |      |   |   |       |  |   |     |  |   |
| PVC  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Son flexibles y fáciles de manejar.</li> <li>➤ Se ajustan fácilmente a los sitios y son difíciles de perforar.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pobre resistencia a los rayos UV y el ozono, a menos que sea especialmente formulada (más cara).</li> <li>➤ Pobre resistencia a la intemperie.</li> <li>➤ Disminuyen su rendimiento en temperaturas bajas y elevadas.</li> </ul> |             |          |             |      |   |   |       |  |   |     |  |   |



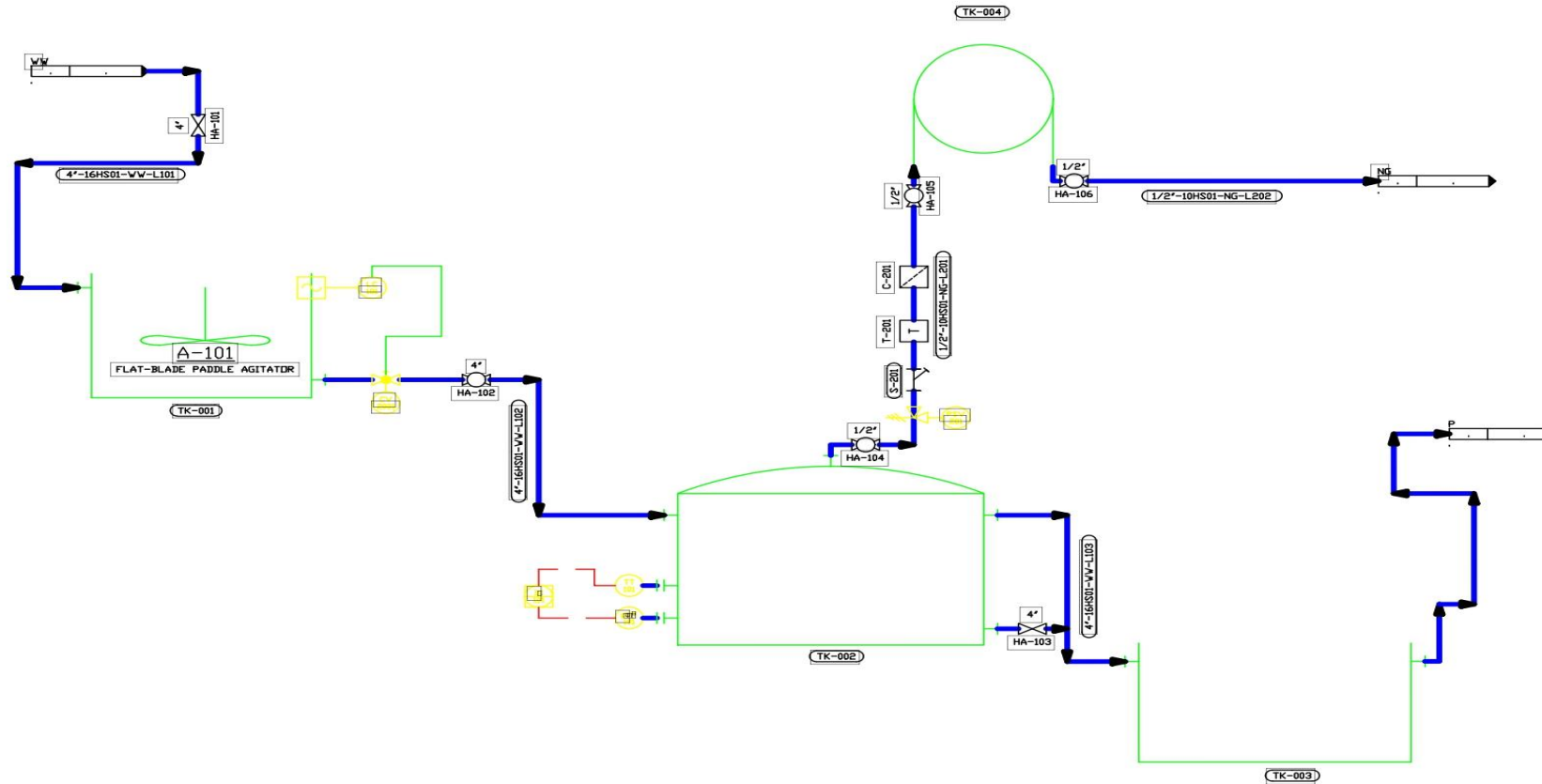
| Anexo IV                     | Inhibidores en procesos de descomposición anaeróbica y concentraciones perjudiciales |  | 4-1 |
|------------------------------|--|--|-----|
| Inhibidor                    | Concentración inhibitoria  | Comentarios  |     |
| Oxígeno                      | > 0,1 mg/l   | Inhibición de arqueas metanogénicas anaeróbicas obligadas  |     |
| Sulfuro de hidrógeno         | > 50 mg/l H <sub>2</sub> S   | El efecto inhibitorio se eleva a medida que cae el valor de pH.  |     |
| Ácidos grasos volátiles      | > 2.000 mg/l HAc<br>(pH = 7,0)   | El efecto inhibitorio se eleva a medida que cae el valor de pH.<br>Gran adaptabilidad de las bacterias.                        |     |
| Nitrógeno de amoníaco        | > 3.500 mg/l NH <sub>4</sub> +<br>(pH = 7,0)   | El efecto inhibitorio se eleva a medida que se eleva el valor de pH y la temperatura. Gran y adaptabilidad de las bacterias.   |     |
| Metales pesados              | Cu > 50 mg/l<br>Zn > 150 mg/l<br>Cr > 100 mg/l                                       | Sólo los metales disueltos tienen un efecto inhibitorio. La desintoxicación se hace por medio de la precipitación de sulfuros. |     |
| Desinfectantes, antibióticos | No especificado  | Efecto inhibitorio específico para el producto   |     |

**Fuente:** [17]

Anexo V

Diagrama de instrumentación del proceso de biodigestión

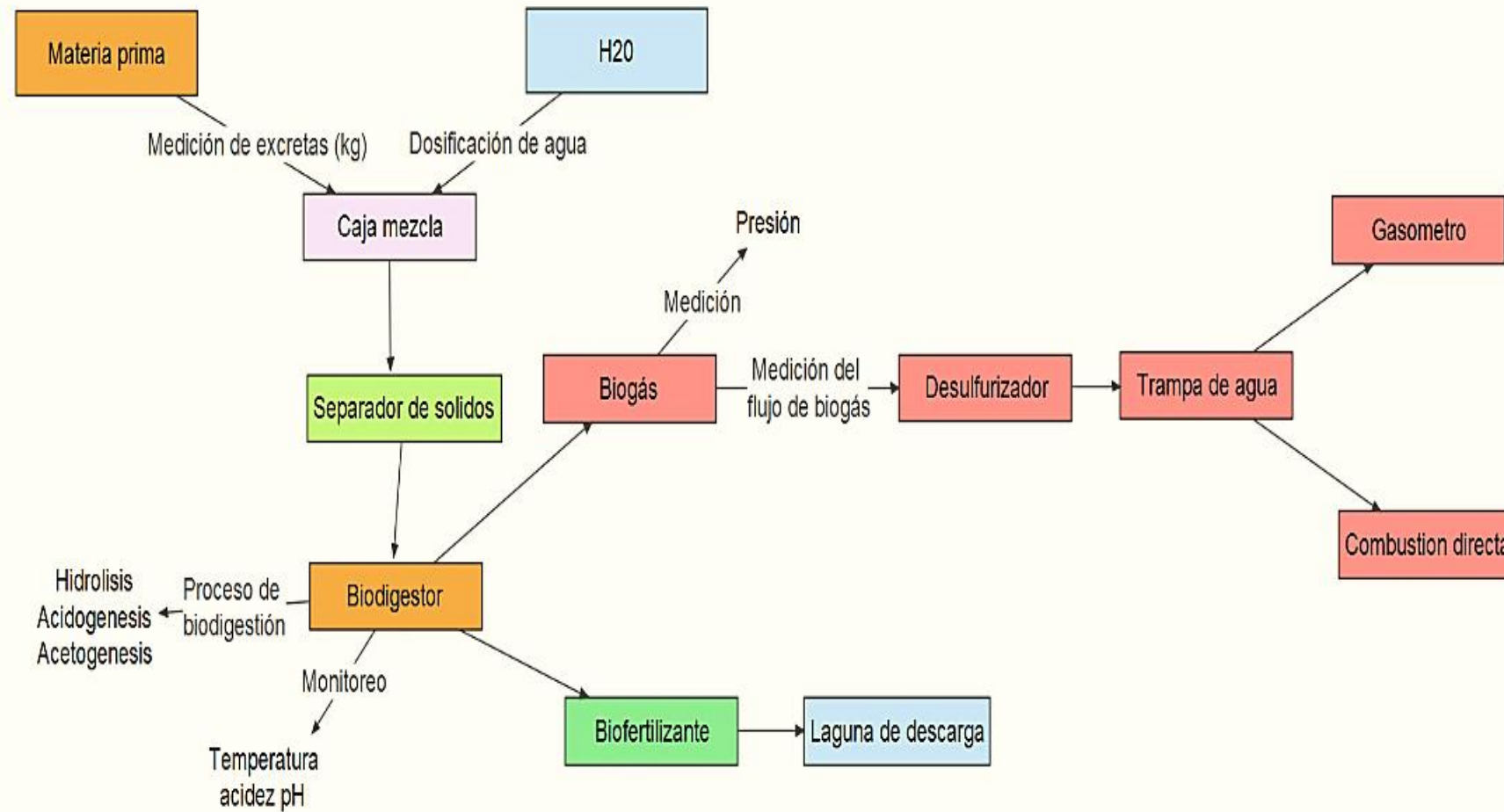
5-1



Anexo VI

Variables a controlar en el sistema de producción de biogás

6-1



Click [here](#) for production status of specific part numbers.

## DS18B20

## Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

### General Description

The DS18B20 digital thermometer provides 9-bit to 12-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line ("parasite power"), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-Wire bus. Thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

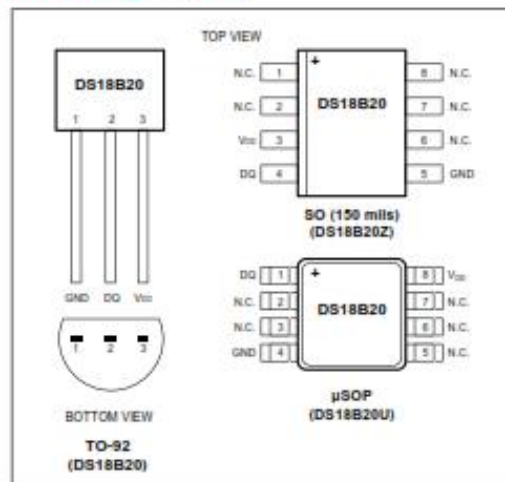
### Applications

- Thermostatic Controls
- Industrial Systems
- Consumer Products
- Thermometers
- Thermally Sensitive Systems

### Benefits and Features

- Unique 1-Wire<sup>®</sup> Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Reduce Component Count with Integrated Temperature Sensor and EEPROM
  - Measures Temperatures from -55°C to +125°C (-67°F to +257°F)
  - ±0.5°C Accuracy from -10°C to +85°C
  - Programmable Resolution from 9 Bits to 12 Bits
  - No External Components Required
- Parasitic Power Mode Requires Only 2 Pins for Operation (DQ and GND)
- Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications with Multidrop Capability
  - Each Device Has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in On-Board ROM
- Flexible User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings with Alarm Search Command Identifies Devices with Temperatures Outside Programmed Limits
- Available in 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin  $\mu$ SOP, and 3-Pin TO-92 Packages

### Pin Configurations



Ordering Information appears at end of data sheet.

1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

## DS18B20

## Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

### Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground.....-0.5V to +6.0V  
Operating Temperature Range.....-55°C to +125°C

Storage Temperature Range.....-55°C to +125°C  
Solder Temperature.....Refer to the IPC/JEDEC  
J-STD-020 Specification.

*These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.*

### DC Electrical Characteristics

(-55°C to +125°C;  $V_{DD} = 3.0V$  to  $5.5V$ )

| PARAMETER             | SYMBOL    | CONDITIONS             | MIN  | TYP  | MAX                                      | UNITS |
|-----------------------|-----------|------------------------|------|------|--|-------|
| Supply Voltage        | $V_{DD}$  | Local power (Note 1)   | +3.0 |      | +5.5                                     | V     |
| Pullup Supply Voltage | $V_{PU}$  | Parasite power         | +3.0 |      | +5.5                                     | V     |
|                       |           | Local power            | +3.0 |      | $V_{DD}$                                 |       |
| Thermometer Error     | $t_{ERR}$ | -10°C to +85°C         |      |      | ±0.5                                     | °C    |
|                       |           | -30°C to +100°C        |      |      | ±1                                       |       |
|                       |           | -55°C to +125°C        |      |      | ±2                                       |       |
| Input Logic-Low       | $V_{IL}$  | (Notes 1, 4, 5)        | -0.3 |      | +0.8                                     | V     |
| Input Logic-High      | $V_{IH}$  | Local power            | +2.2 |      | The lower<br>of 5.5 or<br>$V_{DD} + 0.3$ | V     |
|                       |           | Parasite power         | +3.0 |      |  |       |
| Sink Current          | $I_L$     | $V_{I/O} = 0.4V$       | 4.0  |      |  | mA    |
| Standby Current       | $I_{DDS}$ | (Notes 7, 8)           |      | 750  | 1000                                     | nA    |
| Active Current        | $I_{DD}$  | $V_{DD} = 5V$ (Note 9) |      | 1    | 1.5                                      | mA    |
| DQ Input Current      | $I_{DQ}$  | (Note 10)              |      | 5    |  | µA    |
| Drift                 |           | (Note 11)              |      | ±0.2 |  | °C    |

**Note 1:** All voltages are referenced to ground.

**Note 2:** The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to  $V_{PU}$ . In order to meet the  $V_{IH}$  spec of the DS18B20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus:  $V_{PU\_ACTUAL} = V_{PU\_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}$ .

**Note 3:** See typical performance curve in [Figure 1](#). Thermometer Error limits are 3-sigma values.

**Note 4:** Logic-low voltages are specified at a sink current of 4mA.

**Note 5:** To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions,  $V_{ILMAX}$  may have to be reduced to as low as 0.5V.

**Note 6:** Logic-high voltages are specified at a source current of 1mA.

**Note 7:** Standby current specified up to +70°C. Standby current typically is 3µA at +125°C.

**Note 8:** To minimize  $I_{DDs}$ , DQ should be within the following ranges:  $GND \leq DQ \leq GND + 0.3V$  or  $V_{DD} - 0.3V \leq DQ \leq V_{DD}$ .

**Note 9:** Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.

**Note 10:** DQ line is high ("high-Z" state).

**Note 11:** Drift data is based on a 1000-hour stress test at +125°C with  $V_{DD} = 5.5V$ .



|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Anexo VIII | Condiciones técnicas de trabajo de sonda pH | 8-1 |
|------------|---|-----|

### PH composite electrode manual

#### A. Purpose

The electrode is made of PH glass electrode and a silver/silver chloride reference electrode composition, the PH measuring elements which is used to measure water solution PH value.

#### B. Type and main technical parameters

| Electrode type | range | temperature | Zero point | Alkali deviation | PTS | Response time | Internal resistance | Repeat ability | Noise |
|----------------|-------|-------------|------------|------------------|-----|---------------|---------------------|----------------|-------|
|                | PH    | °C          | PH         | mV               |     | min           | MΩ                  |                | mV    |
| 05-1           | 0-14  | 0-80        | 7±1        | <15              | >98 | <2            | <250                | <0.017         |       |
| BX-5           | 0-14  | 0-80        | 7X±11      | <15              | >98 | <2            | <250                | <0.017         |       |
| E-201          | 0-14  | 0-80        | 7±0.5      | <15              | >98 | <2            | <250                | <0.017         | <0.5  |
| E-201-C        | 0-14  | 0-80        | 7X±0.5     | <15              | >98 | <2            | <250                | <0.017         | <0.5  |
| 95-1           | 0-14  | 0-80        | 7X±0.5     | <15              | >98 | <2            | <250                | <0.017         | <0.5  |
| E-900          | 0-14  | 0-80        | 7X±0.5     | <15              | >98 | <2            | <250                | <0.017         | <0.5  |

#### C. Precautions

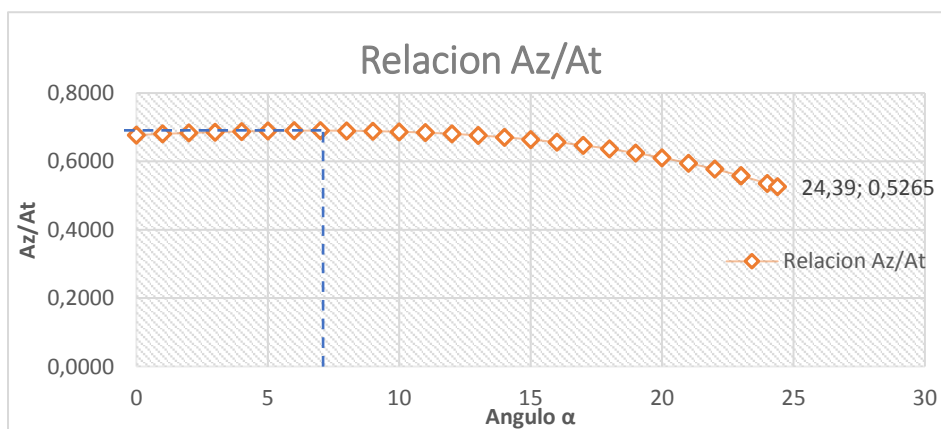
1. The electrode used for the first or long set without re-use, the electrode bulb and the sand core, immersed in the 3NKCL solution activated eight hours.
2. The electrode plug should be kept clean and dry.
3. Electrode reference solution is the 3NKCL solution.
4. Measurement should be avoided staggered pollution between solutions, so as not to affect the accuracy of measurement.
5. Electrode blub or sand core is defiled which will make PTS decline, slow response. So, it should be based on the characteristics of the pollutant, adapted to the cleaning solution, the electrode performance recovery.
6. The electrode should not be long-term immersed in acid chloride solution.
7. Electrode when in use, the ceramic sand core and liquid outlet rubber ring should be removed, in order to make salt bridge solution to maintain a certain velocity.

**Anexo IX**      Resultados para determinar las dimensiones de la zanja      **9-1**

| $\alpha$ | c (m)  | a (m)  | p (m)  | Área zanja | Relación Az/At |
|----------|--------|--------|--------|------------|----------------|
| 0        | 0,9827 | 1,3856 | 0,9827 | 1,3617     | 0,6772         |
| 1        | 1,0002 | 1,3507 | 1,0000 | 1,3682     | 0,6805         |
| 2        | 1,0182 | 1,3146 | 1,0176 | 1,3739     | 0,6833         |
| 3        | 1,0370 | 1,2771 | 1,0355 | 1,3787     | 0,6857         |
| 4        | 1,0564 | 1,2383 | 1,0538 | 1,3825     | 0,6876         |
| 5        | 1,0765 | 1,1980 | 1,0724 | 1,3854     | 0,6890         |
| 6        | 1,0974 | 1,1562 | 1,0914 | 1,3871     | 0,6899         |
| 7        | 1,1191 | 1,1129 | 1,1107 | 1,3876     | 0,6901         |
| 8        | 1,1416 | 1,0679 | 1,1305 | 1,3868     | 0,6897         |
| 9        | 1,1649 | 1,0212 | 1,1506 | 1,3846     | 0,6887         |
| 10       | 1,1892 | 0,9726 | 1,1711 | 1,3809     | 0,6868         |
| 11       | 1,2144 | 0,9222 | 1,1921 | 1,3756     | 0,6842         |
| 12       | 1,2406 | 0,8698 | 1,2135 | 1,3685     | 0,6806         |
| 13       | 1,2679 | 0,8152 | 1,2354 | 1,3595     | 0,6762         |
| 14       | 1,2963 | 0,7584 | 1,2578 | 1,3484     | 0,6706         |
| 15       | 1,3259 | 0,6993 | 1,2807 | 1,3351     | 0,6640         |
| 16       | 1,3566 | 0,6378 | 1,3041 | 1,3193     | 0,6562         |
| 17       | 1,3887 | 0,5736 | 1,3280 | 1,3010     | 0,6470         |
| 18       | 1,4222 | 0,5067 | 1,3526 | 1,2798     | 0,6365         |
| 19       | 1,4571 | 0,4369 | 1,3777 | 1,2554     | 0,6244         |
| 20       | 1,4935 | 0,3640 | 1,4034 | 1,2278     | 0,6106         |
| 21       | 1,5316 | 0,2879 | 1,4298 | 1,1965     | 0,5951         |
| 22       | 1,5713 | 0,2084 | 1,4569 | 1,1612     | 0,5775         |
| 23       | 1,6129 | 0,1252 | 1,4847 | 1,1216     | 0,5578         |
| 23,00    | 1,6129 | 0,1252 | 1,4847 | 1,1216     | 0,5578         |
| 24       | 1,6564 | 0,0382 | 1,5132 | 1,0773     | 0,5358         |
| 24,39    | 1,6739 | 0,0031 | 1,5246 | 1,0586     | 0,5265         |

Fuente: Autores

**Anexo X**      Comportamiento de la relación entre áreas con respecto al cambio de ángulo      **10-1**



Fuente: Autores



|                 |   |             |
|-----------------|---|-------------|
| <b>Anexo XI</b> | Valores recomendados para el diámetro de tubería de acuerdo con el caudal de biogás requerido y la longitud del sistema de tuberías para una caída de presión máxima de 5 mbar. | <b>11-1</b> |
|-----------------|---|-------------|

| Longitud (m)               | Tubería de acero galvanizado | Tubería de PVC |     |    |    |     |
|----------------------------|------------------------------|----------------|-----|----|----|-----|
|                            | 20                           | 60             | 100 | 20 | 60 | 100 |
| Caudal (m <sup>3</sup> /h) |                              |                |     |    |    |     |
| 0.1                        | ½"                           | ½"             | ½"  | ½" | ½" | ½"  |
| 0.2                        | ½"                           | ½"             | ½"  | ½" | ½" | ½"  |
| 0.3                        | ½"                           | ½"             | ½"  | ½" | ½" | ½"  |
| 0.4                        | ½"                           | ½"             | ½"  | ½" | ½" | ½"  |
| 0.5                        | ½"                           | ½"             | ¾"  | ½" | ½" | ½"  |
| 1.0                        | ¾"                           | ¾"             | ¾"  | ½" | ¾" | ¾"  |
| 1.5                        | ¾"                           | ¾"             | 1"  | ½" | ¾" | ¾"  |
| 2.0                        | ¾"                           | 1"             | 1"  | ¾" | ¾" | 1"  |

Fuente. [36]



### FICHA TÉCNICA – GEOMEMBRANA PVC

|                                       |  |                                       |
|---------------------------------------|--|---------------------------------------|
| PRODUCTO                              | GEOMEMBRANA PVC 1000 MICRAS  |                                       |
| DESCRIPCIÓN                           | Lamina de PVC plastificada y aditivada con protectores U.V. y agentes microbicidas     |                                       |
| ESPECIFICACIONES                      |  |                                       |
| GRAMAJE                               | 1400 g/m <sup>2</sup> ±5%  |                                       |
| ESPESOR                               | 1000 micras ± 5%   |                                       |
| RESISTENCIA A LA TRACCIÓN             | ASTM D-882   | Longitudinal: 9MPa Transversal 10 MPa |
| ALARGAMIENTO A LA ROTURA              | ASTM D-882   | Longitudinal: 240% Transversal 220%   |
| RESISTENCIA AL RASGADO                | ASTM D-1004  | Longitudinal 50N Transversal 52N      |
| RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO          | ASTM 2582  | 300 N                                 |
| ESTABILIDAD DIMENSIONAL               | ASTM 1204 A 110 °C durante 5 minutos es menor al 3%                                    |                                       |
| VOLATILIDAD PERDIDA MÁXIMA            | ASTM 1203  | 0.60%                                 |
| RESISTENCIA HIDROSTÁTICA              | ASTM D-794   | 110 psi                               |
| RESISTENCIA AL DESPEGUE EN EL SELLADO | ASTM D-413   | 2kg/cm <sup>2</sup>                   |
| TEMPERATURA DE TRABAJO                | Máximo 70°C  |                                       |
| RESISTENCIA QUÍMICA                   | Muy buena resistencia a: ácidos, bases metales pesados y petróleo crudo.               |                                       |
| APLICACIONES                          | Impermeabilización de reservorios, rellenos sanitarios, biodigestores y obras civiles. |                                       |

Anexo XIV. Registro de control - Cargas diarias a biodigestor

| Registro de control - Cargas diarias a biodigestor |           |                     |               |                        |                        |                      |                                     |           |                   |               |                        |                        |                      |
|--|-----------|---------------------|---------------|------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------------|-----------|-------------------|---------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| Especificaciones:                                  |           |                     |               |                        |                        |                      |                                     |           |                   |               |                        |                        |                      |
| Carga diaria excretas (kg)                         | 108       | Carga diaria normal |               |                        |                        |                      |                                     |           |                   |               |                        |                        |                      |
| 1 Valde (KG/estiercol)                             | 17        | 6,5 valdes excretas |               |                        |                        |                      |                                     |           |                   |               |                        |                        |                      |
| 1 Valde (litros/ agua)                             | 20        | 16,5 valdes de agua |               |                        |                        |                      |                                     |           |                   |               |                        |                        |                      |
| Primer Reporte                                     |           |                     |               |                        | Segundo Reporte        |                      |                                     |           |                   |               |                        |                        |                      |
| TRH(días)  | Fecha     | # valdes excretas   | # valdes agua | cantidad excretas (kg) | cantidad de agua (lts) | Cargas a biodigestor | Valor de referencia cargas normales | Fecha     | # valdes excretas | # valdes agua | cantidad excretas (kg) | cantidad de agua (lts) | Cargas a biodigestor |
|  | 01-jun-19 | 730 LTS DE AGUA     |               |                        | 730                    |                      |                                     | 04-jul-19 | 0                 | 0             | 0                      | 0                      | 0                    |
| 1  | 02-jun-19 | 6,5                 | 16,5          | 110,5                  | 330                    | 440,5                | 432                                 | 05-jul-19 | 0                 | 0             | 0                      | 0                      | 0                    |
| 2  | 03-jun-19 | 6,5                 | 16,5          | 110,5                  | 330                    | 440,5                | 432                                 | 06-jul-19 | 0                 | 0             | 0                      | 0                      | 0                    |
| 3  | 04-jun-19 | 6                   | 12            | 102                    | 240                    | 342                  | 432                                 | 07-jul-19 | 0                 | 0             | 0                      | 0                      | 0                    |
| 4  | 05-jun-19 | 6                   | 12            | 102                    | 240                    | 342                  | 432                                 | 08-jul-19 | 6,5               | 16,5          | 110,5                  | 330                    | 440,5                |
| 5  | 06-jun-19 | 0                   | 0             | 0                      | 0                      | 0                    | 432                                 | 09-jul-19 | 6,5               | 16,5          | 110,5                  | 330                    | 440,5                |
| 6  | 07-jun-19 | 0                   | 0             | 0                      | 0                      | 0                    | 432                                 | 10-jul-19 | 6                 | 15            | 102                    | 300                    | 402                  |
| 7  | 08-jun-19 | 10                  | 20            | 170                    | 400                    | 570                  | 432                                 | 11-jul-19 | 5,5               | 12            | 93,5                   | 240                    | 333,5                |
| 8  | 09-jun-19 | 6                   | 15            | 102                    | 300                    | 402                  | 432                                 | 12-jul-19 | 0                 | 0             | 0                      | 0                      | 0                    |
| 9  | 10-jun-19 | 6,5                 | 16            | 110,5                  | 320                    | 430,5                | 432                                 | 13-jul-19 | 8                 | 20            | 136                    | 400                    | 536                  |
| 10   | 11-jun-19 | 5                   | 10            | 85                     | 200                    | 285                  | 432                                 | 14-jul-19 | 6,5               | 16,5          | 110,5                  | 330                    | 440,5                |

|                          |           |     |      |       |     |       |       |                          |  |  |  |  |      |
|--------------------------|-----------|-----|------|-------|-----|-------|-------|--------------------------|--|--|--|--|------|
| 11                       | 12-jun-19 | 6   | 15   | 102   | 300 | 402   | 432   | 15-jul-19                |  |  |  |  |      |
| 12                       | 13-jun-19 | 6,5 | 16   | 110,5 | 320 | 430,5 | 432   | 16-jul-19                |  |  |  |  |      |
| 13                       | 14-jun-19 | 6,5 | 16   | 110,5 | 320 | 430,5 | 432   | 17-jul-19                |  |  |  |  |      |
| 14                       | 15-jun-19 | 7   | 18   | 119   | 360 | 479   | 432   | 18-jul-19                |  |  |  |  |      |
| 15                       | 16-jun-19 | 6   | 15   | 102   | 300 | 402   | 432   | 19-jul-19                |  |  |  |  |      |
| 16                       | 17-jun-19 | 0   | 0    | 0     | 0   | 0     | 432   | 20-jul-19                |  |  |  |  |      |
| 17                       | 18-jun-19 | 0   | 0    | 0     | 0   | 0     | 432   | 21-jul-19                |  |  |  |  |      |
| 18                       | 19-jun-19 | 5   | 10   | 85    | 200 | 285   | 432   | 22-jul-19                |  |  |  |  |      |
| 19                       | 20-jun-19 | 6   | 15   | 102   | 300 | 402   | 432   | 23-jul-19                |  |  |  |  |      |
| 20                       | 21-jun-19 | 7   | 18   | 119   | 360 | 479   | 432   | 24-jul-19                |  |  |  |  |      |
| 21                       | 22-jun-19 | 5   | 10   | 85    | 200 | 285   | 432   | 25-jul-19                |  |  |  |  |      |
| 22                       | 23-jun-19 | 6   | 10   | 102   | 200 | 302   | 432   | 26-jul-19                |  |  |  |  |      |
| 23                       | 24-jun-19 | 6,5 | 13   | 110,5 | 260 | 370,5 | 432   | 27-jul-19                |  |  |  |  |      |
| 24                       | 25-jun-19 | 6   | 15   | 102   | 300 | 402   | 432   | 28-jul-19                |  |  |  |  |      |
| 25                       | 26-jun-19 | 6   | 15   | 102   | 300 | 402   | 432   | 29-jul-19                |  |  |  |  |      |
| 26                       | 27-jun-19 | 5   | 12   | 85    | 240 | 325   | 432   | 30-jul-19                |  |  |  |  |      |
| 27                       | 28-jun-19 | 6   | 15   | 102   | 300 | 402   | 432   | 31-jul-19                |  |  |  |  |      |
| 28                       | 29-jun-19 | 5   | 12   | 85    | 240 | 325   | 432   | 01-ago-19                |  |  |  |  |      |
| 29                       | 30-jun-19 | 6,5 | 6,5  | 110,5 | 130 | 240,5 | 432   | 02-ago-19                |  |  |  |  |      |
| 30                       | 01-jul-19 | 6,5 | 16   | 110,5 | 320 | 430,5 | 432   | 03-ago-19                |  |  |  |  |      |
| 31                       | 02-jul-19 | 0   | 0    | 0     | 0   | 0     | 432   | 04-ago-19                |  |  |  |  |      |
| 32                       | 03-jul-19 | 6,5 | 16,5 | 110,5 | 330 | 440,5 | 432   | 05-ago-19                |  |  |  |  |      |
| <b>Total carga a bdg</b> |           |     |      |       |     |       | 13824 | <b>Total carga a bdg</b> |  |  |  |  | 2593 |

## Anexo XV. Programación realizada para el monitoreo

```

// UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
// CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS
// CARRERA DE INGENIERIA
ELECTROMECAÁNICA

// CODIGO PARA MEDIR TEMPERATURA Y PH
#include <DS1307RTC.h>
#include <Time.h>
#include <TimeLib.h>
#include <OneWire.h> // PARA SNSR TEMPERATURA
DS18B20
#include <DallasTemperature.h> // PARA SNSR TEMPERATURA
DS18B20
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include "RTCLib.h" // libreria del modulo RTC
#include <Wire.h> // PARA SNSR TEMPERATURA DS18B20
#include <SPL.h>
#include <SD.h>

const int DatosDQ= 9; // pin donde va conectado DQ o bus
OneWire // PARA SNSR TEMPERATURA DS18B20
OneWire oneWireObjeto(DatosDQ); // PARA SNSR
TEMPERATURA DS18B20
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto); // PARA
SNSR TEMPERATURA DS18B20
LiquidCrystal_I2C lcd(0X27,20,4); //incluye las dimensiones del
LCD // SDA va conectado a los 2 pines superiores despues del pin
AREF
float Celcius = 0; // PARA SNSR TEMPERATURA DS18B20
float valorcorreccion_Temp= 0.50; // valor de correccion de
temperatura, para calibracion
float Temperatura=0;
// establece la resolución en el ds18b20
#define TEMPERATURE_PRECISION 10 // 10 bits // PARA
SNSR TEMPERATURA DS18B20
float val_correctivo = 21.70; // se ingresa el valor calculado segun el
buffer de calibracion (valbuffer -(lecturasensor))// para calibracion
nueva se pone cero y se carga la programacion // SNSR PH

float val_promedio = 0.00; // promedio de las lecturas // SNSR PH
int lecturas[50]; //valores obtenidos de 50 lecturas consecutivas en
el pin analógico 0. // SNSR PH
int temp = 0; // clasificación de valores de lectura // SNSR PH
byte indice = 0; //valores de desplazamiento de la tabla de índice //
SNSR PH
byte indice1 = 0; // indice utilizado en el bucle de ordenación de los
valores de lectura // SNSR PH
float suma_valors = 0; // suma de los 6 valores intermedios
detectados en el pin analógico 0 // SNSR PH
float pHmedio = 0; // pH calculado sobre el promedio de los
voltajes detectados en el pin 0 // SNSR PH
int mes=0;
const int pinCS= 53; // MODULO SD
int pulsador=29;
int led=28;
File Registro;
void setup()
{
  lcd.init(); // Inicia el lcd
  lcd.backlight ();
  lcd.clear();
  Serial.print ("Iniciando sd card...");
  pinMode (pinCS, OUTPUT);
  lcd.print ("Iniciando sd card...");
  delay (1000);
  lcd.clear ();
  if (!SD.begin(pinCS))
  {
    Serial.print ("fallo lectura de targeta");
    lcd.print("fallo SD card");
    delay (800);
    lcd.clear();
    return;
  }
  Serial.print("SD inicializada ok");
  lcd.print("SD inicia ok");
  delay (800);

  lcd.clear();
  {
    Serial.begin(9600); // Establece la comunicacion de datos del
    puerto serie
    sensorDS18B20.begin(); // inicia el bus OneWire para el sensor
    DS18B20
  }
  {
    pinMode (pulsador,INPUT);
    pinMode (led,OUTPUT);
  }
}
void loop()
{
  tmElements_t tm; //Esto se utiliza para poder programar la hora.
  if (RTC.read(tm)) { }
  Serial.print(tm.YearToCalendar(tm.Year)); // A$o
  Serial.print('/');
  Serial.print(tm.Month); // Mes
  Serial.print('/');
  Serial.print(tm.Day); // Dia
  Serial.print(' ');
  Serial.print(tm.Hour);
  Serial.print(":");
  Serial.print(tm.Minute);
  Serial.print(":");
  Serial.println(tm.Second);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("PARAMETROS-BDG");
  delay(500);
  lcd.setCursor(15,0);
  lcd.print(tm.Hour);
  lcd.print("h");
  lcd.print(tm.Minute);

```



```
sensorDS18B20.requestTemperatures (); // Prepara al sensor
DS18B20 para realizar la lectura de temperatura
Celcius = sensorDS18B20.getTempCByIndex(0); // PARA SNSR
TEMPERATURA DS18B20
Temperatura= Celcius+valorcorreccion_Temp;
Serial.print ( "T(C):");
Serial.print ( Temperatura,2); // Lee y muestra la señal con 2
decimales
Serial.print(" ");
lcd.setCursor (0,1);
lcd.print ( "T(C):");
lcd.print (Temperatura); // Lee y muestra la señal con 2 decimales

for (indice = 0; indice < 50; indice++) // almacena 50 lecturas
consecutivas // SNSR PH
{
lecturas[indice] = analogRead(A1); // SNSR PH
delay(60); // SNSR PH
}
// bucle de ordenación de valores. Este ordena los valores. presente
en lecturas, colocándolos en una fila, de la más baja a la más alta. //
SNSR PH
for (indice = 0; indice < 49; indice++) // SNSR PH
{
for (indice1 = indice + 1; indice1 < 50; indice1++)
{
if (lecturas[indice] > lecturas[indice1])
{
temp = lecturas[indice];
lecturas[indice] = lecturas[indice1];
lecturas[indice1] = temp;
}
}
}
suma_valors = 0; // establece el área de suma de los valores //
SNSR PH
```

```
for (int indice = 10; indice < 39; indice++) // al calcular el
promedio, considera solo los valores intermedios, desde la décima a
la trigésima novena posición en la tabla de lecturas // SNSR PH
suma_valors += lecturas[indice]; // promedio de los seis valores
intermedios almacenados en la variable lecturas // SNSR PH
val_promedio = (float)suma_valors * 5.0 / 1024 / 30; //Tensión
media en el pin analógico 0 a partir de la division de 30 lecturas //
SNSR PH
pHmedio = -5.70 * val_promedio + val_correctivo; // Cálculo de
pH, a partir de una fórmula encontrada en web // SNSR PH

Serial.print ("valor pH:");
Serial.println (pHmedio,2);
lcd.setCursor (0, 2);
lcd.print ("valor pH:");
lcd.print (pHmedio,2);
delay(1000);
String dataString = " ";
dataString += String(' ');
dataString += String(Temperatura);
dataString += ',';
dataString += String(' ');
dataString += String(pHmedio);

pulsador= digitalRead(29);
if (pulsador== HIGH)
{
File dafile = SD.open("Registro.txt",FILE_WRITE);
if (dafile)
{
dafile.print(tmYearToCalendar(tm.Year)); // A$o
dafile.print("/");
dafile.print(tm.Month); // Mes
dafile.print("/");
dafile.print(tm.Day); // Dia
dafile.print(' ');
```

```
dafile.print(tm.Hour); // Horas
dafile.print(':');
dafile.print(tm.Minute); // Minutos
dafile.print(':');
dafile.print(tm.Second); // Segundos

dafile.println(dataString);
Serial.print("Grabacion automatica");
Serial.print(" ");
Serial.println("efectuada correctamente");
Serial.println("MIRAR EN SD!!");
dafile.close();
}
else
{
Serial.println("error al abrir datos.txt");
}
if (! dafile.println(dataString))
{
digitalWrite(led, HIGH);
delay (1000);
digitalWrite(led, LOW);
}
}
lcd.clear ();
delay (100);
return;
}
```



**Anexo XVI.** Resultados del monitoreo de temperatura y pH en el interior del biodigestor

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI |           |        |          |       |      |
|---------------------------------|-----------|--------|----------|-------|------|
| Monitoreo de temperatura y pH   |           |        |          |       |      |
| TRH (días)                      | Fecha     |        | Hora     | T °C  | pH   |
| 1                               | 24-jun-19 | Mañana | 10:15:32 | 29,02 | 7,03 |
|                                 |           | Tarde  | 17:20:45 | 31,05 | 6,92 |
| 2                               | 25-jun-19 | Mañana | 9:28:10  | 25,77 | 6,90 |
|                                 |           | Tarde  | 17:32:11 | 26,12 | 6,92 |
| 3                               | 26-jun-19 | Mañana | 11:15:32 | 28,81 | 6,56 |
|                                 |           | Tarde  | 18:22:19 | 26,64 | 6,98 |
| 4                               | 27-jun-19 | Mañana | 10:00:02 | 31,19 | 7,07 |
|                                 |           | Tarde  | 15:00:35 | 30,37 | 6,60 |
| 5                               | 28-jun-19 | Mañana | 9:11:08  | 30,35 | 6,80 |
|                                 |           | Tarde  | 17:20:45 | 25,84 | 6,95 |
| 6                               | 29-jun-19 | Mañana | 10:40:55 | 30,30 | 6,92 |
|                                 |           | Tarde  | 15:40:20 | 31,06 | 6,98 |
| 7                               | 30-jun-19 | Mañana | 9:51:57  | 27,91 | 6,45 |
|                                 |           | Tarde  | 16:32:01 | 26,41 | 6,99 |
| 8                               | 01-jul-19 | Mañana | 11:15:48 | 31,15 | 6,30 |
|                                 |           | Tarde  | 17:50:17 | 26,23 | 6,92 |
| 9                               | 02-jul-19 | Mañana | 8:11:01  | 26,89 | 6,81 |
|                                 |           | Tarde  | 15:44:10 | 31,51 | 7,11 |
| 10                              | 03-jul-19 | Mañana | 8:20:32  | 27,82 | 7,17 |
|                                 |           | Tarde  | 21:50:17 | 29,53 | 6,61 |
| 11                              | 04-jul-19 | Mañana | 8:55:01  | 25,91 | 6,29 |

|    |           |        |          |       |      |
|----|-----------|--------|----------|-------|------|
|    |           | Tarde  | 16:17:00 | 30,44 | 7,08 |
| 12 | 05-jul-19 | Mañana | 9:47:10  | 28,72 | 6,86 |
|    |           | Tarde  | 17:23:16 | 27,47 | 6,78 |
| 13 | 06-jul-19 | Mañana | 10:15:55 | 31,52 | 6,26 |
|    |           | Tarde  | 16:01:08 | 30,34 | 7,19 |
| 14 | 07-jul-19 | Mañana | 11:19:32 | 26,72 | 6,40 |
|    |           | Tarde  | 18:12:32 | 26,37 | 7,19 |
| 15 | 08-jul-19 | Mañana | 8:55:21  | 26,40 | 6,43 |
|    |           | Tarde  | 18:10:25 | 28,87 | 6,75 |
| 16 | 09-jul-19 | Mañana | 7:45:55  | 26,70 | 7,00 |
|    |           | Tarde  | 15:14:54 | 28,83 | 6,78 |
| 17 | 10-jul-19 | Mañana | 10:39:25 | 28,64 | 6,47 |
|    |           | Tarde  | 18:52:12 | 25,10 | 6,55 |
| 18 | 11-jul-19 | Mañana | 11:01:20 | 29,78 | 6,84 |
|    |           | Tarde  | 14:52:35 | 31,28 | 6,33 |
| 19 | 12-jul-19 | Mañana | 10:25:19 | 30,87 | 6,82 |
|    |           | Tarde  | 16:28:30 | 28,44 | 7,10 |
| 20 | 13-jul-19 | Mañana | 8:11:05  | 26,51 | 7,17 |
|    |           | Tarde  | 15:50:01 | 28,34 | 7,01 |
| 21 | 14-jul-19 | Mañana | 10:08:25 | 25,59 | 7,01 |
|    |           | Tarde  | 15:52:25 | 24,69 | 7,08 |

| Valores de Temperatura |              |
|------------------------|--------------|
| Valor max              | 31,52        |
| Valor min              | 24,69        |
| <b>Promedio</b>        | <b>28,37</b> |

| Valores de pH   |             |
|-----------------|-------------|
| Valor max       | 7,19        |
| Valor min       | 6,26        |
| <b>Promedio</b> | <b>6,82</b> |



| Anexo XVII  |       | Valores de presión en mbar de acuerdo a los mm de columna de agua |             |       |       | 17-1 |
|-------------|-------|---|-------------|-------|-------|------|
| Altura (mm) | Pa    | mbar  | Altura (mm) | Pa    | mbar  |      |
| 1           | 9,8   | 0,098   | 51          | 499,8 | 4,998 |      |
| 2           | 19,6  | 0,196   | 52          | 509,6 | 5,096 |      |
| 3           | 29,4  | 0,294   | 53          | 519,4 | 5,194 |      |
| 4           | 39,2  | 0,392   | 54          | 529,2 | 5,292 |      |
| 5           | 49,0  | 0,490   | 55          | 539,0 | 5,390 |      |
| 6           | 58,8  | 0,588   | 56          | 548,8 | 5,488 |      |
| 7           | 68,6  | 0,686   | 57          | 558,6 | 5,586 |      |
| 8           | 78,4  | 0,784   | 58          | 568,4 | 5,684 |      |
| 9           | 88,2  | 0,882   | 59          | 578,2 | 5,782 |      |
| 10          | 98,0  | 0,980   | 60          | 588,0 | 5,880 |      |
| 11          | 107,8 | 1,078   | 61          | 597,8 | 5,978 |      |
| 12          | 117,6 | 1,176   | 62          | 607,6 | 6,076 |      |
| 13          | 127,4 | 1,274   | 63          | 617,4 | 6,174 |      |
| 14          | 137,2 | 1,372   | 64          | 627,2 | 6,272 |      |
| 15          | 147,0 | 1,470   | 65          | 637,0 | 6,370 |      |
| 16          | 156,8 | 1,568   | 66          | 646,8 | 6,468 |      |
| 17          | 166,6 | 1,666   | 67          | 656,6 | 6,566 |      |
| 18          | 176,4 | 1,764   | 68          | 666,4 | 6,664 |      |
| 19          | 186,2 | 1,862   | 69          | 676,2 | 6,762 |      |
| 20          | 196,0 | 1,960   | 70          | 686,0 | 6,860 |      |
| 21          | 205,8 | 2,058   | 71          | 695,8 | 6,958 |      |
| 22          | 215,6 | 2,156   | 72          | 705,6 | 7,056 |      |
| 23          | 225,4 | 2,254   | 73          | 715,4 | 7,154 |      |
| 24          | 235,2 | 2,352   | 74          | 725,2 | 7,252 |      |
| 25          | 245,0 | 2,450   | 75          | 735,0 | 7,350 |      |
| 26          | 254,8 | 2,548   | 76          | 744,8 | 7,448 |      |
| 27          | 264,6 | 2,646   | 77          | 754,6 | 7,546 |      |
| 28          | 274,4 | 2,744   | 78          | 764,4 | 7,644 |      |
| 29          | 284,2 | 2,842   | 79          | 774,2 | 7,742 |      |
| 30          | 294,0 | 2,940   | 80          | 784,0 | 7,840 |      |
| 31          | 303,8 | 3,038   | 81          | 793,8 | 7,938 |      |
| 32          | 313,6 | 3,136   | 82          | 803,6 | 8,036 |      |
| 33          | 323,4 | 3,234   | 83          | 813,4 | 8,134 |      |
| 34          | 333,2 | 3,332   | 84          | 823,2 | 8,232 |      |
| 35          | 343,0 | 3,430   | 85          | 833,0 | 8,330 |      |
| 36          | 352,8 | 3,528   | 86          | 842,8 | 8,428 |      |
| 37          | 362,6 | 3,626   | 87          | 852,6 | 8,526 |      |
| 38          | 372,4 | 3,724   | 88          | 862,4 | 8,624 |      |
| 39          | 382,2 | 3,822   | 89          | 872,2 | 8,722 |      |

|    |       |       |     |       |       |
|----|-------|-------|-----|-------|-------|
| 40 | 392,0 | 3,920 | 90  | 882,0 | 8,820 |
| 41 | 401,8 | 4,018 | 91  | 891,8 | 8,918 |
| 42 | 411,6 | 4,116 | 92  | 901,6 | 9,016 |
| 43 | 421,4 | 4,214 | 93  | 911,4 | 9,114 |
| 44 | 431,2 | 4,312 | 94  | 921,2 | 9,212 |
| 45 | 441,0 | 4,410 | 95  | 931,0 | 9,310 |
| 46 | 450,8 | 4,508 | 96  | 940,8 | 9,408 |
| 47 | 460,6 | 4,606 | 97  | 950,6 | 9,506 |
| 48 | 470,4 | 4,704 | 98  | 960,4 | 9,604 |
| 49 | 480,2 | 4,802 | 99  | 970,2 | 9,702 |
| 50 | 490,0 | 4,900 | 100 | 980,0 | 9,800 |

Anexo XVIII

Prueba de combustión de biogás

18-1



|                   |   |             |
|-------------------|---|-------------|
| <b>Anexo XIX.</b> | Cálculo de la presión requerida en el gasómetro | <b>19-1</b> |
|-------------------|---|-------------|

Para determinar la presión necesaria para que la llama de la cocina usando biogás no se apague y se mantenga a presión constante se coloca 3 bloques de 10 kg con una superficie de 600 cm<sup>2</sup> de acuerdo a estos datos y la del gasómetro con un volumen total de 0,75 m<sup>3</sup> se calcula la presión.



**Figura 1.** Bloques ejerciendo una fuerza al gasómetro

El peso de los bloques se distribuye a lo largo del gasómetro y los cálculos realizados para determinar la presión son los siguientes:

$$F = m * g \quad ; F= \text{Fuerza (N)}; m= \text{masa (kg)}; g= \text{gravedad (m/s}^2\text{)}$$

$$F = 10 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 98,1 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} \cdot 3 = \mathbf{294,30 \text{ N}}$$

$$P = \frac{F}{S} \quad ; P= \text{Presión (kPa)}$$

$$S = 600 \text{ cm}^2 \cdot 3 = 1800 \text{ cm}^2 \approx 0,18 \text{ m}^2$$

$$P = \frac{294,30 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2}}{0,18 \text{ m}^2} = 1635 \frac{\text{kg}}{\text{m s}^2} = \mathbf{1,63 \text{ kPa}}$$



## Anexo XX. Inversión, gastos materiales y equipos.

### MATERIALES DIRECTOS

| Detalle   | Cantidad | V. Unitario | V. Total    |
|---|----------|-------------|-------------|
| <b>Producción, conducción y consumo de biogás</b> |          |             |             |
| Geomembrana PVC 1000 micras                       | 1        | \$ 700,00   | \$ 784,00   |
| Gasómetro PVC 1000 micras                         | 1        | \$ 137,20   | \$ 153,66   |
| Válvula de PVC 4 pulg                             | 2        | \$ 42,93    | \$ 91,01    |
| Pegamento WELXDON                                 | 1        | \$ 15,35    | \$ 17,19    |
| Tubo blanco Rival 4 pulg                          | 2        | \$ 21,16    | \$ 44,86    |
| Tee de PVC roscada de 3/4 pulg                    | 3        | \$ 1,13     | \$ 3,53     |
| Manguera negra Flex 3/4 de pulg                   | 100      | \$ 0,20     | \$ 20,02    |
| Codo 45° de PVC de 4 pulg                         | 2        | \$ 9,20     | \$ 19,50    |
| Adaptador macho de PVC 4 pulg                     | 4        | \$ 5,72     | \$ 23,57    |
| Abrazadera de 4 pulg                              | 3        | \$ 4,53     | \$ 14,13    |
| Válvula universal de PVC 3/4 pulg                 | 2        | \$ 4,72     | \$ 10,01    |
| Válvula esférica 3/4 d epulg                      | 1        | \$ 6,69     | \$ 7,49     |
| Tubo roscable de 3/4 de pulg                      | 2        | \$ 7,78     | \$ 16,49    |
| Adaptador Flex de 3/4 de pulg                     | 3        | \$ 0,58     | \$ 1,81     |
| Teflón  | 1        | \$ 1,00     | \$ 1,12     |
| Tapón hembra de 3 pulg                            | 1        | \$ 1,10     | \$ 1,23     |
| Tapón macho de 3 pulg                             | 1        | \$ 0,80     | \$ 0,90     |
| Pega tubo   | 1        | \$ 0,80     | \$ 0,90     |
| Tee de 3/4 de pulg                                | 1        | \$ 1,00     | \$ 1,12     |
| Adaptadores de 3/4 de pulg                        | 2        | \$ 1,00     | \$ 2,12     |
| Bushing PVC 3/4 pulg                              | 2        | \$ 1,75     | \$ 3,71     |
| Adaptador Flex de 3/4 de pulg                     | 2        | \$ 0,13     | \$ 0,28     |
| Adaptador soldable                                | 2        | \$ 0,95     | \$ 2,01     |
| <b>Control Eléctrico</b>                          |          |             |             |
| Sensor DS18B20                                    | 1        | \$ 5,50     | \$ 6,16     |
| Sensor de PH con Modulo                           | 1        | \$ 49,00    | \$ 54,88    |
| Sensor de Presión Mpx5510dp                       | 1        | \$ 22,00    | \$ 24,64    |
| Modulo 12C  | 1        | \$ 4,00     | \$ 4,48     |
| Pantalla LCD 16x4                                 | 1        | \$ 12,00    | \$ 13,44    |
| Lector Micro SD para Arduino                      | 1        | \$ 5,00     | \$ 5,60     |
| Módulo de reloj Rtc3221                           | 1        | \$ 4,50     | \$ 5,04     |
| Arduino Mega Italiano + Cable                     | 1        | \$ 20,00    | \$ 22,40    |
| Adaptador de 12Vdc 3A para Arduino                | 1        | \$ 10,00    | \$ 11,20    |
| Envío por Servientrega                            | 1        | \$ 3,00     | \$ 3,36     |
| <b>Total</b>                                      |          |             | \$ 1.371,87 |

### MANO DE OBRA

| Detalle                 | cantidad | # horas | \$ hora      | Total     |
|-------------------------|----------|---------|--------------|-----------|
| Mano de obra estructura | 1        | 16      | \$ 3,75      | \$ 60,00  |
| Mano de obra albañiles  | 1        | 16      | \$ 3,65      | \$ 58,40  |
| Ingeniería              | 2        |         |              | \$ 400,00 |
|                         |          |         | <b>Total</b> | \$ 518,40 |

### MATERIALES INDIRECTOS

| Detalle                 | Cantidad | V. Unitario  | V. Total  |
|-------------------------|----------|--------------|-----------|
| Parches Polietileno     | 5 m      | \$ 0,60      | \$ 3,00   |
| Esponjas metálicas (kg) | 1        | \$ 3,00      | \$ 3,00   |
| Bloques de cemento      | 50       | \$ 0,27      | \$ 13,50  |
| Arena                   | 2        | \$ 2,50      | \$ 5,00   |
| Tablas de madera        | 3        | \$ 3,34      | \$ 10,02  |
| Transporte              | 4        | \$ 25,00     | \$ 100,00 |
| Cemento 50 kg           | 2        | \$ 7,50      | \$ 15,00  |
|                         |          | <b>Total</b> | \$ 146,82 |

### INVERSIÓN TOTAL

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| Costos directos   | \$ 1.371,87 |
| Costos indirectos | \$ 146,82   |
| Mano de obra      | \$ 518,40   |
| Imprevistos       | 100         |
| <b>TOTAL</b>      | \$ 2.137,09 |

|                  |   |             |
|------------------|---|-------------|
| <b>Anexo XI.</b> | <b>Análisis de factibilidad económica</b> | <b>21-1</b> |
|------------------|---|-------------|

### Análisis de los ingresos

Para el análisis de la factibilidad económica se necesitará saber datos de las equivalencias en relación con el gas GLP y la cantidad de nutrientes que tendrá el biol. Para conocer los datos se ha adoptado los valores establecidos por MAE que son los siguientes [2]:

**Tabla 1.** Equivalencia energética del biogás vs combustibles convencionales.

|                               |                  |
|-------------------------------|------------------|
| <b>1 m<sup>3</sup> Biogás</b> | 0.5 kg GLP       |
|                               | 2.2 kWh          |
|                               | 0.45 lt gasolina |

**Fuente:** [2]

Es importante mencionar los porcentajes de nutrientes según el tipo de materia prima que alimenta al biodigestor, puesto que ellos formarán parte del biol y el productor podrá usar como fertilizante en sus cultivos. En este caso el proyecto brindará el tratamiento de las excretas de ganado vacuno por lo cual se recopila la información de los porcentajes de nutrientes de esa clase de biomasa, en la siguiente tabla se muestra los porcentajes promedios establecidos por MAE [2].

**Tabla 2.** Concentración de nutrientes excretas de ganado vacuno.

| <b>Materia<br/>prima<br/>(Excretas)</b> | <b>N (%)<br/>Promedio</b> | <b>P<sub>2</sub>Q<sub>5</sub> (%)<br/>Promedio</b> | <b>K<sub>2</sub>O (%)</b> |
|---|---------------------------|--|---------------------------|
| <b>Vacuno</b>                           | 1.15                      | 0.8  | 0.10                      |

**Fuente:** [2]

Para realizar la comparación de las energías y fertilizantes convencionales con relación a los elementos producidos por el biodigestor, se deberá conocer la cantidad de materia orgánica, cantidad de agua para la mezcla, cantidad de nutrientes, producción de biogás y biol.

Para obtener esos datos se debe tener información del lugar a implementarse el biodigestor en nuestro proyecto el cálculo de producción de biogás se lo realizó en base a la cantidad de excretas producida, al momento el sitio donde se va a realizar el proyecto cuenta con 18 vacas y en el proceso de ordeño durante 4 horas, mediante cálculos se determinó que se produce 108 Kg de excretas de ganado al día obteniendo una producción de biogás diaria de 3,82 m<sup>3</sup>/día, mientras

que la producción de biol se la determino mediante la relación de agua y excretas de ganado que es 1:3, con una cantidad de excretas de 108 kg y 324 litros de agua obteniendo una producción de 432 litros de biol al día. Se proyectará la producción para un año para analizar los beneficios. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 3.** Resultados de la cantidad de biogás y nutrientes del biol generado

| <b>Productos y nutrientes</b>                   | <b>Kg/día</b> | <b>Kg/año</b> |
|---|---------------|---------------|
| Excretas  | 108           | 38880         |
| Agua  | 324           | 116640        |
| <b>Nutrientes por carga</b>                     | <b>Kg/día</b> | <b>Kg/año</b> |
| Nitrógeno N<br>(1.15%)                          | 1,24          | 447,12        |
| Fosforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(0.8%) | 0.86          | 311,04        |
| Potasio K <sub>2</sub> O<br>(0.10%)             | 0,108         | 38,88         |
| <b>Productos finales</b>                        |               |               |
| Biogás (m <sup>3</sup> )                        | 3,82          | 1375,2        |
| Biol (litros)                                   | 432           | 155520        |

### **Análisis de biogás en relación al gas GLP**

Conociendo la cantidad de producción de biogás obtenida por día se puede determinar la cantidad de ingresos económicos en un tiempo determinado en este caso se considerará un ingreso anual, para poder determinarlo es necesario recalcar que 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a 0,5 kg de gas GLP según [2], teniendo en cuenta que el precio del gas GLP de 15 kg tiene un valor de \$ 3,00, es decir que cada kg de gas GLP costaría 0.20 dólares, actualmente el lugar donde se implementara el biodigestor, la familia consume alrededor de 2 tanques de gas GLP al mes. Utilizando el gas convencional la cantidad de gas consumido es 30 kg.

Conociendo la cantidad de biogás a producir de acuerdo a la cantidad de materia orgánica, proyectando a un año la producción se obtiene la tabla 4.

**Tabla 4.** Biogás en relación al gas GLP

| Uso de gas convencional |            |            |                                |
|-------------------------|------------|------------|--------------------------------|
| Gas                     | Kg GLP/mes | Kg GLP/año | Valor económico anual          |
| GLP                     | 30         | 360        | 72 \$                          |
| Uso de biogás           |            |            |                                |
|                         | Kg /mes    | Kg GLP/año | Valor económico anual ahorrado |
| Biogás                  | 57,30      | 687,6      | 72 \$                          |

**Fuente:** Autores

Como se puede apreciar el biogás generado satisface toda la cantidad de gas que el hogar consume, y se puede notar que existe una sobreproducción de biogás lo cual se podrá utilizar para cualquier otra aplicación.

#### **Análisis económico del biol en relación a los fertilizantes químicos**

La producción de biol se la considera como un ingreso económico ya que se evitará la compra de fertilizantes químicos para el campo, mediante los cálculos se determinó que 18 bovinos producen 432 litros de biol durante 4 horas al día con una relación de mezcla de agua y sustrato 3:1. Primeramente, para analizar la economía del biol en relación de fertilizantes se debe conocer cuáles son los fertilizantes que se ocupa y la concentración de los elementos principales para realizar la relación. Generalmente en el campo se utiliza Urea, muriato de potasio y el fertilizante NPK la cual contiene nitrógeno, potasio y fosforo. En la siguiente tabla se muestra las concentraciones de los nutrientes principales en los fertilizantes químicos utilizados en el campo.

**Tabla 5.** Concentraciones de los nutrientes principales en fertilizantes comerciales.

| Fertilizante       | Nutrientes en el fertilizante | Concentración (%) |
|--------------------|-------------------------------|-------------------|
| Urea               | Nitrógeno                     | 46                |
| NPK                | Nitrógeno                     | 18                |
|                    | Fosforo                       | 46                |
| Muriato de potasio | Potasio                       | 60                |

**Fuente:** [7]

Para determinar la cantidad de nutrientes en forma comercial de acuerdo a la cantidad de



nutrientes en kg obtenidos por el biol se usa la siguiente fórmula [2].

### **Disponibilidad en forma comercial**

$$= \frac{\text{Disponibilidad anual de nutriente en biol (kg)} * 100 \%}{\text{concentración en el fertilizante (\%)}}$$

Utilizando la tabla 3 y 5 se aplica la fórmula de disponibilidad comercial obteniendo los resultados en la tabla 6, en la cual se hace el análisis de ahorro económico anual con los precios por kg de cada fertilizante químico.

**Tabla 6.** Concentraciones de los nutrientes del biol en forma comercial y precios por kg de fertilizante químico.

| <b>Fertilizante</b>                         | <b>Nutrientes en el fertilizante</b> | <b>Disponibilidad anual del nutriente en forma comercial (kg)</b> | <b>Precio del kg de fertilizante (\$)</b> | <b>Ahorro económico anual</b> |
|---|--------------------------------------|---|---|-------------------------------|
| Urea  | Nitrógeno                            | 972   | 0,52                                      | 505,44                        |
| NPK o DAP                                   | Nitrógeno                            | 2484  | 0,75                                      | 1863                          |
|   | Fosforo                              | 676,173913  |   | 507,13                        |
| Muriato de potasio                          | Potasio                              | 64,8  | 0,55                                      | 35,64                         |
| <b>Fertilizante a sustituir por el biol</b> |                                      |   |   |                               |
| NPK o DAP                                   | Ahorro anual                         |   | <b>507,13 \$</b>                          |                               |

**Fuente:** Autores

De acuerdo a los resultados se obtiene que si se utiliza el biol como fertilizante se obtiene una producción anual de 19 sacos de urea de 50 kg, 1 saco de Muriato de potasio de 50 kg y 13 sacos de DAP de 50 kg.

Como los nutrientes del biol son variados el fertilizante a sustituir es el DAP ya que es aquel que contiene distintos nutrientes, es decir si en la finca en el año utiliza 19 sacos de DAP de 50 kg el ahorro económico será de 507,13 \$ anuales. En la tabla 7 se realiza la sumatoria de los ingresos económicos anuales.

**Tabla 7.** Ingresos económicos anuales.

| <b>Productos a sustituir por el proyecto</b> | <b>Dinero anual ahorrado</b> |
|--|------------------------------|
| Gas GLP                                      | 72 \$                        |
| Fertilizantes químicos                       | 507,13 \$                    |
| <b>Total, ingresos</b>                       | <b>579,13 \$</b>             |

### Costos de mantención

#### ➤ Cantidad de agua o carga diaria al biodigestor:

Para la alimentación del biodigestor se necesita de una mezcla de agua + excretas del ganado vacuno, reduciendo la cantidad de sólidos, ya que para el tratamiento de biodigestión se requiere de una dilución específica de acuerdo a la relación de mezcla. En el país el m<sup>3</sup> de agua cuesta 0,48\$ según (EITelegrafo, 2015). Es decir, en 324 litros que equivale a 0,324 m<sup>3</sup> para la mezcla, mensualmente se gastaría 4,66 \$.

#### ➤ Insumos de control de ambiente anaeróbico:

En ocasiones el ambiente se volverá tóxico debido a la cantidad de gases que se producen ocasionando que las bacterias dejen de trabajar, para eso en ocasiones se deberá añadir soluciones dentro del biodigestor como la cal para el control de nivel de acidez pH. Se asume un gasto de aproximadamente 5,60 \$ al mes.

#### ➤ Mantenimiento

El mantenimiento que se debe realizar al biodigestor es la limpieza constante del área donde se encuentra instalado, verificar posibles roturas que pudiesen generarse en el gasómetro o biodigestor y actuar colocando parches, por lo que simplemente gastaría en la pega, ya que los parches se incluyeron en la adquisición de los materiales. En la tabla 8 se refleja el costo total.

**Tabla 8.** Gastos mensuales y anuales para la mantención del biodigestor.

| <b>Elemento</b>                                | <b>Costo mensual</b> | <b>Costo anual</b> |
|--|----------------------|--------------------|
| Cantidad de agua o carga diaria al biodigestor | \$ 4,66              | \$ 55,92           |
| Insumos de control                             | \$ 5,60              | \$ 67,20           |
| Mantenimiento                                  | \$ 10,00             | \$ 120,00          |
| <b>TOTAL</b>                                   | <b>\$ 20,26</b>      | <b>\$ 243,12</b>   |

|            |  |      |
|------------|--|------|
| Anexo XII. | Fotografías del sistema de biodigestión implementado | 22-1 |
|------------|--|------|



a)



b)

**Fotografía:** a) Adquisición de la geomembrana tubular;  
b) Adquisición de bolsa para depósito de biogás.



a)



b)

**Fotografía:** a) Delimitación del área de ocupación del biodigestor;  
b) Excavación de la zanja



a)



b)

**Fotografía:** a) Preparación del biodigestor y colocación de tuberías de carga y descarga;  
b) Colocación del biodigestor en la zanja





a)

b)

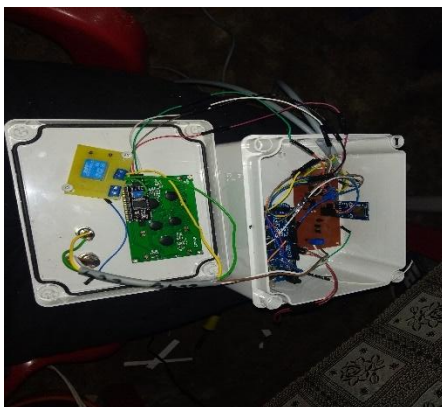
**Fotografía:** a) Caja de carga y mezcla de excretas y agua;  
b) Primera carga realizada al biodigestor



a)

b)

**Fotografía:** a) Instalación de la válvula de control de sobrepresión;  
b) Válvula de control instalada a la salida del biodigestor.



a)

b)

**Fotografía:** a) Conexiones y programación de la caja de monitoreo de T y pH;  
b) Caja de monitoreo instalada.



**Fotografía:** Manómetro de columna de agua instalado en la tubería de conducción de biogás.



a)



b)

**Fotografía:**

a) Preparación de filtro de H<sub>2</sub>S;

b) Colocación del filtro de H<sub>2</sub>S en la manguera que conduce biogás hacia el gasómetro.



a)



b)

**Fotografía:** a) Gasómetro instalado cerca del lugar de consumo del biogás;



b) Gasómetro totalmente lleno de biogás, listo para su combustión



a)

b)

**Fotografía:** a) Instalación de la manguera hasta la cocina de consumo;  
b) Manguera y válvula de apertura instalada



a)

b)



c)

**Fotografía:**

- a) Combustión directa de biogás en cocina normal;
- b) Experimentación del tiempo de que le lleva al biogás en hervir 1 lt de agua
- c) Temperatura final obtenida hasta que el agua llegue al punto de ebullición



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Electromecánica

# **MANUAL DE USUARIO**

## **USO Y MANTENIMIENTO DEL**

### **BIODIGESTOR**





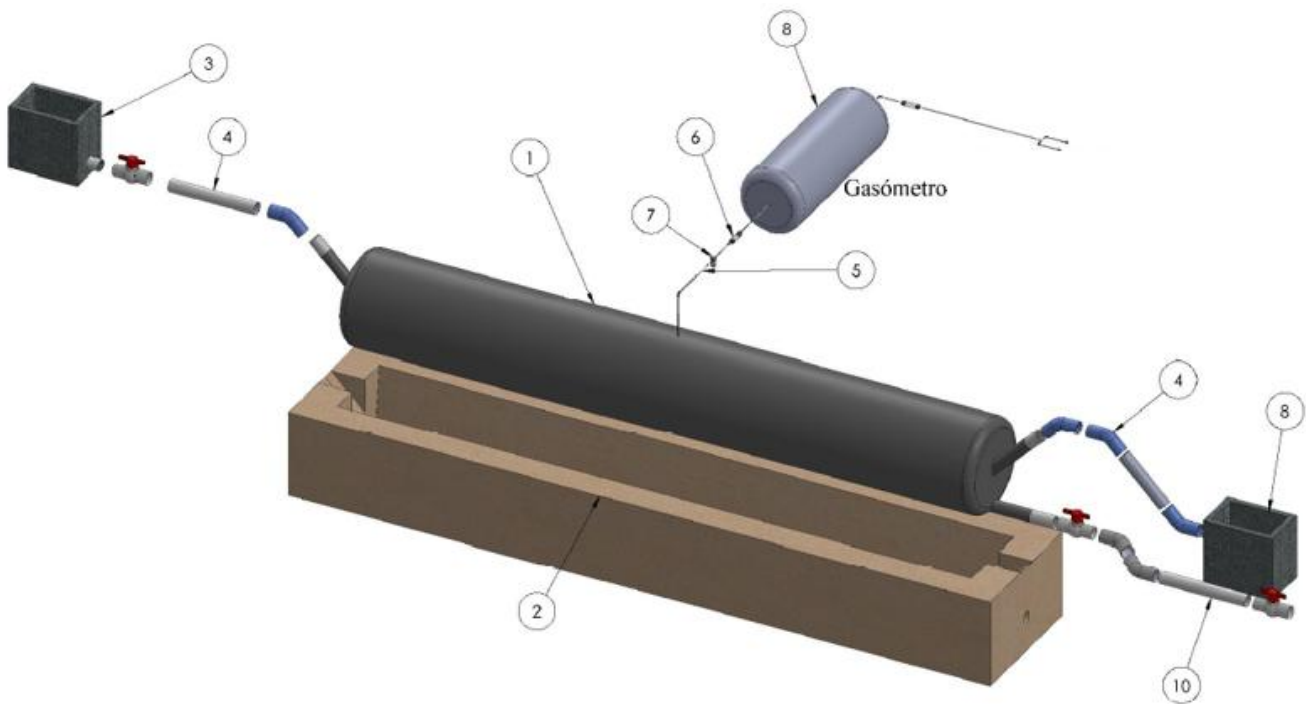
## ÍNDICE

|   |   |
|---|---|
| 1. INTRODUCCIÓN.....  | 1 |
| 2. COMPONENTES DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN .....                        | 1 |
| 3. ALIMENTACIÓN DIARIA AL BIODIGESTOR.....                              | 2 |
| 4. USO DEL BIOGÁS .....   | 2 |
| 5. USO DEL BIOL .....   | 3 |
| 5.1. Beneficios del biol.....   | 3 |
| 6. MANTENIMIENTO A LÍNEA DE BIOGÁS .....                                | 4 |
| 6.1. Válvula de alivio.....   | 4 |
| 6.2. Tubería de conducción de biogás .....                              | 4 |
| 6.2.1. Fugas de biogás .....  | 5 |
| 6.3. Filtro de ácido sulfhídrico.....                                   | 5 |
| 6.4. Gasómetro.....   | 5 |
| 7. MANTENIMIENTO AL BIODIGESTOR .....                                   | 5 |
| 8. PROTECCIÓN DEL SISTEMA .....   | 6 |
| 9. PROBLEMAS MAS FRECUENTES Y POSIBLES SOLUCIONES .....                 | 6 |
| 9.1. No hay flujo de biogás en el equipo de consumo. ....               | 7 |
| 9.2. No hay producción de biogás en el biodigestor.....                 | 7 |
| 10. PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL MANEJO Y OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR..... | 7 |
| 10.1. Riesgo en el manejo y producción de biogás.....                   | 7 |
| 10.2. Quemaduras o incendios.....                                       | 8 |
| 10.3. Intoxicación por inhalación .....                                 | 8 |
| 11. RIESGOS EN LA PRODUCCIÓN Y MANEJO DEL BIOL.....                     | 8 |
| 11.1. Daño a cultivos .....   | 8 |
| 11.2. Infecciones.....  | 8 |

## 1. INTRODUCCIÓN

Este manual presenta la estructura básica para el correcto uso y mantenimiento del biodigestor, le aconsejamos siga cuidadosamente las instrucciones pues tanto el funcionamiento como la duración, dependen del uso correcto.

## 2. COMPONENTES DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN



**Figura 1.** Esquema general del sistema de biodigestión.

**Fuente:** Autores

**Tabla 1.** Elementos que conforman el biodigestor.

| Abreviatura | Descripción  |
|-------------|--|
| 1           | Biodigestor, lugar donde se realiza la digestión anaeróbica. |
| 2           | Zanja, lugar donde se coloca el biodigestor.                 |
| 3           | Tanque de mezcla de la biomasa con el agua.                  |
| 4           | Tubería de carga y descarga del sistema.                     |
| 5           | Tubería de conducción de biogás.                             |
| 6           | Filtro de ácido sulfhídrico.                                 |

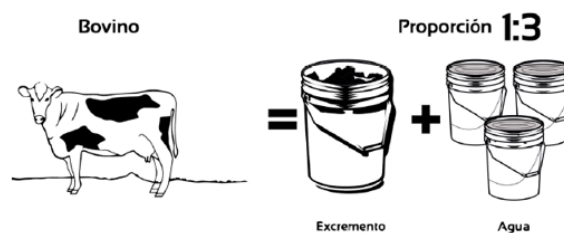
|    |   |
|----|---|
| 7  | Válvula de alivio de presión.                           |
| 8  | Gasómetro, lugar donde se almacena el biogás producido. |
| 9  | Caja de descarga del biól.                              |
| 10 | Tubería de mantenimiento.                               |

Fuente: Autores

### 3. ALIMENTACIÓN DIARIA AL BIODIGESTOR

La alimentación diaria es una mezcla de estiércol con agua. La cantidad de agua depende del tipo de excremento, en nuestro caso se trata de ganado vacuno la proporción es de 1:3.

1. El estiércol debe estar lo más limpio posible, libre de piedras, plásticos, alambres y residuos de gran tamaño.
2. Evitar utilizar excremento de animales a los que se les aplicó medicamento antivirales o antibióticos en los 5 días anteriores.
3. La alimentación diaria puede hacerse por drenaje o desde el corral, o recogiendo el estiércol con pala en carretilla o cubetas para llevarlo al tanque de mezcla.



**Figura 2.** Relación de mezcla de biomasa y agua.

Fuente: [1]

Cuando la alimentación se hace de forma manual, es recomendable recoger el estiércol con una pala y cubetas o carretilla. Llevar la biomasa a al tanque de mezcla y deshacer por completo los sólidos con la cantidad de agua requerida para la mezcla.



**Figura 3.** Carga diaria de bioma.

Fuente: [1]

#### 4. USO DEL BIOGÁS

La producción de biogás depende del tamaño del biodigestor y en consecuencia de su capacidad de producción, el uso de esta fuente de energía puede ser usada de forma residencial, así como industrial. Para usarla de forma residencial se la puede usar como energía térmica para cocción de alimentos, para calentar agua en baños, para iluminación en lámparas a biogás.



**Figura 4.** Utilización de biogás.

**Fuente:** Autores

#### **Importante**

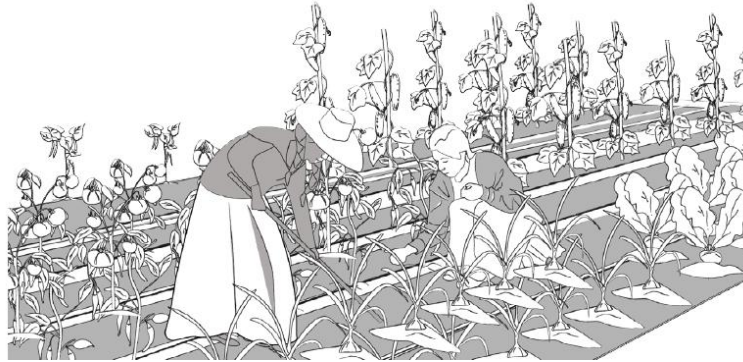
- ✓ El biogás no tiene riesgo de explosión porque está almacenado a baja presión ya que tiene un peso menor al aire.
- ✓ En caso de que exista alguna fuga el biogás se disipa al instante en el medio ambiente.
- ✓ No se puede usar directamente en equipos de gas GLP por la diferencia de presión, es necesario realizar modificaciones a las conexiones de los equipos.

#### 5. USO DEL BIOL

El biol es un subproducto de la digestión anaeróbica dentro del biodigestor, es la mezcla de biomasa y agua que ha sido procesada y es muy rica en nutrientes. Esta materia orgánica al regresar al suelo cierra un ciclo dentro del medio ambiente, permitiendo la recuperación de los suelos mejorando la producción de cultivos.

##### **5.1. Beneficios del biol**

- ✓ Mejora la calidad del suelo
- ✓ Aumenta el vigor de la semilla
- ✓ Mejora el follaje
- ✓ Fortalece la floración



**Figura 5.** Utilización del biól.

**Fuente:** [1]

## 6. MANTENIMIENTO A LÍNEA DE BIOGÁS

Se debe tomar en cuenta las que la conducción de biogás está compuesta por varios equipos muy importantes, ya que son los que nos garantizaran el correcto flujo de biogás para su utilización, así como su buena calidad.

### 6.1. Válvula de alivio

Se debe revisar diariamente que el nivel del agua en la válvula de alivio se encuentre a una altura adecuada, esta no debe ser mayor a los 10 cm de altura. En caso de no estar en el nivel adecuado se debe completar el agua a su nivel de trabajo.



**Figura 6.** Válvula de alivio.

**Fuente:** Autores

### 6.2. Tubería de conducción de biogás

Se recomienda hacer inspecciones visuales a lo largo de la tubería de conducción de biogás, especialmente donde se encuentran formado los valles, y dirigir cualquier acumulación de agua hacia la válvula de alivio o al biodigestor.

### 6.2.1. Fugas de biogás

Verificar periódicamente que no existan fugas en las mangueras, válvulas, acoples, uniones, reducciones y en todos los componentes de conducción. Un indicador importante para considerar es el olor, en caso de existir alguna fuga se debe cambiar el componente dañado.

### 6.3. Filtro de ácido sulfhídrico

El filtro de ácido sulfhídrico tiene la función de retener las partículas de ácido sulfhídrico mediante el material filtrante que es óxido ferroso (virutas de hierro oxidado).

Es necesario cambiar el material filtrante cada cierto tiempo, cuando el biogás tenga un olor a azufre o huevo podrido.

Para cambiar el material filtrante se debe cerrar todas las válvulas de paso, luego proceder a cambiar y abrir todas las llaves del sistema de biodigestión.



**Figura 7.** Filtro de ácido sulfhídrico.  
**Fuente:** Autores

### 6.4. Gasómetro

En caso de tener fugas en el gasómetro se recomienda buscar la fisura o fuga, luego de encontrar la falla usar todo el biogás que mantiene y cuando se encuentre vacío parchar limpiando bien el lugar afectado, se debe usar el mismo material del gasómetro para su parche y como pegamento se debe usar llama roja.



**Figura 8.** Gasómetro.  
**Fuente:** Autores



## 7. MANTENIMIENTO AL BIODIGESTOR

Se debe realizar cada 2 o 3 años de acuerdo a su eficiencia, en caso de detectar una baja en la producción de biogás sin razón alguna.



**Figura 9.** Biodigestor.

**Fuente:** Autores

El mantenimiento consiste en provocar que salgan los sólidos sedimentados en el fondo del biodigestor, para ello se debe realizar el siguiente proceso:

1. Consumir el biogás hasta que tenga poco o nada.
2. Introducir agua con manguera por la entrada del reactor, la cantidad de agua a introducir deberá ser aproximadamente  $\frac{3}{4}$  parte de la capacidad del biodigestor.
3. Al mismo tiempo que se ingresa agua al biodigestor se debe agitar constantemente, mezclando bien los lodos logrando turbulencias, levantando sólidos sedimentados y disolviéndolos.
4. Permitir la expulsión del efluente que se encuentra dentro del biodigestor por medio de la tubería de mantenimiento.

## 8. PROTECCIÓN DEL SISTEMA

El biodigestor puede durar varias décadas si se protege adecuadamente. Se recomienda construir un cerco perimetral que limite el acceso a personal no autorizado y de animales que pudieran ingresar y dañar el sistema.

La construcción del techo que permita proteger contra objetos que puedan caer sobre el biodigestor, como ramas de árboles, eleva el nivel de protección.



**Figura 10.** Cubierta de biodigestor.



Fuente: Autores

## **9. PROBLEMAS MAS FRECUENTES Y POSIBLES SOLUCIONES**

### **9.1. No hay flujo de biogás en el equipo de consumo.**

1. Verificar las válvulas pueda que se encuentren cerradas, abrirlas de ser el caso.
2. No hay biogás en el sistema deberá esperar a que se produzca.
3. Puede existir agua en la tubería de conducción de biogás, revisar el sistema prioritariamente en los lugares donde se encuentra formado los valles.
4. Revisar la tubería de conducción de biogás puede que se encuentre doblada.
5. Revisar todo el sistema pueda que existan fugas en los puntos de conexión.
6. Existe poca presión, se puede colocar un peso en el gasómetro y enviar el biogás a presión a los equipos.

### **9.2.No hay producción de biogás en el biodigestor**

1. Hay fuga en el biodigestor, se debe detectar y reparar.
2. El nivel de la biomasa en la tubería de carga y descarga se encuentra por debajo del necesario, lo cual provoca que el biogás se escape, siendo este el caso se debe agregar agua hasta lograr los sellos de agua.
3. La mezcla en el interior del biodigestor no contiene la cantidad necesaria de biomasa o agua.
4. La válvula de alivio no tiene agua por lo cual deja escapar el biogás. Se debe llenar de agua la válvula y esperar a que se llene de biogás el biodigestor.
5. Realizaron mezcla con químicos en el agua o el estiércol, afectando las bacterias y su producción de biogás. Deberá hacer una reactivación de biogás.
6. Existe una sobrecarga de estiércol, generando una indigestión y afectando la producción de biogás. Deberá hacer una purga.

## **10. PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL MANEJO Y OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR**

Es importante conocer los riesgos que existen al momento de operar el sistema de biodigestión y tomar las respectivas precauciones, en este manual se mencionaran los riesgos más frecuentes a considerar para el manejo del sistema.

### **10.1. Riesgo en el manejo y producción de biogás**

El biogás producido en el biodigestor es un gas inflamable que se utiliza como combustible para diferentes equipos o como energía térmica. La presión del biogás del biodigestor se encuentra en

estado gaseoso a una presión no mayor a los 10 cm de columna de agua lo mismo que equivale a 9,81 mbar.

Considerando que el biogás es inflamable al igual que el gas GLP, gasolina o diésel el usuario debe considerar las respectivas prevenciones:

### **10.1.1. Quemaduras o incendios**

Las medidas que se debe tomar para prevenir riesgos de quemaduras o incendios son las siguientes:

- ✓ No fumar cerca del biodigestor gasómetro.
- ✓ Asegurarse que el sistema no tenga fugas, reparándolas a tiempo.
- ✓ Asegurar que las llaves de los equipos de utilización de biogás estén cerradas.
- ✓ No encender fogatas cerca del biodigestor y el gasómetro.

### **10.1.2. Intoxicación por inhalación**

Acción de prevención para riesgos de intoxicación.

- ✓ No inhalar de manera directa y prolongada el biogás, usar mascarillas.
- ✓ Ventilar el lugar donde se detecte alguna fuga de biogás dentro de espacios cerrados.

## **11. RIESGOS EN LA PRODUCCIÓN Y MANEJO DEL BIOL**

El biol producido en el biodigestor es el efluente líquido, resultante del tratamiento de la materia orgánica, sirve como abono para los cultivos y remediador de suelos.

El biol se descarga del biodigestor por medio de una tubería y es almacenado para su utilización en los cultivos, para evitar la formación de gases se debe almacenar en tanques que no tengan más de 1 m de profundidad.

### **11.1. Daño a cultivos**

Prevención a los posibles daños a los cultivos y plantaciones.

1. Aplicar el biol a los cultivos de acuerdo a la dilución, frecuencia y dosis recomendada por un técnico calificado.

### **11.2. Infecciones**

Acción de prevención para riesgos de infecciones:

1. En caso de que caiga biol en los ojos, lavar con agua.
2. Lavar las manos con abundante agua y jabón al concluir el manejo del biól.
3. No ingerir biól.