



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
**PIRHUA**

# SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE GANADO VACUNO Y SU APLICACIÓN EN LA AGROPECUARIA CAMPOS DEL CHIRA E.I.R.L

Exequiel Gonzales, Fiorella Castillo,  
Stefany del Socorro Correa, Claudia Retto

Piura, 18 de noviembre de 2017

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](https://repositorio.institucional.pirhua.edu.pe/)

# UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**“SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE  
GANADO VACUNO Y SU APLICACIÓN EN LA AGROPECUARIA CAMPOS  
DEL CHIRA E.I.R.L”**

**Ingeniería Industrial y de Sistemas**

Gonzales Guerra, Exequiel Frantz

Castillo Chanava, Fiorella Mercedes

Correa Correa, Stefany del Socorro

Retto Saavedra, Claudia Romina

**Sponsor:** Dr. Ing. Dante Guerrero

**Monitor:** Dr. Ing. Jorge Viera

Piura, noviembre del 2017



## **Resumen**

El proyecto tiene como finalidad el diseño de un biodigestor para la alimentación de dos cocinas industriales, una cocina doméstica y doce focos aprovechando las excretas de ganado vacuno a fin de satisfacer la demanda energética en la cocción de alimentos y para la iluminación.

La propuesta del presente trabajo presentará siete capítulos relacionados al diseño y construcción de un biodigestor en la agropecuaria Campos del Chira. En el segundo capítulo se hará un análisis de la situación actual de Viviate y de la agropecuaria. En el cuarto capítulo se desarrolla el marco metodológico en el cual se detalla los factores a tener en cuenta para la producción del biogás. El capítulo cinco, desarrolla el diseño del biodigestor, dimensionamiento, ubicación, materiales y costos. Asimismo, el siguiente capítulo trata del diseño de distribución de biogás con la descripción de los materiales y equipos necesarios. Finalmente concluimos con la evaluación del proyecto en los aspectos ambiental, socioeconómico y financiero.



# Índice

## Resumen

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción.....                                                | 1  |
| Capítulo 1. Antecedentes.....                                    | 3  |
| 1.1. Historia de biodigestores .....                             | 3  |
| 1.1.1. India .....                                               | 4  |
| 1.1.2. China.....                                                | 4  |
| 1.2. Investigaciones sobre biodigestores.....                    | 5  |
| 1.3. Biodigestores en el Perú .....                              | 9  |
| 1.4. Tipos de materia prima para biodigestores .....             | 11 |
| 1.4.1. Materia prima de origen agrícola.....                     | 11 |
| 1.4.2. Materia prima de origen industrial .....                  | 11 |
| 1.4.3. Materia prima de origen urbano o residencial .....        | 12 |
| 1.5. Ganado vacuno y emisiones de metano .....                   | 12 |
| Capítulo 2. Situación Actual .....                               | 15 |
| 2.1. Características geográficas y climáticas de la región ..... | 15 |
| 2.1.1. Geografía .....                                           | 15 |
| 2.1.2. Clima .....                                               | 16 |
| 2.2. Agropecuaria Campos del Chira EIRL .....                    | 17 |
| 2.2.1. FODA .....                                                | 19 |
| 2.2.2. Análisis del entorno .....                                | 19 |
| 2.2.3. Actividades .....                                         | 20 |
| 2.2.4. Productos .....                                           | 21 |
| ➤ Leche y queso fresco .....                                     | 21 |
| ➤ Miel de abeja y algarrobina .....                              | 22 |
| 2.2.5. Problemas .....                                           | 22 |
| 2.3. Tecnología actual en biodigestores .....                    | 23 |

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| Capítulo 3. Marco Teórico .....                 | 25 |
| 3.1. Combustibles gaseosos .....                | 25 |
| 3.1.1. Gas natural.....                         | 25 |
| 3.1.2. Gas propano.....                         | 26 |
| 3.1.3. Gas metano .....                         | 27 |
| 3.1.4. Biogás .....                             | 28 |
| Definición de biomasa .....                     | 28 |
| Digestión anaeróbica .....                      | 29 |
| Definición de biogás.....                       | 32 |
| Aplicaciones .....                              | 33 |
| 3.2. Biodigestor.....                           | 35 |
| 3.2.1. Definición .....                         | 35 |
| 3.2.2. Aspectos básicos.....                    | 36 |
| 3.2.3. Productos .....                          | 37 |
| Biogás .....                                    | 37 |
| Fertilizante orgánico .....                     | 38 |
| 3.2.4. Biodigestores tradicionales.....         | 39 |
| Biodigestor de domo flotante .....              | 39 |
| Biodigestor de domo fijo .....                  | 40 |
| Biodigestor de estructura flexible.....         | 42 |
| 3.2.5. Biodigestores industriales.....          | 42 |
| 3.3. Cocinas.....                               | 43 |
| 3.3.1. Cocina industrial.....                   | 43 |
| 3.3.2. Cocina a biogás.....                     | 43 |
| 3.3.3. Estufas especiales para biogás.....      | 44 |
| 3.4. Sistema de iluminación a base de gas ..... | 45 |
| 3.4.1. Motores a gas.....                       | 45 |

|             |                                                                     |    |
|-------------|---------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.2.      | Motores a gasolina.....                                             | 45 |
| 3.4.3.      | Motores a diesel.....                                               | 46 |
| Capítulo 4. | Marco Metodológico .....                                            | 47 |
| 4.1.        | Factores a tener en cuenta para la producción de biogás .....       | 47 |
| 4.1.1.      | Naturaleza y composición química de la materia prima.....           | 47 |
| 4.1.2.      | Relación carbono/nitrógeno de las materias primas .....             | 49 |
| 4.1.3.      | Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles.....                 | 50 |
| 4.1.4.      | Temperatura.....                                                    | 50 |
| 4.1.5.      | Tiempo de retención hidráulico .....                                | 51 |
| 4.1.6.      | Nivel de acidez .....                                               | 51 |
| 4.1.7.      | Inhibidores de la fermentación .....                                | 52 |
| 4.2.        | Métodos para estimar la producción de biogás.....                   | 52 |
| 4.3.        | Criterios para la elección del biodigestor.....                     | 54 |
| Capítulo 5. | Diseño del biodigestor .....                                        | 57 |
| 5.1.        | Matrices para la selección del tipo de biodigestor .....            | 57 |
| 5.2.        | Parámetros de funcionamiento y producción de biogás .....           | 58 |
| 5.2.1.      | Sólidos totales y concentración de la materia prima .....           | 58 |
| 5.2.2.      | Carga orgánica volumétrica.....                                     | 59 |
| 5.2.3.      | Cantidad de agua y de materia prima .....                           | 60 |
| 5.2.4.      | Temperatura de funcionamiento.....                                  | 61 |
| 5.3.        | Dimensionamiento .....                                              | 61 |
| 5.4.        | Ubicación .....                                                     | 69 |
| 5.5.        | Materiales y costos.....                                            | 71 |
| 5.6.        | Diseño de la distribución de biogás .....                           | 74 |
| 5.6.1.      | Descripción y capacidades de equipos que posee la agropecuaria..... | 74 |
| 5.6.2.      | Dimensionamiento de las tuberías.....                               | 74 |
| Capítulo 6. | Evaluación .....                                                    | 79 |

|                   |                                                                           |     |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1.              | Biogás vs otros tipos de combustibles .....                               | 79  |
| 6.1.1.            | Criterios de comparación.....                                             | 79  |
| 6.1.2.            | Cuadro comparativo entre biogás y otros tipos de combustibles .....       | 80  |
| 6.2.              | Impacto ambiental.....                                                    | 81  |
| 6.2.1.            | Matriz Causa efectos .....                                                | 81  |
| 6.2.2.            | Criterios a evaluar.....                                                  | 81  |
| 6.2.3.            | Factores ambientales a evaluar .....                                      | 82  |
| 6.2.4.            | Matrices de identificación y cuantificación de impactos ambientales ..... | 82  |
| 6.3.              | Evaluación Socioeconómica .....                                           | 85  |
| 6.4.              | Evaluación financiera .....                                               | 90  |
| Conclusiones..... |                                                                           | 93  |
| Bibliografía..... |                                                                           | 95  |
| Anexos .....      |                                                                           | 103 |

## **Introducción**

La producción de biogás es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en un entorno anaerobio, es decir, carente de oxígeno. Dicho proceso lo realizan microorganismos el cual involucra la fermentación de materiales orgánicos para obtener el biogás. Este producto se realiza dentro de biodigestores los cuales buscan optimizar la producción de biogás.

La investigación de un sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos se realizó por una problemática con el manejo de las emisiones de metano a la atmósfera debido a las excretas de ganado vacuno, el ordenamiento de éste y la oportunidad de generar energía luminaria y para la cocción de alimentos.

El objetivo del proyecto es poder darle un uso al biogás para alimentar dos cocinas industriales, una cocina doméstica y doce focos en los corrales donde se ubican las vacas a través de un biodigestor. Actualmente, la agropecuaria posee tres paneles solares que solo abastecen una parte de la necesidad luminosa debido a que no llega a abastecer por completo todas las horas de ordeño y las necesidades energéticas de los habitantes.

El proyecto posee un análisis de la situación actual, marco teórico y metodológico; así como el diseño del biodigestor y del transporte de biogás a sus puntos de consumo. Finalmente, se concluye con la evaluación de proyecto en términos ambientales, socioeconómicos y financieros.



## Capítulo 1. Antecedentes

La tecnología de los biodigestores se usa prácticamente en todo el mundo a partir de la preocupación de distintos países en su matriz energética. Actualmente, es conocida la tecnología de biodigestores para la obtención de biogás. Es por ello que debemos presentar la información disponible en historia, biodigestores, materia prima y las emisiones de metano a partir del ganado.

### 1.1. Historia de biodigestores

Siempre ha sido de interés la producción de los gases para su utilización, es conocido que grandes acumulaciones de residuos orgánicos producen emisiones de gas metano. En 1776, Volta descubrió que existía una conexión directa entre la cantidad de material orgánico utilizado y la cantidad de gas producido por el material. (Abbasi, Tauseef, & Abbasi, 2012).

Encontrar un uso al biogás y al conocimiento generado era importante, es por ello que a partir del siglo XIX se hace conocido el biodigestor. En la Tabla 1. Cronología del desarrollo del biodigestor se puede observar una breve cronología del biodigestor.

Tabla 1. Cronología del desarrollo del biodigestor

| Año           | Investigador/<br>País | Aportación                                                                                                                                                                    |
|---------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1881          | Mouras                | Aplicó la digestión Anaerobia por primera vez para el tratamiento de aguas residuales, construyendo una versión cruda de tanque séptico que lo llamó "Eliminador Automático". |
| 1985          | Cameron               | Construye un tanque similar al "Eliminador Automático" de Mouras pero con mejor eficiencia de tratamiento y lo llamó "Tanque séptico".                                        |
| 1895-<br>1969 | Varios                | Desarrollaron la tecnología para la estabilización de lodos de las aguas residuales domésticas, como calentadores y mezcladores.                                              |
| 1944-<br>1945 | Oeste<br>Alemania     | de Nace la idea de utilizar desechos agrícolas como materia prima, así como el desarrollo de diferentes tipos de Biodigestores.                                               |
| 1950's        | Francia               | Instalan alrededor de 1000 biodigestores anaerobios desde tanques cubiertos hasta sistemas complejos de DA                                                                    |

| Año    | Investigador/<br>País                      | Aportación                                                                                                                                                                                                                      |
|--------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1960's | Cánada, EEUU, Oeste de Europa              | La principal materia prima para los biodigestores es el estiércol de ganado.                                                                                                                                                    |
| 1967   |                                            | Se introduce el concepto de filtro Anaeróbico.                                                                                                                                                                                  |
| 1970's | Varios                                     | Se aplican sistemas de biodigestión al tratamiento de aguas residuales industriales debido al incremento del precio del petróleo.                                                                                               |
| 1990's | España, Bélgica, Holanda, Suiza y Alemania | Estos países tienen las mayores capacidades de digestión anaerobia per cápita entre los países europeos.                                                                                                                        |
| 2000's | Europa                                     | Existen gran cantidad de biodigestores de gran tamaño en plantas de tratamiento de aguas residuales, plantas de tratamientos de MSW, instalaciones de gas de vertedero y plantas de procesamiento de bioproductos industriales. |
| 2020   |                                            | Se prevé que el mayor volumen de Biogás producido provendrá de granjas y grandes plantas de Biogás de Co-digestión integradas en el sector agrícola y procesamiento de alimentos.                                               |

*Fuente: (Siadén Paiva, 2017) Plataforma de un sistema embebido para el control y monitoreo en tiempo real aplicado a biodigestores para la óptima producción de biogás (Tesis de Máster en Ingeniería Mecánico-Eléctrica con Mención en Automática y Optimización). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.*

Sin embargo, se considera importante hablar un poco más a fondo de la historia de los biodigestores en India y China debido a que fueron los pioneros que prácticamente guiaron a otras regiones como Asia y África.

#### **1.1.1. India**

En 1987, India desarrolló el primer digestor anaeróbico en Mumbai donde se utilizaron residuos humanos para generar gas y satisfacer necesidades eléctricas. Se realizaron intensos estudios como el del Instituto de Investigación Agrícola de la India (IARI por sus siglas en inglés) siendo este exitoso, este avance motivó a la realización de plantas de biogás. La más sobresaliente es “Grama Laxmi III” que fue hecha por Joshbai Patel. Esta fue la planta prototipo para que “Khadi y la Comisión de la Industria del Pueblo” (KVIC por sus siglas en inglés) definiera el modelo de domo flotante. (Abbasi, Tauseef, & Abbasi, 2012).

Actualmente el Gobierno de India tiene un programa llamado Programa Nacional de Manejo de Biogás y Estiércol (NBMMP por sus siglas en inglés) para ubicar plantas de biogás y brindar cursos de entrenamiento sobre el funcionamiento y mantenimiento de las plantas (ver Anexo 1) (Government of India. Ministry of New and Renewable Energy. Biogas Technology Development Division, 2017).

#### **1.1.2. China**

China es uno de los primeros países que ha desarrollado y utilizado biogás. A finales del siglo XIX, aparecieron simples digestores de biogás en las zonas costeras del sur de

China. En la década de 1920, Luo Guorui en Taiwán creó el primer biodigestor de presión de agua (He, Bluemling, P.J.Mol, & Zhang, 2013).

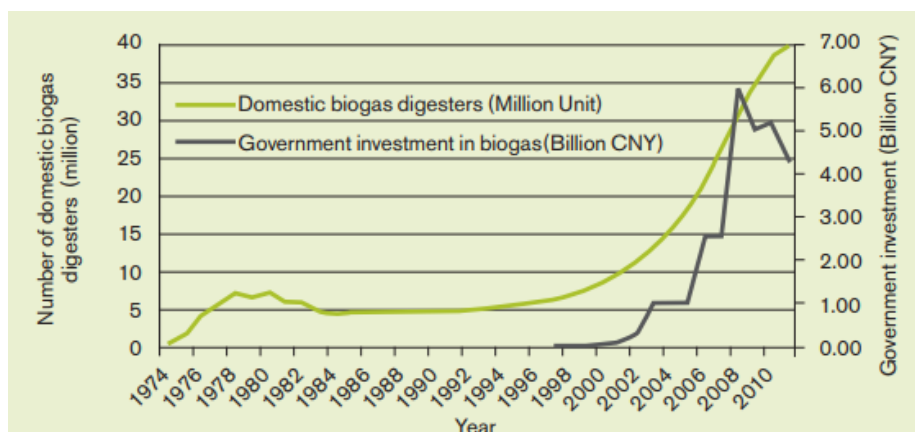
Después de 1975 el slogan “Biogás para cada casa” fue muy común y llevó a la construcción de 1.6 millones de biodigestores al año. A partir de ello se determinó que para el 2020 existirían 84 millones de biodigestores (Sharma & Kar, 2015).

China ha organizado activamente sus provincias pertinentes para llevar a cabo proyectos modelo de biogás para hogares rurales en países como Camboya y Laos (ver Anexo 2) (Country Report on China's Participation in Greater Mekong Subregion Cooperation, s.f.)

En el 2003 ocurrió un cambio radical en el Programa Nacional de Biogás Rural ya existente debido a que nunca antes se había realizado una inversión anual tan fuerte de más de un billón de yuanes chinos, aproximadamente a USD 124 millones<sup>1</sup>. (International Institute for Environment and Development, 2013).

La inversión gubernamental en el sector del biogás continuó creciendo hasta alcanzar los 6.000 millones de CNY (863 millones de dólares) al año en 2008. Mientras tanto, las plantas de biogás de gran y mediana escala para las explotaciones ganaderas comenzaron a crecer rápidamente. (International Institute for Environment and Development, 2013). El número total de digestores domésticos de biogás en uso a lo largo de los años y la inversión gubernamental anual en programas de biogás se muestran en la Figura 1.

*Figura 1. Número de biodigestores domésticos y la inversión gubernamental anual de China en biogás (1974-2011)*



*Fuente:* (International Institute for Environment and Development, 2013)

## 1.2. Investigaciones sobre biodigestores

La actividad ganadera produce entre 15-20% de la emisión mundial de gas metano. El ganado bovino realiza un proceso digestivo en el cual degradan la celulosa ingerida a glucosa, que fermentan luego a ácido acético y reducen el dióxido de carbono, formando metano en el proceso. (Carmona, Bolívar, & Giraldo, 2005).

A nivel mundial ha incrementado la preocupación por la obtención de energías amigables con el ambiente y que aprovechen los recursos disponibles en diferentes zonas geográficas.

<sup>1</sup> A tipos de cambio de 2003.

A continuación, se presentarán los estudios realizados de manera cronológica según su fecha de publicación.

**Tratamiento de sustrato de bovino y producción de biogás en un biodigestor continuo con lombricultura. Universidad de Guadalajara. México**

El estudio se realizó en la planta de lombricultura del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara, con un procedimiento de medición del pH para obtener un alimento apto para la lombriz, así como la producción de biogás para observar el comportamiento de las bacterias en conjunto al conteo de microorganismos de bacterias, hongos y actinomicetos. (M. & Coss, 2015).

En el estudio se emplearon dos biodigestores tubulares de 5 metros de largo a temperatura ambiente y humedad interna de 75%. Con 100 kg de estiércol bovino y mezclados con 300L de agua cada uno, se preparó una población de 1 kg de lombriz en un metro cuadrado de tierra como población inicial. En donde se concluye que el uso de la lombricultura como una alternativa para la generación de tierra fértil, es una opción viable que permite acelerar el proceso de descarga del biodigestor y contribuir a equilibrar el ecosistema. (M. & Coss, 2015).

**Diseño de un biodigestor para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de vacas lecheras en la facultad de agronomía de la Universidad Nacional De La Pampa.**

Se optó por usar sólo el estiércol de uno de los ordeños diarios para un sistema de carga continuo en un digestor tipo hindú. Para calentar el biodigestor se usó una serpentina de cobre interior, en forma de espiral. Un sistema de acero inoxidable, accionado por un motor que permitiría el mezclado del estiércol. Una cámara de descarga, dividida en dos sectores permitirá recoger el lodo residual ubicado en la parte inferior y el líquido. Se emplea un dispositivo de almacenamiento para el gas (ver Anexo 3) y el costo total del digestor, en la región en estudio, asciende a \$31699,5. (C.Filippín, Follari, & Vigil, Diseño de un biodigestor para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de vacas lecheras en la facultad de agronomía de la Universidad Nacional De La Pampa., 1988)

El gas metano producido es aproximadamente 35m<sup>3</sup> que serán empleados para satisfacer los requerimientos del campo. Se emplearán 5.5 m<sup>3</sup> de gas metano serán empleados para el calentamiento de agua para higienizar las ubres. La diferencia de producción de gas será empleada para disminuir el consumo de gas envasado en el secadero de girasol (C.Filippín, Follari, & Vigil, Diseño de un biodigestor para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de vacas lecheras en la facultad de agronomía de la Universidad Nacional De La Pampa., 1988).

Uno de los aspectos más interesantes de este estudio es el diseño de un sistema de control electrónico de las condiciones ambientales, permitirá medir temperatura, concentración de sólidos volátiles, velocidad de carga, velocidad de salida, pH, formación de espuma, sustancias tóxicas, grado de mezcla, cantidad y calidad del gas producido (C.Filippín, Follari, & Vigil, Diseño de un biodigestor para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de vacas lecheras en la facultad de agronomía de la Universidad Nacional De La Pampa., 1988).

**Propuesta de diseño implementación y gestión de operaciones de biodigestores en la empresa Viña Castilla. (Tesis de pregrado en Ingeniería Industrial). Universidad de Peruana de Ciencias Aplicadas. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú.**

La tesis presenta el diseño de implementación, el cálculo de dimensiones del biodigestor, volumen, tamaño de la zanja, producción estimada de gas, diseño de línea del biogás y el mantenimiento. Además, se evalúa el impacto económico que tiene la propuesta en la empresa demostrando la viabilidad de la misma. (Carrasco Bravo, 2015).

A través del software Arena Simulator y con los datos históricos de consumo de leña de los años 2012 y 2013 se logró hacer un análisis de ahorro con la implementación del biodigestor.

*Tabla 2. Resultados brindados por Arena Simulator en indicadores*

| Variables          | Resultados            |
|--------------------|-----------------------|
| Leña empleada      | 2390 kg.              |
| Gastos ahorrados   | S/. 23,424            |
| Cantidad de biogás | 217.72 m <sup>3</sup> |

*Fuente:* (Carrasco Bravo, 2015).

Se observa que la cantidad de leña empleada durante el proceso de producción fue de aproximadamente unos 2390 kilogramos. El ahorro generado por el reemplazo de leña con biogás fue de unos S/ 23, 424.00 y el inventario final de biogás fue de 218m<sup>3</sup>.

Cantidad de Biogás 178 267 15 21.6 6 Ahorro Biodigestor 1.01E+04 1.04E+04 15 1030 1 Lena Consumida 2.27E+03 2.53E+03 15 234 1127 kilogramos. El ahorro generado por reemplazo de leña con biogás fue de unos 23424 soles y el inventario final de biogás fue de 218 metros cúbicos.

**Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado. (Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánico-Eléctrica). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.**

El objetivo de esta tesis es realizar el diseño de una instalación de biogás doméstico que permita aprovechar las excretas de ganado vacuno y/o porcino para satisfacer la demanda energética, para la iluminación y la cocción diaria de alimentos, de una familia de unos cinco o seis miembros. El diseño incluye el dimensionamiento del biodigestor, la ubicación donde se instala el biodigestor; del gasómetro y de las tuberías de transporte de gas desde el biodigestor hasta el gasómetro y desde éste hasta los puntos de consumo (ver Anexo 4) (Arrieta Palacios W. , Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado, 2016).

**Evaluación de la calidad de biogás y biol producido en biodigestores usando excretas de animales del Parque Zoológico de Huachipa. (Tesis de pregrado en Ingeniería Ambiental). Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias. Departamento Académico de Ingeniería Ambiental, Física y Meteorología. Lima, Perú.**

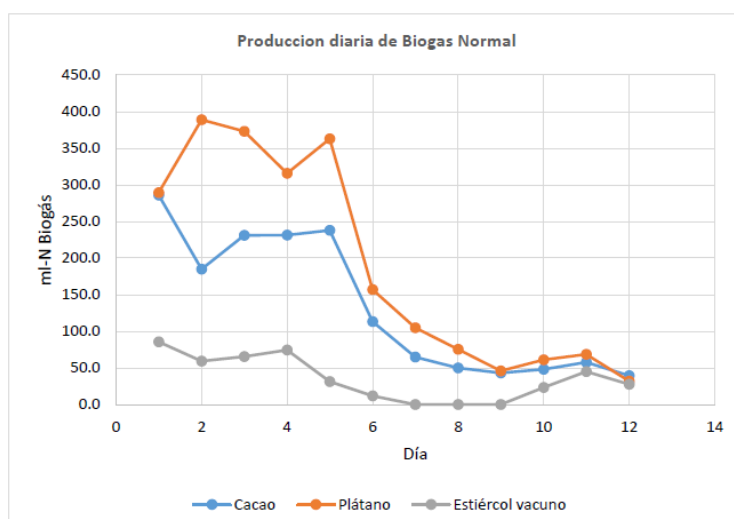
En la tesis se realizan tres etapas: la primera es la caracterización de los restos de las excretas de acuerdo a las zonas que presenta el Parque Zoológico de Huachipa, donde los animales se dividen en cuatro zonas: zona de granja, zona africana, zona felinario y zona de sabana, produciendo 56.75 kg, 31.39 kg, 20.82 kg y 29.86 kg de restos para cada zona

respectivamente (ver Anexo 5); en la segunda etapa se produce la fermentación anaeróbica empleándose reactores que simulan biodigestores tipo batch donde se mide diariamente los volúmenes de metano y biogás. Finalmente, en la tercera etapa se hace un análisis de la calidad del bioabono que se evacúan al final del proceso de fermentación anaeróbica de cada uno de los tratamientos. (Valdez Llantoy, 2016)

**Diseño e implementación de prototipos de digestión anaerobia para residuos agrícolas. (Tesis de licenciatura en Ingeniería Mecánico-Eléctrica). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.**

En la tesis se realizaron tres prototipos de biodigestores para el estudio del aprovechamiento de residuos agrícolas a través del proceso de digestión anaerobia. A través de ensayos se conoce cual producto produce mayor cantidad de metano. En primer lugar, se analizan las producciones de biogás en condiciones normales a partir de 40 gramos de sustrato. Ver Figura 2

*Figura 2. Producción diaria de biogás normal a partir de 40 gramos de sustrato.*



*Fuente: (Núñez Pintado L. , 2017)*

Como se puede observar la mayor producción de biogás se obtiene a partir de plátano, seguido por cacao y estiércol vacuno. Finalmente, se concluye que los residuos agrícolas presentan un alto potencial energético que actualmente no está siendo aprovechado.

**Plataforma de un sistema embebido para el control y monitoreo en tiempo real aplicado a biodigestores para la óptima producción de biogás. (Tesis de Máster en Ingeniería Mecánico-Eléctrica con Mención en Automática y Optimización). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.**

“El objetivo de este trabajo fue evaluar el diseño y construcción de una plataforma de sistema embebido para el control y monitoreo en tiempo real aplicado a diferentes prototipos de biodigestores a escala piloto ubicados en las instalaciones de la Universidad de Piura. Se busca determinar los adecuados instrumentos, controladores y selección de software de interfaz gráfica para los prototipos a instalar. Finalmente, la plataforma de sistema embebido fue puesta en marcha para procesos como control de temperatura en una cámara BMP para la medición del potencial bioquímico de metano y medición en línea de la producción de biogás en biodigestores Batch.” (Siadén Paiva, 2017).

**Potencial de energía eléctrica y factibilidad financiera para biodigestor-motogenerador en granjas porcinas de Puebla. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 8, núm. 3, abril-mayo, 2017, pp. 735-740 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Estado de México, México.**

Se estimó el potencial de energía eléctrica en 19 municipios de Puebla en granjas de más de 500 cerdos, dichas granjas podrían generar 17 875 MW de energía eléctrica al año, también se realizó un análisis financiero para cinco tamaños de granja propuesto con sistema biodigestor-motogenerador donde los indicadores resultaron positivos en todos los casos.

*Tabla 3. Análisis financiero para diferentes tamaños de granja (cabezas)*

| Cabezas | Biogás demandado (motogenerador m <sup>3</sup> año-1) | Energía eléctrica por motogenerador (kW año-1) | Costo biodigestor-motogenerador (\$) | VAN     | TIR (%) | B/C  |
|---------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|---------|---------|------|
| 500     | 34320                                                 | 49920                                          | 699971                               | 36959   | 13.35   | 1.67 |
| 1000    | 72072                                                 | 104832                                         | 1274848                              | 287283  | 17.44   | 1.94 |
| 2000    | 77220                                                 | 112320                                         | 1480848                              | 586369  | 21.48   | 2.17 |
| 3000    | 154440                                                | 224640                                         | 1989281                              | 1744038 | 32.12   | 2.85 |
| 5000    | 154440                                                | 224640                                         | 1989281                              | 2326487 | 35.47   | 3.07 |

Fuente: (Venegas Venegas, Espejel García, & Pérez Fernández, 2017)

### 1.3. Biodigestores en el Perú

El ITINTEC (Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas técnicas) impulsó el uso de biodigestores es por ello que en 1988 existían 108 biodigestores en su mayoría de modelo chino 10 a 12 m<sup>3</sup> de volumen instalados en los departamentos de Cajamarca y Puno (Siadén Paiva, 2017).

Se continuaron las investigaciones de biogás a cargo de CIPENC (Centro de Investigación y Promoción de Energías No Convencionales) a través del “Programa de biogás” cuyos objetivos eran generar energía para cocinas y luminaria, mejorar de uso de fertilizantes naturales y disminuir la erosión del suelo, a través de la construcción e instalación de biodigestores en su mayoría modelo chino y de campana flotante que eran alimentados con estiércol de animales (vacas, caballos, cerdos, ovejas, cabras y aves) y residuos vegetales (maíz, arroz, trigo y cebada). Sin embargo, este programa fracasó debido a la falta de conocimiento de la tecnología. (Siadén Paiva, 2017).

“En el año 2003 Soluciones Prácticas – ITDG y la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), financiados por CONCYTEC, empezaron a investigar de forma conjunta la producción de biodiesel a pequeña escala para comunidades aisladas de la selva amazónica.” (Ministerio de Agricultura y Riego, 2010).

La Universidad Politécnica de Catalunya y el Instituto de Técnicas Energéticas (INTE) realizaron el “Proyecto Piloto INTE” el cual llevó a cabo la instalación de 2 biodigestores de plástico polietileno (PET). En el año 2007 se instalaron 13 biodigestores en la zona de Yanaoca. Paralelamente se instaló una planta piloto en el fundo K' ayra de la Universidad San Antonio de Abad de Cuzco, para la investigación de biodigestores tubulares. (Vega Arquíno, 2015).

El Gobierno Regional de San Martín, Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM), Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDESCES) y Cidelsa desarrollaron un proyecto para la colocación de biodigestor de geo membrana de PVC con aditivo anti UV, en la poza. En total se instalaron 13 biodigestores en San Martín y 1 en Amazonas los cuales alimentaban hornillas de cocina (ver Anexo 6) (Murga Valderrama, 2011).

En el 2007 la empresa Cidelsa construye el primer biodigestor de laguna cubierta para la granja porcina de ISAMISAC, con un volumen de 90 m<sup>3</sup> diseñado para producir 24 m<sup>3</sup> de biogás al día (Siadén Paiva, 2017).

Es así como nace un interés particular en la instalación de biodigestores para satisfacer necesidades energéticas y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En 2013 se publica el Plan del Programa Nacional de Biodigestores en Perú el cual pretende contribuir al acceso a fertilizantes naturales y otras fuentes de energía en zonas rurales del Perú. Esto incluye desarrollar un mercado de biodigestores viable económicamente y tecnológicamente por los usuarios. Según el Plan del Programa Nacional de Biodigestores 2013 el potencial técnico máximo a nivel nacional es de 330.000 biodigestores, esto considerando el estiércol de diferentes animales que puede tener una familia. (Acosta Bedoya, Martí Herrero, & Gonzales).

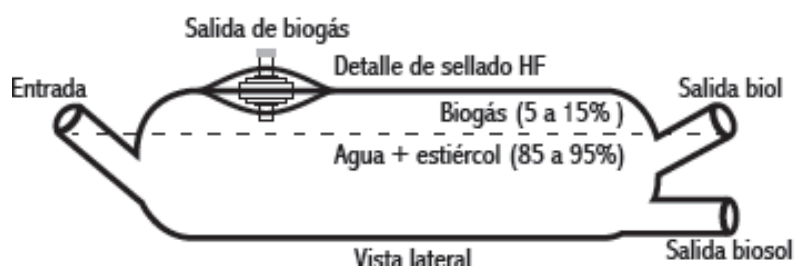
Actualmente los tipos de biodigestores más reconocidos en el mercado son los de Cidelsa el cual presenta 2 tipos de biodigestores; de laguna cubierta y de modelo tubular prefabricado. (Ver Figura 3 y Figura 4)

*Figura 3. Biodigestor de Laguna Cubierta*



*Fuente: (Cidelsa, 2017). Biodigestores productivos: energía y fertilizantes*

*Figura 4. Diagrama del Biodigestor Modelo Tubular Prefabricado*



*Fuente: (Cidelsa, 2017). Biodigestores productivos: energía y fertilizantes*

En 2016 se publica un manual dirigido a la Región Puneña llamado “INSTALACIÓN Y USO DE BIOGÁS. Ganadería Puneña, generando energía limpia "biogás" para calefacción y cocina familiar.” Cuya publicación fue realizada por CARE Perú, dentro del marco del Proyecto Ramis Resiliente, financiado por USAID – OFDA. Brinda una alternativa de producción de energía limpia a partir de la ganadería (ver Anexo 7) (CARE Perú, 2016).

#### **1.4. Tipos de materia prima para biodigestores**

El proceso de digestión anaerobia<sup>2</sup> utiliza materia proveniente de organismos vivos, es decir materia orgánica. Una de las ventajas de la utilización de biogás es la posibilidad de usar diferentes tipos de materia prima en un biodigestor, todos caracterizados por un contenido en humedad mayor que el 60%. (Arrieta Palacios W. , Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado, 2016).

Es muy común para la producción de biogás el uso del estiércol de ganado, pero es a través de la co-digestión<sup>3</sup> de materias primas diferentes que se logra una mayor producción de biogás. Es por ello que se clasificaran las materias primas según su origen.

##### **1.4.1. Materia prima de origen agrícola**

Al usar el término agrícola se incluye estiércol de ganado, aguas de lavado de criaderos, restos vegetales de poda o de cosecha y el uso de cultivos energéticos (cereales, maíz, remolacha, papa, etc.). El estiércol puede ser de vacas, cerdos, caballos, aves, etc. (ver Anexo 8).

El estiércol tiene una relación carbono-nitrógeno (C/N) de 25:1 aproximadamente lo que favorece al proceso de digestión anaerobia. Presenta ventajas debido a que los residuos son abundantes y presenta solución a los problemas ambientales y de salud pública provocada por el manejo de los desechos.

Los restos de podas y cosechas también pueden ser utilizados como materia prima, pues su composición puede ser rica en carbohidratos, grasas y proteínas necesarias para la digestión anaerobia (Núñez Pintado L. , 2017). Es usual realizar co-digestión con residuos de estiércol y vegetales para así incrementar el potencial energético del biogás.

##### **1.4.2. Materia prima de origen industrial**

Abarca residuos de comida y bebidas, del procesamiento de pescado, industrial de lácteos, azúcar, biocombustibles, mataderos de animales, etc. (Núñez Pintado L. , 2017). Presenta una ventaja en la estabilización de la merma y residuos de las industrias y su utilización para la generación de energía, ayuda a que las empresas adquieran una política ambiental y reconocimiento.

Esta categoría también abarca los efluentes de las plantas de biocombustibles. Estos efluentes debido a su alto contenido de grasas tienen un potencial elevado para la producción de biogás. (Núñez Pintado L. , 2017) La digestión anaerobia se puede aprovechar por ejemplo en las plantas de biodiesel y en la industria del bioetanol, las vinazas son un sustrato adecuado para la producción de biogás.

---

<sup>2</sup> Proceso biológico en el que la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno y por el cual se obtiene productos gaseosos o “biogás” y abono.

<sup>3</sup> Tratamiento conjunto de dos o más residuos orgánicos.

### **1.4.3. Materia prima de origen urbano o residencial**

En esta categoría se considera a los residuos sólidos y las aguas servidas, residuos domésticos como restos de comida, restos de jardín, entre otros, contienen materia orgánica la cual sirve como materia prima para la digestión anaerobia. Actualmente existen plantas de tratamiento de agua residuales para tratar los lodos primarios y secundarios. Las aguas residuales tienen un potencial de metano similar al del estiércol de ganado o aguas de lavado de criaderos (Núñez Pintado L. , 2017).

### **1.5. Ganado vacuno y emisiones de metano**

El metano es uno de los gases de efecto invernadero (GEI) más importante después del CO<sub>2</sub>, en el que se encuentran también: el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos, (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).

La actividad ganadera produce entre 14-20% de la emisión mundial de gas metano. El ganado bovino realiza un proceso digestivo en el cual degradan la celulosa ingerida a glucosa, que fermentan luego a ácido acético y reducen el dióxido de carbono, formando metano en el proceso. (Carmona, Bolívar, & Giraldo, 2005).

La concentración de metano en la atmósfera ha aumentado, en la época preindustrial era 0.7 ppmv (partes por millón en volumen), en 1998 incrementó a 1.75 ppmv, alcanzando en 2012 las 1.819 ppmv. Como se observa en la Tabla 37 se debe principalmente a combustibles fósiles y actividad ganadera.

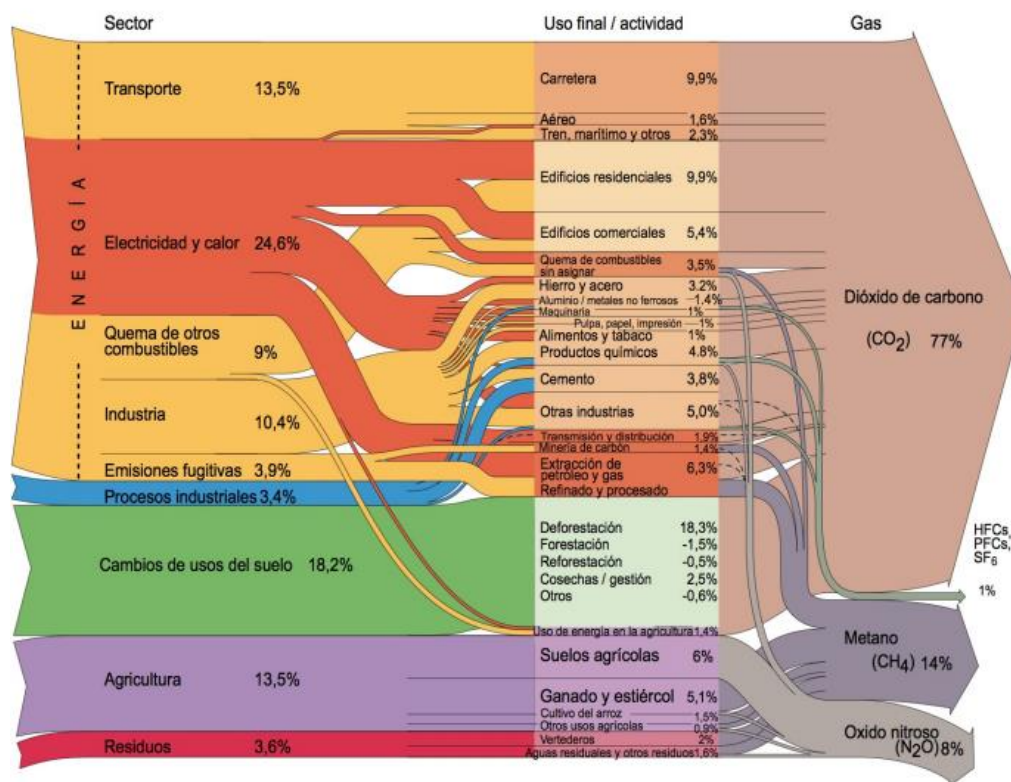
Tabla 4 . Principales Gases de Efecto Invernadero

| Nombre del gas                                  | Concentración Preindustrial (PPMV) | Concentración en 1988 (PPMV) | Persistencia en la atmósfera (años) | Principal actividad humana que lo genera                              | Potencial del calentamiento PCG |
|-------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )           | 280                                | 365                          | Variable                            | Combustibles fósiles, producción de cemento, cambios de uso del suelo | 1                               |
| Metano (CH <sub>4</sub> )                       | 0.7                                | 1.75                         | 12                                  | Combustibles fósiles, arrozales, vertederos, ganado                   | 21                              |
| Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)                | 0.27                               | 0.31                         | 114                                 | Fertilizantes, procesos de combustión industriales                    | 310                             |
| HFC 23 (CHF <sub>3</sub> )                      | 0                                  | 0.000014                     | 250                                 | Electrónica, refrigerantes                                            | 12000                           |
| HFC 134 a (CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F)   | 0                                  | 0.0000075                    | 13.8                                | Refrigerantes                                                         | 1300                            |
| HFC 152 a (CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> )   | 0                                  | 0.0000005                    | 1.4                                 | Procesos industriales                                                 | 120                             |
| Tetrafluometano (CF <sub>4</sub> )              | 0.004                              | 0.00008                      | >50000                              | Producción de aluminio                                                | 5700                            |
| Hexafluoretano (C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> ) | 0                                  | 0.000003                     | 10000                               | Producción de aluminio                                                | 11900                           |
| Hexafluoruro de azufre (SF <sub>6</sub> )       | 0                                  | 0.0000042                    | 3200                                | Fluidos dieléctricos                                                  | 22000                           |

Fuente: (Gobierno del Principado de Asturias).

Si analizamos las emisiones de GEI por sectores podremos notar que la agricultura impacta con un 13.5%, este sector incluye suelos agrícolas con 6% de aporte y ganado y estiércol con 5.1% como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 5. Emisiones mundiales de Gases de Efecto Invernadero por sectores



Fuente: (Gobierno del Principado de Asturias)

El metano se emite en la ganadería a partir de la fermentación que sufren los alimentos en el rumen<sup>4</sup>, que contribuye al calentamiento y al cambio climático global. Es por ello que las emisiones de GEI se encuentran reguladas por El Protocolo Internacional de Kyoto que establece límites para los distintos gases de efecto invernadero, así como el compromiso de los países desarrollados a evaluar y cuantificar las concentraciones de estos gases y a desarrollar técnicas para reducirlos.

<sup>4</sup> Cámara de fermentación anaeróbica que, con sus bacterias y hongos, permite que la fibra del alimento se convierta en carbohidratos digestibles y proteína.

## **Capítulo 2. Situación Actual**

En el presente capítulo se describirá el estado actual de las características geográficas y climáticas de la región, de la Agropecuaria Campos del Chira E.I.R.L y de la tecnología empleada en biodigestores.

### **2.1.Características geográficas y climáticas de la región**

Nuestra investigación se aplicará en la región de Piura, específicamente en Villa Viviate, por lo cual averiguaremos sus condiciones geográficas y climáticas para así determinar en qué condiciones se realizará el proyecto, y si es que estas contribuyen o restringen su desarrollo.

#### **2.1.1. Geografía**

El departamento de Piura se ubica en el litoral Norte del territorio peruano y al Sur de la línea ecuatorial. Limita por el norte con el departamento de Tumbes y la República del Ecuador; por el Este con Cajamarca y la República del Ecuador; por el Sur con el departamento de Lambayeque y por el Oeste con el Océano Pacífico. (Consejo Nacional del Ambiente, 2010)

La región Piura se caracteriza por tener un suelo homogéneo, en el cual predomina la formación desértica sobre tablazos<sup>5</sup> y pampas. Los desiertos más importantes de la región son los de Pabur y Sechura, ubicados en el extremo Suroeste del territorio, además son los desiertos más cálidos y extensos del Perú y América. (Consejo Nacional del Ambiente, 2010)

En el litoral de la región hay una serie de bahías como Talara, Paita y Sechura, aquí se encuentran los puertos más importantes: Talara, Paita y Bayóvar. En la zona de sierra hay elevaciones que alcanzan los 3400 m.s.n.m., donde se presentan climas fríos, además existen profundas depresiones donde el clima es cálido; además aquí se forman dos cuencas, donde se unen los pequeños ríos de la región: Quiroz y Huancabamba (Consejo Nacional del Ambiente, 2010).

---

<sup>5</sup> Los tablazos son elevaciones de los fondos marinos, con áreas planas de 30 a 35 km de ancho, formados por restos fosilizados de animales y una mezcla de arenisca.

*Figura 6. Localización de Piura en el Perú.*



*Fuente: File:Peru\_-\_ (Template).svg*

### **2.1.2. Clima**

Piura se ubica en la zona tórrida al sur de la línea ecuatorial, por lo cual su clima debería ser del tipo tropical, es decir, cálido, húmedo, boscoso y de alta precipitación pluvial. Sin embargo, la presencia de la cordillera de los Andes y las corrientes de Humboldt y del Niño, lo vuelven sub-árido tropical, cálido y húmedo, con bajos mantos de nubosidad y fina precipitación pluvial o garúa en invierno. (Consejo Nacional del Ambiente, 2010)

La temperatura promedio anual de Piura es de 24°C, en el verano supera los 35°C, y puede llegar hasta los 40°C cuando se presenta el Fenómeno El Niño extraordinario. Las lluvias se dan entre enero y marzo. (Oficina de Gestión de la Información y Estadística, 2016)

Estas lluvias ayudan a regenerar los pastos y cultivos, pero a la vez destruyen caminos y dificultan el desarrollo e integración a la economía regional. (Consejo Nacional del Ambiente, 2010)

La humedad promedio anual es del 66%. Las precipitaciones pluviales muestran variaciones en la costa, generalmente entre los 100 y 500 m.s.n.m. oscila entre 10 y 200 mm; entre los 500 y 1500 m.s.n.m. llegan a estar entre los 200 y 800 mm; y en las zonas ubicadas sobre los 1500 m.s.n.m. las precipitaciones llegan a ser de 1550 mm. (Consejo Nacional del Ambiente, 2010)

En Piura la humedad ambiental se incrementa a medida que incrementa la altitud, a diferencia de los andes centrales. Este suceso se invierte a medida que se avanza hacia el interior, en la sierra mientras mayor es la altura, menor es la temperatura y mayor es la humedad. Esta característica peculiar de la región se le denomina “inversión térmica”,

por esto se le conoce como “Sierra Tropical” a la zona andina de la región. (Consejo Nacional del Ambiente, 2010)

Según el sistema de Thorntwaite, Piura posee diez clases de clima: muy cálido y semi-cálido, muy seco y cálido, seco y cálido, seco y semi-cálido, moderadamente húmedo, templado cálido, ligeramente húmedo y templado frío, húmedo y semifrío, muy húmedo y frío moderado y finalmente muy húmedo y frío acentuado. (Consejo Nacional del Ambiente, 2010)

Las características climáticas de la región contribuyen al desarrollo de la agricultura, Piura presenta las condiciones ideales para el cultivo de productos tales como arroz, algodón, maíz amarillo duro, mango, limón, plátano, uva, caña para etanol, páprika y palto. (Oficina de Gestión de la Información y Estadística, 2016)

## **2.2. Agropecuaria Campos del Chira EIRL**

Agropecuaria Campos del Chira EIRL es una empresa familiar, cuyos inicios datan del año 2001, gracias a la iniciativa de su propietario, el Ing. Manuel Alberto Castillo Campos, quien tenía un gran interés por desarrollar un negocio relacionado con el ganado vacuno, ya que era algo con lo que desde pequeño soñaba.

Su proyecto inició en el pueblo de Viviate, en un pequeño corralón, con un total de 10 vacas. Tiempo después, el ganado fue trasladado a una parcela, por motivos de espacio. Aquí se implementaron áreas para sembrar pasto de elefante, que se emplea para la alimentación del ganado.

Debido a que siempre se está buscando mejorar el desarrollo del ganado, se optó por introducir a su alimentación un concentrado, preparado a base de torta de soya, pasta de algodón, maíz molido, polvillo de trigo, y algarroba, de forma estacional.

En la parcela había problemas ocasionados por el difícil acceso al agua, lo cual dificultaba la alimentación del ganado, por lo cual se optó por construir un pozo tubular, y así tener fácil acceso al agua.

Pensando en mantener la salud de los animales, se contrató los servicios de un médico veterinario que visita la parcela periódicamente, para llevar un control del desarrollo del ganado. Además, los representantes de SENASA (Servicio de Sanidad Animal) visitan el lugar para realizar la vacunación del ganado de acuerdo con la calendarización del sector.

La empresa fue constituida oficialmente en el año 2010 como Agropecuaria Campos del Chira EIRL.

*Figura 7 . Ganado de la Agropecuaria Campos del Chira*



*Fuente: Agropecuaria Campos del Chira EIRL*

*Figura 8. Ternero de la Agropecuaria Campos del Chira*



*Fuente: Agropecuaria Campos del Chira EIRL*

### 2.2.1. FODA

- Fortalezas
  1. Buena imagen ante los consumidores.
  2. Buena calidad del producto.
  3. Se cuenta con la asistencia de un veterinario.
  4. Hay instalaciones de pasto, lo cual facilita su disponibilidad.
- Oportunidades
  1. Entrar en nuevos mercados o segmentos.
  2. Ampliar línea de productos.
- Debilidades
  1. Escasez de agua.
  2. Acceso limitado a la energía eléctrica
  3. Inestabilidad de los obreros.
- Amenazas
  1. Incremento de productos sustitutos.
  2. Cambios en los gustos del consumidor.
  3. Cambios demográficos adversos, ya que, si el caudal del río aumentara, las instalaciones de la empresa se verían sumamente afectadas.

### 2.2.2. Análisis del entorno

#### **Análisis del sector: Cinco Fuerzas de Porter**

- Intensidad de la competencia actual

##### Leche y queso fresco

La competencia de esta empresa en su zona son los pequeños ganaderos, pero estos son una competencia minoritaria. La competencia fuerte la representan los vendedores de leche y queso de las grandes marcas como Gloria y Laive.

##### Miel y algarrobina

Hay gran cantidad de productores de miel y algarrobina en el norte del país, por eso se procura obtener un producto de buena calidad, ya que el cliente no solo busca un buen precio, sino que además se fija en la calidad del producto. Debido a la gran competencia en esta zona, el mercado se ha expandido al centro del país, en las ciudades de Trujillo y Chimbote.

- Poder de negociación de los consumidores

##### Leche y queso fresco

El problema ocurrido con la leche Pura Vida, de la empresa Gloria, ha contribuido en el incremento de la demanda, por lo que los consumidores no tienen poder de negociación.

#### Miel y algarrobina

El cliente puede optar por comprar miel a otro distribuidor, ya que tiene una gran variedad para elegir, además de los diversos precios que se ofrecen.

Debido a los desastres ocurridos a inicio del año, la producción de algarrobina se ha visto perjudicada, y a raíz de la disminución de la oferta, el consumidor no tiene poder de negociación.

- Amenaza de nuevas entradas

#### Leche fresca

Los competidores potenciales de la empresa son los pequeños ganaderos, se vuelven una amenaza cuando ofrecen sus productos a un precio mucho más bajo debido a que ellos no tienen que cubrir todos los costos fijos que tiene esta empresa, sino que solo producen de manera estacional.

#### Miel y algarrobina

La competencia ya es grande, así que las barreras de entrada en esta industria son difíciles de pasar ya que existen productores que ya se encuentran establecidos en el negocio y que cuentan con un prestigio que será difícil de superar.

- Poder de negociación de los proveedores

#### Leche y queso fresco

En este caso la empresa depende de sus proveedores de los insumos para el concentrado, ya que estos les brindan facilidades de pago y envío, pero muchas veces la empresa se ve perjudicada porque no hay disponibilidad de los insumos y esto afecta la alimentación, por ende, la producción del ganado.

#### Miel y algarrobina

La empresa no tiene problemas en este aspecto, ya que debido al desarrollo que tiene la industria en esta zona hay muchos proveedores que ofrecen los insumos que se requieren.

- Amenaza de productos sustitutos

#### Leche y queso fresco

Los productos sustitutos de esta industria son: la leche en polvo, en tarro, además la soya. Éstos tienen precios más bajos y además ofrecen facilidades de preparación.

#### Miel y algarrobina

Un producto sustituto de la miel y la algarrobina es el azúcar y la miel que se obtiene directamente de otras plantas, los cuales tienen un precio más económico.

### **2.2.3. Actividades**

Las actividades que se realizan en la agropecuaria son:

- Cortar el pasto, esto se realiza diariamente para la alimentación del ganado.
- Alimentar al ganado, se alimenta con concentrado lechero al ganado durante el ordeño, además se alimenta con pasto en la mañana, en la tarde y en la noche.
- Limpiar la sala ordeño, esto se realiza diariamente antes de iniciar cada turno de ordeño.

- Ordeño del ganado, esto se realiza en dos turnos: mañana, aproximadamente a las 3:00 am.; y tarde, a las 3:30 pm.
- Abonar las áreas de pasto, esto se realiza periódicamente, según el control que se lleva sobre el corte del pasto.
- Vacunar el ganado, esta labor se realiza cuando el veterinario realiza sus visitas o cuando sea necesario, para esto las personas que trabajan allí están capacitadas para realizar esta labor.

#### 2.2.4. Productos

La principal actividad de la agropecuaria es la producción y distribución de leche fresca de vaca y queso fresco. Pero además se dedica a la cosecha y distribución de miel de abeja, y al acopio y distribución de algarrobina.

##### ➤ Leche y queso fresco

Actualmente la agropecuaria cuenta con 40 cabezas de ganado, entre vacas lecheras y terneros. La producción diaria de leche fresca es de 140 litros/día.

Esta producción se distribuye a:

- Clientes mayoristas, son personas que se dedican a la elaboración de dulces a base de leche fresca, por ejemplo, natilla o manjar; o personas que elaboren queso, o que se dediquen a vender la leche por litraje en Paita o Sullana.
- Clientes minoristas, personas que compran para el consumo de sus hogares.

Además, una parte de la producción se destina a la elaboración de queso fresco, este se vende en presentaciones de 250 gr. Actualmente se distribuye en Viviate, Paita, Sullana y Piura.

*Figura 9. Presentación de queso fresco de 250gr.*



*Fuente: Agropecuaria Campos del Chira EIRL*

➤ **Miel de abeja y algarrobina**

Estos productos se distribuyen en Viviate, Paita, Piura, Trujillo y Chimbote.

*Figura 10. Presentación de 450 gr de miel de abeja y algarrobina.*



*Fuente: Agropecuaria Campos del Chira EIRL*

## **2.2.5. Problemas**

Con el pasar de los años la empresa ha tenido que afrontar diversos problemas como, el acceso al agua, el acceso a energía eléctrica, conseguir obreros a tiempo completo, poca comodidad de vida.

El primer problema se solucionó parcialmente con la instalación del pozo tubular, ya que con esto se logra abastecer al ganado, pero no se podría realizar el riego de las pozas de cultivo con esta fuente, y tampoco se puede usar como agua para consumo humano.

El control del agua para riego lo tiene a cargo una persona, que es la encargada de designar los turnos para el riego de cada una de las zonas de cultivo de la zona. Pero como en la mayoría de las instituciones, existe una gran corrupción y no designan los turnos equitativamente, o no se cumple con el cronograma establecido. Por esto a veces se retrasan las fechas de cosecha, ya que no se riega el pasto continuamente. Para tener agua para consumo humano, se debe llevar agua en bidones desde el pueblo de Viviate.

El problema de la energía eléctrica se ha solucionado con la instalación de paneles solares. Se instalaron tres paneles solares que por ahora permiten iluminar la zona de ordeño en el turno de mañana, pero esto limita el uso de la energía eléctrica durante el resto del día,

ya que se debe cuidar que tenga la carga suficiente para el ordeño, que es la principal actividad. Por lo cual se podría instalar más paneles solares, o buscar una solución alterna.

El problema del personal ha incrementado con la llegada de empresas como Caña Brava o Agroaurora, ya que en allí las personas trabajan por turnos, mientras en la agropecuaria, se trabaja día completo. Se ha solucionado fidelizando a los trabajadores pagando un sueldo mayor al jornal que se ofrece en las demás parcelas, y además atendiendo las necesidades que puedan tener las familias de estas personas.

Para mejorar la calidad de vida de los trabajadores y las personas que allí residen, se construyeron dos módulos, uno es la casa de la familia, y el otro es el módulo de los trabajadores. Estos brindan mayor comodidad para el momento de descansar, o realizar alguna otra labor dentro de la casa, al momento del almuerzo o de actualizar los controles que se llevan sobre el ganado y las zonas de pasto.

Y así cada vez se piensa en desarrollar más proyectos que contribuyan al desarrollo de la agropecuaria y de las personas que allí residen.

### **2.3.Tecnología actual en biodigestores**

Para el correcto funcionamiento de los biodigestores, estos deben cumplir con ciertos parámetros de temperatura y pH, que están relacionadas con los procesos microbiológicos. De estas características dependen la velocidad de formación de los microorganismos, su desarrollo y la composición del biogás obtenido. Además, se debe controlar la presión de salida del combustible.

Recientemente se ha planteado la aplicación de una automatización del proceso con el fin de controlar estas variables. Para esto se utilizan elementos computarizados, así se controla el proceso a través de variables: temperatura, pH y presión, lo cual ayuda a tomar decisiones inmediatas si es que se requiere acciones correctivas, con la finalidad de obtener el producto con las propiedades requeridas.

La automatización está conformada por un hardware, que comprende un circuito electrónico, y un software, que es una aplicación visual en el ordenador que permite realizar un seguimiento del proceso en tiempo real.

Para implementar la automatización se emplean aplicaciones de lenguaje gráfico como FlowCode, software como Proteus y finalmente, un programa como Visual Basic, para crear la interfaz gráfica.

Cuando ya se seleccionan los programas, se procede a la creación de diagramas de bloques, simulaciones y algoritmos, que dan origen a una aplicación final.

Considerando el efecto de las variables que intervienen en la producción de biogás y las etapas de su proceso de producción, se selecciona un sistema de control de lazo cerrado, que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, así se pueden utilizar las diferencias como medio de control.

En un sistema de lazo cerrado se alimenta el controlador con la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación; así se reduce el error y lleva la salida del sistema a un valor deseado.

Estas son las propuestas de aplicación del lazo cerrado para cada una de las variables:

- Temperatura:
  - ✓ Propuesta de instrumento de medición: para medir la temperatura se utilizó un CNT o Coeficiente de Temperatura Negativo, conocido también como termistor. Este envía una señal analógica de entre 4-20 mA y posee un rango de medición entre -10°C y 120°C.
  - ✓ Propuesta de actuador: para el sistema se agregó como actuador un calentador de marca Fisatom modelo: 753A. El cual es alimentado con 115V, un consumo de 900 W y tiene la capacidad de calentar hasta 300°C.
- pH y alcalinidad:
  - ✓ Propuesta de instrumento de medición: el instrumento se fundamenta en una diferencia de voltaje en una solución, la cual arroja una lectura que se relaciona con el pH. Este diseño se encuentra conformado por un condensador, una resistencia y dos (2) cables, que transmiten una señal analógica comprendida entre 4-20 mA, y tiene un rango de medición entre 0-14.
- Presión:
  - ✓ Propuesta de instrumento de medición: es propuesto un sensor de presión diferencial, el cual emite una señal analógica de entre 4-20 mA y su rango de medición es de 0 PSI a 7 PSI, de marca Freescale semiconductor modelo: MPX5050.
  - ✓ Propuesta de actuador: el elemento utilizado como actuador es una válvula de paso de tipo bola de una medida de ½ pulgada y se encuentra ubicado en el ducto que sale del biodigestor hasta el mechero.

Mediante la implementación de sistemas como este se puede controlar el proceso, además se puede incrementar la eficiencia del mismo, y se pueden prevenir errores, ya que, si se presenta una anomalía, se pueden aplicar las medidas correctivas necesarias. (Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 2016).

## Capítulo 3. Marco Teórico

El presente capítulo explica a detalle los conceptos básicos necesarios para el entendimiento completo del tema. Está dividido en dos grandes partes: tipos de combustibles gaseosos haciendo un estudio más detallado en el biogás ya que es el gas en cuestión, y por otro lado se encuentra una descripción de los biodigestores el cual será el medio que permitirá la generación del gas mencionado.

### 3.1. Combustibles gaseosos

Entre los combustibles gaseosos más importantes se encuentran el gas natural, el gas propano, el gas metano y el biogás. Los tres primeros se explicarán brevemente, y le daremos más énfasis al biogás, la cual es la base del proyecto.

#### 3.1.1. Gas natural

Este recurso no renovable se origina en el material orgánico que quedó enterrado entre la superficie de la tierra y, debido a los cambios elevados de temperatura y presión, se formaron los hidrocarburos y en algunos casos quedaron en fase gaseosa.

Este hidrocarburo está compuesto en su mayoría de metano ( $\text{CH}_4$ ), con pequeñas proporciones de otros hidrocarburos saturados, tales como el etanol ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) y butano ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ). Ocasionalmente, también se pueden hacer presentes algunos gases inertes tales como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el nitrógeno ( $\text{N}_2$ ).

El precio de este gas varía entre los S/. 9.00 y S/. 10.00 (ver Tabla 5)

*Tabla 5 . Precios del gas natural a lo largo de los últimos 7 meses*

| Mes                | Precio (S/.)<br>x millón de<br>BTU | Tasa<br>cambio<br>de |
|--------------------|------------------------------------|----------------------|
| Abril 2017         | 10                                 | -                    |
| Mayo 2017          | 10.21                              | 2.09 %               |
| Junio 2017         | 9.60                               | - 5.92 %             |
| Julio 2017         | 9.61                               | 0.11 %               |
| Agosto 2017        | 9.33                               | - 2.93 %             |
| Septiembre<br>2017 | 9.60                               | 2.91 %               |
| Octubre 2017       | 9.32                               | - 2.92 %             |

*Fuente: (IndexMundi, s.f.)*

Los usos del gas natural se dividen en 2 grandes campos: energéticos y no energéticos. Para los usos no energéticos, el gas natural se utiliza como materia prima para obtener la urea, hierro esponja y metanol.

Este gas tiene notables diferencias con el petróleo, aunque algunos piensan que es un subproducto de ésta. En la Tabla 6, se muestran las diferencias físicas y químicas entre el petróleo y el gas natural. (Amell Arrieta, Agudelo Santamaría, & Cadavid, 2002)

*Tabla 6. Diferencias físicas y químicas entre el gas natural y el petróleo.*

| <b>Combustible</b>                                    | <b>Gas Natural</b> | <b>Petróleo</b> |
|-------------------------------------------------------|--------------------|-----------------|
| <b>Relación hidrógeno – carbono</b>                   | 4                  | 2.2             |
| <b>Energía proveniente del carbono</b>                | 1/2                | $\frac{3}{4}$   |
| <b>Energía proveniente del hidrógeno</b>              | 1/2                | $\frac{1}{4}$   |
| <b>Tipo de combustión</b>                             | Homogénea          | Heterogénea     |
| <b>Requerimiento de aire para combustión completa</b> | Menor              | Mayor           |

*Fuente: Grupo de Ciencia y Tecnología del gas.*

Para el caso de los usos energéticos, el gas natural se utiliza para:

- Sector comercial y residencial: como fuente de calor en cocción, calefacción y acondicionamiento de aire y producción de agua caliente.
- Sector industrial: como fuente de calor en los procesos de secado, refrigeración, calentamiento de fluidos térmicos y aire acondicionado.
- Como fuente de energía primario para la obtención de electricidad mediante turbinas de gas, ciclos combinados o plantas de vapor.
- Como combustible para vehículos de transporte urbano.

### **3.1.2. Gas propano**

El propano se produce naturalmente como un gas a presión atmosférica, pero, si se le somete a un moderado incremento de la presión, puede transformarse a un estado líquido. Este gas es almacenado y transportado en su forma líquida hasta antes de ser utilizado. Al momento de su uso, se abre una válvula para liberar el gas de un contenedor de almacenamiento.

Una de las características principales de este gas no renovable es que no es producida por sí mismo, sino que es resultado de dos procesos: el procesamiento del gas natural y el refinamiento del petróleo.

Este gas propano puede ser utilizado para uso doméstico (calentar agua, cocinar, secar la ropa, abastecer a las chimeneas a base de gas), como también como combustible alternativo para vehículos. Además, tiene un uso industrial, en la fabricación de productos petroquímicos que son los bloques de construcción para plásticos, alcoholes, fibras, entre otros. (Resources., 2008)

Además, se usa como combustibles en motores de combustible interno y en turbinas de gas para la generación de electricidad. También tiene un uso refrigerante (R290) y como gas propulsor en los aerosoles. (Ecured, 2015)

Con respecto al precio de este gas, varía entre los 2 y 3 nuevos soles por galón (ver Tabla 7)

*Tabla 7. Precio del gas propano a lo largo de los últimos 7 meses*

| Mes             | Precio (S./) x galón | Tasa de cambio |
|-----------------|----------------------|----------------|
| Abril 2017      | 2.11                 | -              |
| Mayo 2017       | 2.09                 | -0.93 %        |
| Junio 2017      | 1.93                 | - 7.96 %       |
| Julio 2017      | 2.10                 | 9.04 %         |
| Agosto 2017     | 2.46                 | 16.88 %        |
| Septiembre 2017 | 2.86                 | 16.64 %        |
| Octubre 2017    | 3.03                 | 5.79 %         |

*Fuente: (IndexMundi, s.f.)*

### 3.1.3. Gas metano

Este gas es el hidrocarburo más simple, ya que su molécula está formada por un átomo de carbono (C) unido con 4 átomos de hidrógeno (H).

Las principales fuentes productoras de gas metano son (Carmona, Bolívar, & Giraldo, 2005):

- Los procesos de descomposición de la materia orgánica.
- El proceso digestivo de los bovinos, vacunos.
- La combustión de biomasa en bosques.
- Determinadas acumulaciones de hidrocarburos (fugas) de petróleo, gas y carbón.

Existen más fuentes productoras de gas metano, mostradas en la Tabla 8.

*Tabla 8 Estimativos de las principales fuentes naturales y antropogénicas de metano a nivel global (millones de Ton./año)*

| Natural    |     | Energía/Desechos    |     | Agricultura         |     |
|------------|-----|---------------------|-----|---------------------|-----|
| Pantanos   | 115 | Gas y petróleo      | 50  | Cultivos de arroz   | 60  |
| Océanos    | 15  | Carbón mineral      | 40  | Animales domésticos | 80  |
| Termitas   | 20  | Carbón vegetal      | 10  | Abonos orgánicos    | 10  |
| Combustión | 10  | Rellenos Sanitarios | 30  | Combustión          | 5   |
|            |     | Aguas residuales    | 25  |                     |     |
| Total      | 160 |                     | 155 |                     | 155 |

*Fuente: (Carmona, Bolívar, & Giraldo, 2005)*

En los últimos tiempos, la principal aplicación de este gas es que es utilizado como fuente alternativa de energía, que se genera a partir de residuos orgánicos agrícolas, la cual se está usando como base para el proyecto.

### 3.1.4. Biogás

A continuación, se explicará a detalle las características más importantes del biogás. Se iniciará con una definición de la biomasa y el proceso de digestión anaeróbica en donde se explicará cada fase de este proceso. Finalmente, se define el biogás y se explica las aplicaciones de este combustible.

#### **Definición de biomasa**

El Ministerio de Energía y Minas del Perú en el Balance Nacional de Energía del año 2014, define a la biomasa como aquella “materia orgánica no fósil de origen biológico que puede ser utilizada con fines energéticos para la producción de calor y algunas veces también de electricidad. Bajo este concepto se agrupan el bagazo, la bosta, la yareta y los residuos agrícolas”. Por origen biológico hace referencia tanto al origen animal como vegetal.

La biomasa también incluye los gases y líquidos recuperados de la descomposición de materiales orgánicos no fosilizados y biodegradables. Por lo tanto, la biomasa es cualquier tipo de material orgánico que ha tenido su origen como consecuencia de un proceso biológico natural (vegetal o animal), excluyendo el material orgánico que ha permanecido por millones de años en formaciones geológicas y que se ha transformado en combustibles fósiles; es decir, incluye solamente especies biológicas vivas y/o muertas “recientemente”. (Basu, 2013)

Como un recurso de energía renovable y sostenible, la biomasa es constantemente formada por la interacción de CO<sub>2</sub>, aire, agua, suelo y luz solar, con plantas mediante el proceso de la fotosíntesis, y animales. Cuando los organismos mueren, estos descomponen la biomasa en partes constituyentes como agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y su energía potencial.

Según Basu (2013), la biomasa puede ser clasificada en dos grandes grupos según la forma en cómo se encuentra en la naturaleza: forma virgen o natural o si proviene del desecho de las actividades humanas o de animales como se puede apreciar en la Tabla 9. Sin embargo, existe otra clasificación según el uso energético de la biomasa:

- Biomasa de residuos: Comprende los residuos generados por el ganado, así como también de los alimentos de las zonas urbanas e industriales.
- Biomasa no utilizada: Es generada de forma natural por residuos provenientes de la agricultura como ramas de árboles, residuos de talas, cáscaras y bagazo.
- Cultivos energéticos: Aquí están incluidos aquellos productos agrícolas que son destinados para la producción de bioetanol y biodiesel tales como la caña de azúcar, el arroz, etc.

Tabla 9 . Principales grupos de biomasa

|                          |                        |                                               |
|--------------------------|------------------------|-----------------------------------------------|
| Biomasa virgen o natural | Biomasa terrestre      | Biomasa forestal                              |
|                          |                        | Pastos                                        |
|                          |                        | Cultivos energéticos                          |
|                          |                        | Cosechas cultivadas                           |
|                          | Biomasa acuática       | Algas                                         |
| Biomasa de residuos      | Desechos municipales   | Plantas acuáticas                             |
|                          |                        | Desechos sólidos municipales                  |
|                          |                        | Biosólidos, aguas residuales                  |
|                          | Residuos agropecuarios | Gas de rellenos sanitarios (vertederos)       |
|                          |                        | Ganadería y estiércoles                       |
|                          | Residuos forestales    | Residuos de cultivos agrícolas                |
|                          |                        | Cortezas, hojas, residuos orgánicos del suelo |
|                          | Residuos industriales  | Madera de demolición, aserrín                 |
|                          |                        | Aceite usado/grasa                            |

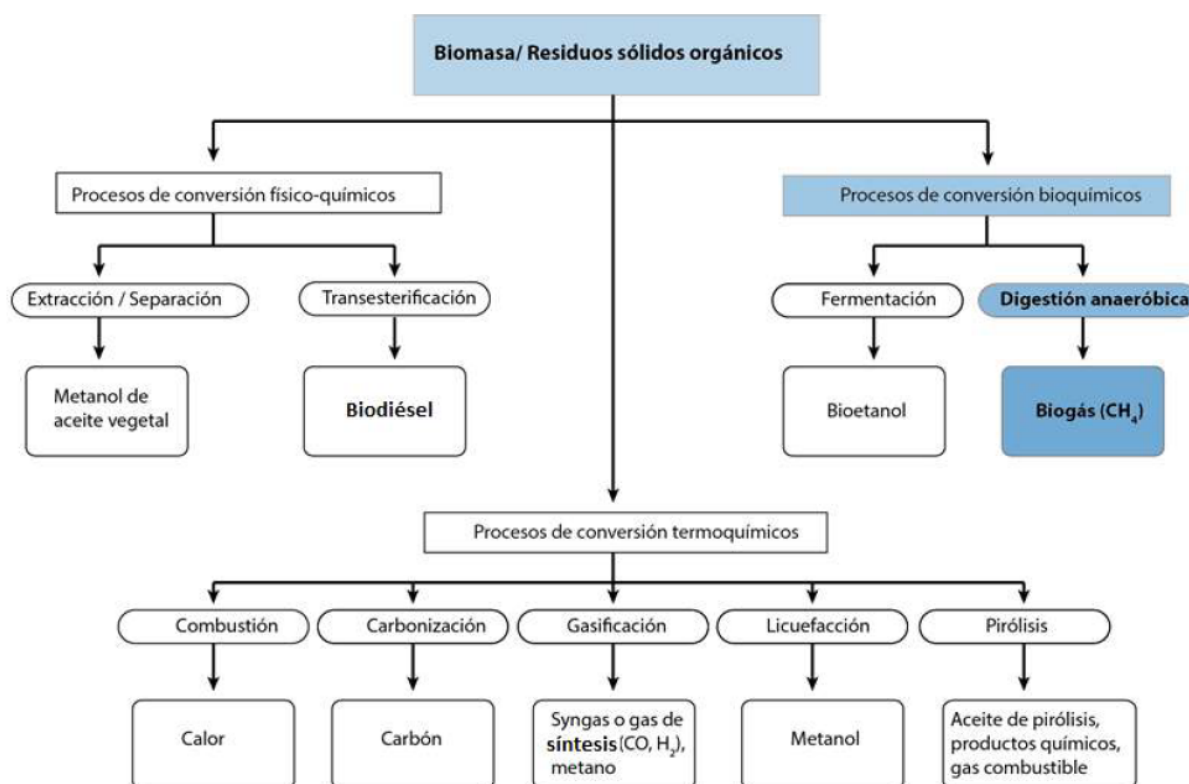
Fuente: (Basu, 2013)

### Digestión anaeróbica

Para poder convertir la biomasa en algo útil haciendo un correcto manejo de los residuos, existen diferentes procesos para su transformación. Aquí, los microorganismos juegan un papel importante ya que son ellos los principales responsables de otorgarle un valor agregado a estos residuos.

Existen diferentes tipos de tecnologías para poder generar energía a partir de material orgánico: termoquímicos, bioquímicos y fisicoquímicos (ver Figura 11). La digestión anaerobia pertenece a los procesos bioquímicos, los cuales hacen referencia a la acción metabólica de los microorganismos.

Figura 11. Tecnologías de conversión de la biomasa y los residuos.



Fuente: (Arrieta Palacios W. , Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado, 2016)

La digestión anaerobia es un proceso biológico complejo, natural y espontáneo, mediante el cual, en ausencia de oxígeno, parte de los materiales orgánicos de un sustrato constituido por residuos animales y vegetales, son convertidos en biogás y biol<sup>6</sup> por medio de la interacción de un grupo de bacterias. (Gobierno de Chile, Ministerio de Energía; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Global Environment Facility (GEF)., 2011)

La digestión anaerobia está caracterizada por estar conformada por varias fases consecutivas, las cuales se diferencian en el proceso de degradación del sustrato. En este proceso intervienen diferentes tipos de microorganismo los cuales presentan diferentes velocidades de crecimiento y reaccionan de forma diferente a los compuestos que se van generando durante el proceso. Esto implica que cada fase necesitará de determinadas condiciones para que el proceso pueda llevarse a cabo. ((IDAE), 2007)

Los estudios realizados hasta el momento han determinado la existencia de cuatro fases durante el proceso: hidrólisis, etapa acidogénica, etapa acetogénica y etapa metanogénica.

## Hidrólisis

La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación del material orgánico. Este proceso proporciona los sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica al transformar

<sup>6</sup> Efluente de la digestión anaeróbica rico en nutrientes que puede ser empleado como fertilizante orgánico.

las proteínas, carbohidratos y lípidos en compuestos solubles más sencillos como aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga.

Este proceso se resume principalmente en la rotura de las largas cadenas de estructuras carbonadas del material orgánico, a cadenas más cortas y simples por la presencia de microorganismos que generalmente son anaerobios facultativos<sup>7</sup>. (Gobierno de Chile, Ministerio de Energía; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Global Environment Facility (GEF)., 2011)

### **Acidogénesis**

Conocida también como etapa fermentativa. En esta etapa se da la fermentación de las moléculas orgánicas transformando los productos de la etapa de hidrólisis en ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios.

La importancia de esta etapa radica en que los microorganismos propios de esta fase eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto en el sistema. (Gobierno de Chile, Ministerio de Energía; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Global Environment Facility (GEF)., 2011).

### **Acetogénesis**

Algunos autores no consideran esta etapa ya que generalmente casi todos los productos de la etapa anterior pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos. Sin embargo, el etanol, los ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos, necesitan ser transformados en productos más sencillos como el acetato e hidrógeno por medio de las bacterias acetogénicas.

Al finalizar esta etapa, ya se han extraído todo el alimento de la biomasa y, por lo tanto, se han eliminado los productos de desecho de sus células, siendo estos los que se utilizarán como sustrato para la siguiente etapa. (Gobierno de Chile, Ministerio de Energía; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Global Environment Facility (GEF)., 2011)

### **Metanogénesis**

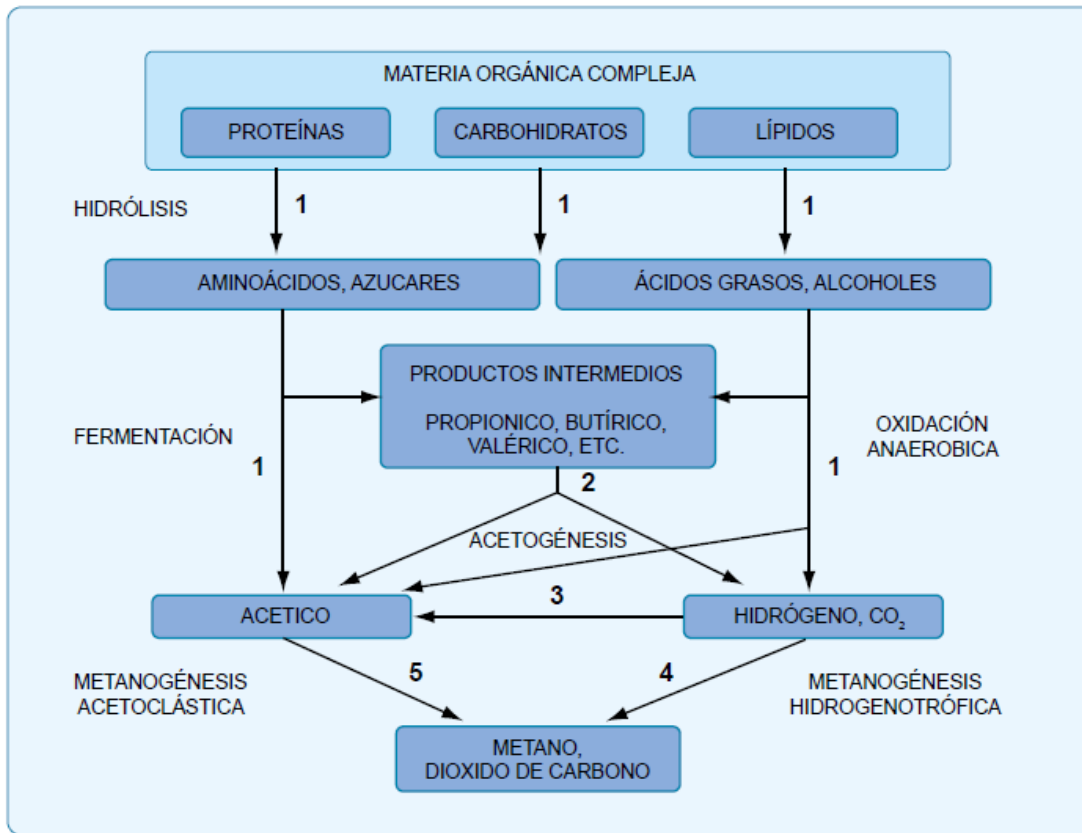
Las bacterias metanogénicas cumplen un rol muy importante dentro de todo este proceso, ya que son las encargadas de transformar todos los productos de las etapas anteriores en metano. (Gobierno de Chile, Ministerio de Energía; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Global Environment Facility (GEF)., 2011)

Casi el 70% de metano producido proviene de la descomposición de ácido acético y el resto se forma a partir de la reacción entre el hidrógeno y el dióxido de carbono que se transforma en metano y agua. (Carnero, 2017)

---

<sup>7</sup> Existen microorganismos que no pueden desarrollarse con la presencia de oxígeno y otros microorganismos aeróbicos (con presencia de oxígeno) que también pueden desarrollarse en ausencia de este. Al primer grupo se le denomina anaerobios estrictos y a los segundos anaerobios facultativos.

Figura 12. Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica



Fuente: (Arrieta Palacios W. , Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado, 2016)

Al intervenir diferentes tipos de bacterias en cada fase, implica que cada etapa necesitará de distintas condiciones, como la composición del residuo, las cuales determinarán su velocidad de reacción. La etapa más lenta es la que limitará la velocidad de todo el proceso. Para sustratos solubles, la fase limitante suele ser la metanogénesis y para incrementar esta velocidad se adoptan diseños que permitan una elevada concentración de microorganismos acetogénicos y metanogénicos en el reactor y así conseguir tiempos del proceso en orden de días. Cuando la materia orgánica está en forma de partículas, la hidrólisis es la fase limitante. Su tiempo generalmente está en orden de semanas. Para aumentar la velocidad se utilizan estrategias para realizar un pretratamiento para disminuir el tamaño de las partículas y ayudar a la solubilización ((IDAE), 2007).

### Definición de biogás

La bioenergía se puede obtener mediante la combustión directa de la biomasa o por medio de la transformación de la materia orgánica en otros subproductos. Aproximadamente entre el 95 y 97% de la bioenergía total mundial se produce a través de la primera forma. El biogás es un gas combustible que es originado a partir de la digestión anaeróbica. Este está compuesto principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), y en menor cantidad se produce hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}_2$ ). El porcentaje de metano que posee el biogás varía desde mínimo 55-60% hasta un máximo de 80%. Al ser obtenido por un proceso biológico natural, el proceso se verá afectado por factores como: tipo de materia prima, sistema de digestión anaerobia y de parámetros como

principalmente la temperatura. En la Tabla 10 se puede apreciar la composición del biogás, así como también su poder calorífico: ((IDAE), 2007)

Tabla 10. Composición del biogás

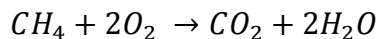
| Composición media del biogás y poder calorífico inferior de sus componentes (15.55°C y 1 atm) |          |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------|
| <b>CH<sub>4</sub></b>                                                                         | 60 – 80% | 8145 kcal/m <sup>3</sup> |
| <b>CO<sub>2</sub></b>                                                                         | 20 – 40% | -                        |
| <b>H<sub>2</sub></b>                                                                          | 1 – 3%   | 2441 kcal/m <sup>3</sup> |
| <b>O<sub>2</sub></b>                                                                          | 0.1 – 1% | -                        |
| <b>CO</b>                                                                                     | 0 – 0.1% | 2868 kcal/m <sup>3</sup> |
| <b>N<sub>2</sub></b>                                                                          | 0.5 – 3% | -                        |
| <b>SH<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub></b>                                                         | 0.5 – 1% | 5552 kcal/m <sup>3</sup> |
| <b>H<sub>2</sub>O</b>                                                                         | Variable | -                        |

Fuente: (Arrieta Palacios W. , Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado, 2016)

Como se puede observar, el resto de componentes del biogás al estar en una proporción menor al 1%, no producen un poder energético.

### Aplicaciones

Para poder hacer uso de este gas se utiliza el principio de la combustión el cual permite la oxidación del biogás. Esta reacción puede ser representada de la siguiente forma:



El requerimiento mínimo de aire sería de 21% pero esta cantidad se debe aumentar para lograr una buena combustión. La relación aire-gas puede ser ajustada aumentando la presión del aire mediante una mayor abertura de la válvula dosificadora de gas (el biogás requiere de una apertura de 2 a 3 veces mayor a la utilizada por el metano puro y modificando la geometría del paso de aire desde el exterior).

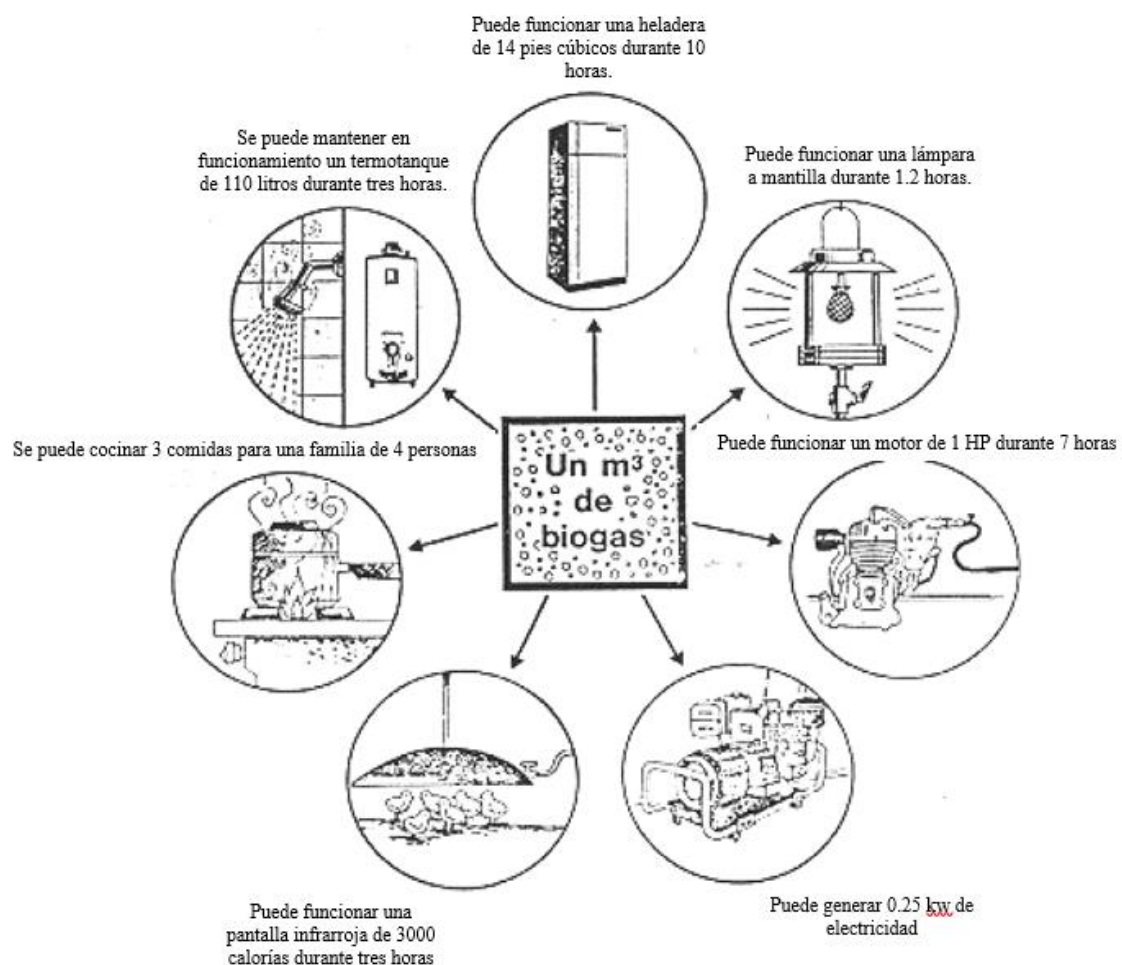
La presión para el correcto uso del gas oscila entre los 7 y 20 mbar. Aquí se debe tener especial cuidado ya que se deberá calcular las pérdidas de presión de salida del gasómetro. (A.Hilbert, s/f)

En principio, el biogás puede ser utilizado en cualquier tipo de equipo comercial para uso de gas natural (ver Figura 13). Entre las formas más comunes para utilizar el biogás, destacan las siguientes: producción de calor o vapor, generación de electricidad y combustible de vehículos.

- Producción de calor o vapor: Es uno de los usos más simples. En zonas en donde los combustibles son escasos, se puede utilizar el biogás para poder satisfacer necesidades básicas como cocinar o calentar agua. Además, también se puede utilizar para la iluminación.
- Generación de electricidad: Los sistemas combinados de calor y electricidad utilizan la electricidad generada por el combustible y el calor residual que se genera. Algunos sistemas combinados producen principalmente calor y la electricidad es secundaria. Otros sistemas producen principalmente electricidad y el calor residual se utiliza para calentar el agua del proceso. En ambos casos, se aumenta la eficiencia del proceso en contraste si se utilizara el biogás sólo para producir electricidad o calor.

- Combustible de vehículos: El biogás bajo esta aplicación es utilizado ya desde hace bastante tiempo. Sin embargo, para ser utilizado de esta forma, debe alcanzar una calidad similar a la del gas natural y así emplearse en vehículos acondicionados al funcionamiento con gas natural. El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diesel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado, una desventaja es su baja velocidad de encendido. (Gobierno de Chile, Ministerio de Energía; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Global Environment Facility (GEF)., 2011)

*Figura 13. Aplicaciones de biogás*



*Fuente: (A.Hilbert, s/f)*

### 3.2. Biodigestor

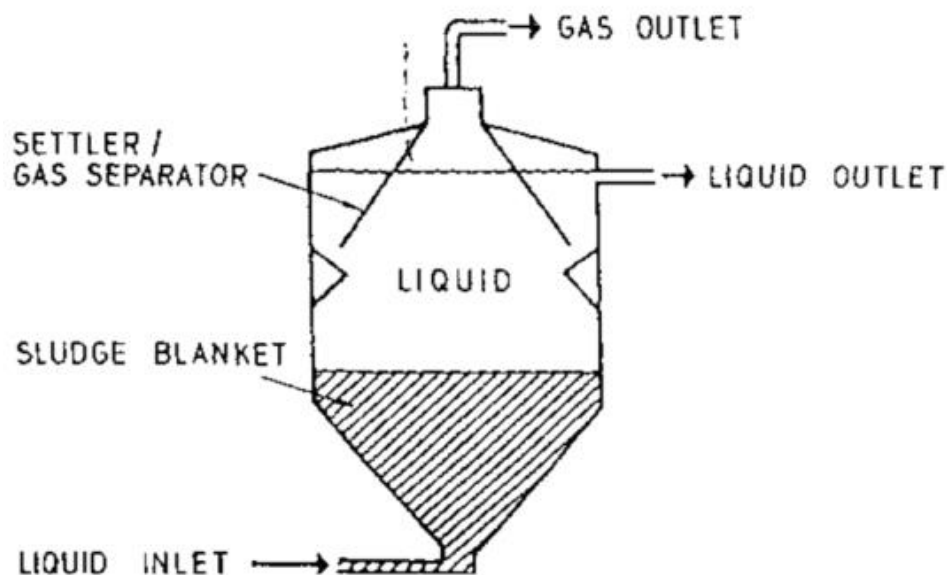
Actualmente, existen varios tipos de biodigestores que podemos implementar, ya sean tradicionales o industriales, pero todos estos tipos tienen el mismo principio de funcionamiento: está basado en el uso de los desechos orgánicos.

En esta sección hablaremos del biodigestor, específicamente, su definición, aspectos básicos, sus productos y los tipos de biodigestores que existen hasta el día de hoy.

#### 3.2.1. Definición

Un biodigestor es básicamente un contenedor cerrado y hermético, llamado comúnmente reactor. En éste, se deposita el material orgánico que experimentará un proceso de descomposición, generando un biogás con una alta concentración de metano y, además, fertilizantes orgánicos ricos en potasio, fósforo y nitrógeno. Este reactor puede ser de plástico, metal, ladrillo, etc. O de una combinación de ellos. Además, varían sus formas, entre cilíndrica, rectangular y ovoide. (Perez Medel, 2010). (Ver Figura 14)

*Figura 14. Prototipo de biodigestor*



*Fuente: [www.crisisenergetica.org](http://www.crisisenergetica.org)*

A nivel industrial, ya no se habla solo de un biodigestor, sino de una planta de biogás, en donde, además del reactor, se puede encontrar un tanque de mezclado del material orgánico con agua, un sistema de distribución del biogás y un depósito para almacenar el gas (Perez Medel, 2010).

Figura 15. Esquema descriptivo de una planta de biogás de la compañía Puxin en China



Fuente: (Tauseef, Premalatha, Abbasi, & Abbasi, 2013)

### 3.2.2. Aspectos básicos

Los biodigestores, de alguna u otra manera, deben tener 1 entrada y 2 salidas como mínimo, como se ve en la Figura 16. La entrada para la alimentación de la materia prima, una salida para el biogás y la salida restante para el fertilizante.

Figura 16. Biodigestor ROTOPLAST



Fuente: Anónima (extraída de internet)

A la materia sólida se le debe agregar agua para que se descomponga con mayor velocidad. Aproximadamente se la agrega 2 a 3 litros de agua por cada kilogramo de materia orgánica.

Algunas de las condiciones que se debe tomar en cuenta para el diseño de un biodigestor son (Zuluaga Bernal, 2007) :

1. Temperatura entre los 20°C y 60°C
2. pH (nivel de acidez/ alcalinidad) alrededor de siete.
3. Ausencia de oxígeno.
4. Gran nivel de humedad.
5. Materia orgánica

En el marco metodológico se explicará de una manera más profunda acerca de los parámetros, condiciones y principios de funcionamiento que debemos tener en cuenta para diseñar o comprar un biodigestor.

### 3.2.3. Productos

Todo biodigestor tiene como mínimo 1 entrada y 2 salidas. La única entrada es para el ingreso de los residuos orgánicos y las salidas corresponden al biogás, y al fertilizante que sobra luego de obtener el gas.

#### Biogás

El biogás es una mezcla de gases, la cual, en su mayoría está conformado por metano, el cual es el componente energético.

La composición química del biogás depende de la materia prima que se ha utilizado, así como también del proceso que se ha llevado para obtenerla y sus condiciones. En la Tabla 11 se muestra la composición del biogás generado en 4 tipos de plantas distintas: de residuos agrícolas, de residuos orgánicos, de vertederos urbanos y de plantas de tratamiento de aguas residuales (Nuñez Pintado, 2017).

*Tabla 11. Composición del biogás.*

| Parameter                                       | Farm – scale AD plant | Centralised AD plant | Landfill | Sewage treatment plant | Natural gas |
|-------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|----------|------------------------|-------------|
| <b>CH<sub>4</sub> (vol %)</b>                   | 55-60                 | 60-70                | 35-65    | 60-65                  | 81-89       |
| <b>Other hydrocarbons (vol %)</b>               | 0                     | 0                    | 0        | 0                      | 3.5-9.4     |
| <b>H<sub>2</sub> (vol %)</b>                    | 0                     | 0                    | 0-3      | 0                      | -           |
| <b>CO<sub>2</sub> (vol %)</b>                   | 35-40                 | 30-40                | 25-45    | 35-40                  | 0.67-1.00   |
| <b>N<sub>2</sub> (vol %)</b>                    | <1-2                  | 2-6                  | <1-17    | <1-2                   | 0.28-14.00  |
| <b>O<sub>2</sub> (vol %)</b>                    | <1                    | 0.5-1.6              | <1-3     | <0.05-0.70             | 0           |
| <b>H<sub>2</sub>S (ppm)</b>                     | 25-30                 | 0-2000               | 30-500   | <0.5-6800              | 0-2.9       |
| <b>NH<sub>3</sub> (ppm)</b>                     | =100                  | =100                 | =5       | <1-7                   | 0           |
| <b>Halogenated compounds (mg/m<sup>3</sup>)</b> | <0.01                 | <0.25                | 0.3-225  | 0-2                    | -           |
| <b>Siloxanes (mg/m<sup>3</sup>)</b>             | <0.03-<br><0.2        | <0.08-<0.5           | <0.3-36  | <1-400                 | -           |
| <b>Wobbe index</b>                              | 24-33                 | 24-33                | 20-25    | 25-30                  | 44-55       |

| Parameter                                      | Farm – scale AD plant | Centralised AD plant | Landfill  | Sewage treatment plant | Natural gas |
|------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------|------------------------|-------------|
| <b>Lower heating value (MJ/Nm<sup>3</sup>)</b> | 19.7-21.5             | 21.5-25.1            | 10.7-23.3 | 21.5-23.3              | 31-40       |

*Fuente: The biogas handbook. 2013*

El sulfuro de hidrógeno es un compuesto tóxico que debe ser filtrado y separado del biogás antes de su utilización. En la Tabla 12 se resume todos los efectos de los gases que componen al biogás.

*Tabla 12. Efectos de los gases que componen al biogás.*

|                             |                                                                                                                         |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Composition</b>          | <b>55-70% methane (CH<sub>4</sub>)</b><br><b>30-45% carbón dioxide (CO<sub>2</sub>)</b><br><b>Traces of other gases</b> |
| <i>Energy content</i>       | 6.0-6.5kWhm <sup>-3</sup>                                                                                               |
| <i>Fuel equivalent</i>      | 0.60-0.65 Loil/m <sup>3</sup> biogas                                                                                    |
| <i>Explosion limits</i>     | 6-12% biogás in air                                                                                                     |
| <i>Ignition temperatura</i> | 650-750 °C (with the above-mentioned methane content)                                                                   |
| <i>Critical pressure</i>    | 75-89 bar                                                                                                               |
| <i>Critical temperature</i> | -82.5 °C                                                                                                                |
| <i>Normal density</i>       | 1.2 kg m <sup>-3</sup>                                                                                                  |
| <i>Smell</i>                | Bad eggs (the smell of desulfurized biogas is hardly)                                                                   |
| <i>Molar Mass</i>           | 16.043 kg kmol <sup>-1</sup>                                                                                            |

*Fuente: BIOGAS FROM WASTE AND RENEWABLE RESOURCES*

### **Fertilizante orgánico**

Uno de los efluentes del biodigestor es el residuo orgánico. Este residuo tiene mejores propiedades fertilizantes que puede ser usado como abono (Soria Fregoso, y otros, s/f).

Este fertilizante está compuesto aproximadamente entre 2.6% de nitrógeno, 1.4% de fósforo y 1% de potasio. (Botero Botero & R. Preston, 1987).

Este abono que no posee mal olor, a diferencia del abono fresco, no atrae moscas y puede aplicarse directamente al campo en las cantidades determinadas. Además, no deja residuos tóxicos en el suelo, eleva la calidad del mismo y se puede considerar como un fertilizante que puede competir con los fertilizantes químicos (Soria Fregoso, y otros, s/f).

Este fertilizante también se puede utilizar para el mejoramiento de los suelos arcillosos y arenosos que son pobres en humus, y también para alimento de animales, mezclándolo con otros ingredientes, que pueden ser granos, tortas, mieles, etc. (Botero Botero & R. Preston, 1987).

En la Tabla 13 se puede observar la gran diferencia que existe entre un fertilizante común y el bioabono que se obtiene del biodigestor en cuanto a su composición química que trae consigo una mejor en sus propiedades.

Tabla 13. Compost vs. Bioabono

| Parámetros                | Compost | Bioabono |
|---------------------------|---------|----------|
| pH (H <sub>2</sub> O 1:5) | 7.2     | 7.9      |
| MO(W-B) 1:5               | 20.0    | 45.0     |
| MO(Calcinac. %)           | 39.0    | 58.0     |
| N Total (Kjeldal %)       | 1.0     | 1.8      |
| P Total (%)               | 4.1     | 8.4      |
| K Total (%)               | 0.4     | 0.7      |
| Relación C/N              | 19.0    | 25.0     |
| N mineral (mg/kg)         | 550.0   | 30.0     |
| C.E. (dS/m)               | 10.1    | 14.4     |

Fuente: (Gobierno de Chile, Ministerio de Energía; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Global Environment Facility (GEF)., 2011)

### 3.2.4. Biodigestores tradicionales

Los biodigestores tradicionales son los que se pueden construir de manera rústica, sin necesidad de adquirir materiales muy caros. Entre los más importantes, tenemos el de domo flotante, domo fijo y el de estructura flexible. Estos 3 tipos se describirán de una manera mejor detallada a continuación.

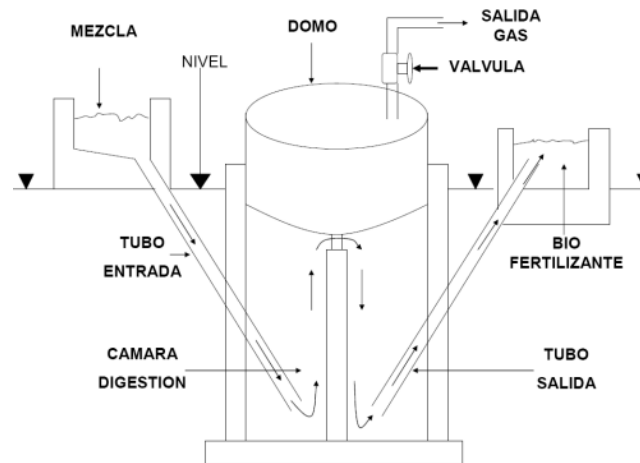
#### Biodigestor de domo flotante

Es usualmente usado en la India. Se le denomina biodigestor de domo flotante porque la cámara de recolección de biogás se mueve conforme la cantidad de gas se acumula. Se desplaza hacia arriba cuando el gas se acumula y se desplaza hacia abajo cuando se extrae. El depósito de biogás es una campana flotante que, gracias a ese movimiento vertical, provee alguna agitación a la mezcla. (Ver Figura 17 y Figura 18)

Normalmente, la pared del reactor y el fondo se construye de ladrillo. Este reactor se alimenta semi-continuamente (usualmente una vez al día) a través de una tubería de entrada. No es necesario la implementación de una válvula de seguridad en el domo porque no se desarrolla una presión excesiva al ser el domo flotante (Sánchez Mena & Pazmiño Garzón, 2007; Tauseef, Premalatha, Abbasi, & Abbasi, 2013).

Las dos partes principales son el reactor y el gasómetro. En la mayoría de las veces, el gasómetro es fabricado con láminas de acero dulce. Éste, al estar flotando sobre la mezcla, puede ser rotado manualmente para proporcionar agitación a la mezcla. En la Figura 18 se muestra una instalación real de este tipo de biodigestor. Debido al alto costo de acero, actualmente se usan otros tipos de materiales para la fabricación del gasómetro, como es el polietileno de alta densidad, ferrocemento y policloruro de vinilo (PVC) (Arrieta Palacios W. , 2016).

*Figura 17. Esquema de biodigestor de domo flotante*



*Fuente: Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros.*

*Figura 18. Instalación real de un biodigestor de domo flotante*



*Fuente: Anónimo (extraída de internet)*

### **Biodigestor de domo fijo**

Usualmente usado en China, este tipo de biodigestor consiste en una cámara de gas-firme construido de ladrillos, piedra u hormigón. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas para hacerlo firme (ver Figura 19 y Figura 20). Además, la base y la tapa tienen una forma de semiesfera y son unidas por lados rectos (Sánchez Mena & Pazmiño Garzón, 2007).

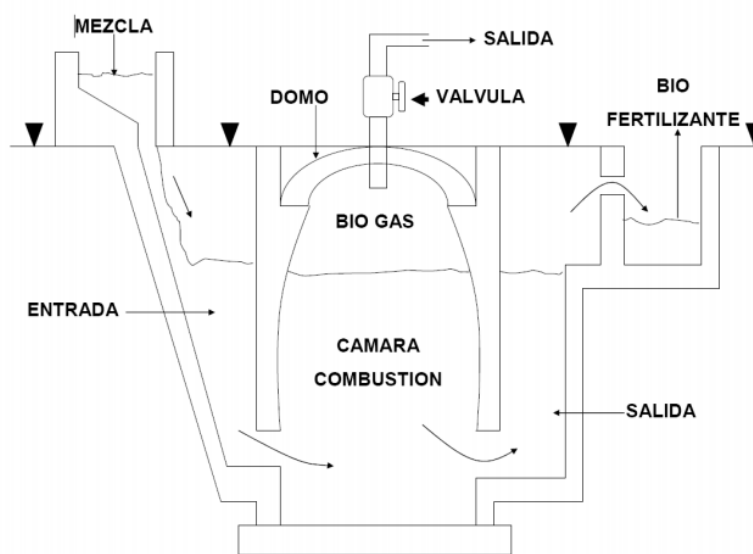
Básicamente, se compone de una cámara cilíndrica subterránea de ladrillo con un canal de entrada y una cámara pequeña de salida. Conforme se produce el gas, la presión dentro

del digestor aumenta (aproximadamente 1 a 1.5m de columna de agua). Esto crea fuerzas estructurales altas, razón por la cual es la forma esférica (Perez Medel, 2010).

Este tipo de biodigestores se pueden alimentar de manera semi-continua o discontinua. Además, se produce aproximadamente entre 0.15 a 0.30 m<sup>3</sup> por día, dependiendo de las condiciones climáticas y el tipo de material utilizado (Arrieta Palacios W. , 2016).

La principal ventaja de este tipo de biodigestores es su larga vida útil (un promedio de 20 años) ya que no utiliza materiales metálicos, por lo tanto, no tiene el riesgo de oxidarse. Además, por lo mismo que se construye debajo de la tierra, no estorba las actividades diarias de la familia o ganado. Sin embargo, algunas desventajas es que, al ser fabricada por ladrillos y cemento, existe el riesgo que se generen grietas debido a las fluctuaciones de temperatura, lo que perjudica notablemente al digestor (SNV, 2012).

*Figura 19. Esquema de biodigestor de domo fijo*



*Fuente: Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros.*

*Figura 20. Construcción de biodigestor tipo chino en Vietnam*



*Fuente: (SNV, 2012)*

### **Biodigestor de estructura flexible**

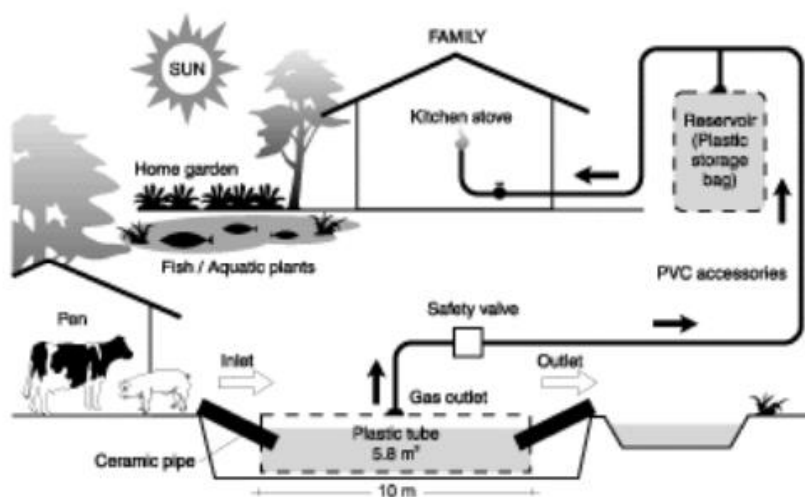
Debido al alto costo que se requería para poder implementar los dos anteriores tipos de biodigestores ya explicados, tuvieron que recurrir a otras opciones para poder obtener el biogás. Inicialmente, los trabajadores de Taiwán utilizaron nylon y neopreno, pero resultaron igual de costosos.

Es por esto, que luego de unos años, se comenzó a utilizar el polietileno, el cual es el más usado actualmente en América Latina, Asia y África (ver Figura 21).

En este tipo de biodigestor, el gas se acumula en la parte superior de la bolsa de polietileno, que es parcialmente llenada con biomasa de fermentación. La bolsa se va inflando lentamente con una presión baja de operación (Sánchez Mena & Pazmiño Garzón, 2007).

En caso de que estos biodigestores presenten una ruptura en el plástico, pueden ser reparadas fácilmente usando un adhesivo fuerte. Cuando se necesita el metano solo se ejerce una pequeña presión sobre la bolsa de almacenamiento hacia la dirección a donde se necesita (Zuluaga Bernal, 2007).

*Figura 21. Biodigestores plásticos de bajo costo*



*Fuente: Fernández, 2006*

Este tipo tiene la ventaja que su costo de implementación es baja en comparación con las demás y es fácil de transportar debido a su bajo peso. Sin embargo, al ser una bolsa de polietileno, su vida útil es de 3 años aproximadamente, lo cual se requiere una nueva instalación relativamente constante. También son más propensas a sufrir rupturas por condiciones climáticas o por acciones del hombre o animales. Otra desventaja es que puede generar explosión si no se toman en cuenta las medidas de seguridad pertinentes.

### **3.2.5. Biodigestores industriales**

De manera industrial, se emplean tanques de metal para el almacenamiento de la materia orgánica y del gas por separado, debido a su gran volumen de materia orgánica que se necesita para garantizar la producción de biogás.

Para mejorar el funcionamiento de la planta de biogás, se utilizan bombas para poder desplazar el material orgánico hacia el biodigestor y, de igual manera, desplazar el

biofertilizante hacia el tanque de almacenamiento. Además, se utilizan sistemas de compresión en los tanques de almacenamiento de biogás para poder garantizar que lleguen hacia el último consumidor (ver Figura 22).

Para poder mitigar los malos olores, se utilizan filtros para poder separar el gas sulfhídrico del biogás, además de la utilización de tuberías y válvulas de corte y seguridad para unir todo el sistema (Sánchez Mena & Pazmiño Garzón, 2007).

*Figura 22. Planta de biogás a nivel industrial*



*Fuente: Anónimo (extraída de internet)*

### **3.3.Cocinas**

Nuestro proyecto abastecerá dos tipos de cocinas, industriales y domésticas, por lo que una investigación sobre ellas era necesaria. Además, existen estufas especiales para el uso con el biogás, que lo explicaremos a continuación.

#### **3.3.1. Cocina industrial**

La cocina industrial es aquel instrumento en donde está enfocada en la elaboración de alimentos en gran cantidad. Regularmente se utilizan para servicios de comedor de empresas o universidades. En este caso, la agropecuaria utilizará estas cocinas industriales para la cocinar la leche y hervir agua.

#### **3.3.2. Cocina a biogás**

Las cocinas pueden ser alimentados con el biogás que vamos a obtener. Además, también se pueden modificar, agrandando el paso del gas de los quemadores. Este biogás puede reemplazar la leña o gas propano que se utiliza para cocinar sin ningún problema (Cunalata Moran, 2017).

Para esto, existen 2 maneras:

- Construyendo una estufa especial
- Adaptar una estufa de gas propano que tenemos.

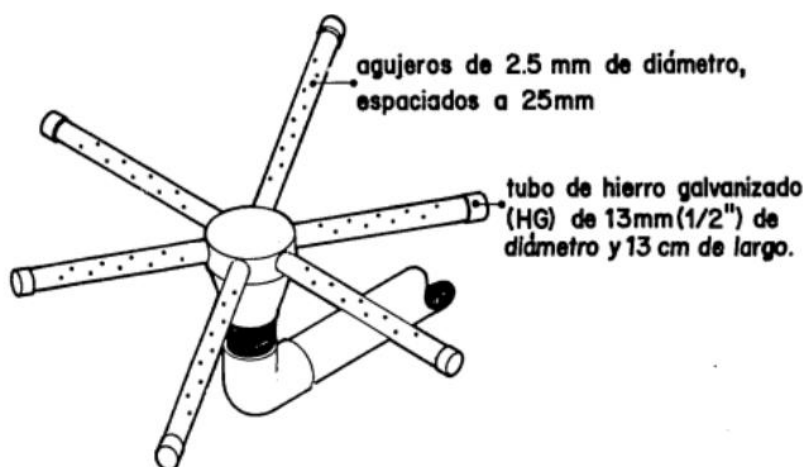
### 3.3.3. Estufas especiales para biogás

La estufa más usada actualmente es la estufa de barra, por su bajo costo y facilidad de instalación. A éste, se le instalan quemadores especiales que han sido diseñados tomando en cuenta el poder calorífico y la forma especial de combustión del biogás. El tamaño de las hornillas y quemadores se escogen de acuerdo con los requerimientos de la empresa (Cunalata Moran, 2017).

Existen dos tipos de quemadores: estrella y campana.

El de tipo estrella es el más grande y es apropiado para hornillas en donde usen recipientes grandes. Este instrumento se fabrica de pedazos de tubería de hierro galvanizado unidos con soldadura (ver Figura 23).

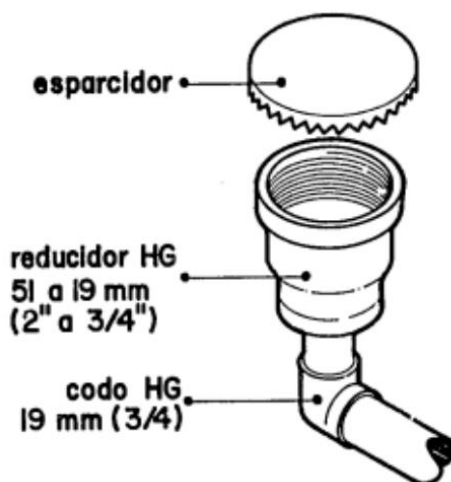
*Figura 23. Quemador tipo estrella*



*Fuente: ICAITE*

El otro tipo, que es campana, se utiliza para recipientes pequeños y se fabrica de accesorios de hierro galvanizado (ver Figura 24).

*Figura 24. Quemador tipo campana*

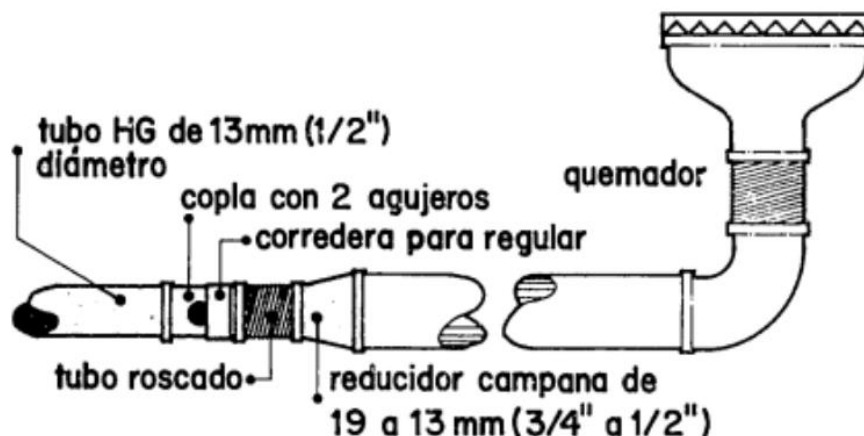


*Fuente: ICAITE*

Estos quemadores tipo campana son mucho más económicos y la construcción es más sencilla.

En estos quemadores tipo campana se puede usar una mezcla de aire y gás, ya que la eficiencia calorífica es alta. Para poder ingresar el aire, se hace un orificio en la tubería que alimenta al quemador, como se vé en la Figura 25 (Cunalata Moran, 2017).

*Figura 25. Vista de mezclador y quemador*



*Fuente: ICAITE*

### **3.4.Sistema de iluminación a base de gas**

Para las aplicaciones de generación eléctrica por medio de biogás, se alimenta el motor de combustión interna con biogás, que está conectado a un generador. Estos motores pueden consumir GLP, gasolina o diésel. (Rodríguez, 2004)

#### **3.4.1. Motores a gas**

Los motores a gas mecánicamente son idénticos a los motores de combustión a gasolina, la diferencia radica en la admisión del combustible. En los motores a gas, esta admisión se realiza por medio de una válvula que regula la presión con la que se inyecta el gas licuado directamente en el carburador. Las modificaciones que se deben realizar a este motor para utilizarlo en la generación de electricidad a partir del consumo de biogás, es modificar levemente la presión de inyección del gas, para que se ajuste a las condiciones del biogás. El porcentaje de sustitución de biogás por gas GLP es del 100%. Así, se puede realizar una conexión de la tubería de biogás al sistema, de modo que el equipo pueda operar con ambos combustibles.

#### **3.4.2. Motores a gasolina**

El motor a gasolina puede ser operado con biogás realizándole una simple adaptación, que consiste en colocar entre el filtro del aire y el carburador una "T" por donde se suministra el gas al sistema. Se debe de tener ciertas consideraciones para que un motor a gasolina, alimentado con biogás opere satisfactoriamente.

### **3.4.3. Motores a diesel**

Los motores a diésel se pueden operar con una sustitución del diésel por biogás hasta un 70%, y un consumo de diésel del 30% restante por lo que el motor no sufre ninguna alteración al consumir los dos tipos de combustible al mismo tiempo. Para realizar estas adaptaciones se debe de colocar una “T” entre el filtro y el sistema de admisión del aire, donde se conecta la tubería del biogás. Se debe de instalar una válvula en esta tubería para regular el suministro del biogás y ajustarlo al porcentaje requerido de operación.

## **Capítulo 4. Marco Metodológico**

El presente capítulo explica la metodología a seguir para realizar la investigación y de esta forma cumplir con los objetivos planteados. Es importante darle un especial énfasis al proceso de investigación, ya que un buen análisis permitirá obtener mejores resultados.

El problema en estudio es el cálculo teórico del potencial de biogás que se puede obtener a partir de una determinada cantidad de materia prima para así poder realizar el diseño del biodigestor y de su sistema de distribución.

El tipo de investigación a realizar será descriptivo ya que una vez conocidos los datos a utilizar se interpretará la cantidad de biogás que podrá generar el biodigestor además de la cantidad de materia prima a utilizar y el lugar en donde estará ubicado.

Se asume que se cumplirán las condiciones necesarias, establecidas a continuación en el capítulo, para que se pueda producir el biogás en el tiempo estimado; en cuanto a temperatura, pH y la propia composición de la materia.

La secuencia que seguirá la investigación será la siguiente:

- Determinación de materia prima a utilizar
- Determinación de tipo de biodigestor
- Cálculo de la cantidad de materia prima con la que dispone la agropecuaria.
- Cálculo de la cantidad necesaria de materia prima para poder satisfacer la demanda energética.
- Cálculo del dimensionamiento del biodigestor.
- Diseño del sistema de distribución de biogás.
- Elaboración de planos.

### **4.1. Factores a tener en cuenta para la producción de biogás**

#### **4.1.1. Naturaleza y composición química de la materia prima**

Como se pudo observar en el anterior capítulo, la biomasa puede provenir de distintas fuentes y cada una de ellas determinará una cantidad diferente de producción de biogás debido a que cada una presenta diferente composición bioquímica (ver Tabla 14). Para que el proceso microbiológico pueda darse, aparte de las fuentes de carbono y nitrógeno, es necesaria la presencia de sales minerales tales como azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, entre otras.

Los estiércoles y los lodos cloacales suelen presentar estos elementos en las proporciones requeridas. Sin embargo, pueden darse casos de que sea necesario la adición de algunos compuestos en algunos determinados desechos industriales.

Las sustancias que presentan un alto contenido de lignina, no se pueden aprovechar directamente debido a su baja biodegradabilidad. Para ello, primero deben ser sometidas a tratamientos previos para así poder liberar las sustancias factibles de ser transformadas. (Gobierno de Chile, Ministerio de Energía; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Global Environment Facility (GEF)., 2011)

En lo referente a estiércoles de animales, la degradación de cada uno de ellos dependerá principalmente del tipo de animal y de su respectiva alimentación. Esto también influye en el volumen de producción de estiércol, en donde el peso también interviene para dicha producción (ver Tabla 15)

Para el caso particular del estiércol vacuno, tiene un bajo rendimiento de producción de biogás debido a su baja biodegradabilidad. Esto se debe a que la alimentación de estos animales está hecha básicamente de cultivos fibrosos como los pastos, por lo que este estiércol presenta más lignina de difícil composición. Además, en estos animales el estiércol excretado, es ya un residuo de un proceso anaeróbico, es decir, donde se produjo biogás, que ocurre en el rumen o pre-estómago, razón por la cual se les denomina animales rumiantes. La ventaja de este tipo de animales es su considerable mayor producción de materia orgánica al día, por lo que se requiere un menor número de animales para lograr determinada producción diaria de biogás. (Arrieta Palacios W. , Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado, 2016)

*Tabla 14. Composición química de diversos residuos de origen animal y vegetal.*

| <b>Materia Prima</b> | <b>Lípidos (%)</b> | <b>Proteínas (%)</b> | <b>Celulosa Hemicelulosa (%)</b> | <b>Lignina (%)</b> | <b>Ceniza (%)</b> |
|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------|-------------------|
| Paja de trigo        | 1,10               | 2,10                 | 65,45                            | 21,60              | 3,53              |
| Paja de centeno      | 9,62               | 5,42                 | 59,95                            | 12,70              | 12,31             |
| Paja de arroz        | 2,35               | 12,26                | 30,51                            | 10,61              | 12,55             |
| Poroto verde         | 3,80               | 11,04                | 39,61                            | 13,84              | 9,14              |
| Pasto verde          | 8,05               | 4,94                 | 57,22                            | 9,80               | 19,99             |
| Alfalfa              | 10,41              | 12,81                | 36,79                            | 8,95               | 10,30             |
| Hojas secas          | 4,01               | 3,47                 | 32,78                            | 29,66              | 4,68              |
| Caña maíz            |                    | 4,50                 | 35,40                            | 10,30              | 6,50              |
|                      |                    |                      |                                  |                    |                   |
| Bovino               | 3,23               | 9,05                 | 32,49                            | 35,57              | 19,66             |
| Porcino              | 11,50              | 10,95                | 32,39                            | 21,49              | 23,67             |
| Aves                 | 2,84               | 9,56                 | 50,55                            | 19,82              | 17,23             |
| Equino               | 2,70               | 5,00                 | 40,50                            | 35,00              | 17,80             |
| Ovino                | 6,30               | 3,75                 | 32,00                            | 32,00              | 25,95             |
| Caprino              | 2,90               | 4,70                 | 34,00                            | 33,00              | 26,40             |

*Fuente: (Varnero, 1990)*

Tabla 15. Cantidad de estiércol producido por distintos animales y su rendimiento en gas.

| Especie  | Peso vivo | kg estiércol/día | l CH <sub>4</sub> /kg SV | % CH <sub>4</sub> |
|----------|-----------|------------------|--------------------------|-------------------|
| Cerdos   | 50        | 4.5 - 6          | 340 - 550                | 65 - 70           |
| Vacunos  | 400       | 25 - 40          | 90 - 310                 | 65                |
| Equinos  | 450       | 12 - 16          | 200 - 300                | 65                |
| Ovinos   | 45        | 2.5              | 90 - 310                 | 63                |
| Aves     | 1.5       | 0.06             | 310 - 620                | 60                |
| Caprinos | 40        | 1.5              | 110 - 290                | --                |

Fuente: (Arrieta Palacios W. , Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado, 2016)

#### 4.1.2. Relación carbono/nitrógeno de las materias primas

El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono es la fuente de energía mientras que el nitrógeno se utiliza para la formación de nuevas células. Las bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno por lo que la relación óptima entre estos dos elementos es de 30:1 hasta 20:1.

Cuando se supera este rango, el tiempo de descomposición aumenta porque la multiplicación y desarrollo de bacterias es bajo por la falta de nitrógeno; por lo tanto, el tiempo de producción de biogás se prolonga. En cambio, cuando ocurre lo contrario, se detiene la actividad bacteriana debido a la formación de un excesivo contenido de amonio, el cual en grandes cantidades es tóxico e impide el proceso. (Gobierno de Chile, Ministerio de Energía; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Global Environment Facility (GEF)., 2011)

Como se puede observar en la Tabla 16, para el ganado vacuno se tiene una relación de 25:1 por lo que se encuentra dentro del rango recomendado.

Tabla 16. Valores promedios de relación C:N de residuos animales

| Materiales               | % C | % N  | C/N  |
|--------------------------|-----|------|------|
| <b>Residuos animales</b> |     |      |      |
| Bovinos                  | 30  | 1.30 | 25:1 |
| Equinos                  | 40  | 0.80 | 50:1 |
| Ovinos                   | 35  | 1.00 | 35:1 |
| Porcinos                 | 25  | 1.50 | 16:1 |
| Caprinos                 | 40  | 1.00 | 40:1 |
| Conejos                  | 35  | 1.50 | 23:1 |
| Gallinas                 | 35  | 1.50 | 23:1 |
| Patos                    | 38  | 0.80 | 47:1 |
| pavos                    | 35  | 0.70 | 50:1 |
| Excretas humanas         | 2.5 | 0.85 | 3:1  |

Fuente: (Varnero, 1990)

#### 4.1.3. Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles

Toda materia orgánica está compuesta por agua y una fracción sólida llamada sólidos totales (ST). Este factor se considera importante ya que la movilidad de las bacterias se ve limitada mientras el contenido de sólidos totales se encuentre en mayor proporción afectando la eficiencia y producción de biogás.

De forma experimental se ha demostrado que, en los digestores semicontinuos, la carga debe contener entre 8% y 12% de sólidos totales para asegurar el correcto funcionamiento del proceso. En cuanto a los sólidos volátiles, representa el contenido real de material inorgánico que será transformado en metano.

En la Tabla 17 se puede observar que el ganado vacuno tiene un rango de 13.4 – 56.2% de sólidos totales, el cual se ubica en el nivel más bajo de ST a comparación de los otros tipos de materias primas.

*Tabla 17. Porcentaje de sólidos totales para diferentes tipos de residuos animales*

| Materias primas          | % Sólidos totales |
|--------------------------|-------------------|
| <b>Residuos animales</b> |                   |
| Bovinos                  | 13.4 – 56.2       |
| Porcinos                 | 15.0 – 49.0       |
| Aves                     | 26.0 – 92.0       |
| Caprinos                 | 83.0 – 92.0       |
| Ovejas                   | 32.0 – 45.0       |
| Conejos                  | 34.7 – 90.8       |
| Equinos                  | 19.0 – 42.9       |
| Excretas humanas         | 17.0              |

Fuente: (Varnero, 1990)

#### 4.1.4. Temperatura

La temperatura es un factor determinante en el proceso de metanogénesis. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados, los cuales a su vez dependen de la temperatura. A medida que la temperatura aumenta, el crecimiento de los microorganismos es más rápido acelerando el proceso de la digestión y generando mayor producción de biogás.

Se pueden distinguir 3 rangos de temperatura:

- Psicrófilos: por debajo de 25°
- Mesófilos: entre 25° y 45°
- Termófilos: por encima de 45°

Dentro de cada rango de temperatura, se ha determinado valores óptimos de operación:

Tabla 18. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación

| <i>Fermentación</i> | <b>Mínimo</b> | <b>Óptimo</b> | <b>Máximo</b> | <b>Tiempo de fermentación</b> |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------------|
| <i>Psicrofílica</i> | 4 – 10°C      | 15 – 18°C     | 20 – 25°C     | Sobre 100 días                |
| <i>Mesofílica</i>   | 15 – 20°C     | 25 – 35°C     | 35 – 45°C     | 30 – 60 días                  |
| <i>Termofílica</i>  | 25 – 45°C     | 50 – 60°C     | 75 – 80°C     | 10 – 15 días                  |

Fuente: (Gobierno de Chile, Ministerio de Energía; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Global Environment Facility (GEF)., 2011)

El rango mesofílico es el más utilizado a pesar de que actualmente se está empezando a utilizar el termofílico para así aumentar la velocidad de producción de biogás. Sin embargo, operar en el rango termofílico implica más inestabilidad a cualquier cambio en las condiciones de operación y mayores probabilidades de inhibición. El Manual de Biogás establece que cuando la temperatura incrementa 10° C dentro del rango de temperatura óptima, la actividad biológica se duplica. Por ello se recomienda realizar el diseño del biodigestor para que pueda operar con variaciones de temperatura que no excedan los 0.6 – 1.2°C/día.

Otro factor en el que influye la temperatura es la solubilidad en agua de los gases generados de la digestión anaeróbica. Generalmente, estos gases, cuando se disuelven en agua, liberan calor, entonces un incremento en la temperatura disminuirá la solubilidad. Al pasar esto, más gases presentes en el proceso serán liberados y estarán presentes en el biogás haciéndolo más tóxico.

#### 4.1.5. Tiempo de retención hidráulico

El tiempo de retención hidráulico o TRH, hace referencia al tiempo que debe permanecer la materia prima en el biodigestor para que se produzca el biogás. Este factor está íntimamente relacionado con la temperatura ya que, si ésta aumenta, el tiempo disminuye y el volumen necesario del biodigestor también disminuye, y viceversa. Entonces, se puede deducir que los biodigestores que operan en el rango termofílico son más pequeños que los que operan en los otros dos rangos.

Otro de los factores con el que guarda relación el TRH es el tipo de sustrato ya que los materiales con mayor proporción de carbono como la celulosa, demandarán mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos.

El tiempo mínimo está determinado por la tasa de reproducción de las bacterias metanogénicas debido a que en la salida del efluente del biodigestor se extrae una cantidad de bacterias. Esta cantidad debe ser balanceada con la multiplicación de bacterias que se quedan dentro del reactor.

#### 4.1.6. Nivel de acidez

Es considerado como un factor importante ya que afecta directamente a las bacterias metanogénicas ante cualquier cambio en el nivel de pH que pueda ocurrir.

Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6.0 ni subir de 8.0. Este valor no solo determina la producción de biogás, sino también su composición. Cuando los valores del pH descienden a menos de 6, la calidad del biogás disminuye ya que tiene menor concentración de metano y, por lo tanto, menos cualidades energéticas. Como la metanogénesis es la etapa clave en el proceso, es recomendable mantener el pH cercano a la neutralidad.

Las posibles causas de la alteración del pH pueden ser el aumento repentino de la carga orgánica, el aumento de temperatura o la presencia de sustancias tóxicas en la carga.

#### 4.1.7. Inhibidores de la fermentación

Como se ha explicado anteriormente, cada fase requiere de ciertas condiciones para que el proceso de producción de biogás pueda desarrollarse con normalidad. Sin embargo, se pueden presentar ciertos elementos contenidos en la materia prima que ingresa al biodigestor los cuales pueden impedir la producción de biogás (ver Tabla 19).

Algunos de estos elementos pueden ser:

- ✓ Excesiva concentración de amoníaco y nitrógeno
- ✓ Todo tipo de productos químicos agrícolas
- ✓ Sales como iones metálicos
- ✓ Metales pesados, antibióticos y detergentes

Por otro lado, muchas de estas sustancias a bajas concentraciones, pueden ser estimuladores del proceso.

*Tabla 19. Inhibidores y su concentración*

| Inhibidores                               | Concentración inhibidora |
|-------------------------------------------|--------------------------|
| SO <sub>4</sub>                           | 5000 ppm                 |
| NaCl                                      | 40000 ppm                |
| Nitrato (según el contenido de nitrógeno) | 0.05 mg/ml               |
| Cu                                        | 100 mg/L                 |
| Cr                                        | 200 mg/L                 |
| Ni                                        | 200 a 500 mg/L           |
| CN                                        | 25 mg/l                  |
| Detergente sintético                      | 20 a 40 mg/l             |
| Na                                        | 3500 a 5500 mg/L         |
| K                                         | 2500 a 4500 mg/L         |
| Ca                                        | 2500 a 4500 mg/L         |
| 1000 a 1500 mg/L                          | 1000 a 1500 mg/L         |

*Fuente: (Carvajal, 2014)*

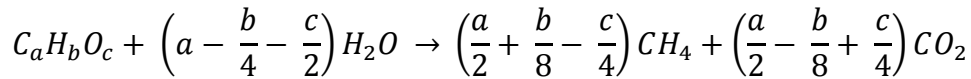
#### 4.2. Métodos para estimar la producción de biogás

Es importante conocer la cantidad de metano presente en el biogás obtenido ya que esta determina la calidad del producto. Esto se debe principalmente a que el metano es el que otorga el poder calorífico para que se dé la combustión, a diferencia del dióxido carbono que no combustiona.

Anteriormente, para evaluar la biodegradabilidad y el rendimiento de metano potencial de una materia prima, se realizaban estudios experimentales en sistemas a escala de planta piloto. Lo negativo de estos estudios es que, demandan considerables cantidades de energía y tiempo para poder adaptar a las poblaciones de microorganismos a las condiciones necesarias.

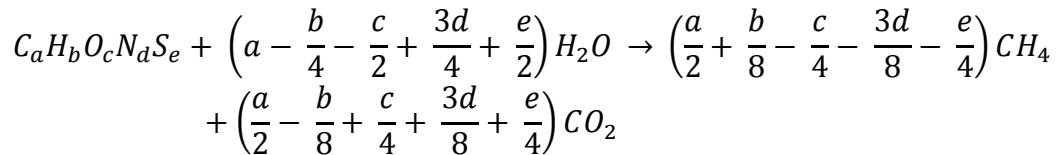
Desde finales de la década del 70, con el avance de la tecnología que permitió una mayor comprensión del proceso, se pudieron desarrollar métodos más eficientes para determinar con mayor precisión la biodegradabilidad y el potencial de metano. El potencial bioquímico de metano (BPM) es uno de los métodos analíticos mayor usado para obtener la porción de sustrato que se puede degradar biológicamente bajo condiciones anaeróbicas. Estos ensayos utilizan recipientes o reactores funcionando en modo batch o discontinuo y en recipientes continuamente mezclados, a diferentes temperaturas, distintos TRH y diferentes volúmenes de inóculo. Sin embargo, debido a los diferentes equipos que se han utilizado, distintas condiciones de operación, protocolos experimentales y métodos de cálculo utilizados, se hace muy difícil una comparación de los datos. Para ello, existen otros métodos que relacionan los componentes básicos de la materia prima con los productos finales del proceso, es decir, el metano y el dióxido de carbono. Estos son independientes del tiempo lo cual impide definir algunos valores como el tiempo de retención hidráulica. Algunos de ellos son (Valladares-Carnero, 2017):

- a) Buswell y Mueller: Este modelo se puede aplicar si se conoce la composición de la materia orgánica. Estos componentes se expresan en su forma estequiométrica según la siguiente relación:



Aquí no se considera la biodegradabilidad de la materia orgánica y tampoco la formación de productos intermedios ni el crecimiento bacteriano.

- b) Boyle: Este modelo se basa en el propuesto anteriormente, pero considera también la presencia de nitrógeno y sulfuro en los reactivos y así calcular la cantidad de amoníaco y sulfuro de hidrógeno que se encuentre en el biogás.



- c) Baserga: Este modelo considera en los componentes de la materia orgánica a los carbohidratos, proteínas y lípidos y a partir de cada uno de ellos define el porcentaje de metano obtenido (ver Tabla 20).

Tabla 20. Rendimiento de producción de gas y porcentaje de metano obtenido

|               | Rendimiento de producción de gas (L/kg orgánico) | CH <sub>4</sub> (%) |
|---------------|--------------------------------------------------|---------------------|
| Carbohidratos | 790                                              | 50                  |
| Proteínas     | 1250                                             | 68                  |
| Lípidos       | 700                                              | 71                  |

Fuente: (Valladares-Carnero, 2017)

- d) Keymer y Schilcher: Se basa en el modelo de Baserga, definiendo los valores de velocidad de digestión de los diferentes tipos de materia prima. Para este modelo se consideró que el proceso era similar a la digestión natural del ganado vacuno. A partir de estos valores se obtiene la producción de biogás y su porcentaje de metano:

Tabla 21. Concentración de compuestos, rendimiento de producción y porcentaje de metano

|               | Concentración de compuestos (kg/kg materia seca) | Rendimiento de producción de gas (L/kg orgánico) | CH <sub>4</sub> (%) |
|---------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------|
| Carbohidratos | 0.582                                            | 459.9                                            | 40.9                |
| Proteínas     | 0.096                                            | 67                                               | 8.5                 |
| Lípidos       | 0.028                                            | 34.8                                             | 4.2                 |

Fuente: (Valladares-Carnero, 2017)

- e) Amon: Con este modelo se busca estimar los valores de energía de metano (MEV en L/kg sólidos volátiles) a partir de cuatro componentes básicos de la materia orgánica: proteínas crudas (XP), líquidos crudos (XL), fibras crudas (XF) y extractos libres de nitrógeno (XX). Se utilizó como materia prima al maíz, cereales y gras.

$$MEV = x1 \cdot XP + x2 \cdot XL + x3 \cdot XF + x4 \cdot XX$$

#### 4.3. Criterios para la elección del biodigestor

El presente trabajo busca aprovechar la gran cantidad de residuos orgánicos que genera la agropecuaria Campos del Chira E.I.R.L. los cuales están expuestos al ambiente. De esta forma, se disminuye el problema de la contaminación y se resuelven los problemas de salud pública. A la vez, la implementación del biodigestor busca satisfacer una necesidad energética que existe en la agropecuaria en el desarrollo de sus actividades.

Considerando los objetivos planteados anteriormente, se deben elegir los criterios que más se adapten a estos y de esta forma satisfacer las necesidades.

Para elegir cuál tipo de biodigestor se debe utilizar, es importante evaluar los siguientes criterios:

- ✓ Inversión que se está dispuesto a realizar.

- ✓ Energía que se quiere obtener.
- ✓ La biomasa con la que se cuenta para la alimentación del biodigestor.
- ✓ El tamaño requerido del biodigestor.
- ✓ Las características del lugar en cuanto a profundidad del nivel freático o mantos rocosos.

Para ello es conveniente realizar una matriz de decisión de tal forma que se pueda evaluar cada tipo de biodigestor y así determinar el que más se adapte a las especificaciones dadas. Esta técnica de evaluación permite que una evaluación de tipo cualitativa tienda a ser más objetiva. Por ello, mientras más capacitada sea la ponderación y calificación de los criterios, más confiable será la decisión tomada por medio de esta matriz.

La matriz de decisión consta de 5 columnas (A, B, C, D, E). En la columna B se colocan los criterios que se van a tomar en cuenta para la evaluación según los requerimientos del cliente.

En la columna A se deben colocar valores que representen la importancia que tiene cada criterio dentro de las condiciones específicas del proyecto. Estos valores deben permanecer constantes independientemente del tipo de biodigestor que se está evaluando. Además, la suma de los valores asignados en la columna A deben sumar 100.

En la columna C se evalúa cada aspecto de la columna B de acuerdo a su cumplimiento o no en el proyecto, y se otorga uno de los siguientes valores:

- 0: No cumple
- 1: Cumple en forma deficiente
- 3: Cumple en forma adecuada
- 5: Cumple en forma excelente

En la columna D se divide la calificación asignada a cada criterio en la columna C entre la calificación máxima que se puede obtener, es decir, 5.

Finalmente, en la columna E se multiplica cada valor de la columna D por el valor ponderado de la columna A que le corresponde. Para obtener la calificación global se suman todos los valores de la columna E. El tipo de biodigestor que obtenga la mayor calificación será el seleccionado (Juan Manuel Morgan Sagastume, Jorge López Hernández y Adalberto Noyola Robles).

Para la realización de esta matriz se consideran los siguientes criterios como los principales:

- Tipo de materia prima: Hace referencia al tipo de estiércol con el que trabajan los biodigestores.
- Vida útil: Responde al tiempo que durará en operación el biodigestor.
- Área requerida: Se refiere al área que se requiere para la construcción del biodigestor. La poca disponibilidad de terreno o el alto costo del mismo pueden influir de manera decisiva en la factibilidad del proyecto.
- Costos: Aquí se toman en consideración los costos de inversión, operación y mantenimiento.

- Construcción: Hace referencia a la disponibilidad de los materiales y al grado de complejidad de su construcción.
- Operación y mantenimiento: Abarca conceptos relacionados al funcionamiento y el mantenimiento del biodigestor para garantizar la producción de biogás programada.
- Rendimiento: Este criterio pone énfasis en la productividad y en la eficiencia del biodigestor.

## Capítulo 5. Diseño del biodigestor

En el presente capítulo se trabajará las matrices para la selección del tipo de biodigestor a emplear, los parámetros de funcionamiento y producción de biogás, y finalmente se realizarán todos los cálculos necesarios para determinar las medidas del biodigestor adecuado para los requerimientos de la agropecuaria.

### 5.1. Matrices para la selección del tipo de biodigestor

Para elegir el tipo de biodigestor con el que trabajará la agropecuaria se ha aplicado el método de evaluación mediante matrices, en el que se califica los criterios escogidos según la siguiente escala: 0 = No aplica; 1 = Suficiente; 3 = Adecuado y 5 = Muy Bueno. El nivel de aceptación se calificará según la siguiente escala:  $x < 65$  = Aceptación baja;  $65 < x < 80$  = Aceptable;  $x > 80$  = Aceptación alta. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 22. Matriz de preselección para el biodigestor de polietileno o “Bolsa flexible”

| BIODIGESTOR DE POLIETILENO |            |                           |              |     |           |
|----------------------------|------------|---------------------------|--------------|-----|-----------|
| N°                         | A          | B                         | C            | D   | E         |
|                            | %          | ASPECTO EVALUADO          | CALIFICACIÓN | C/5 | D*A       |
| 1                          | 5          | Tipo de materia prima     | 5            | 1   | 5         |
| 2                          | 15         | Vida útil                 | 1            | 0.2 | 3         |
| 3                          | 5          | Requerimiento de área     | 5            | 1   | 5         |
| 4                          | 20         | Costos                    | 5            | 1   | 20        |
| 5                          | 15         | Construcción              | 5            | 1   | 15        |
| 6                          | 15         | Operación y mantenimiento | 3            | 0.6 | 9         |
| 7                          | 25         | Rendimiento               | 3            | 0.6 | 15        |
| <b>TOTAL</b>               | <b>100</b> |                           |              |     | <b>72</b> |

Fuente: Elaboración propia

El biodigestor de polietileno o “bolsa flexible” tiene un 72% de aceptación, por lo que es aceptable. Esto debido a que su tiempo de vida útil es bajo y que los materiales que lo componen son de plástico.

Tabla 23. Matriz de preselección para el biodigestor de domo fijo o “chino”

| <b>BIODIGESTOR DE DOMO FIJO O "CHINO"</b> |     |                           |              |     |           |
|-------------------------------------------|-----|---------------------------|--------------|-----|-----------|
| N°                                        | A   | B                         | C            | D   | E         |
|                                           | %   | ASPECTO EVALUADO          | CALIFICACIÓN | C/5 | D*A       |
| 1                                         | 5   | Tipo de materia prima     | 5            | 1   | 5         |
| 2                                         | 15  | Vida útil                 | 5            | 1   | 15        |
| 3                                         | 5   | Requerimiento de área     | 5            | 1   | 5         |
| 4                                         | 20  | Costos                    | 3            | 0.6 | 12        |
| 5                                         | 15  | Construcción              | 3            | 0.6 | 9         |
| 6                                         | 15  | Operación y mantenimiento | 5            | 1   | 15        |
| 7                                         | 25  | Rendimiento               | 5            | 1   | 25        |
| <b>TOTAL</b>                              | 100 |                           |              |     | <b>86</b> |

Fuente: Elaboración propia

El biodigestor de domo fijo o “chino” tiene un 86% de aceptación, este es un alto nivel de aceptación para el diseño. Esto debido a la compatibilidad con la materia prima, su vida útil y el alto rendimiento que tiene este tipo de biodigestor, el cual se ha ido comprobando a lo largo de los años.

Tabla 24. Matriz de preselección para el biodigestor de domo flotante o “hindú”

| <b>BIODIGESTOR DE DOMO FLOTANTE O "HINDÚ"</b> |     |                           |              |     |           |
|-----------------------------------------------|-----|---------------------------|--------------|-----|-----------|
| N°                                            | A   | B                         | C            | D   | E         |
|                                               | %   | ASPECTO EVALUADO          | CALIFICACIÓN | C/5 | D*A       |
| 1                                             | 5   | Tipo de materia prima     | 5            | 1   | 5         |
| 2                                             | 15  | Vida útil                 | 3            | 0.6 | 9         |
| 3                                             | 5   | Requerimiento de área     | 5            | 1   | 5         |
| 4                                             | 20  | Costos                    | 3            | 0.6 | 12        |
| 5                                             | 15  | Construcción              | 3            | 0.6 | 9         |
| 6                                             | 15  | Operación y mantenimiento | 3            | 0.6 | 9         |
| 7                                             | 25  | Rendimiento               | 3            | 0.6 | 15        |
| <b>TOTAL</b>                                  | 100 |                           |              |     | <b>64</b> |

Fuente: Elaboración propia

El biodigestor de domo flotante o “hindú” tiene un 64% de aceptación, este valor es bajo. Este biodigestor posee una campana flotante de hierro, que con el paso del tiempo se corroe por las condiciones ambientales.

Finalmente, luego de comparar los tres tipos de biodigestor, se ha decidido implementar un biodigestor de domo fijo o “chino”, que tiene mayor porcentaje de aceptación.

## 5.2. Parámetros de funcionamiento y producción de biogás

### 5.2.1. Sólidos totales y concentración de la materia prima

Para determinar la cantidad de biogás que se producirá en la Agropecuaria Campos del Chira se ha utilizado la tabla de datos básicos de diseño de biodigestores a partir de estiércol de ganado vacuno.

Figura 26. Datos básicos – Biogás de ganado vacuno

|                               |   |                                                  |
|-------------------------------|---|--------------------------------------------------|
| 1 Kg de Estiércol Fresco (EF) | = | 0.20 Kg de Sólidos Totales (ST)                  |
| 1 Kg de Sólidos Totales (ST)  | = | 0.8 Kg de Sólidos Volátiles (SV)                 |
| 1 Kg de Sólidos Totales (ST)  | = | 0.30 m <sup>3</sup> de Biogás a (35°C y Pr. Atm) |
| 1 Kg de Sólidos Totales (ST)  | = | 0.25 m <sup>3</sup> de Biogás a (30°C y Pr. Atm) |
| 1 Kg de Sólidos Totales (ST)  | = | 0.20 m <sup>3</sup> de Biogás a (25°C y Pr. Atm) |
| 1 Kg de Sólidos Totales (ST)  | = | 0.16 m <sup>3</sup> de Biogás a (22°C y Pr. Atm) |
| 1 Kg de Sólidos Totales (ST)  | = | 0.10 m <sup>3</sup> de Biogás a (18°C y Pr. Atm) |
| 1 Kg de Sólidos Totales (ST)  | = | 0.08 m <sup>3</sup> de Biogás a (15°C y Pr. Atm) |

FUENTE: Larry J. Douglas (1979)

Debido a la temperatura promedio del lugar donde se va a implementar el biodigestor y trabajando dentro del rango mesofílico (lo cual está explicado en el punto 4.1.4.), la temperatura de trabajo del biodigestor será 25°C, por lo que se puede determinar que 1 kg de sólidos totales equivale a 0.20 m<sup>3</sup> de biogás.

### 5.2.2. Carga orgánica volumétrica

El cálculo de la producción de biogás en el biodigestor se puede realizar de dos maneras:

- Cantidad de estiércol producido en la agropecuaria y a partir de esto calcular la energía, el biogás y el volumen del biodigestor.
- Cantidad de energía y biogás requeridos para alimentar todos los equipos, y a partir de esto calcular el estiércol necesario y el volumen del biodigestor.

#### a) Cantidad de biogás producido por la agropecuaria

Una vaca de 400 kg produce 8.2% de su peso en estiércol (Manuel Darío Mendez y Casarin; Rafael Tzintzun Rascó; Daniel Val Arreola, 1999).

Considerando que el peso promedio de los animales es de 350 kg, al multiplicarlo por 15 vacas, obtenemos 430.5 kg de estiércol fresco al día.

Además, se ha considerado el valor de sólidos totales determinado en el punto 6.1.1. Operando, se obtiene:

$$430.5 \frac{kg \text{ EF}}{día} * 0.20 \frac{kg \text{ ST}}{1 kg \text{ de EF}} * 0.20 \frac{m^3 \text{ de biogás}}{1 kg \text{ de ST}} = 17.22 \frac{m^3 \text{ de biogás}}{día}$$

$$17.22 \frac{m^3 \text{ de biogás}}{día} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 523.77 \frac{m^3 \text{ de biogás}}{mes}$$

$$523.77 \frac{m^3 \text{ de biogás}}{mes} * 1.2 \frac{kWh}{m^3 \text{ de biogás}} = 628.53 \frac{kWh}{mes}$$

La agropecuaria produce diariamente 17.22 m<sup>3</sup> de biogás.

#### b) Consumo mensual de biogás en la agropecuaria

- 3 cocinas: 3 balones de GLP mensualmente

$$kg \text{ de GLP} = 3 \text{ balones de GLP} * \frac{10 \text{ kg de GLP}}{1 \text{ balón de GLP}} = 30 \text{ kg GLP mensual}$$

$$30 \frac{kg \text{ GLP}}{mes} * \frac{1 \text{ m}^3 \text{ biogás}}{0.45 \text{ kg GLP}} = 66.67 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{mes}$$

- 12 lámparas a biogás: 12 \* 0.15 m<sup>3</sup> de biogás/hora (Hernández, Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia, 1996)  
Tomando como tiempo de trabajo de las lámparas 8 horas/día, se obtiene:

$$12 * 0.15 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{hora}} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 14.4 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{día}}$$

$$14.4 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{día}} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 438 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{mes}}$$

Sumando el biogás requerido por todos los equipos, se obtiene que al mes es necesario 452.4 m<sup>3</sup> de biogás. Lo que en energía equivale a:

$$452.4 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{mes}} * 1.2 \frac{kWh}{\text{m}^3 \text{ de biogás}} = 542.88 \frac{kWh}{\text{mes}}$$

El consumo diario sería:

$$452.4 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} = 14.87 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{día}}$$

Comparando estos datos, con resultados del biogás producido en la agropecuaria, se comprueba que la producción de 457.98 m<sup>3</sup> de biogás al mes o 549.58 kWh si satisface la demanda de 452.4 m<sup>3</sup> de biogás o 542.88 kWh al mes.

#### 5.2.3. Cantidad de agua y de materia prima

Después de calcular la cantidad de estiércol producida diariamente y la cantidad de biogás a producir, se utilizará una dilución de relación 1:1 de estiércol y agua, debido a que si se tiene una mezcla muy seca se ve afectado el desarrollo de las bacterias metanogénicas, y si se tiene una mezcla muy diluida, los microorganismos no tendrán alimento suficiente para vivir (Winston, 2016).

Se asume que 1 kg de EF = 1 lt de EF, entonces se obtiene una mezcla diaria de:

$$Carga\ diaria\ (CD) = Estiércol + agua$$

$$CD = 376.425 \frac{kg\ EF}{día} * 1 \frac{lt\ EF}{kg} + 376.425 \frac{lt\ agua}{día} = 752.85 \frac{lt\ mezcla}{día}$$

$$CD = 752.85 \frac{lt\ mezcla}{día} * \frac{1\ m^3}{1000\ lt} = 0.75285 \frac{m^3\ mezcla}{día}$$

#### 5.2.4. Temperatura de funcionamiento

Según el clima de la región, se ha determinado la temperatura de trabajo del biodigestor como 25 °C. Al cual le corresponde un tiempo de retención de 30 días.

#### 5.3. Dimensionamiento

A continuación, se calculará las dimensiones de la caja de entrada, tanque, cúpula superior e inferior, biodigestor, caja de salida, altura de la tubería y compuerta de limpieza del biodigestor.

##### a) Caja de entrada del biodigestor

Después de haber realizado calificado los tipos de biodigestores mediante matrices de evaluación, se ha decidido realizar u biodigestor de domo fijo o “chino”.

La forma de la caja de entrada será cuadrada debido a que la mezcla de estiércol y agua será agregada diariamente, por lo que el volumen es pequeño. Se dimensionará según la carga diaria (CD).

LLCE = Longitud de los Lados de la Caja de Entrada

$$LLCE = \sqrt[3]{0.75285 \frac{m^3\ mezcla}{día}} = 0.91\ m$$

Cada lado de la caja debe tener 0.91 metros de longitud. Teniendo en cuenta el espacio que ocupará el material en la caja de entrada (0.3 m de longitud, 0.3 m de ancho y 0.2 m de altura), las medidas serán 1.2 m de longitud, ancho y altura. Restando el espacio que ocupa el material, tenemos 0.9 m de longitud, 0.9 m de ancho y 1 m de altura, lo que deja un volumen de 0.81 m<sup>3</sup>, espacio suficiente para introducir la carga diaria de 0.75285 m<sup>3</sup> de mezcla.

$$C_{en} = L * A * H$$

$$C_{en} = 1.2 * 1.2 * 1.2 = 1.728\ m^3$$

$$C_{ei} = L * A * H$$

$$C_{ei} = (1.2 - 0.3) * (1.2 - 0.3) * (1.2 - 0.2) = 0.81\ m^3$$

Donde:

Cen: caja de entrada

Cei: caja de entrada interior

L: longitud

A: Ancho

H: altura

### **b) Tanque del biodigestor**

Se calculará el volumen, diámetro y altura del tanque del biodigestor.

#### **b.1) Volumen del tanque del biodigestor**

$$V_{tb} = CD * TR$$

$$V_{tb} = 0.75285 \frac{m^3}{día} * 30 días = 22.6 m^3$$

Donde:

Vtb: Volumen del tanque del biodigestor

CD: Carga diaria

TR: Tiempo de retención

El volumen del tanque del biodigestor tendrá 22.6 m<sup>3</sup>.

#### **b.2) Diámetro del biodigestor**

Para determinar el diámetro del biodigestor, se considera una profundidad (H) igual al diámetro (Ø).

$$V_{tb} = A * H$$

$$V_{tb} = \frac{\pi * Ø^2}{4} * H$$

Donde:

Vtb: Volumen del tanque del biodigestor

Ø: Diámetro del biodigestor

H: Profundidad del biodigestor

Despejando y dejando todo en función de  $\emptyset$ , se obtiene:

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{V_{tb} * 4}{\pi}}$$

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{22.6 * 4}{\pi}} = 3.1 \text{ m}$$

El diámetro interno del biodigestor será de 3.1 m, al aumentarle 0.15 m de espesor ocupado por el material a cada lado, se tiene un diámetro exterior de 3.4 m.

### **b.3) Altura del tanque del biodigestor**

Para calcular el diámetro asumimos que era igual a la profundidad, pero ya que se ha calculado el diámetro del biodigestor, se puede saber la altura real.

$$V_{tb} = \frac{\pi * \emptyset^2}{4} * H$$

Despejando H:

$$H = \frac{V_{tb} * 4}{\pi * \emptyset^2}$$

$$H = \frac{22.6 * 4}{\pi * 3.1^2} = 2.99 \text{ m}$$

A esta altura se le debe sumar 0.15 m de base, con lo que la altura será 3.14 m.

### **c) Cúpula superior del biodigestor**

De la cúpula superior se calculará la curvatura, radio de la curvatura de la esfera superior, y su volumen.

#### **c.1) Curvatura de la cúpula superior**

Donde:

f1: altura de la cúpula superior

$$f_1 = \frac{1}{5} * \emptyset$$

$$f_1 = \frac{1}{5} * 3.1 = 0.62 \text{ m}$$

La altura de la cúpula superior será 0.62 metros.

### **c.2) Radio de la curvatura de la esfera superior**

Donde:

r1: Radio de la curvatura de la esfera superior

$$r_1 = \frac{r^2 + f_1^2}{2f_1}$$

$$r_1 = \frac{1.55^2 + 0.62^2}{2 * 0.62} = 2.25 \text{ m}$$

### **c.3) Volumen de la cúpula superior**

$$V_{cs} = \pi * f_1^2 * \left( r_1 - \frac{f_1}{a} \right)$$

Donde:

Vcs: Volumen de la cúpula superior

a: 3 (constante)

$$V_{cs} = \pi * 0.62^2 * \left( 2.25 - \frac{0.62}{3} \right) = 2.47 \text{ m}^3$$

### **d) Cúpula inferior del biodigestor**

De la cúpula inferior se calculará la curvatura, radio de la curvatura de la esfera inferior, y su volumen.

#### **d.1) Curvatura de la cúpula inferior**

Donde:

f2: altura de la cúpula superior

$$f_2 = \frac{1}{8} * \emptyset$$

$$f_2 = \frac{1}{8} * 3.1 = 0.39 \text{ m}$$

### **d.2) Radio de la curvatura de la esfera inferior**

Donde:

r<sub>2</sub>: Radio de la curvatura de la esfera superior

$$r_2 = \frac{r^2 + f_2^2}{2f_2}$$

$$r_2 = \frac{1.55^2 + 0.39^2}{2 * 0.39} = 3.27 \text{ m}$$

### **d.3) Volumen de la cúpula inferior**

$$V_{ci} = \pi * f_2^2 * \left( r_2 - \frac{f_2}{a} \right)$$

Donde:

V<sub>ci</sub>: Volumen de la cúpula inferior

a: 3 (constante)

$$V_{ci} = \pi * 0.39^2 * \left( 3.27 - \frac{0.39}{3} \right) = 1.5 \text{ m}^3$$

### **e) Biodigestor**

Del biodigestor se calculará el volumen del cilindro, altura y volumen finales.

#### **e.1) Volumen del cilindro**

$$V_{cl} = \pi * r^2 * H$$

Donde:

V<sub>cl</sub>: Volumen del cilindro

$$V_{c1} = \pi * 1.55^2 * 2.99 = 22.57 \text{ m}^3$$

### e.2) Altura final del biodigestor

$$H_{fb} = H + H_b + f_1 + f_2$$

Donde:

Hfb: Altura final del biodigestor

Hb: altura del borde

$$H_{fb} = 2.99 + 0.35 + 0.62 + 0.39 = 4.35 \text{ m}$$

Dejando un borde de 0.35 m, se obtiene una altura de biodigestor de 4.35 m.

### e.3) Volumen final del biodigestor

$$V_{fb} = V_{cs} + V_{ci} + V_{cl}$$

Donde:

Vfb: Volumen final del biodigestor

$$V_{fb} = 2.47 + 1.5 + 22.57 = 26.54 \text{ m}^3$$

$$V_b = V_{fb} - V_{tb}$$

Donde:

Vb: Volumen de biogás almacenado

$$V_{tb} = 26.54 - 22.6 = 3.94 \text{ m}^3$$

### f) Caja de salida del biodigestor

La caja de salida del biodigestor será de geometría cuadrada, que da facilidad para extraer el fluido de salida cuya cantidad es parecida a la mezcla de entrada diaria. Por lo que las dimensiones serán iguales.

Las medidas serán 1.2 m de longitud, ancho y altura. Restando el espacio que ocupa el material: 0.3 m de longitud, 0.3 m de ancho y 0.2 m de altura, se tiene 0.9 m de longitud, 0.9 m de ancho y 1 m de altura, lo que deja un volumen de 0.81 m<sup>3</sup>, espacio suficiente para extraer el fluido de salida.

$$C_s = L * A * H$$

$$C_s = 1.2 * 1.2 * 1.2 = 1.728 \text{ m}^3$$

$$C_{si} = L * A * H$$

$$C_{si} = (1.2 - 0.3) * (1.2 - 0.3) * (1.2 - 0.2) = 0.81 \text{ m}^3$$

Donde:

Cs: caja de salida

Csi: caja de salida interior

**g) Altura de la tubería en el biodigestor para conducir la carga diaria y salida de la misma**

Se debe realizar los siguientes cálculos:

$$376.425 \frac{kg\ EF}{día} * 30\ días = 11292.75\ kg\ EF$$

Según la figura 1, por cada kg de estiércol fresco el 20% son sólidos totales, lo que al mes significaría:

$$ST = \frac{0.20\ kg\ ST}{1\ kg\ de\ EF} * 11292.75\ kg\ EF = 2258.55\ kg\ ST$$

Como 1 kg de EF = 1 lt de EF se obtiene:

$$ST = 2258.55\ kg\ ST * \frac{1\ lt\ EF}{1\ kg\ EF} * \frac{1\ m^3}{1000\ lt} = 2.26\ m^3$$

Despejando H:

$$V_{st} = \frac{\pi * \emptyset^2}{4} * H_t$$

Donde:

Vst: Volumen de sólidos totales

Ht: Altura de la tubería

$$H_t = \frac{V_{st} * 4}{\pi * \emptyset^2}$$
$$H_t = \frac{2.26 * 4}{\pi * 3.1^2} = 0.299\ m$$

Se considera que la limpieza del biodigestor se realizará cada 4 meses:

Primer mes:  $V_{st} - V_{ci} = 2.26 - 1.5 = 0.76\ m^3$

$$H_t = \frac{V_{st} * 4}{\pi * \emptyset^2}$$
$$H_t = \frac{0.76 * 4}{\pi * 3.1^2} = 0.1\ m$$

Entonces:

$$H_t = 0.1 + (0.299 * 3\ meses) = 0.997\ m$$

Se obtiene que la altura de la tubería de entrada desde la base del biodigestor es de 0.997 metros tomando en cuenta una limpieza cada cuatro meses, finalmente se ha decidido colocar la tubería a 1.5 m desde la base del biodigestor. La tubería de salida del fluido estará a 1.7 m desde la base del biodigestor.

### **g.1) Tubería empleada para la conducción de la carga diaria de estiércol al biodigestor**

La tubería empleada para conducir la entrada y salida de la carga diaria hacia el biodigestor será una tubería de PVC de 200 mm de diámetro con una inclinación de 45°, la tubería debe ser lo suficientemente grande para evitar estancamientos durante la alimentación.

### **g.2) Tubería empleada para la conducción del biogás**

La composición del biogás es aproximadamente 60% de metano y 40% de dióxido de carbono y contiene pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico. Por esto se debe utilizar una tubería de acero inoxidable de ½ pulgada de diámetro, para la conducción del biogás hasta su uso se utilizará tubería PVC de ½ pulgada de diámetro y en la parte superior de la cúpula se adaptará una llave de paso, para facilitar el control de la salida del biogás.

### **h) Compuerta de limpieza**

Esta compuerta estará ubicada en la parte superior de la cúpula, medirá 0.5 m de longitud y de ancho, por lo que ocupará 0.25 m<sup>2</sup>. Estará construida con el mismo material del biodigestor, forrada con caucho y cubierta con cemento para evitar la fuga del gas.

*Tabla 25. Resumen de las dimensiones del biodigestor*

| DESCRIPCIÓN                                 | SÍMBOLO | VALOR | UNIDAD         |
|---------------------------------------------|---------|-------|----------------|
| <b>CAJA DE ENTRADA DEL BIODIGESTOR</b>      |         |       |                |
| Longitud                                    | L       | 1.20  | m              |
| Ancho de la caja                            | A       | 1.20  | m              |
| Altura de la caja                           | H       | 1.20  | m              |
| Caja de entrada                             | Cen     | 1.73  | m <sup>3</sup> |
| Caja de entrada interior                    | Cin     | 0.81  | m <sup>3</sup> |
| <b>TANQUE DEL BIODIGESTOR</b>               |         |       |                |
| Volumen del tanque                          | Vtb     | 22.60 | m <sup>3</sup> |
| Diámetro interior                           | Ø       | 3.10  | m              |
| Diámetro exterior                           | Øe      | 3.40  | m              |
| Espesor del material                        | e       | 0.15  | m              |
| Radio interno                               | r       | 1.55  | m              |
| Altura de la caja                           | H       | 2.99  | m              |
| Altura del borde de la base                 | Hb      | 0.35  | m              |
| Altura final del biodigestor                | Hfb     | 4.35  | m              |
| <b>CÚPULA SUPERIOR DEL BIODIGESTOR</b>      |         |       |                |
| Altura de la cúpula superior                | f1      | 0.62  | m              |
| Radio de la curvatura de la esfera superior | r1      | 2.25  | m              |
| Volumen de la cúpula superior               | Vcs     | 2.47  | m <sup>3</sup> |
| <b>CÚPULA INFERIOR DEL BIODIGESTOR</b>      |         |       |                |
| Altura de la cúpula inferior                | f2      | 0.39  | m              |
| Radio de la curvatura de la esfera inferior | r2      | 3.27  | m              |

|                                       |     |        |                |
|---------------------------------------|-----|--------|----------------|
| Volumen de la cúpula inferior         | Vci | 1.50   | m <sup>3</sup> |
| <b>BIODIGESTOR</b>                    |     |        |                |
| Volumen del cilindro                  | Vcl | 22.57  | m <sup>3</sup> |
| Volumen final del biodigestor         | Vfb | 26.54  | m <sup>3</sup> |
| Volumen del biogás almacenado         | Vb  | 3.94   | m <sup>3</sup> |
| <b>CAJA DE SALIDA DEL BIODIGESTOR</b> |     |        |                |
| Longitud                              | L   | 1.20   | m              |
| Ancho de la caja                      | A   | 1.20   | m              |
| Altura de la caja                     | H   | 1.20   | m              |
| Caja de salida                        | Cs  | 1.73   | m <sup>3</sup> |
| Caja de salida interior               | Csi | 0.81   | m <sup>3</sup> |
| <b>ALTURA DE LA TUBERÍA</b>           |     |        |                |
| Altura de la tubería de entrada       | Ht  | 1.50   | m              |
| Altura de la tubería de salida        | Ht  | 1.70   | m              |
| Diámetro de la tubería                | Ø   | 200.00 | mm             |
| <b>COMPUERTA DE LIMPIEZA</b>          |     |        |                |
| Longitud de la compuerta              | L   | 0.50   | m              |
| Ancho de la compuerta                 | L   | 0.50   | m              |
| Área de la compuerta                  | A   | 0.25   | m <sup>2</sup> |

*Fuente: Elaboración propia*

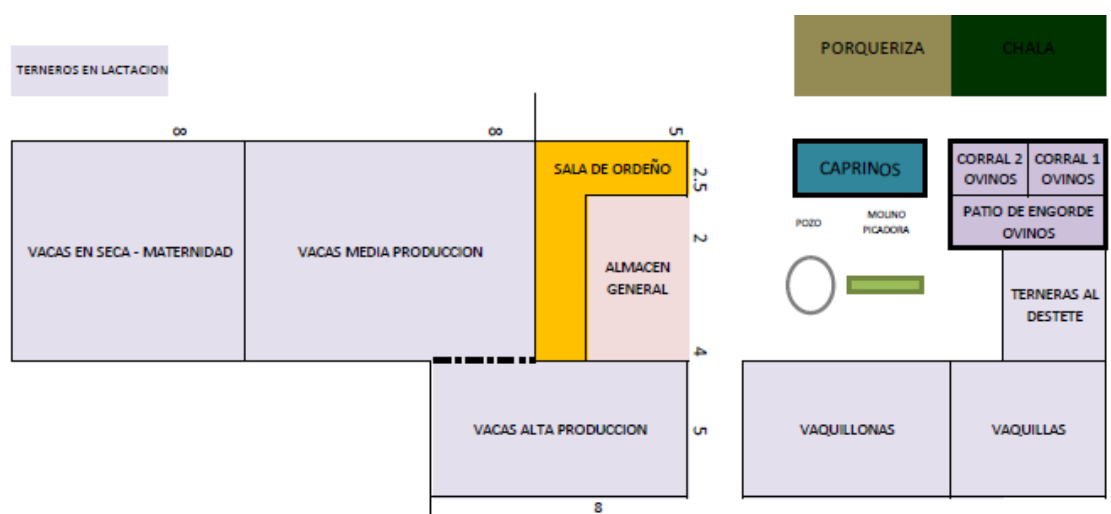
Ver planos en el Anexo 9, Anexo 10, Anexo 11, Anexo 12 y Anexo 13.

Todas las fórmulas utilizadas para el dimensionamiento del biodigestor han sido obtenidas de la tesis “Diseño de un biorreactor y conducción del biogás generado por las excretas de ganado vacuno, estación TUNSHI-ESPOCH”. (Lara & Hidalgo, 2011)

#### 5.4. Ubicación

La ubicación será dentro de las instalaciones de la Agropecuaria Campos del Chira en Viviate, Piura. La agropecuaria presenta una zona de vacas junto a una sala de ordeño y un almacén general. Por otro lado, el área de caprinos, ovinos y porqueriza. En el centro posee un pozo y un molino picador de maíz. Presenta un canal, pero este no tiene efluencia todo el año por ello se emplea más el pozo en la obtención de agua para los animales (ver Figura 27).

Figura 27. Distribución de la Agropecuaria Campos del Chira en Viviate, Piura.



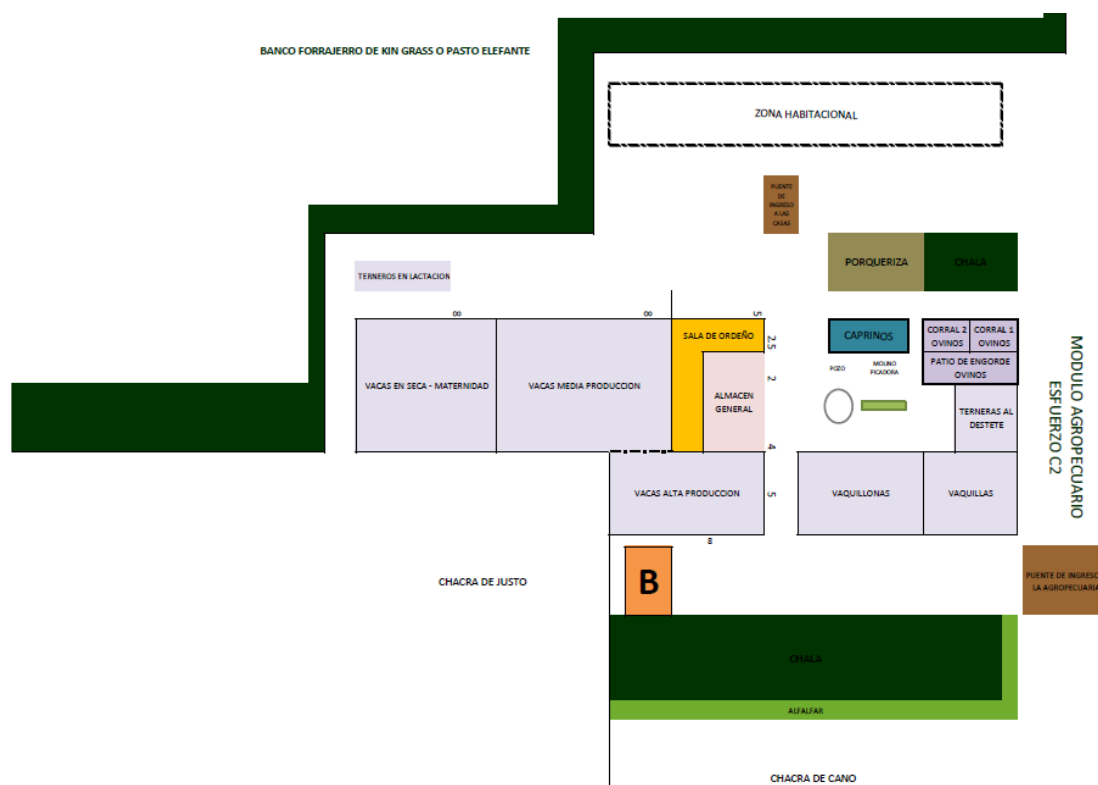
*Fuente: Elaboración propia*

El biodigestor tiene dos opciones de ubicación debido a las dimensiones que posee; la primera es cerca de la zona de ordeño y la segunda es cerca al césped el cual recibe el nombre de chala y alfalfar. Para su ubicación se han tomado en consideración los recorridos realizados en la agropecuaria, la cercanía a las vacas y la cocina.

A pesar de que originalmente se podría optar ubicar el biodigestor cerca de la zona de ordeño, cabe tomar en consideración que las vacas de alta producción se ubican cerca al césped que es el lugar donde los animales se alimentan y que por los olores de la caja de entrada y de salida no es recomendable ubicar el biodigestor cerca de la zona habitacional.

A partir de esas condiciones se opta por ubicar el biodigestor cerca de la zona de césped (ver Figura 28).

Figura 28. Ubicación del biodigestor en la Agropecuaria Campos del Chira EIRL



*Fuente: Elaboración propia*

## 5.5. Materiales y costos

Una vez conocidos los requerimientos de la agropecuaria y las dimensiones del biodigestor se decidió hacer una cotización con la empresa Cidelsa y luego una cotización por la construcción propia del biodigestor.

En primer lugar, se muestra la cotización otorgada por la empresa Cidelsa la cual se muestra a continuación.

Figura 29. Cotización de biodigestor



Av. Pedro Miota 914  
S.J. de Miraflores - Lima 29  
Tel: 6178787 Fax: 6178700

Señorita  
Romina Retto  
Piura

COTIZACION N°  
CAT08 876/2017

Fecha: 31/08/2017

Atención: Sr. Aquiles Quispe Achura

| Item | Cant. | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Unid | P. Parcial<br>US\$ | Total<br>US\$ |
|------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------------|---------------|
| 1    | 1     | <b>DESCRIPCION</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |                    |               |
|      |       | Biodigestor en geomembrana de PVC bi capade 0.60 mm MODELO IAA - CID                                                                                                                                                                                                                                |      |                    |               |
|      |       | Con tapas en ambos extremos para las mangas de entrada, salida y extracción de lodos, en tuberías de 4" de diámetro sin necesidad de amarrar tuberías. Una salida de biogás en accesorio de PVC de 1/2" instalada en área sellada y reforzada con dos contratueras y anillos planos de 10 cms diám. |      |                    |               |
|      |       | Todo el biodigestor sellado por alta frecuencia (HF).                                                                                                                                                                                                                                               |      |                    |               |
|      |       | Se adjunta un kit de reparación con adhesivo y parches. Con tres tubos de PVC de 4" diam. X 0.50m instalados en cada una de las tres mangas más un empaque de geomembrana y abrazaderas galvanizadas regulab.                                                                                       |      |                    |               |
|      |       | Lleva también un adaptador de 2" para conectar la llave de agua de 2" diám.                                                                                                                                                                                                                         |      |                    |               |
|      |       | Medidas: 1.27 m de diámetro x 6.70 m de largo                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                    |               |
|      |       | Volumen Total: 8.5 m3                                                                                                                                                                                                                                                                               | pza  | \$385.00           | \$385.00      |
| 2    | 10    | <b>GASOMETRO MODELO CID</b>                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |                    |               |
|      |       | Manga de geomembrana de PVC bi capa de 0.60 mm color gris claro                                                                                                                                                                                                                                     |      |                    |               |
|      |       | Manga cerrada con tapas en ambos extremos de 1.0 m de diámetro x 2.2 m de largo. Con un accesorio de PVC de 1/2" de diámetro, empaquetaduras de jebe, dos arandelas de PVC, para la entrada/salida del biogás.                                                                                      |      |                    |               |
|      |       | Está colocado en el centro de una de las tapas de la manga.                                                                                                                                                                                                                                         |      |                    |               |
|      |       | Gasómetro para mejorar el uso del biogás en las hora de mayor frio en que se usa normalmente en cocinar o iluminar.                                                                                                                                                                                 | pza. | \$110.00           | \$1,100.00    |
| 3    | 1     | <b>Biodigestor tubular en geomembrana de PVC de 1.0 mm.</b>                                                                                                                                                                                                                                         |      |                    |               |

|  |  |                                                                                                                                                             |      |              |            |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------|------------|
|  |  | Con tapas en ambos extremos donde se instalan tres mangas. Una para carga y otra para Salida de efluentes y otra para purga de sólidos sedimentables.       |      |              |            |
|  |  | Una salida de biogás en accesorio de PVC de 1" instalada en área cerca de una de las tapas, con arandelas y contratueras de PVC rígidas.                    |      |              |            |
|  |  | Todo el biodigestor fabricado en geomembrana doble de 1.0mm                                                                                                 |      |              |            |
|  |  | Se adjunta un kit de reparación con pegamento y parches, 3 tubos de PVC de 4" x 0.50m con empaque y abrazadera regulable, en cada manga.                    |      |              |            |
|  |  | Se adjunta un accesorio PVC para conectar en reducción de 4" a 2", la llave de 2" diám y un kit de reparación con parches de geomembrana y adhesivo de PVC. |      |              |            |
|  |  | Medidas: 0.95 m de diámetro x 8.0 m de largo                                                                                                                |      |              |            |
|  |  | Volumen Total: 5.50 M3                                                                                                                                      | pza. | \$280.00     | \$280.00   |
|  |  |                                                                                                                                                             |      | Sub - Total: | \$1,765.00 |
|  |  |                                                                                                                                                             |      | IGV 18%      | \$317.70   |
|  |  |                                                                                                                                                             |      | TOTAL:       | \$2,082.70 |

**Validez de Oferta:** 03 días calendario

**Lugar de entrega:** En Almacenes del Cliente o en el Transportista, flete a cuanta del cliente.

**Forma de Pago:** Adelanto 50%, saldo antes del despacho

**Tiempo de Entrega:** 10 días útiles

**Cta. Cte. BCP US\$ de Comercial Industrial Delta S.A.:** 192- 0059147-1-53

**Cta Cte. BBVA US\$ de Comercial Industrial Delta S.A.:** 0011-0910-76-010022734

Sin otro en particular, quedamos a la espera de sus ordenes.



Fuente: Cidelsa

El costo por el biodigestor es de \$2,082.70 incluyendo el gasómetro, el costo en nuevos soles es S/. 6,789.60.

Si se decide construir el biodigestor se incurre en S/ 2,502.00 el cual se divide en S/ 1,927.00 de materiales para la construcción que se detallan en la Tabla 26 y costos por mano de obra para la construcción S/. 560.00 que se muestran en la Tabla 27. Cabe resaltar que no incluye los costos de la distribución del biogás debido a que la cotización de Cidelsa no lo incluye y se desea comparar a igualdad de condiciones.

Tabla 26. Materiales para la construcción de un biodigestor tipo chino.

| Uni.         | Descripción              | Cantidad | Precio unit (S/.) | Precio total (S/.) |
|--------------|--------------------------|----------|-------------------|--------------------|
| bolsas       | Bolsas de cemento 42.5kg | 5        | 21.3              | 106.5              |
| pzas         | Ladrillo King Kong       | 550      | 0.63              | 346.5              |
|              | Malla electrosoldada     | 3        | 260               | 780                |
|              | Hierro de refuerzo       | 8        | 20                | 160                |
| cubos        | Arena                    | 3        | 50                | 150                |
| cubos        | Piedra                   | 1        | 50                | 50                 |
| m2           | Plástico polietileno     | 24.5     | 12                | 294                |
| balde        | Impermeabilizante        | 2        | 20                | 40                 |
| <b>TOTAL</b> |                          |          |                   | <b>1927</b>        |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Costo de mano de obra para la construcción de un biodigestor tipo chino

| Descripción                                | Precio de mano de obra (S/.) | Nº días | Precio total (S/.) |
|--------------------------------------------|------------------------------|---------|--------------------|
| Jornal básico de 2 trabajadores            | 70                           | 3       | 210                |
| Jornal de maestro de 1 trabajador          | 50                           | 3       | 150                |
| Jornal para instalación de la distribución | 50                           | 2       | 100                |
| <b>TOTAL</b>                               |                              |         | <b>560</b>         |

Fuente: Elaboración propia

Al comparar la inversión necesaria para la construcción del biodigestor por la empresa Cidelsa y por elaboración propia podemos notar que la propuesta de Cidelsa supera en S/. 4,287.60. Otra razón por la que se opta por la construcción propia es que la empresa Cidelsa se especializa en biodigestores tipo tubular y no en tipo chino (ver Anexo 13).

## **5.6.Diseño de la distribución de biogás**

Una vez calculada la cantidad de biogás a producir y dimensionado el tamaño del biodigestor, se realiza el diseño del sistema de distribución del combustible de acuerdo a la necesidad de cada punto de consumo.

### **5.6.1. Descripción y capacidades de equipos que posee la agropecuaria**

Los equipos por alimentar con el combustible obtenido del biodigestor son los siguientes:

- Cocina doméstica

La cocina con la que se cuenta es una cocina convencional de cuatro hornillas, esta se acondicionará para preparar los alimentos de las personas que laboran en la agropecuaria. Se utilizará para preparar el desayuno, almuerzo y cena, además de algún extra que pueda surgir.

Hemos considerado el consumo que comúnmente se tiene en los hogares, es decir, 1 balón de GLP al mes. Esto es equivalente a 22.22 m<sup>3</sup> de biogás al mes.

- 2 cocinas industriales

Las cocinas industriales que se instalarán cuentan con tres hornillas. Una de ella se empleará para la elaboración de queso fresco, que es uno de los productos que ofrece la agropecuaria; la producción de queso fresco se realiza con frecuencia interdiaria. La otra cocina se utilizará para hervir agua, que es parte del proceso de sacrificio de aves, esto se realizará diariamente, o según la demanda.

Hemos estimado que el consumo mensual de cada una de estas cocinas es 1 balón de GLP, en conjunto esto equivale a 44.44 m<sup>3</sup> de biogás al mes.

- 12 lámparas a biogás

Estas lámparas se instalarán en los corrales donde está ubicado el ganado y en la sala de ordeño. Su funcionamiento será durante ocho horas al día, desde las 7:00 pm. hasta las 10:00 pm, y desde la 1:00 am. hasta las 6:00 am. Se espera que principalmente funcionen durante el ordeño, ya que así se tendría un ambiente de trabajo más adecuado y cómodo.

Se sabe que el consumo de estas lámparas es de 0.15 m<sup>3</sup> de biogás/hora (Hernández, Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia, 1996), teniendo en cuenta las horas de funcionamiento, obtenemos que el consumo será de 438 m<sup>3</sup> de biogás al mes.

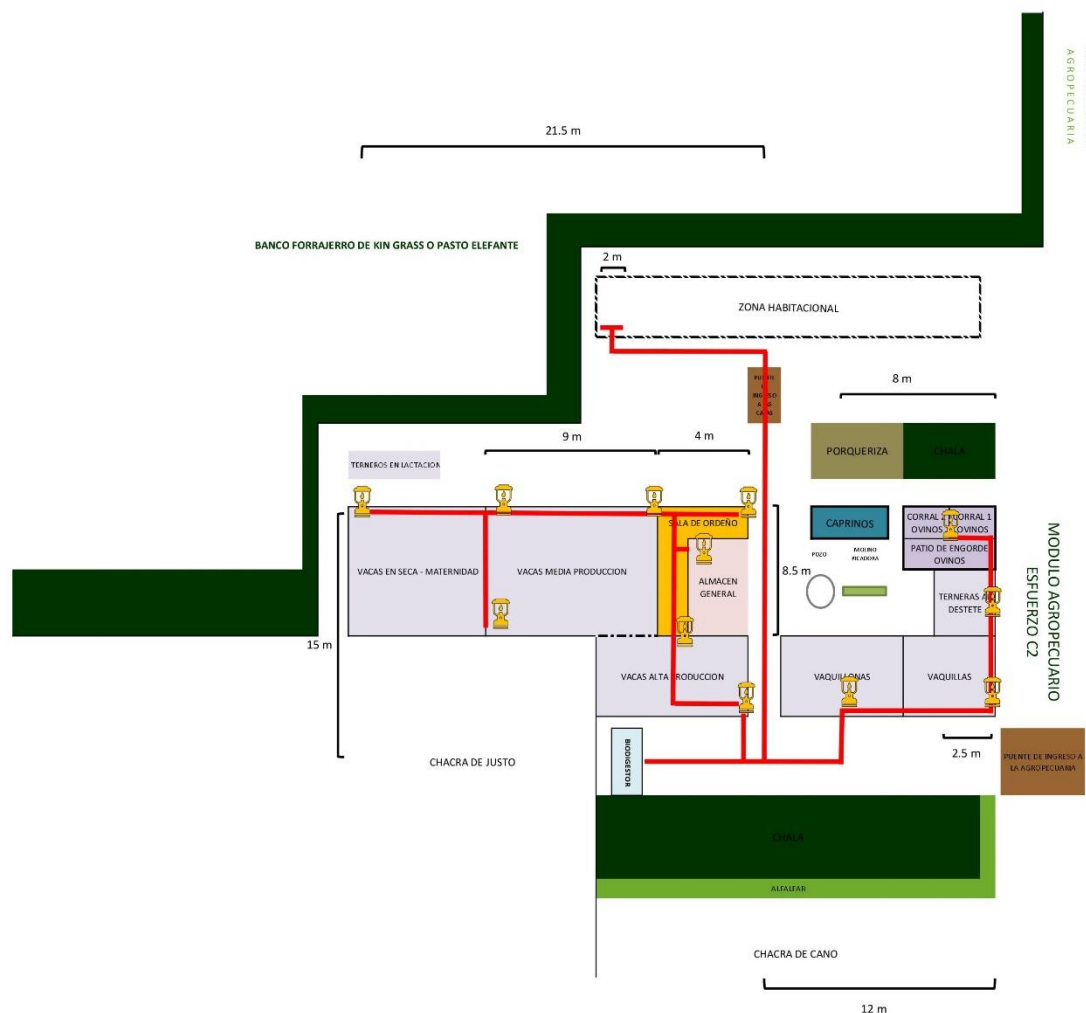
### **5.6.2. Dimensionamiento de las tuberías**

En esta parte se determinará el material y el diámetro de las tuberías a utilizar, asimismo se especificará la cantidad necesaria para poder realizar el transporte del biogás desde el biodigestor hasta los puntos de consumo. Este diseño debe ser seguro, económico y además debe suministrar la cantidad necesaria para satisfacer la demanda.

Para iniciar con el diseño, se debe conocer el tipo de combustible con el que se va a trabajar y sus respectivas características. Para este caso, tratándose de un gas, un dato importante que se debe tomar en cuenta es la presión. El biogás trabaja con bajas presiones las cuales son menores a 100 mbar.

A continuación, se debe conocer el recorrido que realizará el biogás hasta llegar a su destino. Conociendo el recorrido se podrá determinar las longitudes y los accesorios que serían necesarios para que el transporte del biogás pueda llevarse a cabo.

Figura 30. Vista de planta del sistema de distribución de biogás



Fuente: Elaboración propia

Particularmente con el biogás, los requerimientos para los materiales que se utilizan en la distribución, son los mismos que para otras instalaciones de gas; sin embargo, un dato a tomar en cuenta es que unos de los componentes del biogás es vapor de agua y sulfuro de hidrógeno, se debe evitar el uso de materiales ferrosos ya que podrían verse afectados y destruidos en poco tiempo.

Es usual utilizar tuberías PVC o tuberías de acero galvanizado. Son elegidas ya que ante cualquier eventualidad que pueda ocurrir, se pueden reparar fácilmente y su montaje es fácil de realizar. Las uniones realizadas con PVC son más fáciles de ensamblar y los accesorios que se utilizan son más fáciles de reemplazar y reparar. Por otro lado, el factor económico es otro punto a favor que tiene este material por su relativo bajo costo respecto a los demás materiales.

Para poder calcular el diámetro que se empleará para las tuberías, es necesario conocer el caudal de biogás requerido en los diferentes puntos de consumo, la presión suministrada al gas y la distancia a recorrer. Cuanto mayor sea la longitud y menor el diámetro,

entonces mayor será la caída de presión. Esta también se ve afectada al incrementar las pérdidas de carga por la presencia de distintos accesorios durante el recorrido.

En el punto 5.1.3. se consideró que el biodigestor iba a ser capaz de alimentar a 3 cocinas y un sistema de iluminación que consta de 12 lamparines, dando un caudal de 14.87 m<sup>3</sup>/día. Para hallar el caudal máximo se asume el uso de ambos puntos de alimentación en simultáneo, por lo que obtenemos un caudal de 1.85 m<sup>3</sup>/hora.

Para poder calcular los diámetros que debe poseer cada tubería, se utilizará la Tabla 28. Esta propone un diámetro de acuerdo al flujo requerido, el material a utilizar y la distancia a recorrer. Para este caso se cuenta con 3 caudales:

- Sistema de iluminación: 0.15 m<sup>3</sup>/hora
- Cocinas: 0.28 m<sup>3</sup>/hora
- Tubería principal: 1.85 m<sup>3</sup>/hora

Según la Tabla 28 se necesitarán tuberías de ½" para los dos puntos de consumo y para la tubería principal se puede utilizar una tubería de ¾". Claro está que, adicional de las tuberías, se hará uso de accesorios como codos, tees y válvulas de cierre.

*Tabla 28. Valores apropiados para el diámetro de las tuberías de acuerdo al caudal y la longitud de recorrido*

| Length [m]:                   | Galvanized steel pipe |      |      | PVC pipe |      |      |
|-------------------------------|-----------------------|------|------|----------|------|------|
|                               | 20                    | 60   | 100  | 20       | 60   | 100  |
| Flow-rate [m <sup>3</sup> /h] |                       |      |      |          |      |      |
| 0.1                           | 1/2"                  | 1/2" | 1/2" | 1/2"     | 1/2" | 1/2" |
| 0.2                           | 1/2"                  | 1/2" | 1/2" | 1/2"     | 1/2" | 1/2" |
| 0.3                           | 1/2"                  | 1/2" | 1/2" | 1/2"     | 1/2" | 1/2" |
| 0.4                           | 1/2"                  | 1/2" | 1/2" | 1/2"     | 1/2" | 1/2" |
| 0.5                           | 1/2"                  | 1/2" | 3/4" | 1/2"     | 1/2" | 1/2" |
| 1.0                           | 3/4"                  | 3/4" | 3/4" | 1/2"     | 3/4" | 3/4" |
| 1.5                           | 3/4"                  | 3/4" | 1"   | 1/2"     | 3/4" | 3/4" |
| 2.0                           | 3/4"                  | 1"   | 1"   | 3/4"     | 3/4" | 1"   |

*Fuente:* (Arrieta Palacios W. , Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado, 2016)

Como se puede observar en la Figura 30, se tiene el recorrido que seguirá el biogás para llegar a los puntos de consumo. Estas tuberías se encontrarán bajo tierra a una profundidad de 0.5 m para mayor seguridad, sin embargo, en el sistema de iluminación, la tubería estará a 1.70 m del nivel del suelo simulando un poste de luz.

Los materiales que se necesitarán para realizar la distribución son los siguientes:

*Tabla 29. Materiales necesarios para la distribución*

| Descripción                        | Cantidad |
|------------------------------------|----------|
| <b>Tubería de PVC de ½" de 5 m</b> | 25       |
| <b>Tubería de PVC DE ¾" de 5 m</b> | 1        |
| <b>Codos de ½"</b>                 | 8        |
| <b>Codos de ¾"</b>                 | 2        |
| <b>Tee de PVC de ½"</b>            | 11       |
| <b>Tee de PVC de ¾"</b>            | 2        |
| <b>Válvula de cierre de ½"</b>     | 15       |
| <b>Válvula de cierre de ¾"</b>     | 1        |
| <b>Manómetro</b>                   | 1        |
| <b>Phímetro</b>                    | 1        |
| <b>Temperatura</b>                 | 1        |

*Fuente: Elaboración propia*

Los tres últimos elementos de la Tabla 29 servirán para poder realizar el control al biodigestor y de esta forma poder conocer que el proceso se está llevando a cabo adecuadamente.



## Capítulo 6. Evaluación

En el presente capítulo se ha realizado la comparación del combustible obtenido frente a otros combustibles, y el impacto ambiental, socioeconómico y financiero que trae consigo la implementación de este proyecto.

### 6.1. Biogás vs otros tipos de combustibles

No es lo mismo comparar las características de un biogás cuya materia prima son los residuos orgánicos de las aves o cerdos, a compararlo con los residuos del ganado vacuno. En la Tabla 30, se muestra una tabla con los diferentes tipos de residuos orgánicos y su respectivo porcentaje de metano que contiene.

*Tabla 30. Cantidades de residuos y porcentaje de metano de diversos animales en rellenos sanitarios.*

| Especie  | Peso vivo (Kg). | Kg Estiércol/día. | L/kg.     | %CH <sub>4</sub> |
|----------|-----------------|-------------------|-----------|------------------|
| Cerdos   | 50              | 4.5 – 6           | 340 - 550 | 65 – 70          |
| Vacunos  | 400             | 25 – 40           | 90 - 310  | 65               |
| Equinos  | 450             | 12 – 16           | 200 - 300 | 65               |
| Ovinos   | 45              | 2.5               | 90 - 310  | 63               |
| Aves     | 1.5             | 0.06              | 310 - 620 | 60               |
| Caprinos | 40              | 1.5               | 110 - 290 | -                |

*Fuente: García, 2008.*

Como vemos, el residuo orgánico del ganado vacuno posee un 65% de metano, por lo que nuestra comparación va a ser basado a este dato.

#### 6.1.1. Criterios de comparación

Los criterios para comparar los tipos de combustibles se muestran en la Tabla 31.

*Tabla 31. Criterios de comparación entre biogás y otros tipos de combustibles*

| Criterios                            | Descripción                                                                                                                 |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Poder/valor calorífico</b>        | Se refiere a la cantidad de energía por unidad de masa o volumen de materia que se desprende al oxidarse en forma completa. |
| <b>Densidad</b>                      | Es la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia.                                                          |
| <b>Densidad con respecto al aire</b> | Es la relación que hay entre la densidad de la sustancia y la densidad del aire.                                            |

| Criterios                                       | Descripción                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Límite de explosión</b>                      | Se refiere al porcentaje de oxígeno que debe ingresar al combustible para que ocurra una reacción o explosión. Éste estándar se mide en % de volumen. |
| <b>Temperatura de encendido</b>                 | Es la temperatura en donde el combustible tendrá una reacción y se encenderá.                                                                         |
| <b>Máxima velocidad de encendido en el aire</b> | Es la rapidez en como el combustible se enciende al contacto con el aire.                                                                             |

*Fuente: Elaboración propia.*

### 6.1.2. Cuadro comparativo entre biogás y otros tipos de combustibles

*Tabla 32. Tabla comparativa de biogás vs otros tipos de combustibles*

| Valores                                         | Unidades           | Biogás | Gas Natural | Gas Propano | Gas metano | Hidrógeno |
|-------------------------------------------------|--------------------|--------|-------------|-------------|------------|-----------|
| <b>Valor calorífico</b>                         | Kwh/m <sup>3</sup> | 7      | 10          | 26          | 10         | 3         |
| <b>Densidad</b>                                 | kg/m <sup>3</sup>  | 1.08   | 0.7         | 2.01        | 0.72       | 0.09      |
| <b>Densidad con respecto al aire</b>            |                    | 0.81   | 0.54        | 1.51        | 0.55       | 0.07      |
| <b>Límite de explosión</b>                      | Vol. %             | 6-12   | 5-15        | 2-10        | 5-15       | 4-8       |
| <b>Temperatura de encendido</b>                 | °C                 | 687    | 650         | 470         | 650        | 585       |
| <b>Máxima velocidad de encendido en el aire</b> | m/s                | 0.31   | 0.39        | 0.42        | 0.47       | 0.43      |

*Fuente: Manual de Biogás, 2011*

Lo que se puede resaltar de esta tabla es lo siguiente:

- El poder calorífico es de 7 Kwh/m<sup>3</sup>, menor que el de gas natural o propano.
- Su densidad es del 1.08 kg/m<sup>3</sup>, y en relación con el aire, el biogás es menos pesado, por lo que debemos tenerlo muy en cuenta esto. Al ser menos pesado, cuando suceda una fuga del biogás, éste no estará cerca del suelo, sino que sube a la superficie rápidamente, mezclándose con el aire, la cual forma una mezcla explosiva.
- Debido al porcentaje de CO<sub>2</sub> que contiene el biogás, éste se puede quemar si es que se mezcla con el oxígeno entre 6 a 12 %. Otros combustibles, como el propano y el hidrógeno requiere de menos porcentajes de oxígeno para encenderse.
- La temperatura de encendido promedio es de 687°C. Es la temperatura más alta en comparación con los otros combustibles.

La velocidad de encendido es de 0.31 m/s, menor que las velocidades de los otros combustibles, por lo que tienes mayor probabilidad que, ante algún accidente, puedas tomar algunas medidas urgentes.

## 6.2. Impacto ambiental

La implementación de un biodigestor en la agropecuaria beneficiaría de muchas maneras en la contribución del cuidado del medio ambiente. Para poder hacer un análisis exhaustivo del impacto que tiene este proyecto en el aspecto ambiental, utilizaremos una matriz causa efectos.

El objetivo de este análisis es saber en qué magnitud el proceso actual de la agropecuaria está afectando al sector ambiental. Analizaremos los factores que afectarán la implementación de este proyecto.

### 6.2.1. Matriz Causa efectos

Esta matriz consiste en comparar las acciones del proyecto con los factores ambientales a los que está sujeto. De esta manera, conoces la relación directa de cada acción o actividad con su factor ambiental. Además, identificas los factores más relevantes e importantes para nuestro proyecto, así como su severidad. (Arteaga Núñez, 2013)

Las actividades a analizar son:

- Producción de animales
- Tala de árboles
- Quema de leña
- Uso de estiércol

### 6.2.2. Criterios a evaluar

Para poder identificar la importancia de los factores, debemos estandarizar el medio por la cual obtenemos este dato. Para esto, tendremos en cuenta los siguientes criterios para su evaluación (Paca Telenchano, 2013):

*Tabla 33. Criterios de evaluación y su valoración.*

| Criterios      | Valoración                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Naturaleza     | (+) Positivo<br>(-) Negativo<br>(N) Neutro, si el impacto no causa efecto significativo en la componente<br>(X) Previsible, pero difícil de cuantificar sin estudios anteriores.                                                                                                                                |
| Magnitud       | (1) Baja intensidad. El área afectada es inferior a 1ha o no afecta significativamente a la línea base.<br>(2) Moderada intensidad. El área afectada comprende entre 1 y 10 ha pero puede ser atenuada hasta niveles insignificantes.<br>(3) Alta intensidad. El área afectada por el impacto es mayor de 10ha. |
| Importancia    | (S) Sin importancia<br>(Mr) Menor importancia<br>(Mi) Moderada importancia<br>(I) Importante                                                                                                                                                                                                                    |
| Reversibilidad | (1) Reversible<br>(2) No reversible                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Duración       | (CP) Corto plazo. El impacto permanece menos de 3 meses.<br>(MP) Mediano plazo. El impacto permanece entre 3 meses y 2 años.<br>(LP) Largo plazo. El impacto permanece por más de 2 años.                                                                                                                       |
|                | (C) Cierto. El impacto ocurrirá con una probabilidad mayor a 75%.                                                                                                                                                                                                                                               |

| Criterios          | Valoración                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Certeza            | (P) Probable. El impacto ocurrirá con una probabilidad entre 50 y 75%.<br>(I) Improbable. El Impacto ocurrirá con una probabilidad menor al 50%.                                                                                                                                                                                               |
| Tipo               | (PR) Primario. El impacto es consecuencia directa de la construcción u operación del proyecto.<br>(SC) Secundario. El impacto es consecuencia indirecta de la construcción u operación del proyecto.<br>(AC) Acumulativos, impactos individuales repetitivos dan lugar a otros de mayor impacto.                                               |
| Tiempo en aparecer | (C) Corto plazo, el tiempo en aparecer es inmediatamente o dentro de los 3 meses posteriores a la implementación del proyecto.<br>(M) Mediano plazo. El tiempo en aparecer está entre los 3 meses y 3 años después de la implementación del proyecto.<br>(L) Largo plazo. El impacto aparece después de los 3 años de implementar el proyecto. |

*Fuente: Elaboración propia*

### 6.2.3. Factores ambientales a evaluar

A continuación, indicaremos que factores ambientales serán afectados por la implementación de nuestro proyecto.

*Tabla 34. Factores ambientales*

| FACTOR AMBIENTAL | INDICADOR                                                                                                                                                      |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AIRE             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emisión de olores</li> <li>- Calidad del aire a nivel local</li> <li>- Emisión de los gases de invernadero</li> </ul> |
| AGUA             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminación de los recursos hídricos</li> <li>- Incremento de la carga orgánica</li> </ul>                          |
| FLORA            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pérdida de biodiversidad</li> </ul>                                                                                   |
| FAUNA            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aparición de fauna nociva</li> </ul>                                                                                  |
| SUELO            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Degradación del suelo</li> <li>- Compactación del suelo</li> <li>- Erosión</li> </ul>                                 |
| SALUD            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Presentación de enfermedades</li> </ul>                                                                               |

*Fuente: Elaboración propia*

### 6.2.4. Matrices de identificación y cuantificación de impactos ambientales

En la Tabla 35 se muestra la matriz de identificación, en la cual analizaremos los factores ambientales con las actividades de la agropecuaria. Además, evaluaremos los criterios y calcularemos su ponderación. A continuación, en la matriz de cuantificación (ver Tabla 36), se ha calculado el total de impactos ambientales que generan estas actividades.

Tabla 35. Matriz de identificación de impactos ambientales

| FACTORES AMBIENTALES | IMPACTO                                | ACTIVIDADES         |                 |               |                  |     | CRITERIOS DE EVALUACIÓN |          |             |         |      |                |          |                    |
|----------------------|----------------------------------------|---------------------|-----------------|---------------|------------------|-----|-------------------------|----------|-------------|---------|------|----------------|----------|--------------------|
|                      |                                        | Producción animales | Tala de árboles | Quema de leña | Uso de estiércol |     | NATURALEZA              | MAGNITUD | IMPORTANCIA | CERTEZA | TIPO | REVERSIBILIDAD | DURACIÓN | TIEMPO EN APARECER |
| AIRE                 | Emisión de olores                      | x                   |                 | x             | x                | (-) | 1                       | 2        | C           | SC      | 2    | 2              | C        | 6                  |
|                      | Calidad del aire a nivel local         |                     | x               | x             | x                | (-) | 2                       | 3        | C           | SC      | 2    | 1              | C        | 9                  |
|                      | Emisión de los gases de invernadero    |                     | x               | x             |                  | (-) | 3                       | 2        | C           | SC      | 2    | 3              | M        | 11                 |
| AGUA                 | Contaminación de los recursos hídricos | x                   |                 | x             | x                | (-) | 2                       | 2        | P           | SC      | 2    | 2              | M        | 8                  |
|                      | Incremento de la carga orgánica (DBO)  | x                   |                 | x             | x                | (-) | 1                       | 1        | I           | SC      | 2    | 1              | M        | 4                  |
| FLORA                | Pérdida de biodiversidad               | x                   | x               | x             |                  | (-) | 1                       | 2        | P           | SC      | 2    | 2              | C        | 6                  |
| FAUNA                | Aparición de fauna nociva              | x                   | x               | x             |                  | (-) | 1                       | 1        | P           | AC      | 1    | 1              | C        | 3                  |
| SUELO                | Degradación del suelo                  | x                   | x               | x             | x                | (-) | 1                       | 2        | P           | SC      | 2    | 2              | C        | 6                  |
|                      | Compactación del suelo                 | x                   |                 |               | x                | (-) | 1                       | 1        | C           | AC      | 2    | 2              | C        | 5                  |
|                      | Erosión                                |                     | x               | x             | x                | (-) | 1                       | 2        | I           | SC      | 2    | 2              | M        | 6                  |
| SALUD                | Presentación de enfermedades           |                     |                 | X             | X                | (-) | 1                       | 2        | P           | SC      | 2    | 1              | C        | 5                  |

Fuente: (Paca Telenchano, 2013)

Tabla 36. Matriz de cuantificación de impactos ambientales

| FACTORES AMBIENTALES | IMPACTO                                | ACTIVIDADES            |                 |               |                  | TOTAL IMPACTOS (NEGATIVO) | TOTAL POR COMPONENTES |
|----------------------|----------------------------------------|------------------------|-----------------|---------------|------------------|---------------------------|-----------------------|
|                      |                                        | PRODUCCIÓN DE ANIMALES | TALA DE BOSQUES | DE QUEMA LEÑA | DE USO ESTIÉRCOL |                           |                       |
| AIRE                 | Emisión de olores                      | -6                     |                 | -6            | -6               | 18                        | 67                    |
|                      | Calidad del aire a nivel local         |                        | -9              | -9            | -9               | 27                        |                       |
|                      | Emisión de los gases de invernadero    |                        | -11             | -11           |                  | 22                        |                       |
| AGUA                 | Contaminación de los recursos hídricos | -8                     |                 | -8            | -8               | 24                        | 36                    |
|                      | Incremento de la carga orgánica        | -4                     |                 | -4            | -4               | 12                        |                       |
| FLORA                | Pérdida de biodiversidad               | -6                     | -6              | -6            |                  | 18                        | 18                    |
| FAUNA                | Aparición de fauna nociva              | -3                     | -3              | -3            |                  | 9                         | 9                     |
| SUELOS               | Degradación del suelo                  | -6                     | -6              | -6            | -6               | 24                        | 52                    |
|                      | Compactación del suelo                 | -5                     |                 |               | -5               | 10                        |                       |
|                      | Erosión                                |                        | -6              | -6            | -6               | 18                        |                       |
| SALUD                | Presentación de enfermedades           |                        |                 | -5            | -5               | 10                        | 10                    |
| TOTAL                |                                        | 38                     | 41              | 64            | 49               |                           | 384                   |

Fuente: Elaboración propia

Los factores ambientales que más se ven afectados en la zona de la agropecuaria es el aire y el suelo. Es obvio que lo sean, ya que esto es debido a la gran cantidad de residuo generado en este lugar.

La matriz de cuantificación indica que el factor ambiental que más se ve afectado es el aire, en lo que se refiere a la calidad y a la emisión de gases invernaderos. Seguido del aire, el suelo es el segundo factor ambiental más afectado, específicamente, en lo que respecta a la degradación y erosión de esta.

Muestra además que, el 100% de los factores, son negativos en cuanto a su naturaleza. En total existen 384 impactos que afectan de manera negativa al sector ambiental, generando mayor repercusión en lo que respecta al aire y suelo.

Se observa que la actividad que produce mayores impactos negativos es la quema de leña, seguido del uso de estiércol. Al implementar el biodigestor, estos impactos se mitigarán considerablemente, ya que, cambiarán la quema de leña por el uso del biogás para usarlo en sus cocinas domésticas e industriales. También, el abono utilizado ya no emitirá gases que dañen a la atmósfera, la cual mitigará en su totalidad su impacto al medio ambiente.

Sabiendo esto, sabemos que la implementación del biodigestor contribuirá a mitigar, casi en su totalidad, a estos factores. Por lo tanto, los impactos ambientales negativos, luego de la implementación del proyecto, serán mucho menores.

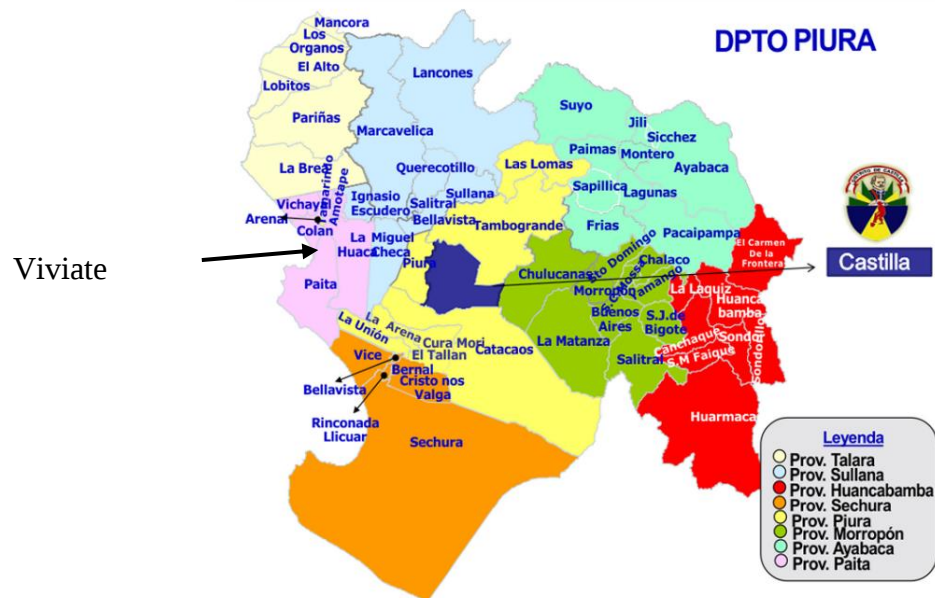
### **6.3. Evaluación Socioeconómica**

El presente punto abarca la evaluación socioeconómica que comprende el impacto en la sociedad en términos económicos. Compara los beneficios contra los costos que implican para la sociedad, intenta medir una rentabilidad más intangible, en términos de bienestar de la población y de la sociedad.

#### **1. Descripción General**

El departamento de Piura está ubicado en la parte nor occidental del país. Tiene una superficie de 35 892 km<sup>2</sup>, ocupando el 3,1 por ciento del territorio nacional. Viviata se encuentra en la Huaca en el distrito de Paita, el cual posee 129904 habitantes. (Banco Central de Reserva del Perú, 2016).

Figura 31. Departamento de Piura



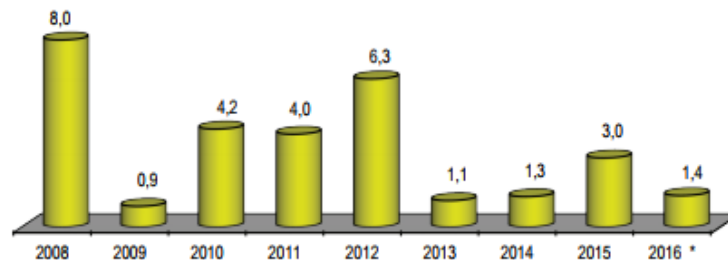
Fuente: (Municipalidad de Castilla, s.f.)

El Perú cuenta con 7.6 millones de hectáreas con potencial agrícola de las cuales son utilizadas 3.6 millones Has. (Camacho Miranda, Córdova Escudero, Reyes Mendieta, & Díaz Mayorga, 2016). Y la región Piura dispone de 244 mil hectáreas de tierras de alta calidad. Asimismo, Piura presenta una buena infraestructura de riego, dispone de más de 760 millones de metros cúbicos en sus dos represas principales de Poechos y San Lorenzo. (Banco Central de Reserva del Perú, 2016).

## 2. Sector Agropecuario

En la última década, la producción del sector agropecuario ha registrado crecimiento, llegando al 2015 con una tasa de 3,0%. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2016). Sin embargo, en el 2016 se redujo a 1.4%.

Figura 32. Evolución del valor agregado del Sector agropecuario



Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2016)

Según la siguiente tabla en el mes de marzo del año 2017, la producción agropecuaria decreció 1,6% en relación con el mismo mes del año 2016, sustentado por el incremento de la producción del subsector pecuario en 3,5% a pesar del decrecimiento del subsector agrícola

en 5,0%. Los productos agrícolas que incrementaron su producción en el primer trimestre fueron: mango 16% (en Piura y Lambayeque), alcachofa 48% (en Arequipa), espárrago 3% (en Ica), uva 3% (en Ica, Tacna y Lima), papa 2% (en Ayacucho, Huánuco y Cusco), aceituna 88% (en Tacna). (Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias, 2017).

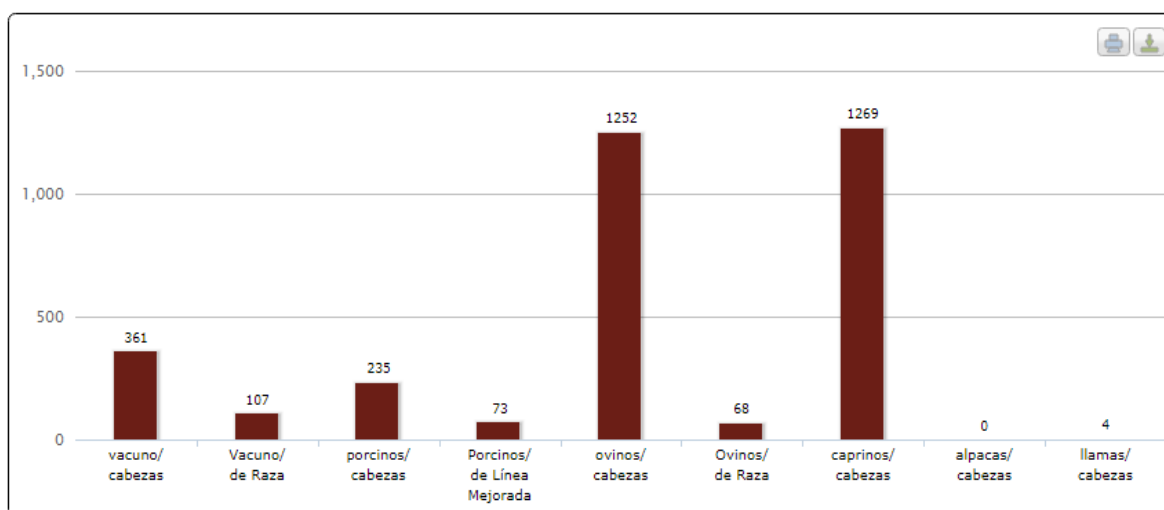
*Figura 33. Valor Bruto de la producción agropecuaria en el Primer Trimestre 2017*

| Región              | Millones de soles a precios 2007 |                   |            |                   |                |                |
|---------------------|----------------------------------|-------------------|------------|-------------------|----------------|----------------|
|                     | I trimestre                      |                   |            | 2017 <sup>P</sup> |                |                |
|                     | 2016 <sup>r</sup>                | 2017 <sup>P</sup> | Var. %     | Enero             | Febrero        | Marzo          |
| <b>Agropecuaria</b> |                                  |                   |            |                   |                |                |
| <b>Nacional</b>     | <b>7 121,3</b>                   | <b>7 123,9</b>    | <b>0,0</b> | <b>2 353,0</b>    | <b>2 249,8</b> | <b>2 521,2</b> |
| Amazonas            | 220,3                            | 209,6             | -4,8       | 69,6              | 65,7           | 74,2           |
| Áncash              | 218,5                            | 223,8             | 2,4        | 73,1              | 74,0           | 76,6           |
| Apurímac            | 73,8                             | 68,0              | -7,9       | 20,1              | 25,1           | 22,8           |
| Arequipa            | 620,7                            | 639,1             | 3,0        | 194,2             | 193,0          | 251,9          |
| Ayacucho            | 101,1                            | 111,8             | 10,6       | 26,0              | 33,9           | 51,8           |
| Cajamarca           | 308,9                            | 279,4             | -9,5       | 79,9              | 88,8           | 110,7          |
| Cusco               | 211,2                            | 217,4             | 2,9        | 60,7              | 72,6           | 84,1           |
| Huancavelica        | 68,1                             | 64,3              | -5,6       | 16,2              | 22,4           | 25,7           |
| Huánuco             | 222,7                            | 255,0             | 14,5       | 82,4              | 84,7           | 87,8           |
| Ica                 | 626,0                            | 638,1             | 1,9        | 238,9             | 191,1          | 208,1          |
| Junín               | 330,8                            | 330,2             | -0,2       | 83,6              | 102,1          | 144,5          |
| La Libertad         | 815,3                            | 840,9             | 3,1        | 262,8             | 290,3          | 287,8          |
| Lambayeque          | 189,1                            | 170,0             | -10,1      | 93,8              | 52,9           | 23,3           |
| Lima                | 1 556,5                          | 1 573,4           | 1,1        | 541,3             | 497,9          | 534,2          |
| Loreto              | 149,9                            | 152,5             | 1,7        | 58,2              | 50,2           | 44,1           |
| Madre de Dios       | 36,7                             | 41,8              | 13,9       | 12,5              | 14,7           | 14,6           |
| Moquegua            | 30,6                             | 27,7              | -9,5       | 7,9               | 8,6            | 11,2           |
| Pasco               | 77,2                             | 82,0              | 6,2        | 26,4              | 27,0           | 28,5           |
| Piura               | 347,5                            | 244,7             | -29,6      | 161,2             | 52,5           | 31,0           |
| Puno                | 271,6                            | 258,2             | -4,9       | 39,4              | 78,7           | 140,2          |
| San Martín          | 414,8                            | 444,4             | 7,1        | 126,1             | 147,8          | 170,4          |
| Tacna               | 92,4                             | 109,1             | 18,1       | 26,5              | 32,2           | 50,3           |
| Tumbes              | 28,5                             | 28,1              | -1,4       | 16,2              | 6,5            | 5,4            |
| Ucayali             | 109,0                            | 114,7             | 5,2        | 35,9              | 37,0           | 41,8           |

*Fuente:* (Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias, 2017)

El distrito de la Huaca, en la provincia de Paita tiene un total de 1,102 productores agropecuarios con tierras. Presenta 1115 unidades agropecuarias<sup>8</sup> de las cuales 361 unidades agropecuarias son de ganado vacuno. En su mayoría presenta ovinos y caprinos por lo que el presente estudio se podría replicar en las 360 unidades. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2012) (ver Figura 34)

*Figura 34. Población de ganado vacuno, porcino, ovino, caprino, alpacas y llamas, según tamaño de las unidades agropecuarias*



*Fuente:* (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2012)

### 3. Desempleo

En el 2015, el Perú se ubicó en el sexto lugar de Desempleo de los países miembros del APEC<sup>9</sup> con un valor de 6,0 manteniéndose constante desde el 2014. En el año 2016 la tasa de desempleo en el Perú fue de 4,7% y el departamento de Piura presenta 4,4% de tasa de desempleo.

<sup>8</sup> Comprende el terreno o conjunto de terrenos utilizados total o parcialmente para la producción agrícola y/o todo el ganado, conducidos como una unidad económica, por un productor agropecuario, sin consideración del tamaño, régimen de tenencia ni condición jurídica. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2012).

<sup>9</sup> Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico. (APEC, por sus siglas en inglés).

Tabla 37. Tasa de ocupación y desempleo, según departamento, Semestre 2016-I en Porcentaje

| Departamento         | Tasa de ocupación | Tasa de desempleo |
|----------------------|-------------------|-------------------|
| Total                | 95,3              | 4,7               |
| Amazonas             | 98,9              | 1,1               |
| Ancash               | 96,7              | 3,3               |
| Apurímac             | 97,5              | 2,5               |
| Arequipa             | 94,7              | 5,3               |
| Ayacucho             | 96,5              | 3,5               |
| Cajamarca            | 96,3              | 3,7               |
| Callao               | 92,2              | 7,8               |
| Cusco                | 96,8              | 3,2               |
| Huancavelica         | 99,0              | 1,0               |
| Huánuco              | 96,6              | 3,4               |
| Ica                  | 97,1              | 2,9               |
| Junín                | 94,6              | 5,4               |
| La Libertad          | 96,4              | 3,6               |
| Lambayeque           | 95,3              | 4,7               |
| Lima                 | 93,8              | 6,2               |
| Loreto               | 97,3              | 2,7               |
| Madre de Dios        | 96,3              | 3,7               |
| Moquegua             | 93,7              | 6,3               |
| Pasco                | 94,1              | 5,9               |
| Piura                | 95,6              | 4,4               |
| Puno                 | 95,9              | 4,1               |
| San Martín           | 98,4              | 1,6               |
| Tacna                | 94,8              | 5,2               |
| Tumbes               | 94,6              | 5,4               |
| Ucayali              | 97,3              | 2,7               |
| Provincia de Lima 1/ | 93,5              | 6,5               |
| Lima provincias 2/   | 96,5              | 3,5               |

1/ Comprende 43 distritos que conforman la provincia de Lima.

2/ Comprende las provincias de : Barranca, Cajatambo, Cancha, Cañete, Huaral, Huarochiri, Huaura, Oyón y Yauyos.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática - Encuesta Nacional de Hogares.

*Fuente:* (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2016)

Es por ello por lo que con la implementación de un biodigestor contribuiremos a la creación de nuevos puestos de trabajo con 1 operador por biodigestor encargado de la alimentación, mantenimiento y retiro de bioabono del biodigestor. Además, para la construcción del biodigestor necesitaremos 4 personas. A largo plazo si todas las agropecuarias de la región imitan este sistema se generarían 1440 plazas de trabajo. Sin embargo, este trabajo es temporal debido a que solo una vez se construye el biodigestor.

#### 4. Pobreza

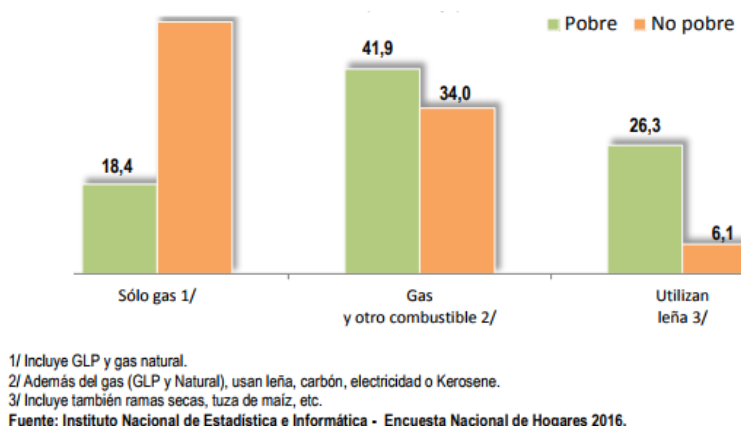
Existen múltiples definiciones de pobreza y la que se considerará en este documento es la pobreza monetaria que según Inei<sup>10</sup> pobres monetarios son “las personas que residen en hogares cuyo gasto per cápita es insuficiente para adquirir una canasta básica de alimentos y no alimentos (vivienda, vestido, educación, salud, transporte, etc.). Son pobres extremos

<sup>10</sup> Instituto Nacional de Estadística e Informática

aquellas personas que integran hogares cuyos gastos per cápita están por debajo del costo de la canasta básica de alimentos.” (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2016).

“En relación al uso de combustibles para cocinar los alimentos, el 60,3% de los hogares pobres usan solamente gas o gas con otro combustible para cocinar sus alimentos (18,4% solo gas y 41,9% gas más otro combustible) y el 26,3% utilizan leña. En cambio, los hogares no pobres el 85,6% utilizan el gas o combinan el uso de este combustible con otro tipo (solo usa gas 51,6%, gas y otro tipo de combustible el 34,0%)”. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

*Figura 35. Hogares que usan diferentes tipos de combustibles para cocinar, según condición de pobreza en el Perú*



*Fuente:* (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017)

Como se puede observar en los hogares pobres es muy común el uso de GLP, leña, carbón, electricidad o kerosene. El uso de estos combustibles genera emisiones de CH<sub>4</sub> que contribuye al calentamiento global. Con la implementación de un biodigestor en la agropecuaria se evitaría el uso de leña y carbón también generaríamos energía más barata debido a que se aprovecha los residuos orgánicos de la agropecuaria.

#### 6.4.Evaluación financiera

Nuestro proyecto busca principalmente aprovechar los residuos de ganado vacuno y disminuir la emisión de gas metano al ambiente; con la implementación del biodigestor se obtiene como combustible biogás, este reemplazará el uso de leña y de GLP, lo que llevará a que la agropecuaria incurra en un ahorro mensual.

Se ha realizado una estimación del gasto mensual en el que incurría la agropecuaria en la adquisición de combustibles y se ha calculado que este monto asciende a S/.520.00 (ver Anexo 15)

Adicionalmente, se realizó un Estado de Resultados (ver Tabla 38), en el que se considera la inversión inicial (Ver Anexo 14), los costos y gastos que implica la implementación del proyecto. De estos cálculos, se obtuvo que anualmente la utilidad será de S/. 2,869.00, este es el monto que llegaría a ahorrar la agropecuaria con la implementación del biodigestor.

Tabla 38. Estado de Resultados

| PERIODO (AÑO)              | 0            | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           |
|----------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>AHORRO</b>              | 0            | 6240        | 6240        | 6240        | 6240        | 6240        |
| <b>INVERSIÓN</b>           | -3988        | -798        | -798        | -798        | -798        | -798        |
| <b>UTILIDAD BRUTA</b>      | -3988        | 5442        | 5442        | 5442        | 5442        | 5442        |
| <b>GTO. OPERACIÓN</b>      | 0            | -1200       | -1200       | -1200       | -1200       | -1200       |
| <b>GTO. X DEPRECIACIÓN</b> | 0            | -181        | -181        | -181        | -181        | -181        |
| <b>UAI</b>                 | -3988        | 4061        | 4061        | 4061        | 4061        | 4061        |
| <b>GTO. FINANCIEROS</b>    | 0            | -1192       | -1192       | -1192       | -1192       | -1192       |
| <b>UTILIDAD NETA</b>       | <b>-3988</b> | <b>2869</b> | <b>2869</b> | <b>2869</b> | <b>2869</b> | <b>2869</b> |

Fuente: Elaboración propia

La tasa de retorno interno (TIR) se calculó en 66% y el valor neto actual (VAN) del proyecto es de S/. 4.894.09. Esto quiere decir que el proyecto sí generará rentabilidad, además de significar un ahorro para la empresa.

Finalmente, se ha calculado el “Periodo de Payback”, ya que en todo proyecto se tiene en cuenta la recuperación de la inversión, es decir, el tiempo en que se recuperará el dinero invertido.

Tabla 39. Payback Flujo Acumulado

|                 | 0     | 1     | 2    | 3    | 4    | 5     |
|-----------------|-------|-------|------|------|------|-------|
| FLUJO DE CAJA   | -3988 | 2869  | 2869 | 2869 | 2869 | 2869  |
| FLUJO ACUMULADO | -3988 | -1119 | 1749 | 4618 | 7487 | 10355 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. Cálculo de Payback

|                                     |             |
|-------------------------------------|-------------|
| Periodo anterior al cambio de signo | <b>1</b>    |
| Valor absoluto del flujo acumulado  | <b>1119</b> |
| Flujo de caja del siguiente periodo | <b>2869</b> |
| Periodo de Payback                  | <b>1.39</b> |

Fuente: Elaboración propia

Según este análisis, el tiempo de recuperación de la inversión es de 1.39 años, lo que equivale a 1 año, 4 meses y 21 días, lo que nos indica que el proyecto es rentable y poco riesgoso, ya que el tiempo de recuperación es corto.

El financiamiento de este proyecto estará a cargo del dueño de la agropecuaria en mención, dado que el monto a invertir no requiere de una financiación bancaria.

Gracias al cálculo de estos indicadores económicos se ha podido determinar que el proyecto “Sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos de ganado vacuno y su aplicación en la Agropecuaria Campos del Chira E.I.R.L” es rentable.

## Conclusiones

- ✓ Actualmente se están buscando realizar proyectos que sean amigables con el medio ambiente. El biogás es uno de proyectos que cada vez tiene mayor impacto en la sociedad. Hoy en día, existe mucha más información sobre la producción de este gas a base de distintas materias primas (residuos orgánicos de ganado vacuno, porcino). En el Perú, se está tratando de realizar más proyectos con este impacto. Somos un país en donde podemos explotar en su totalidad estos recursos para generar productos que no dañen al ambiente.
- ✓ La producción de biogás a partir de residuos orgánicos tiene dos impactos muy marcados: generar un gas que reemplace a los demás combustibles gaseosos y sea amigable con el ambiente, y ordenar nuestros desechos. Aún no tenemos la cultura muy implantada en lo que respecta a la limpieza, aún encontramos desechos en las calles del país, inclusive puede existir un almacenaje de residuos dentro de los hogares, la cual produce un disgusto. La implementación de una tecnología como es el biodigestor nos ayudará a organizarnos mejor y a la vez, organizar nuestros residuos.
- ✓ Las condiciones climáticas de la región facilitan la implementación de este proyecto, y no se requiere de su adecuación con maquinaria o equipos que implicarían incurrir en gastos adicionales. Lo cual nos demuestra que debemos procurar que las condiciones ambientales sean favorables a las condiciones necesarias para el proyecto y así no incrementar el presupuesto.
- ✓ El desarrollo de la tecnología avanza con el paso de los años, por lo que debemos estar informados acerca las actualizaciones y así verificar si estas pueden contribuir a la mejora del proyecto que se está diseñando, ya sea incrementando el control o disminuyendo el número de errores en los productos obtenidos.
- ✓ El proyecto es viable socioeconómicamente debido a que tendrá un gran impacto en la agropecuaria y si las demás unidades agropecuarias imitan la construcción de un biodigestor tipo chino se puede generar aproximadamente 1400 plazas de trabajo de manera temporal.
- ✓ La construcción del biodigestor en la agropecuaria Campos del Chira EIRL promoverá no solo a la reducción de emisiones de metano al ambiente sino al ordenamiento de basura creando así una nueva cultura para la gestión de residuos.

- ✓ Mediante la investigación se pudo comprobar que es posible realizar el biodigestor en la agropecuaria Campos del Chira, lo cual permitirá aprovechar de manera eficiente la materia orgánica que genera diariamente y a la vez podrá abastecer de energía limpia para el desarrollo cotidiano de sus actividades.
- ✓ Para poder realizar el diseño del biodigestor, fue necesario conocer el potencial de biogás que iba a generar la agropecuaria. Al ser este mayor que la demanda requerida, se utilizaron los valores de las necesidades que iba a cubrir por motivo de que haber diseñado un biodigestor con grandes dimensiones hubiera implicado un mayor costo de construcción y mantenimiento. Esto deja claro el potencial que tiene la agropecuaria para obtener mayores cantidades de biogás lo que en un futuro permitiría su distribución para obtener nuevos ingresos.
- ✓ Es importante investigar estudios previos o similares al proyecto en investigación para así tener un respaldo sobre las afirmaciones realizadas. Además, se debe tener en cuenta la confiabilidad y validez de las fuentes empleadas, para que nuestro estudio no pierda valor.
- ✓ En cuanto al proyecto se puede concluir que:  
 Es importante durante el desarrollo del proyecto, realizar una buena gestión y control de interesados ya que son ellos los que deben estar satisfechos con los resultados del proyecto. El trato con cada uno de ellos depende de la influencia y el poder que tengan sobre el proyecto.  
 Respecto a la calidad, se debe realizar una buena planificación a fin de evitar cambios que implicarían mayores costos en el desarrollo del proyecto.  
 El trabajo en equipo es sumamente importante para lograr el éxito del proyecto. Es inevitable la existencia de conflictos entre los miembros del equipo, pero por ello es relevante que el director de proyectos pueda manejar este tipo de problemas de tal manera que el proyecto no se vea afectado.

## Bibliografía

(s.f.). Obtenido de Municipalidad de Castilla: <http://www.municastilla.gob.pe/ciudad.html>

(IDAE), I. p. (2007). *Biomasa: Digestores anaerobios*. Madrid.

A.Hilbert, J. (s/f). *Manual para la producción de biogás*. Obtenido de [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual\\_para\\_la\\_produccion\\_de\\_biogs\\_del\\_iir.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_para_la_produccion_de_biogs_del_iir.pdf)

Abbasi, T., Tauseef, S., & Abbasi, S. (2012). *Environmental Sciences*. Obtenido de Springer Web Site: <http://www.springer.com/la/book/9781461410393>

Acosta Bedoya, F., Martí Herrero, J., & Gonzales, L. (s.f.). *Programa Nacional de Biodigestores 2013*. Lima.

Amell Arrieta, A., Agudelo Santamaría, J., & Cadavid, F. (2002). *El gas natural: ¿nuevo vector energético?* Obtenido de <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/article/viewFile/326341/20783616>

Arrieta Palacios, W. (2016). *Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado*. Piura: Universidad de Piura.

Arrieta Palacios, W. (2016). *Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado*. Obtenido de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME\\_200.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME_200.pdf)

- Arrieta Palacios, W. (2016). *Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado*. Piura: Universidad de Piura.
- Arteaga Núñez, F. (2013). *Métodos de valoración cualitativa y cuantitativa*.
- Banco Central de Reserva del Perú. (20 de Julio de 2016). Caracterización del Departamento de Piura. Lima, Lima, Perú. Obtenido de <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Piura/piura-caracterizacion.pdf>
- Basu, P. (2013). *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory (Second Edition)*. Estados Unidos: Elsevier Inc.
- Botero Botero, R., & R. Preston, T. (1987). *Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas*. Obtenido de Manual para su instalación, operación y utilización: <http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/04-biodigestores.pdf>
- C.Filippín, Follari, J., & Vigil, J. (1988). Diseño de un biodigestor para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de vacas lecheras en la facultad de agronomía de la Universidad Nacional De La Pampa. La pampa, Argentina.
- C.Filippín, Follari, J., & Vigil, J. (s.f.). Diseño de un biodigestor para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de vacas lecheras en la facultad de agronomía de la Universidad Nacional De La Pampa. La pampa, Argentina.
- Camacho Miranda, N., Córdova Escudero, N., Reyes Mendieta, J. C., & Díaz Mayorga, R. M. (Febrero de 2016). Planeamiento Estratégico para la Agroindustria. Lima, Lima, Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/7722>
- CARE Perú. (Octubre de 2016). *INSTALACIÓN Y USO DE BIOGÁS Ganadería Puneña, generando energía limpia "biogás" para calefacción y cocina familiar*. Puno: CARE Perú.

- Carmona, J. C., Bolívar, D. M., & Giraldo, L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 49-63.
- Carnero, F. V. (2017). *Modelamiento del proceso de digestión anaeróbica de estiércol vacuno y cáscara de cacao*. Piura.
- Carrasco Bravo, V. B. (2015). Propuesta de diseño implementación y gestión de operaciones de biodigestores en la empresa Viña Castilla. Lima, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/592841>
- Carvajal, D. E. (2014). *Diseño de un biodigestor anaerobio para la producción de biogás a partir de las excretas de ganado vacuno, en la finca Los Laureles en la comunidad Flor del Manduro*. Riobamba, Ecuador.
- Cidelsa. (2017). Biodigestores productivos: energía y fertilizantes. Lima, Perú.
- Consejo Nacional del Ambiente. (29 de Setiembre de 2010). *Boletín Piura*. Recuperado el 18 de Setiembre de 2017, de <https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwifr-rWiLXWAhVcQFggvMAI&url=http%3A%2F%2Fsiar.regionpiura.gob.pe%2FadmDocumento.php%3Faccion%3Dbajar%26docadjunto%3D70&usq=AFQjCNH4rEED1TkJHWy2SfKoPScSO>
- Country Report on China's Participation in Greater Mekong Subregion Cooperation. (s.f.). Obtenido de National Development and Reform Commission: [http://en.ndrc.gov.cn/newsrelease/200804/t20080430\\_208063.html](http://en.ndrc.gov.cn/newsrelease/200804/t20080430_208063.html)
- Cunalata Moran, J. C. (2017). *Diseño de un sistema de transporte de biogás para uso doméstico en la Hacienda San Francisco*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13103/1/T-ESPEL-EMI-0328.pdf>
- Ecured. (2015). *Propano*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Propano>
- Franklin, R., Lezama, C., & Vigo, G. V. (2013). *Biodigestores tubulares unifamiliares: Cartilla práctica para instalación, operación y mantenimiento*. Lima: Hecho el

depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 201301057. Obtenido de <https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjK6KiD0oDWAhUi2oMKHb8pCZEQFghcMAk&url=http%3A%2F%2Fwww.solucionespracticas.org.pe%2FDescargar%2F1525%2F16291&usg=AFQjCNH6kRMZDX2Yu9QGaDlDs9xgIKSYbw>

Gobierno de Chile, Ministerio de Energía; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Global Environment Facility (GEF). (2011). *Manual de biogás*. Santiago de Chile: FAO.

Gobierno del Principado de Asturias. (s.f.). Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero por sectores. Asturias, España. Obtenido de <https://www.asturias.es/portal/site/medioambiente/menuitem.1340904a2df84e62fe47421ca6108a0c/?vgnnextoid=9d3706e98057d210VgnVCM10000097030a0aRCRD>

Government of India. Ministry of New and Renewable Energy. Biogas Technology Development Division. (10 de Julio de 2017). *Biogas Technology Development Division*. Obtenido de Government of India. Ministry of New and Renewable Energy: [http://mnre.gov.in/file-manager/UserFiles/physical\\_targets\\_for-NBMMP-2017-18.pdf](http://mnre.gov.in/file-manager/UserFiles/physical_targets_for-NBMMP-2017-18.pdf)

He, G., Bluemling, B., P.J.Mol, A., & Zhang, L. (Diciembre de 2013). *Comparing centralized and decentralized bio-energy systems in rural China*. Obtenido de Science Direct: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513005041>

Hernández, L. A. (1996). *Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia*. Recuperado el 15 de Octubre de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co>

Hernández, L. A. (1996). *Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia*. Recuperado el 15 de Octubre de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co>

IndexMundi. (s.f.). *Gas Natural Precio mensual*. Obtenido de <http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=gas-natural&moneda=pen>

- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2012). *Inei: IV Censo Nacional Agropecuario 2012*. Obtenido de <http://censos.inei.gob.pe/cenagro/tabulados/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2012). *IV CENSO NACIONAL AGROPECUARIO ACTUALIZACIÓN CARTOGRÁFICA, Registro de parcelas y productores Agropecuarios*. Lima. Obtenido de <http://censos.inei.gob.pe/cenagro/tabulados/#tabs-1>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (Noviembre de 2016). *INEI Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Obtenido de [http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1391/libro.pdf](http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1391/libro.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Evolución de la Pobreza Monetaria 2007-2016*. INEI Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima, Lima. Obtenido de [https://www.inei.gob.pe/media/cifras\\_de\\_pobreza/pobreza2016.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/cifras_de_pobreza/pobreza2016.pdf)
- International Institute for Environment and Development. (2013). *Domestic biogas in a changing China. Can biogas still meet the energy needs of China's rural households?* Londres, Inglaterra. Obtenido de <http://pubs.iied.org/pdfs/16553IIED.pdf>
- Juan Manuel Morgan Sagastume, Jorge López Hernández y Adalberto Noyola Robles. (s.f.). *Matriz de decisión para la selección de tecnología relacionada con el tratamiento de aguas residuales*. México.
- Lara, E., & Hidalgo, M. (2011). *Facultad de Ciencias Químicas*. Recuperado el 2017, de Escuela de Ingeniería en Biotecnología Ambiental.: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1652/1/236T0056.pdf>
- M., H. J., & Coss, L. (2015). TRATAMIENTO DE SUSTRATO DE BOVINO Y PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN UN BIODIGESTOR CONTINUO CON LOMBRICULTURA. *Revista Electrónica y Tecnológica e-Gnosis*, 13, 1-16. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73040668004>

- Manuel Darío Mendez y Casarin; Rafael Tzintzun Rascó; Daniel Val Arreola. (14 de Noviembre de 1999). *Food and agriculture organizations of the United Nations*. Recuperado el 14 de Octubre de 2017, de <http://www.fao.org/ag/AGA/agap/frg/lrrd/lrrd12/1/manu121.htm>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2010). *PRIMER INFORME TÉCNICO SOBRE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN BIOENERGÍA*. . CONCYTEC; ITDG; INIA y otros, Lima. Obtenido de [http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/comisionbioenergia/investigacion\\_transferencia\\_tecnologica.pdf](http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/comisionbioenergia/investigacion_transferencia_tecnologica.pdf)
- Murga Valderrama, L. (2011). Seminario de biodigestores. Lima, Perú. Obtenido de [http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/bioenergia/seminario\\_biodigestores/bio\\_san\\_martin.pdf](http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/bioenergia/seminario_biodigestores/bio_san_martin.pdf)
- N. Hristov, A., & otros, J. O. (2013). Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera. Italia. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i3288s.pdf>
- Núñez Pintado, L. (2017). Diseño e implementación de prototipos de digestión anaerobia para residuos agrícolas. Piura, Piura, Perú.
- Núñez Pintado, L. F. (2017). *Diseño e implementación de prototipos de digestión anaerobia para residuos agrícolas*.
- Núñez Pintado, L. F. (2017). Diseño e implementación de prototipos de digestión anaerobia para residuos agrícolas. Piura, Piura, Perú.
- Oficina de Gestión de la Información y Estadística. (31 de Marzo de 2016). *Congreso de la República*. Recuperado el 18 de Setiembre de 2017, de <http://www.congreso.gob.pe/Docs/DGP/GestionInformacionEstadistica/files/files/2016/1.trimestre.20.piura.pdf>
- Paca Telenchano, F. I. (2013). *Diseño de un biodigestor de "bolsa flexible" con desechos de ganadería, en la comunidad Shobol Llin Llin*.

- Perez Medel, J. A. (2010). *Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros*. Obtenido de [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35562636/tesis\\_biodigestores.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1505887561&Signature=1c1hjh952AIngnI172vPGBxoKcY%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DESTUDIO\\_Y\\_DISENO\\_DE\\_UN\\_BIO](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35562636/tesis_biodigestores.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1505887561&Signature=1c1hjh952AIngnI172vPGBxoKcY%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DESTUDIO_Y_DISENO_DE_UN_BIO)
- Resources., M. D. (2008). *Propane*. Obtenido de State Library of Massachusetts: <http://archives.lib.state.ma.us/handle/2452/626296>
- Revista Cubana de Ciencias Informáticas. (Noviembre de 2016). *UCIENCIA*. Recuperado el 20 de Setiembre de 2017, de <https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiH7bqqlrWAhXINSYKHZ7kAVoQFgggrMAE&url=https%3A%2F%2Frci.uci.cu%2F%3Fjournal%3Drcci%26page%3Darticle%26op%3Ddownload%26path%255B%255D%3D1451%26path%255B%255D%3D48>
- Rodríguez, L. D. (2004). *Generación eléctrica por medio de biogás*. Costa Rica.
- Sánchez Mena, M. V., & Pazmiño Garzón, G. A. (2007). *Diseño y construcción de un biodigestor plástico de flujo continuo, a partir de desechos orgánicos para la hacienda San Antonio del IASA II, perteneciente a la ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2227/1/T-ESPE-014730.pdf>
- Sharma, A., & Kar, S. K. (2015). *Energy Sustainability Through Green Energy*. New Delhi. doi:10.1007/978-81-322-2337-5
- Siadén Paiva, D. M. (2017). *Plataforma de un sistema embebido para el control y monitoreo en tiempo real aplicado a biodigestores para la óptima producción de biogás*. Piura.
- Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias. (2017). *Boletín Estadístico de producción Agrícola y Ganadera*. Lima, Lima. Obtenido de <http://siea.minag.gob.pe/siea/?q=noticias/boletin-produccion-agricola-y-ganadera-2017>

- SNV, H. S. (2012). *Estudio de factibilidad para un programa nacional de Biogás domestico en Perú*. SNV.
- Soria Fregoso, M., Ferrera-Cerrato, R., Etchevers Barra, J., Alcántar González, G., Trinidad Santos, J., Borges Gomez, L., & Pereyda Pérez, G. (s/f). *Producción de biofertilizantes mediante la biodigestion de excreta liquida de cerdo*.
- Tauseef, S., Premalatha, M., Abbasi, T., & Abbasi, S. (2013). Methane capture from livestock manure. *Journal of Environmental Management*.
- Valdez Llantoy, B. (2016). Evaluación de la calidad de biogás y biol producido en biodigestores usando excretas de animales del Parque Zoológico de Huachipa. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2009>
- Valladares-Carnero, F. (2017). *Modelamiento del proceso de digestión anaeróbica de estiércol vacuno y cáscara de cacao*. Piura.
- Varnero, M. y. (1990). *Aprovechamiento racional de desechos orgánicos*. Chile.
- Vega Arquíño, J. A. (2015). Diseño, construccion y evaluacion de un biodigestor semicontinuo para la generacion de biogas con la fermentacion aneorobica del estiercol de cuy y de conejo para la institucion educativa privada christiana bereshi. Chimbote, Perú. doi:<http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2000>
- Venegas Venegas, J. A., Espejel García, A., & Pérez Fernández, A. (abril de 2017). Potencial de energía eléctrica y factibilidad financiera para biodigestor-motogenerador en granjas porcinas de Puebla. México, México. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263150932022.pdf>
- Winston, A.-P. (2016). *Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado*. Piura.
- Zuluaga Bernal, C. A. (2007). *Implementación de un biodigestor en ganadería de carne en Guaduas, Cundinamarca*. Obtenido de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/1190/87062209.pdf>

## **Anexos**

*Anexo 1. Asignación de objetivos físicos para la instalación de plantas de biogás de tipo familiar en el marco del Programa Nacional de Biogás y Manejo de Manejos (MNMMMP) a los Estados durante el año 2017-18.*

| S N | Name of the SNAs/SNDs/KVIC/BDTCs    | Target Numbers of biogas plants |             |              | Total Nos. of Biogas Plants |
|-----|-------------------------------------|---------------------------------|-------------|--------------|-----------------------------|
|     |                                     | Gen.                            | S.C.        | S.T.         |                             |
| 1   | Andhra Pradesh (NEDCAP, Hyderabad)  | 2430                            | 1600        | 2000         | 6030                        |
| 2   | Arunachal Pradesh (APEDA)           | 50                              | -           | 50 (T-30)    | 100 (T-30)                  |
| 3   | Assam (FDA)                         | 6200                            | 300         | 2500         | 9000                        |
| 4   | Chhattisgarh (CREDA)                | 950                             | 50          | 1000         | 2000 (T-50)                 |
| 5   | Gujarat (GAIC)                      | 700 (T-35)                      | 100 (T-10)  | 800 (T-80)   | 1600 (T-200)                |
| 6   | Himachal Pradesh (Dir. of Agri.)    | 80 (T-20)                       | 20 (T-5)    | -            | 100 (T-25)                  |
| 7   | Jharkhand (JREDA)                   | 250                             | 50          | 50           | 350                         |
| 8   | Karnataka (RD&PRD)                  | 7500 (T-1500)                   | 250 (T-150) | 250 (T-150)  | 8000 (T-1800)               |
| 9   | Kerala (Dir. of Agri.)              | 1100                            | 50          | -            | 1150 (T-100)                |
| 10  | Kerala (ANERT, Thiruvananthapuram)  | 1100                            | 50          | -            | 1150 (T-100)                |
| 11  | Madhya Pradesh (MPSAIDC)            | 5500                            | 1000        | 2000         | 8500 (T-400)                |
| 12  | Maharashtra (RD&WCD)                | 8200 (T-5000)                   | 450 (T-315) | 550 (T-330)  | 9200 (T-5645)               |
| 13  | Meghalaya (MNREDA)                  | 500                             | -           | 300          | 800                         |
| 14  | Mizoram (Dir. of AH & V)            | 200                             | -           | 100          | 300                         |
| 15  | Nagaland (Dir. of NRE)              | 200                             | -           | 200          | 400                         |
| 16  | Odisha (OREDA)                      | 1600                            | 200         | 200          | 2000 (T-400)                |
| 17  | Punjab (PEDA)                       | 3000                            | 50          | -            | 3050 (T-100)                |
| 18  | Sikkim (SREDA)                      | 200                             | -           | 200          | 400                         |
| 19  | Telangana (TNREDCL)                 | 1300                            | 700         | 2100         | 4100 (T-200)                |
| 20  | Tripura (TREDA)                     | 120                             | 50          | 30           | 200                         |
| 21  | Uttar Pradesh (UPNEDA)              | 500                             | 200         | -            | 700 (T-100)                 |
| 22  | Uttarakhand (UREDA, Dehradun)       | 900                             | 100         | -            | 1000                        |
| 23  | KVIC, Mumbai                        | 2000 (NER 300) (T-400)          | 500 (T-200) | 500 (T-200)  | 3000 (T-800)                |
| 24  | Rajasthan, (BDTC, MPUAT, Udaipur)   | 500                             | 100         | 200          | 800                         |
| 25  | Odisha (BDTC, KIIT Bhubaneswar)     | 200                             | 100         | 100          | 400                         |
| 26  | Tamil Nadu (BDTC, TNAU, Coimbatore) | 200                             | 50          | 0            | 250                         |
| 27  | Punjab (BDTC, PAU, Ludhiana)        | 500                             | 100         | 0            | 600 (T-100)                 |
|     | <b>Total</b>                        | <b>45980</b>                    | <b>6070</b> | <b>13130</b> | <b>65180</b>                |

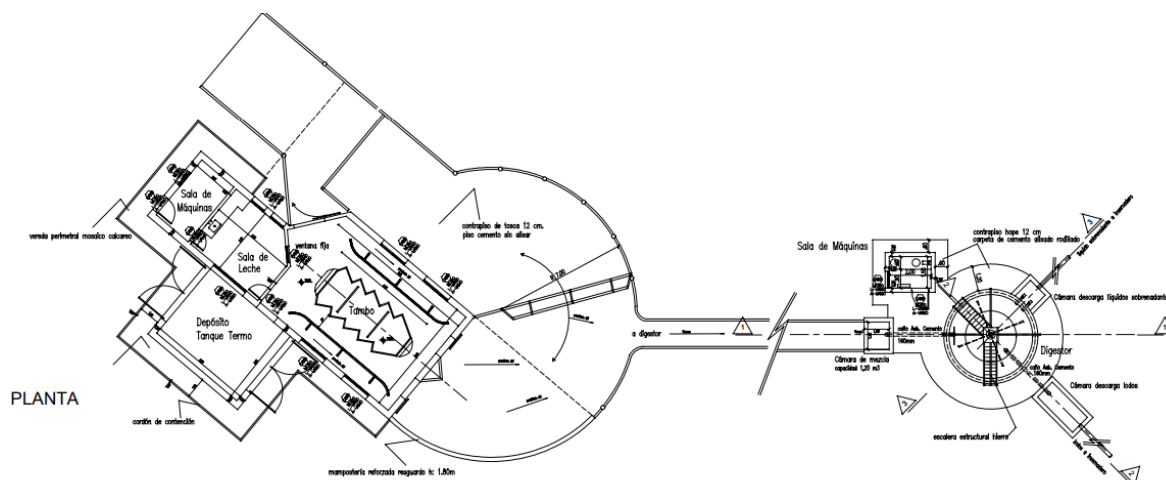
*Fuente: (Government of India. Ministry of New and Renewable Energy. Biogas Technology Development Division, 2017).*

## Anexo 2. Digestor doméstico de biogás, provincia de Yunnan



*Fuente: (International Institute for Environment and Development, 2013). Domestic biogas in a changing China. Can biogas still meet the energy needs of China's rural households?*

## Anexo 3. Plano del biodigestor y su ubicación. Vista de Planta



*Fuente: (C.Filippín, Follari, & Vigil, Diseño de un biodigestor para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de vacas lecheras en la facultad de agronomía de la Universidad Nacional De La Pampa.). Diseño de un biodigestor para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de vacas lecheras en la facultad de agronomía de la Universidad Nacional De La Pampa.*

*Anexo 4. Dimensiones del biodigestor. Producción de 3.2 m3 de biogás*

| Característica                                                   |                                                               | Estiércol de cerdo             | Estiércol de vaca |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Valores iniciales                                                | Volumen líquido necesario (m <sup>3</sup> )                   | $V_L = 5.45$                   |                   |
|                                                                  | Diámetro (m)                                                  | $D = 1.27$                     |                   |
|                                                                  | Circunferencia (m)                                            | $C = 4$                        |                   |
|                                                                  | Área transversal teórica = $\pi r^2$ (m <sup>2</sup> )        | $A_T = 1.267$                  |                   |
| Valores reales (considerando campana de gas y forma de la zanja) | Área transversal gaseosa (m <sup>2</sup> )                    | $A_G = 0.235$                  |                   |
|                                                                  | Área transversal líquida (m <sup>2</sup> )                    | $A_L = 0.88$                   |                   |
|                                                                  | Longitud = $V_L / A_L$ (m)                                    | $L = 6.2$                      |                   |
|                                                                  | Volumen total teórico necesario = $A_T * L$ (m <sup>3</sup> ) | $V_{T \text{ teórico}} = 7.85$ |                   |
|                                                                  | Volumen gaseoso (m <sup>3</sup> ) = $A_G * L$                 | $V_G = 1.457$                  |                   |
|                                                                  | Relación longitud / diámetro                                  | $L/D = 4.9$                    |                   |
|                                                                  | Volumen total real = $V_L + V_G$ (m <sup>3</sup> )            | $V_{T \text{ real}} = 6.91$    |                   |
|                                                                  | $V_G / V_{T \text{ real}}$ (%)                                | 21                             |                   |
|                                                                  | $V_L / V_{T \text{ real}}$ (%)                                | 79                             |                   |

Fuente: Arrieta, W. (2016). *Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado (Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánico-Eléctrica).* Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.

*Anexo 5. Calidad del biogás en función de la producción de metano promedio semanal y acumulado*

| Semana | Volumen Promedio Semanal |              |                       | Volumen Acumulado semanal |              |                       | Torres, 2013 |
|--------|--------------------------|--------------|-----------------------|---------------------------|--------------|-----------------------|--------------|
|        | T1 (Mezcla1)             | T2 (Mezcla2) | T3 (Mezcla1+ Mezcla2) | T1 (Mezcla1)              | T2 (Mezcla2) | T3 (Mezcla1+ Mezcla2) |              |
| 1      |                          |              |                       |                           |              |                       | 18.1         |
| 2      | 85.53                    | 58.05        | 79.32                 | 85.53                     | 58.05        | 79.32                 | 39.40        |
| 3      | 26.27                    | 70.75        | 44.53                 | 51.31                     | 68.93        | 55.09                 | 45.00        |
| 4      | 23.68                    | 30.96        | 28.01                 | 40.52                     | 41.30        | 43.37                 | 49.20        |
| 5      | 26.76                    | 28.75        | 27.90                 | 36.48                     | 36.24        | 38.04                 | 50.90        |
| 6      | 15.56                    | 24.73        | 12.72                 | 34.26                     | 34.23        | 34.22                 | 42.00        |
| 7      | 8.36                     | 32.75        | 11.06                 | 32.66                     | 34.13        | 32.57                 | 41.30        |
| 8      | 13.13                    | 13.42        | 7.45                  | 31.45                     | 32.55        | 30.72                 | 37.50        |
| 9      |                          |              |                       |                           |              |                       | 34.80        |

Fuente: Evaluación de la calidad de biogás y biol producido en biodigestores usando excretas de animales del Parque Zoológico de Huachipa. (Tesis de pregrado en Ingeniería Ambiental). Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias. Departamento Académico de Ingeniería Ambiental, Física y Meteorología. Lima, Perú.

*Anexo 6. Biodigestor ubicado en Tocache – San Martín*



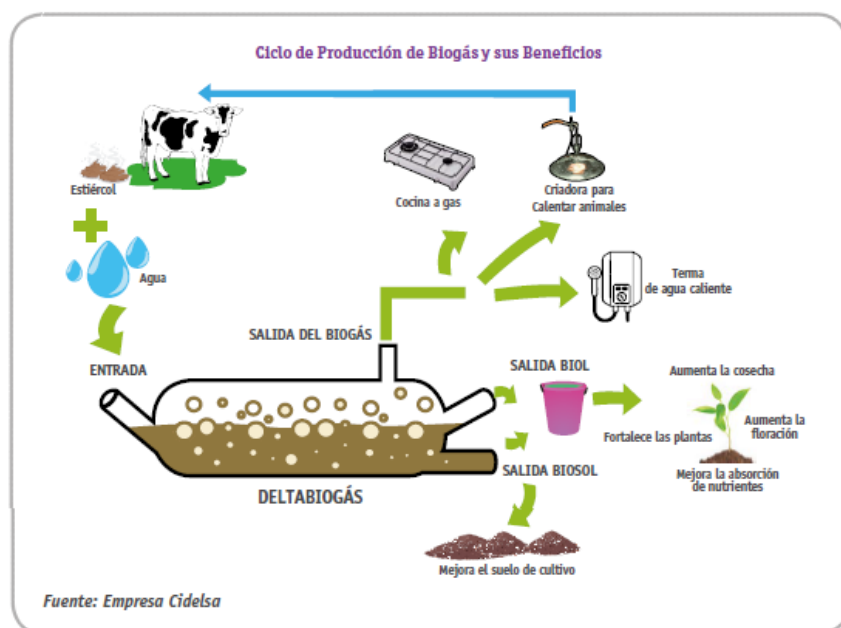
*Fuente: (Murga Valderrama, 2011). Seminario de biodigestores. Lima. Perú. 2011.*

*Anexo 7. Manual técnico para la instalación de un biodigestor y el uso del biogás*



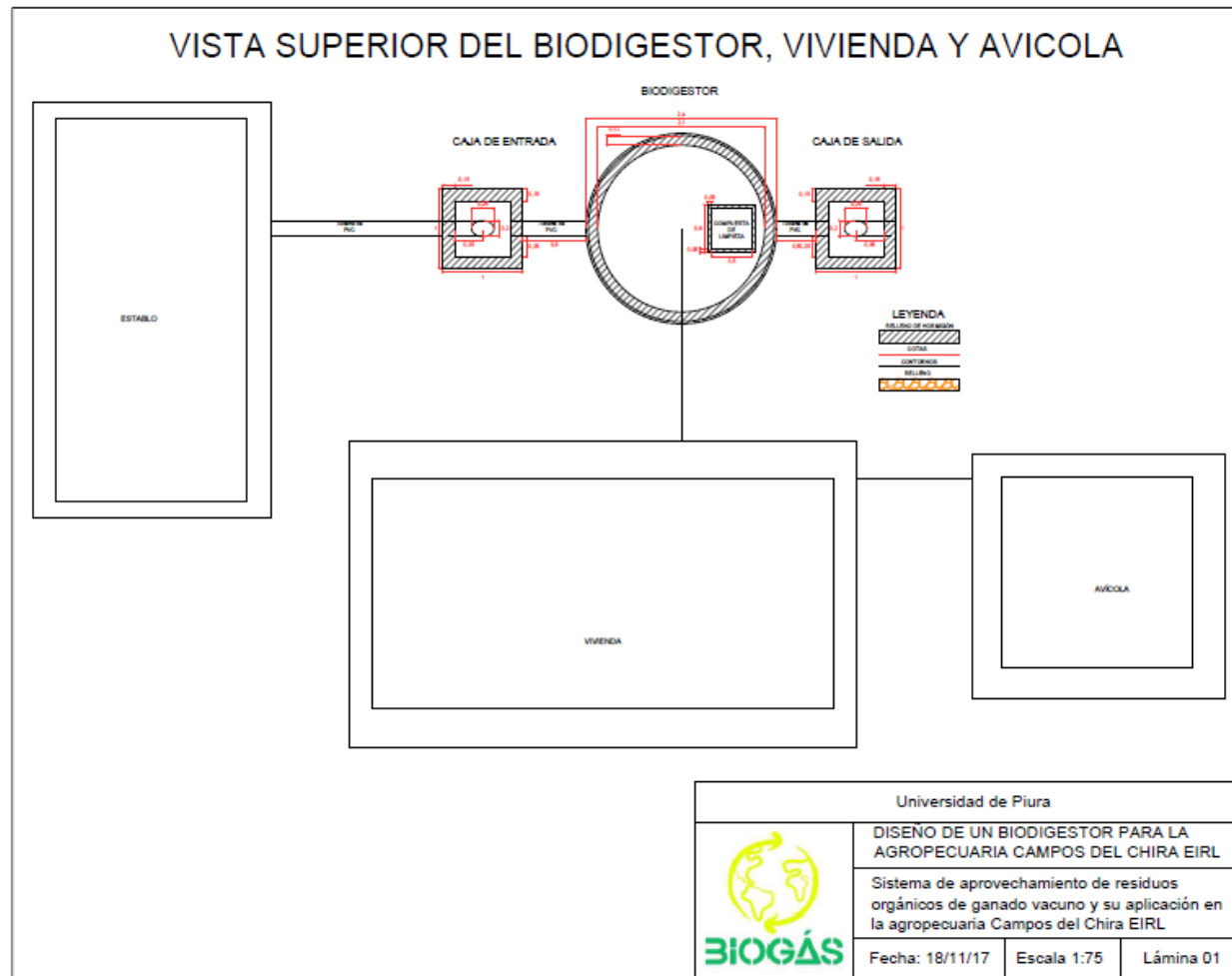
*Fuente: (CARE Perú, 2016)*

## Anexo 8. Ciclo de Producción de Biogás y sus Beneficios

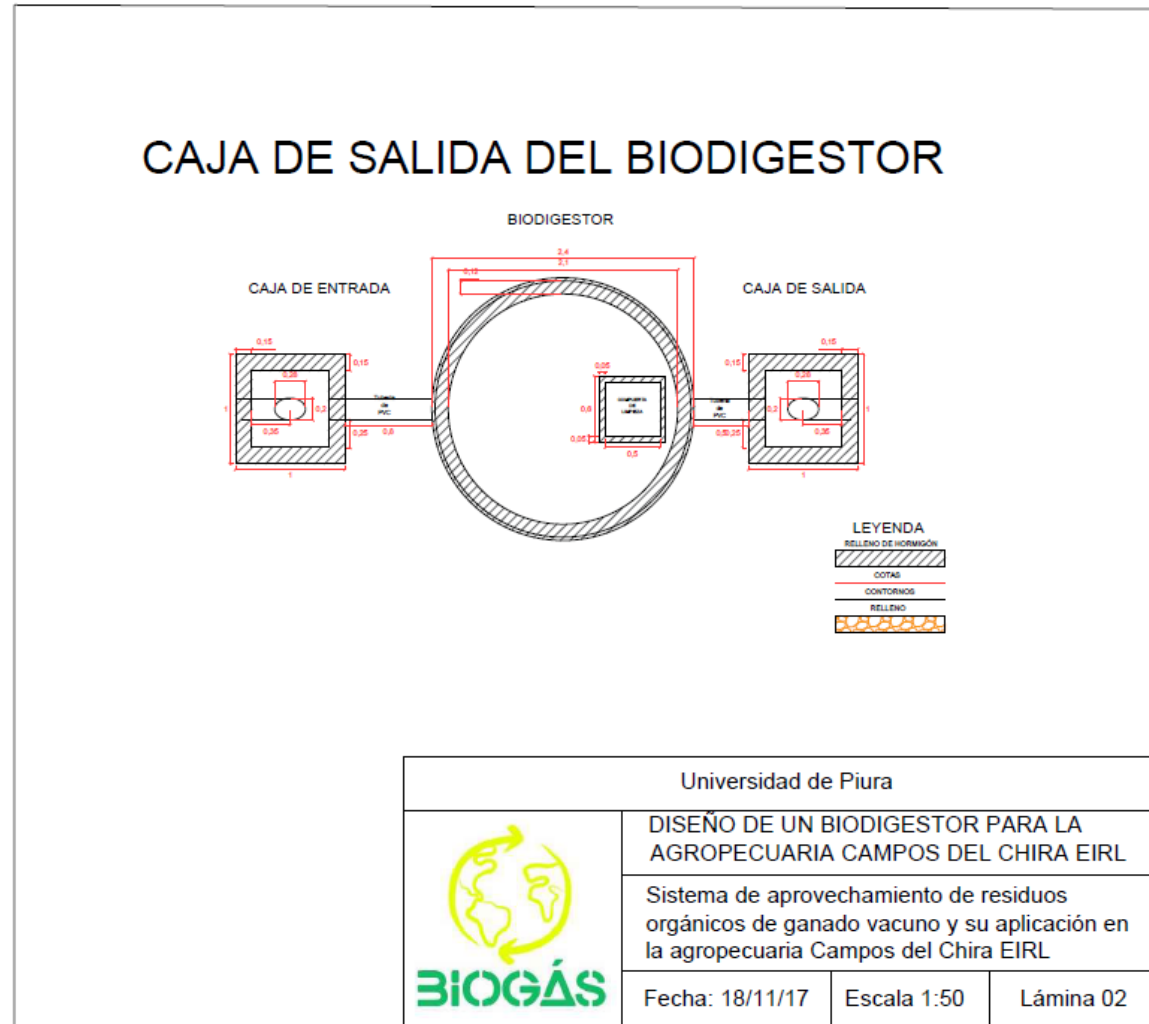


*Fuente: (Cidelsa, 2017). Biodigestores productivos: energía y fertilizantes*

Anexo 9. Vista superior del biodigestor



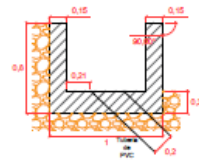
Anexo 10. Plano de caja de salida del biodigestor



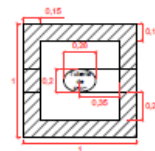
Anexo 11. Plano de caja de entrada del biodigestor

## CAJA DE ENTRADA DEL BIODIGESTOR

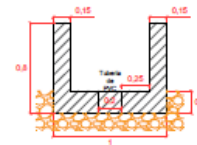
VISTA FRONTAL O  
TRANSVERSAL



VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL



LEYENDA



Universidad de Piura



DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA  
AGROPECUARIA CAMPOS DEL CHIRA EIRL

Sistema de aprovechamiento de residuos  
orgánicos de ganado vacuno y su aplicación en  
la agropecuaria Campos del Chira EIRL

Fecha: 18/11/17

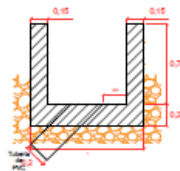
Escala 1:50

Lámina 03

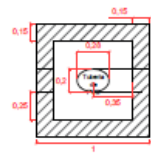
Anexo 12. Caja de salida del biodigestor

## CAJA DE SALIDA DEL BIODIGESTOR

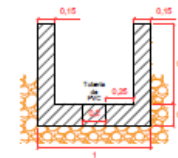
VISTA FRONTAL O  
TRANSVERSAL



VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL



Universidad de Piura



DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA  
AGROPECUARIA CAMPOS DEL CHIRA EIRL

Sistema de aprovechamiento de residuos  
orgánicos de ganado vacuno y su aplicación en  
la agropecuaria Campos del Chira EIRL

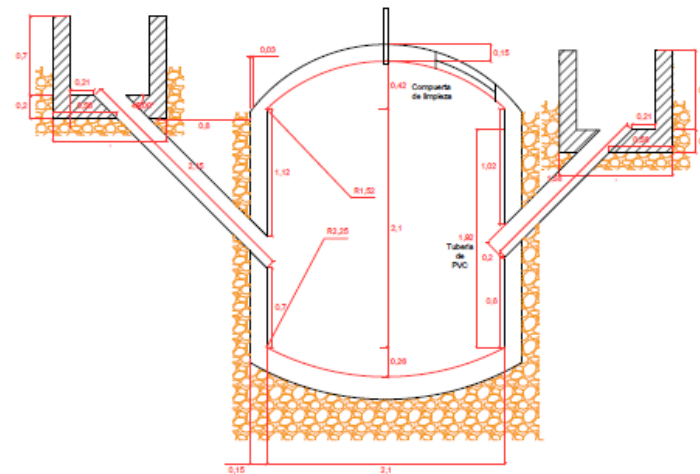
Fecha: 18/11/17

Escala 1:50

Lámina 04

### Anexo 13. Dimensiones del biodigestor

## DIMENSIONES DEL BIODIGESTOR



|                                                                                      |                                                                                                                            |             |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|
| Universidad de Piura                                                                 |                                                                                                                            |             |           |
|  | DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA AGROPECUARIA CAMPOS DEL CHIRA EIRL                                                        |             |           |
|                                                                                      | Sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos de ganado vacuno y su aplicación en la agropecuaria Campos del Chira EIRL |             |           |
|                                                                                      | Fecha: 18/11/17                                                                                                            | Escala 1:50 | Lámina 05 |

*Anexo 14. Inversión inicial*

| CANT.               | UNI.           | CONCEPTO                                   | P.U  | TOTAL             |
|---------------------|----------------|--------------------------------------------|------|-------------------|
| <b>BIODIGESTOR</b>  |                |                                            |      |                   |
| 3                   | días           | Jornal básico de 2 trabajadores            | 70   | 210               |
| 3                   | días           | Jornal de maestro de 1 trabajador          | 50   | 150               |
| 2                   | días           | Jornal para instalación de la distribución | 50   | 100               |
| 5                   | bols.          | Bolsas de cemento 42.5 kg                  | 21.3 | 106.5             |
| 550                 | pzas.          | Ladrillo King Kong                         | 0.63 | 346.5             |
| 3                   |                | Malla electrosoldada                       | 260  | 780               |
| 8                   |                | Hierro de refuerzo                         | 20   | 160               |
| 10                  | bols.          | Arena gruesa en sacos 40 kg                | 6    | 60                |
| 2                   | balde          | Impermeabilizante                          | 20   | 40                |
| 24.5                | m <sup>2</sup> | Plástico polietileno                       | 12   | 294               |
| 1                   | cub.           | Piedra                                     | 50   | 50                |
| 3                   | cub.           | Arena                                      | 50   | 150               |
| <b>DISTRIBUCIÓN</b> |                |                                            |      |                   |
| 1                   | pzas.          | Tubo de PVC de 3/4" y 5 m de largo         | 12.5 | 12.5              |
| 25                  | pzas.          | Tubo de PVC de 1/2" y 5 m de largo         | 8.2  | 205               |
| 2                   | pzas.          | Codos de PVC de 45° de 3/4"                | 2    | 4                 |
| 8                   | pzas.          | Codos de PVC de 45° de 1/2"                | 2    | 16                |
| 2                   | pzas.          | Tee de PVC de 3/4"                         | 3.5  | 7                 |
| 11                  | pzas.          | Tee de PVC de 1/2"                         | 19.9 | 218.9             |
| 1                   | pzas.          | Válvula de cierre 3/4"                     | 8.9  | 8.9               |
| 15                  | pzas.          | Válvula de cierre 1/2"                     | 37.9 | 568.5             |
| <b>CONTROL</b>      |                |                                            |      |                   |
| 1                   | pzas.          | pHmetro y termómetro                       | 500  | 500               |
| <b>TOTAL</b>        |                |                                            |      | <b>S/3,987.80</b> |

*Fuente: Elaboración propia*

*Anexo 15. Ahorro mensual en combustible*

|                           |                   |
|---------------------------|-------------------|
| <b>AHORRO<br/>MENSUAL</b> |                   |
| Gas                       | 120               |
| Leña                      | 400               |
|                           | <u><u>520</u></u> |

*Fuente: Elaboración propia*

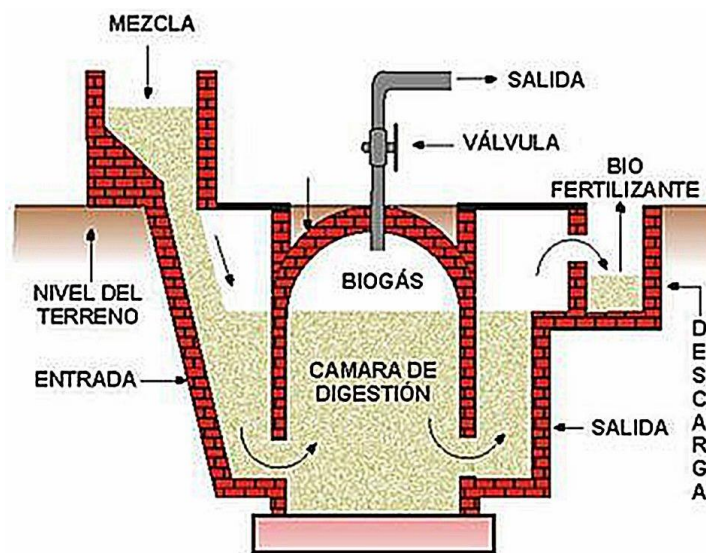
## 1. BASE TÉCNICA

### 1.1. BIODIGESTOR

Un biodigestor es básicamente un contenedor hermético y cerrado (reactor), que se deposita el material orgánico, la cual experimentará un proceso de descomposición, generando 2 productos:

- Biogás, con una alta concentración de metano.
- Fertilizante orgánico rico en potasio, fósforo y nitrógeno.

Figura 1. Componentes de un biodigestor



Fuente: Anónima (extraída de internet)

### 1.2. BIOGÁS

El biogás es un gas combustible que es originado a partir de la digestión anaeróbica. Está compuesto por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). En menor cantidad se produce hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ). El porcentaje de metano de este biogás varía desde un mínimo 55-60% hasta un máximo de 80%. En la tabla \_\_, se detalla el porcentaje de cada compuesto que contiene el biogás.

Tabla 1. Composición del biogás

| <b>Composición media del biogás y poder calorífico inferior de sus componentes<br/>(15.55 °C y 1 atm)</b> |          |                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------|
| <b>CH<sub>4</sub></b>                                                                                     | 60 – 80% | 8 145 kcal/m <sup>3</sup> |
| <b>CO<sub>2</sub></b>                                                                                     | 20 – 40% | -                         |
| <b>H<sub>2</sub></b>                                                                                      | 1 – 3%   | 2 441 kcal/m <sup>3</sup> |
| <b>O<sub>2</sub></b>                                                                                      | 0.1 – 1% | -                         |
| <b>CO</b>                                                                                                 | 0 – 0.1% | 2 868 kcal/m <sup>3</sup> |
| <b>N<sub>2</sub></b>                                                                                      | 0.5 – 3% | -                         |
| <b>SH<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub></b>                                                                     | 0.5 – 1% | 5 552 kcal/m <sup>3</sup> |
| <b>H<sub>2</sub>O</b>                                                                                     | Variable | -                         |

*Fuente: (Moncayo Romero, 2017)*

### 1.3. FERTILIZANTE ORGÁNICO

Este fertilizante, extraído del proceso de biodigestión, tiene mejores propiedades fertilizantes que puede ser usado como abono (Soria Fregoso, y otros, s/f).

Este fertilizante tiene muchas ventajas, tales como:

- No posee mal olor.
- No atrae moscas y puede aplicarse directamente al campo en las proporciones determinadas.
- No deja residuos tóxicos en el suelo.
- Aumenta la calidad del fertilizante.
- Es un fertilizante que es capaz de competir con los fertilizantes químicos.

## 2. PUESTA EN MARCHA, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

### 2.1. INICIO DE LA OPERACIÓN

Antes de poner en funcionamiento el biodigestor, el reactor debe ser llenado de los residuos orgánicos y agua limpia o residual. Estos serán ingresados por conductor de entrada y luego será cerrado.

Tener en cuenta que la relación entre residuos orgánicos y agua es **1:1**, es decir, por cada kilogramo de residuos, se le agrega 1 litro de agua. La mezcla debe ser homogénea.

El tiempo de retención calculado es de 30 días, por lo que, durante este tiempo, el biodigestor debe estar cerrado.

### 2.2. OPERACIÓN

Luego de pasados los 30 días, el ingreso de la mezcla será diaria, que será de alrededor de 0.75285 m<sup>3</sup>.

Los operadores tendrán que organizarse y establecer una hora la cual cumplan todos los días para realizar el ingreso de la mezcla.

Para la mezcla, el operador debe tener en cuenta lo siguiente:

- Los residuos orgánicos no contengan papel, toallas sanitarias, plásticos u otro material que pueda obstruir la entrada o salida del biodigestor. Para esto, los residuos deberán ser inspeccionados antes de realizar la mezcla con el agua.
- En el caso que se utilicen aguas residuales, debe asegurarse que no contengan restos de productos químicos que afecten el tratamiento anaeróbico, tales como el ácido muriático, residuos de lejía, detergente, etc.

La mezcla se realizará en la caja de entrada del biodigestor. Una vez se haya mezclado en su totalidad, se abrirá rápidamente la compuerta, esperaremos que toda la mezcla entre al biodigestor e inmediatamente procederemos a cerrarla.

El operador será instruido en el manejo adecuado del termómetro, manómetro, pHmetro.

Las actividades diarias que se deben realizar son las siguientes:

- Limpiar la caja de entrada, donde se realiza la mezcla. Sacar las arenas y piedras que se hayan acumulado en fondo de la caja.
- Limpiar las compuertas y retirar los objetos acumulados.
- Llenar con nueva mezcla la caja de entrada. Realizar bien la mezcla.
- Verificar que no ingresen objetos grandes o los descritos con anterioridad al reactor.
- Ingresar la mezcla al biodigestor, abriendo la compuerta de entrada.
- Revisar la caja de salida. Después del tiempo de retención (30 días), la cantidad de efluente que debe descargar el reactor es la misma cantidad que ingresa a esta diariamente.
- Lectura del medidor de caudal del biogás producido.
- Verificar los parámetros de control.

### 3. MANTENIMIENTO Y CONTROL

El mantenimiento del biodigestor se basa básicamente a realizar inspecciones determinadas que nos den información de cómo está actuando el sistema.

A continuación, en la siguiente tabla explicaremos las tareas de mantenimiento que se deben realizar, además de sus defectos detectados que pueden suceder y la posible causa y solución de ésta.

Tabla 2. Parámetros de control y posibles fallas.

| PARÁMETROS DE CONTROL | DISFUNCIONALIDAD | CAUSA – REMEDIO                                                          |
|-----------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Presión del biogás    | Muy alta         | La presión aumenta si el consumo del biogás es menor que su producción o |

| PARÁMETROS DE CONTROL                   | DISFUNCIONALIDAD                                              | CAUSA – REMEDIO                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                         |                                                               | si la capacidad de almacenamiento está al límite. Verificar la producción de biogás.                                                                                             |
|                                         | Muy baja                                                      | La presión aumenta si el consumo del biogás es mayor que su producción o si la capacidad de almacenamiento está vacía. Posibles fugas en las tuberías.                           |
| <b>Temperatura de la mezcla</b>         | Muy alta                                                      | Temperatura ambiental demasiado elevada. Alimentar el biodigestor con agua fría.                                                                                                 |
|                                         | Muy baja                                                      | Temperatura ambiental muy baja. Mezclar el afluente con agua caliente a 30°C.                                                                                                    |
| <b>Producción de biogás</b>             | Producción de biogás muy por debajo de lo normal o estipulado | Razones de temperatura, de la mezcla, cambios en el valor del pH. Obstrucciones en las tuberías de entrada o salida. Revisar pH y tuberías.                                      |
| <b>Olor del fertilizante o efluente</b> | Mal olor del fertilizante                                     | El biodigestor está saturado o las condiciones de fermentación anaeróbica no se cumplen. Reducir cantidad de mezcla o aumentar su grado de dilución, revisar el pH y corregirlo. |

Fuente: (Moncayo Romero, 2017)

Se debe realizar un mantenimiento total del biodigestor cada 12 meses. Para realizar este mantenimiento, se deben seguir los siguientes pasos:

- Detener el funcionamiento del biodigestor.
- Se abre la compuerta de limpieza.
- Se extrae todo el efluente encontrado en el reactor.
- Ingresa el operario por la compuerta de limpieza.

- Realiza limpieza a las paredes del reactor con mucho cuidado.
- Verificar que en las paredes no existan grietas que ocasionen fuga del biogás a futuro.
- Se retira el operario del reactor, se cierra la compuerta de limpieza y se inicia el funcionamiento del biodigestor.

La vida útil de este tipo de biodigestor (chino) es de 20 años, por lo que, pasado este tiempo, se debe reconstruir. Se espera que, durante este tiempo, la tecnología haya avanzado y la construcción del biodigestor sea mejor.

Para esto, se debe demoler el biodigestor que se tiene y, dependiendo de la agropecuaria, construir uno nuevo en el mismo lugar o en otro lugar. Si durante este tiempo no se ha implementado cambios en la agropecuaria, las dimensiones y capacidades serán la misma; caso contrario, se tendrán que realizar los cálculos requeridos para diseñar un nuevo biodigestor.