

EVALUACIÓN TÉCNICO - FINANCIERA DE UN BIODIGESTOR PARA EL  
APROVECHAMIENTO DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS CANINOS EN  
CRIADERO PANDORA COLOMBIA

SERGIO NICOLÁS MEJÍA RODRÍGUEZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.

2020

EVALUACIÓN TÉCNICO - FINANCIERA DE UN BIODIGESTOR PARA EL  
APROVECHAMIENTO DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS CANINOS EN  
CRIADERO PANDORA COLOMBIA

SERGIO NICOLÁS MEJÍA RODRÍGUEZ

Proyecto integral de grado para optar al título de  
INGENIERO QUÍMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.

2020

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

**Dany Cárdenas**

(Jurado 1)

---

**Diana Morales**

(Jurado 2)

**Bogotá D.C., septiembre 2020**

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA**

Consejero Institucional

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

**Dra. MARÍA CLAUDIA APONTE GONZÁLEZ**

Vicerrector Administrativo y Financiero

**Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO**

Secretaria General

**Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN**

Decano General de la Facultad de Ingenierías

**Ing. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI**

Director del Programa de Ingeniería Química

**Ing. IVAN RAMIREZ MARIN**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestos en el presente documento.

Estos corresponden únicamente al autor.

Este trabajo está dedicado a mi madre María Neyibe Rodríguez Rodríguez quien ha sido mi motivación y ha estado presente en cada momento de este proceso tan importante en mi vida, por formarme como la persona que soy y por no dejar de creer en mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco principalmente a mi mamá por su apoyo incondicional no solo para llevar a cabo este trabajo sino también para ser lo que soy además de lograr lo que estoy logrando, por ser tan fuerte ante las adversidades y enseñarme que la vida es de saber decidir. También gracias a la vida por cada oportunidad y experiencia que me hicieron ser quien soy hoy en día. Agradezco a las personas que estuvieron presentes, a cada uno de los docentes quienes me formaron académicamente e hicieron parte de este proceso y, por último, pero no menos importante a mis mascotas quienes son mis más grandes amigos, por su compañía y lealtad.

**Sergio Nicolás Mejía Rodríguez**

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
OBJETIVOS	23
1. GENERALIDADES	24
1.1 CONTEXTUALIZACIÓN DEL LUGAR	24
2. MARCO TEÓRICO	27
2.1 BIODIGESTOR	27
2.1.1 Definición	27
2.1.2. Tipos de biodigestores	27
2.1.2.1 Modelo chino	27
2.1.2.2 Modelo hindú	28
2.1.2.3 Modelo horizontal o de estructura flexible	29
2.2 DIGESTIÓN ANAEROBIA	30
2.2.1 Etapas	31
2.2.1.1 Hidrólisis	31
2.2.1.2 Acidogénesis	31
2.2.1.3 Acetogénesis	31
2.2.1.4 Metanogénesis	31
2.2.2 Microorganismos presentes	32
2.2.2.1 Grupo I: Bacterias hidrolíticas y fermentativas	33
2.2.2.2 Grupo II: Bacterias acetogénicas	33
2.2.2.3 Grupo III: Bacterias metanogénicas	33
2.3 RELACIÓN CARBONO – NITRÓGENO	34
2.4 TEMPERATURA	35
2.5 pH	36
2.6 TIEMPO DE RETENCIÓN	36
2.7 PRODUCTOS FINALES	37
2.7.1 Biogás	37
2.7.2 Bioabono o biol	37



3. METODOLOGÍA	39
3.1 COMPOSICIÓN DE LAS HECES CANINAS	39
3.1.1 Caracterización de las heces caninas	39
3.1.1.1 Densidad	39
3.1.1.2 Composición química	40
3.1.2 Estimación del tiempo de retención	41
3.2 COMPOSICIÓN DEL ALIMENTO	41
3.3 CONTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR	43
3.4 DISEÑO ESPERADO DEL BIODIGESTOR	44
3.4.1 Propuesta biodigestor de cúpula fija	44
3.4.1.1 Diseño red de transporte de gas	50
3.4.2 Estimación de la obtención de productos	50
3.4.2.1 Estimación de la producción de biomasa por parte de la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA	50
3.4.2.2 Estimación de la producción de biofertilizante o biol	51
3.4.2.3 Estimación de la producción de biogás	51
3.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS A PARTIR DEL PROTOTIPO DE BIODIGESTOR CONSTRUIDO	51
3.5.1 Biogás	52
3.5.2 Biol o biofertilizante	52
4. RESULTADOS	53
4.1 COMPOSICIÓN DE LAS HECES CANINAS	53
4.1.1 Caracterización de las heces caninas	53
4.1.1.1 Densidad	53
4.1.1.2 Composición química	54
4.1.2 Estimación del tiempo de retención	56
4.2 COMPOSICIÓN DEL ALIMENTO	56
4.3 CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR	59
4.3.1 Entrada de alimentación	61
4.3.2 Salida de biol	63
4.3.3 Salida de efluente más pesado	64
4.3.4 Salida y almacenamiento del biogás	65
4.3.5 Cargue del biodigestor	68

4.3.6 Comportamiento diario de la temperatura	68
4.3.7 Comportamiento del pH	69
4.4 DISEÑO ESPERADO DEL BIODIGESTOR A ESCALA REAL	71
4.4.1 Propuesta biodigestor de cúpula fija	71
4.4.1.1 Diseño red de transporte de gas	73
4.4.2 Estimación de la obtención de productos.	75
4.4.2.1 Estimación de la producción de biomasa por parte de la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA	75
4.4.2.2 Estimación de la producción de biofertilizante o biol	75
4.4.2.3 Estimación de la producción de biogás	76
4.5 RESULTADOS DE LA CANTIDAD DE PRODUCTOS OBTENIDOS A PARTIR DEL PROTOTIPO DE BIODIGESTOR CONSTRUIDO	77
4.5.1 Biogás	77
4.5.1.1 Prueba de llama	77
4.5.2 Biol o biofertilizante	78
4.5.2.1 Caracterización	78
4.5.2.2 Punto de ebullición	80
4.5.2.3 Densidad	80
5. ANÁLISIS DE COSTOS	82
5.1 COSTOS	82
5.2 INVERSIÓN DIFERIDA	85
6. CONCLUSIONES	86
7. RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXOS	93

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
<b>Ilustración 1.</b> Ubicación satelital de la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA	25
<b>Ilustración 2.</b> Mapa de la ubicación para la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA en La Vega (Cundinamarca)	26
<b>Ilustración 3.</b> Biodigestor tipo chino	28
<b>Ilustración 4.</b> Biodigestor tipo hindú	29
<b>Ilustración 5.</b> Biodigestor de estructura flexible	30
<b>Ilustración 6.</b> Esquema de reacciones de la digestión anaerobia	32
<b>Ilustración 7.</b> Principales etapas de la digestión anaerobia y grupos bacterianos involucrados	34
<b>Ilustración 8.</b> Recipiente recolección de heces	53
<b>Ilustración 9.</b> Diagrama del proceso	75
<b>Ilustración 10.</b> Esquema biodigestor propuesto	82

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
<b>Gráfica 1.</b> Cargue del biodigestor	68
<b>Gráfica 2.</b> Comportamiento de la temperatura	69
<b>Gráfica 3.</b> Comportamiento del pH	70

## LISTA DE IMÁGENES

	pág.
<b>Imagen 1.</b> Experimento composición del alimento	57
<b>Imagen 2.</b> Experimento composición del alimento finalizado	58
<b>Imagen 3.</b> Recipiente y dimensiones	59
<b>Imagen 4.</b> Elaboración de agujeros con ayuda del cauterizador	60
<b>Imagen 5.</b> Agujeros en la tapa del recipiente	60
<b>Imagen 6.</b> Agujeros en el dorso del recipiente	61
<b>Imagen 7.</b> Tubo entrada alimentación	61
<b>Imagen 8.</b> Tubo entrada alimentación terminado cerrado	62
<b>Imagen 9.</b> Tubo entrada alimentación terminado abierto	62
<b>Imagen 10.</b> Salida biol	63
<b>Imagen 11.</b> Tubo salida biol terminado	63
<b>Imagen 12.</b> Salida efluente más pesado	64
<b>Imagen 13.</b> Tubo salida efluente más pesado terminado	64
<b>Imagen 14.</b> Salida biogás	65
<b>Imagen 15.</b> Salida biogás terminado	66
<b>Imagen 16.</b> Biodigestor terminado	67
<b>Imagen 18.</b> Prueba de llama	78
<b>Imagen 19.</b> Determinación temperatura de ebullición	80
<b>Imagen 20.</b> Determinación densidad	80

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Comparación de relación C/N baja-elevada	35
<b>Tabla 2.</b> Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica	36
<b>Tabla 3.</b> Composición química del biogás	37
<b>Tabla 4.</b> Tiempo de retención según temperatura	41
<b>Tabla 5.</b> Composición química (Heces caninas)	54
<b>Tabla 7.</b> Promedio de la cantidad de materia orgánica producida durante 7 días	71
<b>Tabla 8.</b> Parámetros de diseño biodigestor cúpula fija. Cámara de fermentación del 75%	72
<b>Tabla 9.</b> Parámetros de diseño biodigestor cúpula fija. Cámara de fermentación del 80%	73
<b>Tabla 10.</b> Caracterización (Biol)	79
<b>Tabla 11.</b> Estructura de costos propuesta biodigestor cúpula fija	83

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
<b>Ecuación 1.</b> Área del recipiente	39
<b>Ecuación 2.</b> Volumen materia orgánica en el recipiente	39
<b>Ecuación 3.</b> Densidad	40
<b>Ecuación 4.</b> Área de un círculo	43
<b>Ecuación 5.</b> Volumen de un cilindro	43
<b>Ecuación 6.</b> Volumen del biodigestor de cúpula fija	45
<b>Ecuación 7.</b> Volumen del biodigestor de cúpula fija según requerimiento de gas	45
<b>Ecuación 8.</b> Volumen cámara de fermentación	46
<b>Ecuación 9.</b> Volumen de la cúpula	46
<b>Ecuación 10.</b> Volumen del biodigestor inferido	47
<b>Ecuación 11.</b> Volumen cámara de fermentación. Diámetro y altura	47
<b>Ecuación 12.</b> Relación diámetro / altura. Cámara de fermentación	48
<b>Ecuación 13.</b> Volumen cámara de fermentación. Relación diámetro y altura	48
<b>Ecuación 14.</b> Altura cámara de fermentación	48
<b>Ecuación 15.</b> Diámetro cámara de fermentación	48
<b>Ecuación 16.</b> Radio de la cúpula	49
<b>Ecuación 17.</b> Altura de la cúpula	49
<b>Ecuación 18.</b> Volumen de la cúpula rectificado	49
<b>Ecuación 19.</b> Masa heces caninas	50
<b>Ecuación 20.</b> Masa orgánica húmeda producida	51
<b>Ecuación 21.</b> Densidad por picnómetro	52

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>Anexo A.</b> Análisis parcial de sustratos orgánicos (heces caninas). Centro de Bio-Sistemas, Universidad Jorge Tadeo Lozano	94
<b>Anexo B.</b> Análisis parcial de sustratos orgánicos (heces caninas + heces bovinas). Centro de Bio-Sistemas, Universidad Jorge Tadeo Lozano	95
<b>Anexo C.</b> Análisis parcial de solución nutritiva. Centro de Bio-Sistemas, Universidad Jorge Tadeo Lozano	96
<b>Anexo D.</b> Cotización piezas de la estructura, entradas y salidas de la propuesta sin tener en cuenta el grupo electrógeno. Ferretería TRANSMIFER	97



## LISTA DE ABREVIATURAS

**A:** Área  
**cm:** Centímetros  
**D:** Diámetro  
**d<sub>cf</sub>:** Diámetro cámara de fermentación  
**g:** Gramos  
**h:** Altura  
**h<sub>c</sub>:** Altura cúpula  
**h<sub>cf</sub>:** Altura cámara de fermentación  
**kg:** Kilogramos  
**km:** Kilómetros  
**kW:** Kilowatts  
**kWh:** Kilowatts hora  
**L:** Litros  
**m:** Masa  
**m:** Metros  
**m<sup>2</sup>:** Metros cuadrados  
**m<sup>3</sup>:** Metros cúbicos  
**Ma.:** María  
**mL:** Mililitros  
**MOH:** Masa orgánica húmeda  
**Nro.:** Numero  
**p.:** Pagina  
**ppm:** Partes por millón  
**r:** Radio  
**r<sub>c</sub>:** Radio cúpula  
**r<sub>cf</sub>:** Radio cámara de fermentación  
**T<sub>E</sub>:** Temperatura de ebullición  
**Tr:** Tiempo de retención

**Ton:** Toneladas

**V:** Volumen

**V<sub>c</sub>:** Volumen cúpula

**V<sub>cf</sub>:** Volumen cámara de fermentación

**V<sub>d</sub>:** Volumen biodigestor cúpula fija

**Vol.:** Volumen

**η<sub>d</sub>:** Eficiencia biodigestor cúpula fija

**ρ:** Densidad

## GLOSARIO

**BIOGÁS:** “Este material de fermentación está constituido por sustancias sólidas orgánicas, inorgánicas y agua, es un gas incoloro, inflamable, y contiene 60% de metano y 40% de dióxido de carbono, con aportes menores de Nitrógeno, Hidrógeno, y gas sulfhídrico; de 4400 Kcal/m<sup>3</sup> es su poder calorífico”<sup>1</sup>. Es una mezcla de gases producidos por la descomposición anaerobia de la biomasa. En este caso se producirá en la descomposición de las heces caninas.

**BIOMASA:** “Se define biomasa como la fracción biodegradable de los productos desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la agricultura, así como la fracción biológica degradable de los residuos industriales y municipales”<sup>2</sup>. En este caso los residuos de origen biológico serán heces caninas procedentes de la gran cantidad de animales que allí permanecen.

**BIODIGESTOR:** “Es un depósito completamente cerrado, donde el estiércol se fermenta sin aire para producir gas metano. Además de las ventajas que trae por ser generador de energía no convencional y renovable, representa una forma adicional de elaborar abono mediante la fermentación de sus materiales y puede ser aplicado en los diferentes cultivos”<sup>3</sup>.

**BIOL:** “Es el producto líquido obtenido en la descomposición anaerobia de la biomasa, es un gran fertilizante orgánico puesto que la mayoría de sus nutrientes principales como nitrógeno, fósforo y potasio se conservan; su composición incluye un 8,5% de materia orgánica, 2,6% de fósforo, y 1% de 17 potasio, con un pH de 7,5. El uso adecuado de los nutrientes reciclados proporciona mejoramiento en la calidad del suelo y en las siembras representando un beneficio para el agricultor”<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> OLAYA ARBOLEDA, Yeison. Fundamentos para el diseño de biodigestores. [en línea]. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira: 2009. [Consultado 23, marzo, 2020]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>. p.5.

<sup>2</sup> LUCAS HERGUEDAS, Ana Isabel y PESO TARANCO, Carlos. Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad. Bloque I. Palencia: ITAGRA-CT, 2020. 216 p. ISBN 978-84-931891-5-0. p.I-4.

<sup>3</sup> PALOMINO AGUIRRE, Sandra; BLANCO PEDRAZA, Edison y ROBAYO BUSTOS, Diego. Tecnologías apropiadas. En: Granja integral autosuficiente. Bogotá D.C.: Fundación hogares juveniles campesinos Ltda., 2014. 192-209. p.193.

<sup>4</sup> OLAYA ARBOLEDA. Op. Cit. p.16.

## RESUMEN

Se diseñó una propuesta pensando en la implementación de un biodigestor tipo chino también llamado de cúpula fija para la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA ubicada en La Vega, Cundinamarca alimentado a partir de heces caninas con la adición de heces bovinas como inóculo para dar inicio al proceso de digestión anaerobia. Actualmente la empresa está generando cerca de 24 kg de excretas caninas por día disponibles para el funcionamiento del biodigestor.

Para la realización de esta propuesta se determinaron características químicas de las excretas que permitieron acotar las posibles composiciones de la entrada de alimentación al biodigestor para posteriormente realizar una pre-experimentación con el fin de determinar aquella composición más óptima, resultó ser de 3:1 en cuanto a agua y desechos orgánicos respectivamente.

Posteriormente se construyó un prototipo a menor escala del biodigestor tipo chino con el fin de evidenciar la viabilidad para la obtención de gas metano y biofertilizante a partir de los desechos orgánicos generados en la empresa, el cual generó 8 L de gas a partir de 8,64 kg de heces caninas alimentadas.

Para finalmente realizar todos los cálculos necesarios para el dimensionamiento del biodigestor a escala planta piloto con su respectivo análisis de costos para la implementación dentro de las instalaciones, como volumen total la empresa requerirá de la construcción de un biodigestor de 3,6 m<sup>3</sup>.

**Palabras clave:** Biodigestor, heces caninas, biogás, biol, metano.

## ABSTRACT

A proposal was designed thinking about the implementation of a Chinese type biodigester also called a fixed dome for the company CRIADERO PANDORA COLOMBIA located in La Vega, Cundinamarca fed from canine feces with the addition of bovine feces as inoculum to start the process of anaerobic digestion. Currently the company is generating about 24 kg of dog excreta per day available for the operation of the biodigester.

To carry out this proposal, chemical characteristics of the excreta were determined that allowed to limit the possible compositions of the feed inlet to the biodigester to later carry out a pre-experimentation in order to determine the most optimal composition, it turned out to be 3: 1 in regarding water and organic waste respectively.

Subsequently, a smaller-scale prototype of the Chinese-type biodigester was built in order to demonstrate the viability of obtaining methane gas and biofertilizer from the organic waste generated in the company, which generated 8 L of gas from 8, 64 kg of dog feces fed.

In order to finally carry out all the necessary calculations for the sizing of the biodigester at the pilot plant scale with its respective cost analysis for implementation within the facilities, as a total volume the company will require the construction of a 3.6 m<sup>3</sup> biodigester.

**Keywords:** Biodigester, canine feces, biogas, biol, methane.

## INTRODUCCIÓN

Es bien sabido que la descomposición de las excretas animales contribuye negativamente en la contaminación del aire, se sabe que esto “emite cantidades considerables de gases invernadero, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), que contribuyen de manera importante al cambio climático”<sup>5</sup>. Además, que de estos desechos también se desprenden otros impactos entre los cuales se encuentra la generación de malos olores y presencia de vectores debido a la acumulación de las heces en lugares públicos y/o zonas verdes. “Dicha acumulación es generada principalmente por la disposición en lugares no ideales y ausencia de manejo de estos residuos; el problema se acrecienta en lugares donde la cantidad de canes aumenta considerablemente como son los refugios y lugares de adopción, puesto que la tasa de generación de heces caninas es mucho mayor”<sup>6</sup>.

En este proyecto se busca emplear la materia orgánica, en este caso heces caninas, en la elaboración de un biodigestor con el fin de obtener biogás y abono que le darían un valor extra a los desechos orgánicos generados por las actividades desarrolladas dentro de la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA, comprobando si la rentabilidad puede llegar a ser significativa, además de reducir el impacto ambiental que están generando al desechar estos residuos de materia orgánica.

Estas actividades contemplan serios impactos socioambientales, afectando gravemente la calidad del suelo y las aguas superficiales, además de representar un nido ideal para el crecimiento de microorganismos patógenos que pueden ser un riesgo para la salud y calidad de vida de las diferentes personas y animales que se desarrollan alrededor de dichos lugares<sup>7</sup>.

Una gran alternativa a este problema es la puesta en marcha de un biodigestor alimentado con los desechos orgánicos generados dentro de la empresa, el cual permitirá obtener un valor agregado en los procesos ya desarrollados dentro de la misma debido a la transformación de los desechos orgánicos en biogás y biol gracias a la digestión anaerobia, proceso en el cual estos desechos “son consumidos por microorganismos metanogénicos”<sup>8</sup>.

---

<sup>5</sup> PÉREZ ESPEJO, Rosario. El lado oscuro de la ganadería. El lado oscuro de la ganadería. 2008, Vol. 39, Nro. 154, pp. 217-227. ISSN 0301-7036. p.221.

<sup>6</sup> PARADA REINA, Viviana y ARDILA MEDINA, Mary Alejandra. Implementación de un biodigestor para el manejo sanitario de heces caninas potencialmente transmisoras de enfermedades zoonóticas en el refugio animal Dame Vida, en Tenjo, Cundinamarca. [en línea]. Tesis de grado. Universidad de la Salle, Bogotá D.C.: 2016. [Consultado 4, abril, 2020]. Disponible en: [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1219&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1219&context=ing_ambiental_sanitaria). p.9.

<sup>7</sup> *Ibíd.*, p.9.

<sup>8</sup> CAMPOS POZUELO, Elena, et al. Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas. [en línea]. Cataluña: 2004. [Consultado 13, junio, 2020]. Disponible en: [http://www.arc-cat.net/es/altres/purins/guia/pdf/guia\\_dejeccions.pdf](http://www.arc-cat.net/es/altres/purins/guia/pdf/guia_dejeccions.pdf). p. 40.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Evaluar la producción de biogás por medio de la biodigestión anaerobia para el aprovechamiento de las heces caninas provenientes de la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA ubicada en La Vega, Cundinamarca.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las variables de diseño para la construcción y puesta en marcha de un biodigestor con heces caninas.
- Construir un biodigestor para la obtención de productos a partir de heces caninas.
- Establecer los parámetros de diseño que requiere el biodigestor a nivel planta piloto para llevar a cabo una correcta digestión anaerobia.
- Realizar el respectivo análisis de costos.

## 1. GENERALIDADES

Es importante remarcar la posibilidad de encontrar nuevos ingresos extra en los procesos ya desarrollados durante años por la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA. Es evidente que existe una gran oportunidad de negocio que justifica el desarrollo de este proyecto, puesto que el valor de los desechos orgánicos producido por los animales no existe en el mercado, sin embargo, por medio del biodigestor se le da un valor agregado al proceso, esto debido a la obtención de dos productos principales a partir de las reacciones anaerobias realizadas dentro del biodigestor, "una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica; dicha la masa restante biodegrada por las bacterias puede utilizarse como abono para la fertilización de suelos así como en alimentación animal, aspecto aún en vías de investigación"<sup>9</sup>.

Por otra parte, es importante su desarrollo porque con esto no solo se va a obtener un valor agregado, sino, tal vez más importante, se contribuirá a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por parte de estos desechos para mitigar el impacto ambiental y como tal la empresa disminuirá sus efluentes contaminadas, además como alternativa a las fuentes de energía actuales.

Con el desarrollo de este trabajo lo que se espera es ampliar la visión social, con esto lograr cambiar el pensamiento pues muchas veces el mismo desperdicio puede ser considerado que más que desperdicio, se puede considerar merma aprovechando estos residuos en uno o varios usos extras, además de contribuir al compromiso social y ambiental que como empresa se debe cumplir.

### 1.1 CONTEXTUALIZACIÓN DEL LUGAR

CRIADERO PANDORA COLOMBIA es una empresa ubicada en La Vega, Cundinamarca dedicada a la cría, adiestramiento y venta de perros, en los últimos años el crecimiento de la empresa ha aumentado en gran cantidad el número de perros que tienen y con esto se han incrementado de manera significativa los residuos de materia orgánica que dejan estos mismos.

Actualmente la empresa cuenta con un sistema de recolección de materia orgánica pero no cuentan con la utilización eficiente, cabe mencionar que la empresa intento utilizar anteriormente parte de las heces obtenidas como medio en lombricultivos experimentales a la expectativa de ver algunos resultados, sin embargo, esto nos les resulto además de que a pesar de esto aún quedaba materia orgánica que no

---

<sup>9</sup> LORENZO ACOSTA, Yaniris y OBAYA ABREU, Ma. Cristina. La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar. 2005, Vol. 39, Nro. 1, pp. 35-48. ISSN 0138-6204. p. 36.

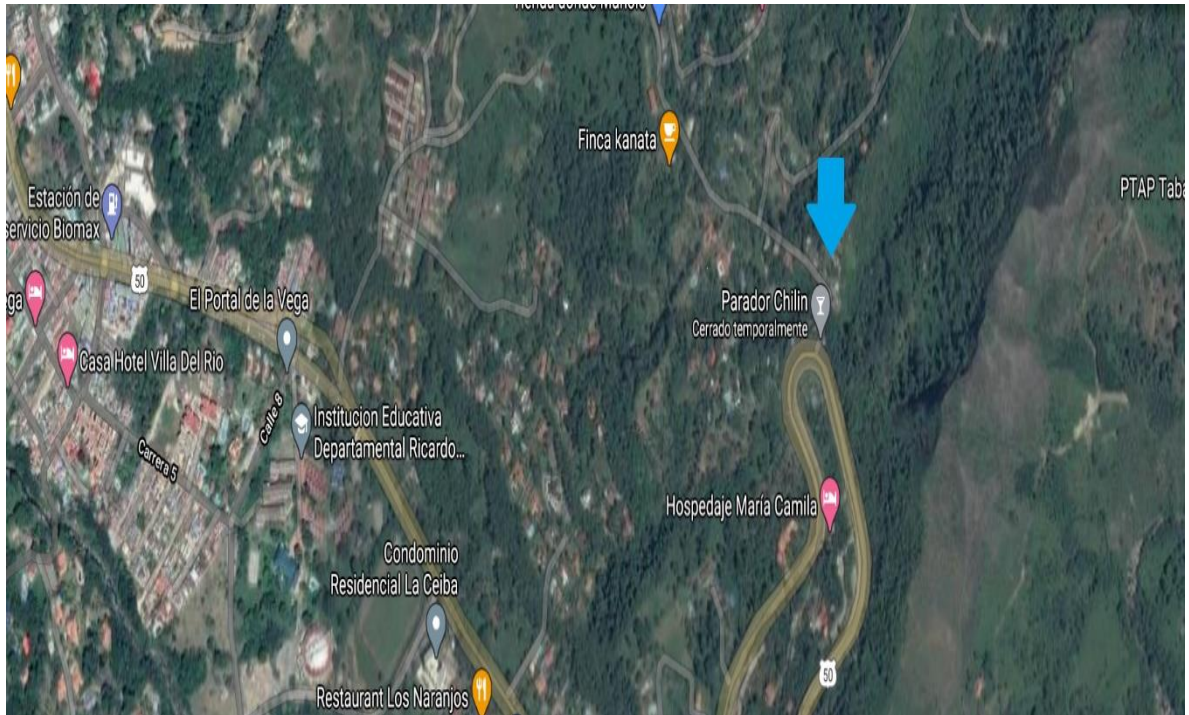


se utilizaba y salía finalmente como contaminante en los efluentes de las empresa directo al acueducto.

La principal actividad que realizan dentro de las instalaciones de la empresa es la cría de perros con finalidad de venta al público cualquiera, actualmente cuentan con gran cantidad de canes de diferentes razas y tamaños que están generando cerca de 24 kg de heces caninas diariamente las cuales han sido consideradas como desperdicio todo este tiempo arrojándolas de manera abrupta a las aguas residuales, sin embargo, este trabajo busca aprovechar toda la cantidad de materia orgánica que está generando la empresa y con esto ayudar a la disminución de la contaminación ambiental generada por las actividades dentro de la empresa. Además de los canes que allí permanecen la finca también cuenta con algunas pocas vacas y caballos los cuales generan desechos también aprovechables.

La empresa se encuentra ubicada vía La Vega, Cundinamarca a 2 km antes de llegar en la entrada de la vereda El Chillin como se muestra en la Ilustración 1.:

**Ilustración 1.** Ubicación satelital de la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA



**Fuente:** GOOGLE MAPS. Disponible en: <https://www.google.com/maps/@4.9935821,-74.3271249,1350m/data=!3m1!1e3>

**Ilustración 2.** Mapa de la ubicación para la empresa CRIADERO PANDORA  
COLOMBIA en La Vega (Cundinamarca)



**Fuente:** GOOGLE MAPS. Disponible en:  
<https://www.google.com/maps/place/La+Vega,+Cundinamarca/@4.9959264,-74.3357731,15z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8e4085b696b06b55:0x96698b81259a125a!8m2!3d5.000528!4d-74.339439>

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 BIODIGESTOR

Los biodigestores surgen como una alternativa al aprovechamiento de los desechos orgánicos, esto con el fin de contribuir a evitar la contaminación por parte de los gases de efecto invernadero producidos haciendo de estos además una fuente de energía alternativa.

**2.1.1 Definición.** “Es un reactor donde la materia orgánica contenida en el estiércol de ganado vacuno, cerdos y aves, así como otros desechos orgánicos, se fermentan por medio de bacterias y microorganismos anaerobios, transformándose en BIOGAS y BIOABONO, elementos de gran utilidad, que contribuyen a obtener importantes beneficios ambientales y económicos”<sup>10</sup>.

**2.1.2 Tipos de biodigestores.** “Los biodigestores o plantas de biogás sencillos se clasifican en tres tipos principales”<sup>11</sup> según su estructura los cuales cada uno poseen características distintas.

**2.1.2.1 Modelo chino.** “Originario de la China, es una estructura cerrada que posee una cámara de carga y una cámara de descarga, puede ser construida de cemento, concreto o ladrillo. Tienen larga durabilidad, y es bien resistente al ambiente. Unas de las desventajas de estos biodigestores, es el alto costo de construcción”<sup>12</sup>.

Este tipo de biodigestor presenta una forma esférica tanto en la parte superior como la inferior ambas selladas con cemento. Se diferencia del biodigestor tipo hindú debido a que dentro de este solo se almacena una pequeña parte del gas generado, debido a esto, este tipo de biodigestores requiere de la instalación de un tanque de almacenamiento exterior para el gas generado. Un ejemplo de la estructura de este tipo de biodigestores se presenta en la Ilustración 3.

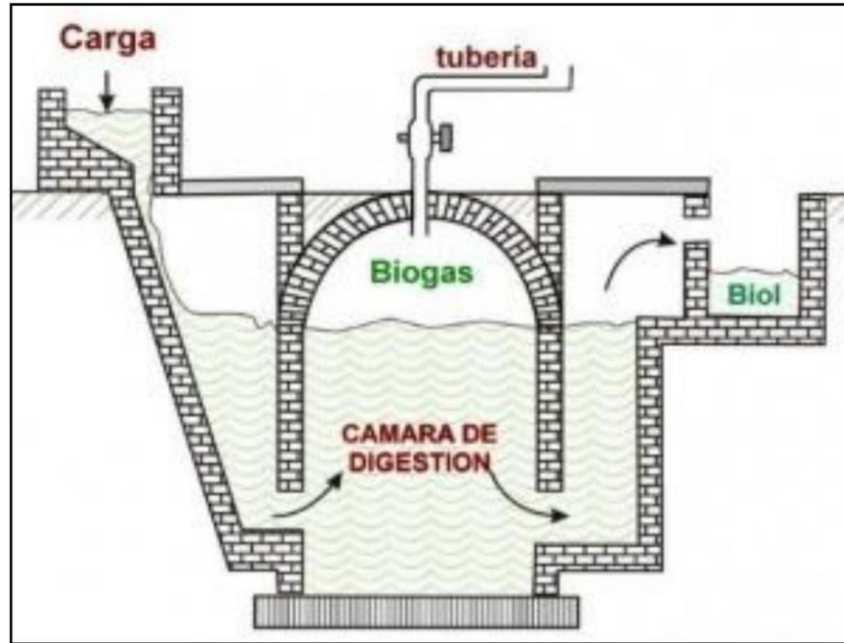
---

<sup>10</sup> ROTOPLAST. Rotoplast. [sitio WEB]. Colombia: WEBCreativa. [Consultado 25, febrero, 2020]. Disponible en: <http://www.rotoplast.com.co/biodigestor/>

<sup>11</sup> OLAYA ARBOLEDA. Op. Cit. p. 13.

<sup>12</sup> TOALA MOREIRA, Edwin Eyner. Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica. [en línea]. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba: 2013. [Consultado 25, marzo, 2020]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/3406/1/236T0100.pdf>. p.20.

**Ilustración 3.** Biodigestor tipo chino

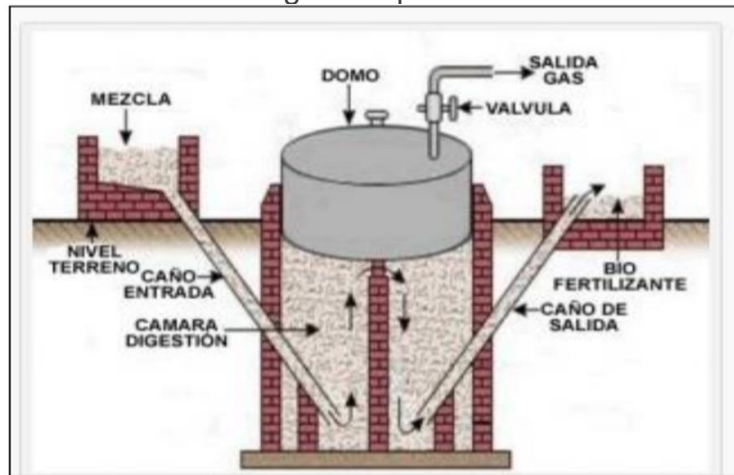


**Fuente:** PONTÓN SIGCHA, Rubén Darío. Diseño de un sistema para la obtención de biol mediante residuos orgánicos generados en el Cantón Joya de los Sachas. [en línea]. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba: 2010. [Consultado 13, marzo, 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/681/1/96T00133.pdf>.

**2.1.2.2 Modelo hindú.** “Originario de la India, es llamado también biodigestor de domo flotante o de campana, el cual se caracteriza por flotar en encima del sustrato debido al contenido de biogás en su interior”<sup>13</sup>. En la Ilustración 4. Se presenta un ejemplo de su estructura.

<sup>13</sup> *Ibíd.*, p.21.

#### Ilustración 4. Biodigestor tipo hindú



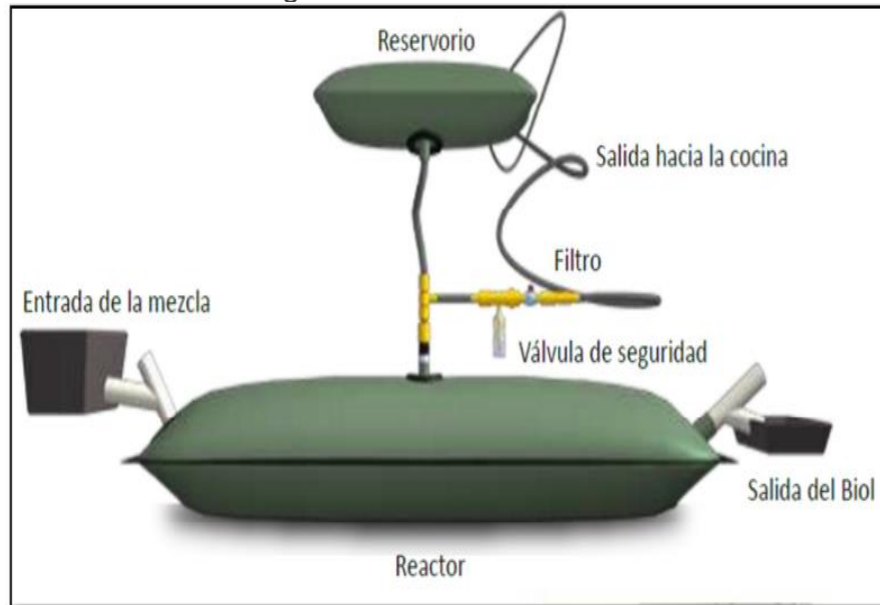
**Fuente:** PONTÓN SIGCHA, Rubén Darío. Diseño de un sistema para la obtención de biol mediante residuos orgánicos generados en el Cantón Joya de los Sachas. [en línea]. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba: 2010. [Consultado 13, marzo, 2020]. Disponible en: <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/681/1/96T00133.pdf>.

La finalidad del domo flotante o campana no es más que subir o bajar según las variaciones causadas por la cantidad de gas generado al interior del biodigestor, gracias a esto este tipo de biodigestor no necesita de un tanque externo de almacenamiento para el biogás generado puesto que la capacidad del domo móvil permite mantener relativamente constante la presión al interior.

**2.1.2.3 Modelo horizontal o de estructura flexible.** “Este modelo consiste en una bolsa o balón de plástico completamente hermético, el 25% del volumen total corresponde al gas almacenado en la parte superior, y un 75% al sustrato o líquido a digerir ubicado en la parte inferior, donde las tuberías tanto para la carga diaria y salida están unidas directamente al plástico”<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> VERA MAZA, Verónica Beatriz. Diseño de un biodigestor tipo bolsa flexible utilizando desechos de estiércol porcino, en la Finca Divino Niño, en la Comunidad Campo Alegre, Parroquia San José de Payamino. [en línea]. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba: 2015. [Consultado 27, marzo, 2020]. Disponible en: <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/4893>. p.19.

### Ilustración 5. Biodigestor de estructura flexible



**Fuente:** SISTEMA BIOBOLSA. Manual de biol. Aplicaciones de biol en diferentes cultivos agrícolas. [en línea]. Ciudad de México: 2014. [Consultado 25, junio, 2020]. Disponible en: [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/SISTEMA%20BIOBOLSA%20s.f.%20Manual%20del%20BIOL.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SISTEMA%20BIOBOLSA%20s.f.%20Manual%20del%20BIOL.pdf)

## 2.2 DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. La materia prima preferentemente utilizada para ser sometida a este tratamiento es cualquier biomasa residual que posea un alto contenido en humedad, como restos de comida, restos de hojas y hierbas al limpiar un jardín o un huerto, residuos ganaderos, lodos de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas y aguas residuales domésticas e industriales<sup>15</sup>.

“Se trata de un proceso complejo en el cual intervienen diferentes grupos de microorganismos. La materia orgánica se descompone en compuestos más sencillos, que son transformados en ácidos grasos volátiles, que son los principales intermediarios y moduladores del proceso. Estos ácidos son consumidos por microorganismos metanogénicos que producen metano y dióxido de carbono”<sup>16</sup>.

<sup>15</sup> LORENZO ACOSTA. Op. Cit. p.36.

<sup>16</sup> CAMPOS POZUELO. Op. Cit. p. 40.

“En la digestión anaeróbica, los microorganismos metanogénicos desempeñan la función de enzimas respiratorios y, junto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. El proceso anaeróbico se clasifica como fermentación o respiración anaeróbicas dependiendo del tipo de aceptores de electrones”<sup>17</sup>.

**2.2.1 Etapas.** “Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas”<sup>18</sup>.

**2.2.1.1 Hidrólisis.** “Es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por tanto, es el proceso de hidrólisis el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. La hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos”<sup>19</sup>.

La tasa de hidrólisis depende, también, del tamaño de las partículas, debido fundamentalmente a la disponibilidad de superficie para la adsorción de las enzimas hidrolíticas. Los pretratamientos fisicoquímicos, cuyo principal efecto es la reducción del tamaño de las partículas, producen un aumento en la tasa de hidrólisis, y si esta fase es la limitante del proceso anaerobio, supone un beneficio para el proceso general, produciendo menores tiempos de retención y tamaños de reactor menores<sup>20</sup>.

**2.2.1.2 Acidogénesis.** Esta etapa es también conocida como fermentativa, en esta los compuestos solubles obtenidos de la etapa anterior son fermentados con el fin de convertirlos en ácidos grasos volátiles como el propiónico y butírico, dióxido de carbón, alcoholes e hidrógeno, esta etapa del proceso se caracteriza porque “su pH se encuentra en la zona ácida, con valores entre 5,1 y 6,8”<sup>21</sup>.

**2.2.1.3 Acetogénesis.** En esta etapa las bacterias acetogénicas oxidan el ácido propiónico y butírico con el fin de obtener ácido acético e hidrógeno, en esta etapa también se obtiene como producto el ácido sulfhídrico, sin embargo, este es considerado como producto indeseado contaminante. Esta etapa mantiene “un pH aún en la zona ácida con valores entre 6,6 y 6,8”<sup>22</sup>.

**2.2.1.4 Metanogénesis.** Esta es la última etapa del proceso por ende los productos finales de esta serán el dióxido de carbono y el metano esto a partir de

---

<sup>17</sup> VARNERO MORENO, María Teresa. Manual de biogás. Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32, 2011. 120 p. ISBN 978-95-306892-0. p.14.

<sup>18</sup> *Ibíd.*, p.19.

<sup>19</sup> *Ibíd.*, p.19.

<sup>20</sup> VARNERO MORENO. Op. Cit. p.21.

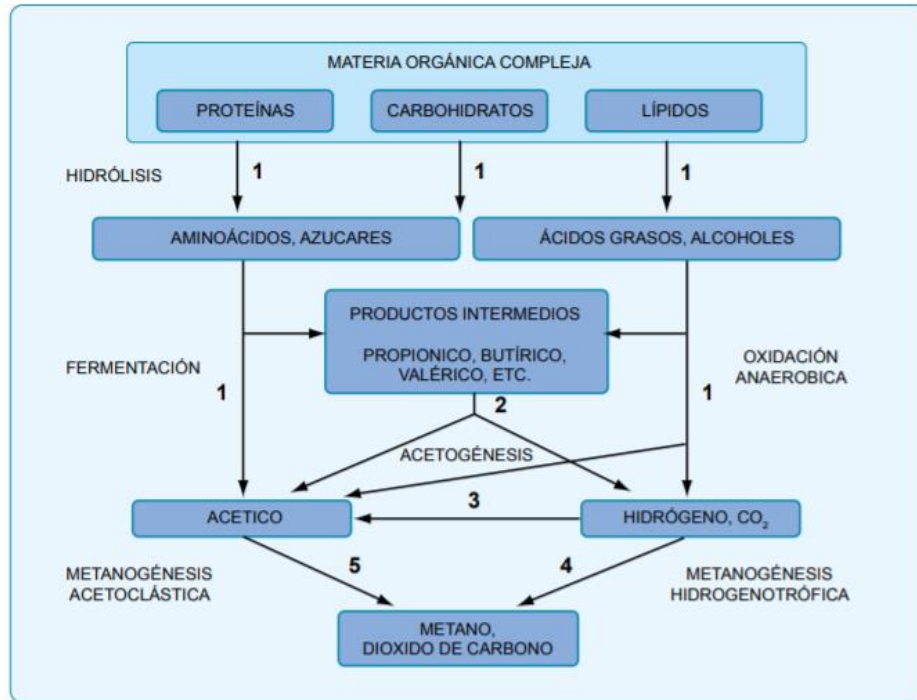
<sup>21</sup> OLAYA ARBOLEDA. Op. Cit. p.9.

<sup>22</sup> *Ibíd.*, p.9.

los compuestos obtenidos en la etapa acetogénesis, en esta etapa “el pH se ubica en la zona alcalina, con valores entre 6,9 y 7,4”<sup>23</sup>.

En la Ilustración 6. Se presenta un diagrama con las distintas fases del proceso de la digestión anaerobia junto con los productos intermedios generados en cada una de ellas.

**Ilustración 6.** Esquema de reacciones de la digestión anaerobia



**Fuente:** VARNERO MORENO, María Teresa. Manual de biogás. Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32, 2011. 120 p. ISBN 978-95-306892-0.

**2.2.2 Microorganismos presentes.** “Las especies de microorganismos involucrados en el proceso varían dependiendo de los materiales que serán degradados. Los alcoholes, ácidos grasos, y los enlaces aromáticos pueden ser degradados por la respiración anaeróbica de los microorganismos”<sup>24</sup>.

Como tal, en el proceso de la degradación anaerobia intervienen 3 grupos de bacterias tanto anaerobias facultativas como estrictas, cada grupo utiliza de forma

<sup>23</sup> *Ibíd.*, p.10.

<sup>24</sup> VARNERO MORENO. *Op. Cit.* p.22.



secuencial los productos metabólicos generados por el grupo inmediatamente anterior.

**2.2.2.1 Grupo I: Bacterias hidrolíticas y fermentativas.** Estas bacterias están encargadas de realizar la hidrólisis de polisacáridos, proteínas y lípidos, esto gracias a algunas enzimas extracelulares producidas por las bacterias de este grupo. “Los productos de esta reacción son moléculas de bajo peso molecular como los azúcares, los aminoácidos, los ácidos grasos y los alcoholes, los cuales son transportados a través de la membrana celular”<sup>25</sup>.

**2.2.2.2 Grupo II: Bacterias acetogénicas.** “Para que tenga lugar una eficiente metanogénesis, los productos de fermentación como el propionato y el butirato deben ser oxidados a acetato, CO<sub>2</sub>, e H<sub>2</sub>. Esta oxidación es llevada a cabo por un grupo denominado organismos acetógenos productores obligados de hidrógeno (OHPA, Obfi'gateHydrogen Producing Acetogens), mediante un proceso conocido como 'acetogénesis’”<sup>26</sup>.

**2.2.2.3 Grupo III: Bacterias metanogénicas.** “Las bacterias metanogénicas son anaerobias estrictas y producen metano como principal producto del metabolismo energético. A pesar de los requerimientos estrictos de anaerobiosis obligada y el metabolismo especializado de este grupo, estas bacterias se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza”<sup>27</sup>.

En la Ilustración 7. Se presenta un esquema mostrando las diferentes fases del proceso de la digestión anaerobia junto al respectivo grupo de bacterias encargado de realizar cada una de las fases, así como los productos obtenidos consecutivamente en cada una de las fases e utilizados por la fase inmediatamente siguiente.

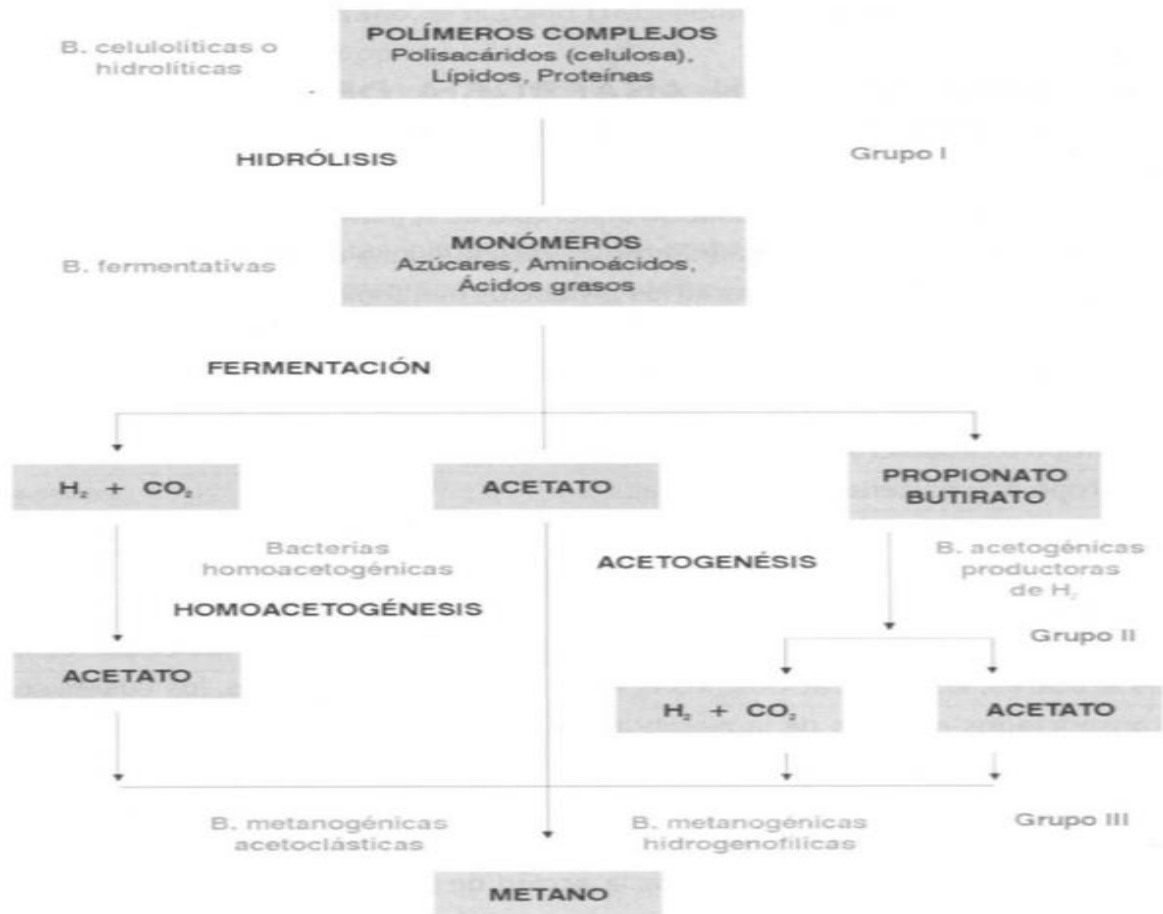
---

<sup>25</sup> DÍAZ-BÁEZ, María Consuelo; ESPITIA VARGAS, Sandra Eliana y MOLINA PÉREZ, Francisco. Digestión anaerobia una aproximación a la tecnología. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2002. 100 p. ISBN 958-701-196-1. p.43.

<sup>26</sup> *Ibíd.*, p.48.

<sup>27</sup> *Ibíd.*, p.56.

**Ilustración 7.** Principales etapas de la digestión anaerobia y grupos bacterianos involucrados



**Fuente:** DÍAZ-BÁEZ, María Consuelo; ESPITIA VARGAS, Sandra Eliana y MOLINA PÉREZ, Francisco. Digestión anaerobia una aproximación a la tecnología. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2002. 100 p. ISBN 958-701-196-1

### 2.3 RELACIÓN CARBONO – NITRÓGENO

Esta relación proporciona un valor que nos permite saber que tan adecuada es la composición de la biomasa para realizar el proceso de la digestión anaerobia. Estos dos elementos son importantes como sustrato para los microorganismos involucrados y encargados de transformar la biomasa alimentada. “El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1”<sup>28</sup>.

<sup>28</sup> VARNERO MORENO. Op. Cit. p.35.

La Tabla 1. Muestra los déficits que tendría el proceso si la relación carbono-nitrógeno no está en las proporciones recomendadas.

**Tabla 1.** Comparación de relación C/N baja-elevada

Si la relación C/N es elevada (demasiado Carbono)	Si la relación C/N es baja (demasiado Nitrógeno)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evacuación en forma de CO<sub>2</sub> (se genera mucho CO<sub>2</sub> y esto hace que la calidad del gas sea baja).</li> <li>• Temperatura baja.</li> <li>• Si la relación es superior a 35:1 la descomposición ocurre más lentamente porque la producción y desarrollo de bacterias es bajo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evacuación en forma de amoníaco (se hace acida la mezcla y se vuelve toxica).</li> <li>• Temperaturas altas.</li> <li>• Aumenta el pH.</li> <li>• Olores desfavorables.</li> </ul>

**Fuente:** VARNERO MORENO, María Teresa. Manual de biogás. Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32, 2011. 120 p. ISBN 978-95-306892-0

## 2.4 TEMPERATURA

“La temperatura es uno de los parámetros ambientales más importantes que condicionan el crecimiento y la supervivencia de los microorganismos. La temperatura afecta a la velocidad de crecimiento y, por lo tanto, al tiempo de generación y la velocidad de reacción”<sup>29</sup>.

“El proceso de digestión anaerobio no se ve afectado si la temperatura aumenta en unos pocos grados; sin embargo, un decrecimiento podría retardar la producción de metano, sin perjudicar la actividad de las bacterias acidificantes, lo cual permite una excesiva acumulación de ácidos y una posible falla en el biodigestor. En este sentido, se debe procurar mantener un microclima cálido en el biodigestor para conservar una tasa de producción de biogás alta”<sup>30</sup>.

Existen tres intervalos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos: psicrófilos (por debajo de 25 °C), mesófilos (entre 25 y 45 °C) y termófilos (entre 45 y 65 °C)<sup>31</sup>.

<sup>29</sup> UNIVERSIDAD DE GRANADA. Agentes físicos. [sitio WEB]. Granada: UGR. [Consultado 25, junio, 2020]. Disponible en: <https://www.ugr.es/~eianez/Microbiologia/13agfisicos.htm>

<sup>30</sup>RIVAS SOLANO, Olga; VARGAS, Margia Faith y GUILLÉN WATSON, Rossy. Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. [en line]. Costa Rica: 2010. [Consultado 3, marzo, 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835857>. p.39.

<sup>31</sup> VARNERO MORENO. Op. Cit. p.38.

La Tabla 2. Presenta datos acerca del rango de temperatura optimo presentando así la clasificación para los microorganismos según la temperatura donde se mantienen además de un tiempo de fermentación aproximado según el tipo de microorganismo que sea en esta clasificación.

**Tabla 2.** Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica

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

**Fuente:** VARNERO MORENO, María Teresa. Manual de biogás. Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32, 2011. 120 p. ISBN 978-95-306892-0

## 2.5 pH

“El pH en un digestor anaeróbico inicialmente decrecerá con la producción de ácidos volátiles. Sin embargo, como las bacterias productoras de metano consumen los ácidos volátiles y la alcalinidad es producida, el pH del digestor incrementa y después se estabiliza”<sup>32</sup>.

Las bacterias productoras de metano como ya se ha mencionado son anaerobias estrictas o facultativas, pero además suelen ser sensibles a cambios de pH y temperatura.

## 2.6 TIEMPO DE RETENCIÓN

Es el número de días que una cantidad de desechos debe permanecer dentro del digestor. Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. El tiempo de retención varía en función de la temperatura ambiente, cuando se emplean desechos de origen animal, la velocidad de degradación esta correlacionado con la temperatura ambiente promedio del sitio, mientras mayor sea la temperatura, menor es el tiempo de retención o fermentación para obtener una buena producción de biogás<sup>33</sup>.

<sup>32</sup> AGUILAR ÁLVAREZ, Gustavo. Control de temperatura y pH aplicado en biodigestores modulares de estructura flexible con reciclado de lodos a pequeña escala. [en línea]. Tesis de grado. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro: 2013. [Consultado 22, abril, 2020]. Disponible en: <http://ring.uaq.mx/bitstream/123456789/904/1/RI000009.PDF>. p.21.

<sup>33</sup> PACA TELENCHANO, Fanny Indalicia. Diseño de un biodigestor de “bolsa flexible” con desechos de ganadería, en la comunidad Shobol Llin Llin, 2013. [en línea]. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de

## 2.7 PRODUCTOS FINALES

**2.7.1 Biogás.** “El biogás es una mezcla de diferentes gases producidos por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como el estiércol y las basuras orgánicas. La composición química del biogás indica que el componente más abundante es el metano (CH<sub>4</sub>); este es el primer hidrocarburo de la serie de los alcanos y un gas de efecto invernadero. La mezcla de CH<sub>4</sub> con el aire es combustible y arde con llama azul”<sup>34</sup>.

**Tabla 3.** Composición química típica o de referencia del biogás

Componentes	Fórmula Química	Porcentaje
Metano	CH <sub>4</sub>	60 – 70
Gas carbónico	CO <sub>2</sub>	30 – 40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1,0
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0,5
Monóxido de carbono	CO	0,1
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0,1
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	0,1

**Fuente:** BLANCO, D. et al. Manual para el diseño, montaje y operación de digestores plásticos de bajo costo. Una alternativa para Cuba. Estación Experimental "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. 38 p. 2011

“El biogás puede ser utilizado igualmente como combustible en quemadores para la calefacción de pollitos, cerdos y otros animales recién nacidos, para la iluminación mediante lámparas incandescentes que no requieren del gas a presión, al igual que las lámparas antiguas de carburo que puede ser usado también como combustible único para refrigeradores, calentadores de agua y secadores de granos y forrajes”<sup>35</sup>.

**2.7.2 Bioabono o biol.** “Es un fertilizante líquido con todas las características de los abonos orgánicos que reemplaza con ventaja los abonos químicos y que además proporciona al suelo una serie de efectos beneficios para sus características físicas, químicas y biológicas. Proporciona una liberación lenta de los nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio y otros, por medio de reacciones

---

Chimborazo, Riobamba: 2013. [Consultado 19, abril, 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3278/1/236T0087.pdf>. p.8.

<sup>34</sup> SAVRAN, Valentina, et al. Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. Pastos y forrajes. 2012, Vol. 35, Nro. 2, pp. 219-226. ISSN 0864-0394. p.220.

<sup>35</sup> BOTERO, Raúl y PRESTON, Thomas. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. [en línea]. Costa Rica: 1987. [Consultado 13, febrero, 2020]. Disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/04-biodigestores.pdf>. p.16.

químicas y biológicas del suelo, mejorando la fertilidad y creando un efecto residual”<sup>36</sup>.

El efluente del biodigestor puede ser utilizado como abono orgánico, puesto que la digestión anaerobia, comparada con la descomposición de las excretas al aire libre, disminuye las pérdidas para el nitrógeno del 18% al 1% y del 33% al 7% para el carbono. Dentro del biodigestor no existen pérdidas apreciables para el fósforo, potasio y calcio contenidos en las excretas<sup>37</sup>.

---

<sup>36</sup> RODRÍGUEZ PACHÓN, David Alexander y GARCÍA CEPEDA, Andrés Felipe. Diseño y construcción de un biodigestor para la producción de biogás a partir de heces caninas. [en línea]. Trabajo de grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad Tecnológica, Bogotá D.C.: 2017. [Consultado 22, febrero, 2020]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6949/1/DavidAlexanderRodriguezPach%C3%B3n2017.pdf>. p.23.

<sup>37</sup> *Ibíd.*, p.16.

### 3. METODOLOGÍA

Con este proyecto se va a llevar a cabo la elaboración de un biodigestor experimental, con el fin de evaluar la rentabilidad del uso de este en la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA, además de los cálculos necesarios para llevar a cabo un biodigestor a escala planta piloto.

Es necesario mencionar que desde un principio se planteó el uso de un biodigestor tipo chino, también llamado de cúpula fija para el desarrollo de este trabajo. La selección de este estuvo bajo el total poder de la empresa, quien postula el uso de este por requerimientos estéticos y de espacio, dejando de un lado los costos y hasta la posibilidad de la evaluación de uso de cualquier otro tipo de biodigestor.

La metodología se realizó con base a los objetivos específicos, para cada uno se estableció una serie de actividades a fin de cumplirlo satisfactoriamente. A continuación, la metodología será explicada en detalle:

#### 3.1 COMPOSICIÓN DE LAS HECES CANINAS

En esta etapa se va a llevar a cabo el estudio respectivo para determinar la proporción que debe tendrá la alimentación de biomasa además de la cantidad y procedencia de esta, las condiciones ambientales que se presentan en el terreno donde se va a realizar a cabo el proyecto, entre otras.

**3.1.1 Caracterización de las heces caninas.** Esta caracterización se realizó teniendo en cuenta los datos más básicos necesarios siempre para llevar a cabo la etapa de planeación de la construcción e instalación de un biodigestor de cúpula fija.

**3.1.1.1 Densidad.** Para obtener el valor de la densidad de las heces caninas se van a utilizar las siguientes formulas, cabe mencionar que el recipiente que se usara en esta etapa es un recipiente con forma cuadrada por lo que:

**Ecuación 1.** Área del recipiente

$$A_{\text{recipiente}} = L_{\text{recipiente}}^2$$

Donde  $A_{\text{recipiente}}$  representa el área total del recipiente utilizado que se calculara a partir de la medición de la longitud del lado del recipiente  $L_{\text{recipiente}}$ .

**Ecuación 2.** Volumen materia orgánica en el recipiente

$$V_{\text{heces}} = A_{\text{recipiente}} * h_{\text{heces}}$$

Donde  $V_{heces}$  representa el volumen que ocupan las heces caninas dentro del recipiente y  $h_{heces}$  es el valor de la altura que ocupan estas dentro del recipiente. Cabe aclarar que la medida de la altura de las heces caninas va a salir de medirla dentro del recipiente.

### Ecuación 3. Densidad

$$\rho_{heces} = \frac{m_{heces}}{V_{heces}}$$

Donde  $\rho_{heces}$  es el valor de la densidad de las heces caninas calculado mediante la relación del valor de la masa de las heces caninas  $m_{heces}$  y el volumen ocupado por estas  $V_{heces}$ .

Por último, la masa de las heces caninas saldrá de la resta del peso del recipiente lleno de la materia orgánica menos el peso del recipiente totalmente vacío, como se mostrará posteriormente en la Ecuación 19. Como tal el valor de la densidad nos servirá para cálculos posteriores no solo para el dimensionamiento sino también para la estimación de la producción de biofertilizante por parte de la empresa

**3.1.1.2 Composición química.** En cuanto a la composición química el valor más importante relacionado a la estimación de producción de biogás es la relación carbono – nitrógeno que nos indica la capacidad de producción de este por parte de la materia orgánica. Se llevará a cabo un análisis parcial de sustratos orgánicos en el Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, con el fin de obtener este dato.

A pesar de la relación carbono – nitrógeno ser el dato más importante pues nos ayudará a estimar cómo será el desarrollo de las comunidades microbianas dentro del biodigestor, se analizará también el contenido de sólidos pues es una variable que influye directamente en la movilidad de las bacterias dentro de los desechos alimentados por lo que afecta directamente su desarrollo. Teniendo en cuenta esto se requiere de un porcentaje de sólidos totales bajo puesto que un aumento en este puede limitar la movilidad de las bacterias dentro del sustrato<sup>38</sup>.

También será importante obtener un valor acerca del pH de la muestra y del contenido de otros nutrientes influyentes en el desarrollo microbiano como lo es el contenido de fósforo y de sales minerales, al igual que el valor de la relación de carbono – nitrógeno estos datos nos servirán para estimar cómo será el desarrollo

---

<sup>38</sup> GRUPO ICE. Diseño de biodigestores y producción de electricidad. [sitio WEB]. San José: infoagro. [Consultado 23, abril, 2020]. Disponible en: <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/produccion%20sostenible/Curso%20biodigestores.pdf>. p.11.



de las comunidades bacterianas dentro del biodigestor alimentado por este tipo de desechos orgánicos generados dentro de la empresa.

**3.1.2 Estimación del tiempo de retención.** Para definir el tiempo de retención aproximado en función de la temperatura promedio a la que estará sometida el biodigestor se utilizó referencia bibliográfica, más precisamente Jaime Martí Herrero<sup>39</sup> quien propone una lista en la que se puede evidenciar los tiempos de retención que varían en función de la temperatura promedio de la región en donde se encuentre el biodigestor.

**Tabla 4.** Tiempo de retención según temperatura

Región Característica	Temperatura (°C)	Tiempo de Retención (días)
Tropical	30	20
Valle	20	30
Altiplano	10	60

**Fuente:** MARTÍ HERRERO, Jaime. Biodigestores familiares: guía de diseño y manual de instalación. La Paz: GTZ-Energía. Bolivia, 2008. 75 p. ISBN 978-99954-0-339-3

Cabe aclarar que este dato es teórico y solo nos servirá como referencia para posteriormente ponerlo a prueba experimentalmente dentro de la pre-experimentación con el fin de obtener un dato acertado y más real acerca del respectivo tiempo de retención a manejar por un biodigestor instalado dentro de la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA. Es importante la validación de este dato de manera experimental pues es claro que esto solo es un modelo a tener en cuenta para estimar en algo el promedio de días que permanecerán los desechos orgánicos dentro del biodigestor con el fin de completar la degradación por digestión anaerobia de estos, mientras que un dato experimental certificara la definición adecuada del número de días a manejar.

### 3.2 COMPOSICIÓN DEL ALIMENTO

En esta etapa se requiere determinar la proporción de excremento canino y agua, con el fin de favorecer la producción de gas metano en el proceso de digestión anaerobio llevado a cabo dentro del biodigestor. Para esto se realizará un acotamiento de datos mediante la ecuación de dilución y el dato obtenido de contenido de sólidos presentes dentro de los desechos orgánicos con el fin de diluir

---

<sup>39</sup> MARTÍ HERRERO, Jaime. Biodigestores familiares: guía de diseño y manual de instalación. La Paz: GTZ-Energía. Bolivia, 2008. 75 p. ISBN 978-99954-0-339-3. p.27.

estos a tal punto de generar un correcto medio para las bacterias encargadas de llevar a cabo el proceso.

“La composición del estiércol depende de la especie y alimentación del animal. Por otro parte, es importante observar el estado del excremento en el momento de tomar la muestra (aspecto fresco, base húmeda o base seca), ya que la humedad puede variar el contenido de los nutrientes; en general, el estiércol seco contiene menor cantidad de nutrientes si se compara con fresco”<sup>40</sup>.

Lo principal a revisar en cuanto a la materia orgánica es la relación carbono - nitrógeno además del contenido tanto de macro como de micronutrientes, estos dos factores son importantes debido a que favorecen la reproducción entre las bacterias y su alimentación, sin embargo no es suficiente, se requiere conocer el porcentaje de sólidos de las muestras para con esto poder asegurar u optimizar el entorno donde se desarrollaran las bacterias dentro del biodigestor, “la movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas”<sup>41</sup>, lo que quiere decir que estas bacterias requieren de un bajo contenido de sólidos dentro de la alimentación para así asegurar una correcta movilidad dentro del sistema.

**Pre-experimentación:** Planteamiento del desarrollo de un experimento teniendo en cuenta únicamente la cantidad de heces caninas como variable. Para esto se decide experimentar con diferentes proporciones dependiendo los datos acotados a partir del contenido de sólidos presente en los desechos orgánicos generados en la empresa. El experimento propuesto es simple, consiste en la creación de recipientes totalmente sellados por un globo como método para evaluar la eficacia de la mezcla frente a la producción de biogás; el experimento finaliza con el globo que primero muestre cierto grado de avance en su tamaño quien además representara la composición de alimentación más optima a manejar según la composición de las heces obtenidas por los animales dentro de las instalaciones. Se intentará acotar la cantidad de proporciones a medir dependiendo del porcentaje de sólidos que contengan estos desechos.

Es oportuno mencionar que de esta pre-experimentación se obtendrán datos netamente cualitativos, no se realizaran replicas y no se realizan controles de otras condiciones que pudieran actuar como interferentes en la prueba además de los ya mencionados anteriormente.

---

<sup>40</sup> TAPIA, Mario y FRIES, Ana María. Guía de campo de los cultivos andinos. Perú: Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Asociación nacional de productores ecológicos del Perú, 2007. 209 p. ISBN 978-92-5-305682-8. p.198.

<sup>41</sup> GRUPO ICE. Op. Cit. p.11.

### 3.3 CONTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR

Para la construcción del biodigestor asemejando uno tipo chino, también llamado de cúpula fija, que permitirá evidenciar la producción de biogás a partir de las heces caninas producidas dentro de la empresa y además la obtención de biofertilizante a partir de la correcta descomposición de dichos desechos orgánicos, se utilizará un recipiente rígido con cierre hermético.

El volumen del recipiente fue calculado mediante las siguientes ecuaciones teniendo en cuenta que poseía una forma cilíndrica:

#### Ecuación 4. Área de un círculo

$$A_{Circular} = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

Donde D representa el diámetro del círculo lo cual nos permitirá calcular respectivamente el área de este  $A_{Circular}$ .

#### Ecuación 5. Volumen de un cilindro

$$V_{Recipiente} = A_{Circular} * h$$

Donde para calcular el volumen del recipiente  $V_{recipiente}$  se multiplica el área obtenida anteriormente por la respectiva altura h.

En cuanto al cargue del prototipo construido viendo la cantidad de heces caninas disponibles para alimentar el biodigestor se decide introducir la alimentación en 5 diferentes cargues a lo largo de los primeros 15 días del tiempo de retención intentando llenar entre el 75-80% previniendo así daños por el aumento de presión dentro del tanque. Okoroigwe, Ibeto y Okpara<sup>42</sup> proponen en su estudio el ingreso de la alimentación como una mezcla 1:1 en proporción de heces caninas y heces bovinas para garantizar el arranque del biodigestor, por lo que se tendrá en cuenta la inclusión de estiércol bovino viendo la disponibilidad de este dentro de las instalaciones de la empresa.

---

<sup>42</sup> OKOROIGWE, E. C.; IBETO, C. N. y OKPARA, C. G. Op. Cit. p.6.

### 3.4 DISEÑO ESPERADO DEL BIODIGESTOR

El diseño del biodigestor a escala real para la implementación bajo criterio de la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA contempla no solo la construcción del biodigestor, sino, también la elaboración de una zanja que funcionara como base y en donde permanecerá este, además de una complementación que consistirá en una red que transportara el biogás obtenido por dentro de tuberías hacia donde el gas sea requerido.

Cabe mencionar que los cálculos realizados para el diseño son simplemente para confirmar los requerimientos de tamaño que tendría un biodigestor continuo si se decidiera implementar dentro de la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA para optimizar el aprovechamiento de los desechos orgánicos que allí se obtienen.

De manera clara y específica se deja en estipulado que la implementación de un prototipo de biodigestor a escala real queda bajo el completo criterio de la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA.

Basado en el prototipo ya realizado y viendo sus resultados, se decidió seguir a cabo con la idea del tipo de biodigestor a utilizar por lo que se plantea la propuesta de uno tipo chino o también llamado de cúpula fija. Es oportuno mencionar nuevamente que la selección de este fue netamente por requerimientos estéticos y de tamaño dentro de la empresa, por lo que es cierto el afirmar que sería oportuno validar el uso de este tipo de biodigestor según el lugar donde va a ser instalado e utilizado.

**3.4.1 Propuesta biodigestor de cúpula fija.** Para obtener los parámetros de diseño de un biodigestor de cúpula fija o también llamado tipo chino, se decide usar la metodología empleada por Bernardo Campos Cuní<sup>43</sup> quien propone una serie de cálculos para determinar el tamaño total del biodigestor más conveniente según la carga diaria o según el requerimiento de gas. En el caso de este trabajo el dimensionamiento del biodigestor a escala real estará basado en la carga diaria alimentada de heces caninas.

#### **Cálculos del volumen total**

Una vez el valor de la carga diaria y el tiempo de retención son conocidos, se es posible calcular el valor del volumen total del biodigestor mediante la ecuación 6. También es importante tener claro la cantidad de agua a alimentar junto con los desechos orgánicos, pues como se mencionó anteriormente el ingreso de esta sería

---

<sup>43</sup> CAMPOS CUNÍ, Bernardo. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo campesino. Revista ciencias técnicas agropecuarias. 2011, Vol. 20, Nro. 2, pp. 37-41. ISSN 1010-2760. p.39.

necesaria si el contenido de sólidos presentes en la alimentación es relativamente alta.

**Ecuación 6.** Volumen del biodigestor de cúpula fija

$$V_d = \left( \frac{kg_{(excreta)}}{\rho_{(excreta)}} + L_{(agua)} \right) * T_r$$

**Fuente:** CAMPOS CUNÍ, Bernardo. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo campesino. Revista ciencias técnicas agropecuarias. 2011, Vol. 20, Nro. 2, pp. 37-41. ISSN 1010-2760

Donde  $kg_{(excreta)}$  y  $\rho_{(excreta)}$  representan la cantidad de desechos orgánicos alimentados y la densidad de estos respectivamente,  $L_{(agua)}$  representa la cantidad de agua alimentada con el fin de diluir la mezcla de desechos orgánicos para generar un correcto medio para las bacterias dentro del biodigestor y por último  $T_r$  representa el respectivo tiempo de retención a manejar, datos necesarios para calcular el volumen total de biodigestor  $V_d$  a manejar según la cantidad de desechos que se generen.

Bernardo Campos Cuní<sup>44</sup> también propone la posibilidad de calcular el volumen conociendo el requerimiento de gas que se posea en el lugar además de la eficiencia manejada por el biodigestor.

**Ecuación 7.** Volumen del biodigestor de cúpula fija según requerimiento de gas

$$V_d = \frac{C_g}{\eta_d}$$

**Fuente:** CAMPOS CUNÍ, Bernardo. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo campesino. Revista ciencias técnicas agropecuarias. 2011, Vol. 20, Nro. 2, pp. 37-41. ISSN 1010-2760

Para este caso el volumen total del biodigestor  $V_d$  se calcula mediante la relación de la cantidad de gas necesaria  $C_g$  y la eficiencia del biodigestor. La Ecuación 7. Solo se presenta como guía, dentro de este trabajo no se utilizó pues como se mencionó al inicio de esta etapa, el dimensionamiento a escala real del biodigestor tipo chino para la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA estará basado en la cantidad de desechos orgánicos que se generan diariamente dentro de esta.

---

<sup>44</sup> *Ibíd.*, p.38.

## Cálculos del volumen cámara de fermentación

“El volumen de la cámara de fermentación  $V_{cf}$  constituye entre un 75% ~ 80% del volumen del digestor”<sup>45</sup>, esto es debido a que la estructura de este tipo de biodigestores es totalmente rígida por lo que un aumento de presión dentro de este debido al gas generado podría generar daños estructurales.

### Ecuación 8. Volumen cámara de fermentación

$$V_{cf} = V_d (0,75 \sim 0,80)$$

**Fuente:** CAMPOS CUNÍ, Bernardo. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo campesino. Revista ciencias técnicas agropecuarias. 2011, Vol. 20, Nro. 2, pp. 37-41. ISSN 1010-2760

La Ecuación 8. No es más que la representación de que el volumen de la cámara de fermentación se debe manejar entre un 75 y 85% del volumen total según la recomendación.

## Cálculos del volumen cúpula

“La cúpula es un segmento de una esfera y su volumen  $V_c$  está en el rango de 20% - 25% del volumen del digestor, por tanto, se tendrá la expresión:”<sup>46</sup>

### Ecuación 9. Volumen de la cúpula

$$V_c = V_d (0,20 \sim 0,25)$$

**Fuente:** CAMPOS CUNÍ, Bernardo. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo campesino. Revista ciencias técnicas agropecuarias. 2011, Vol. 20, Nro. 2, pp. 37-41. ISSN 1010-2760

Para el caso de esta, la Ecuación 9. Representa que el restante volumen del biodigestor, es decir, el otro 20 o 25% será el volumen por manejar por la cúpula.

De lo anteriormente mencionado se puede deducir la Ecuación 10:

---

<sup>45</sup> *Ibíd.*, p.39.

<sup>46</sup> *Ibíd.*, p.39.

### **Ecuación 10.** Volumen del biodigestor inferido

$$V_d = V_c + V_{cf}$$

**Fuente:** CAMPOS CUNÍ, Bernardo. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo campesino. Revista ciencias técnicas agropecuarias. 2011, Vol. 20, Nro. 2, pp. 37-41. ISSN 1010-2760

Ecuación que representa el cálculo del volumen total de biodigestor  $V_d$  calculado mediante la suma del volumen de la cúpula  $V_c$  y cámara de fermentación  $V_{cf}$ . Es evidente que esta ecuación solo se usara para confirmar que los datos estimados a partir de las recomendaciones de volumen tanto para la cámara de fermentación como la cúpula son correctos.

### **Cálculos de la altura y diámetro de la cámara de fermentación**

El diámetro y la altura de la cámara de fermentación son datos más que necesarios para determinar el tamaño de la excavación que se debe llevar a cabo con este biodigestor, por lo tanto, a partir del volumen de la cámara de fermentación se podrán obtener.

### **Ecuación 11.** Volumen cámara de fermentación. Diámetro y altura

$$V_{cf} = \frac{\pi d_{cf}^2 h_{cf}}{4}$$

**Fuente:** CAMPOS CUNÍ, Bernardo. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo campesino. Revista ciencias técnicas agropecuarias. 2011, Vol. 20, Nro. 2, pp. 37-41. ISSN 1010-2760

Donde el valor del volumen de la cámara de fermentación  $V_{cf}$  se obtiene a partir de su respectivo diámetro y altura  $d_{cf}$  y  $h_{cf}$ .

La Ecuación 11 posee dos incógnitas por lo que se es imposible solucionar aún, sin embargo, es aquí donde empieza el cálculo matemático para encontrar la mejor relación entre el diámetro y la altura. Se define esa relación como un valor a definir nombrado "X":

**Ecuación 12.** Relación diámetro / altura. Cámara de fermentación

$$X = \frac{d_{cf}}{h_{cf}}$$

**Fuente:** CAMPOS CUNÍ, Bernardo. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo campesino. Revista ciencias técnicas agropecuarias. 2011, Vol. 20, Nro. 2, pp. 37-41. ISSN 1010-2760

Al reemplazar la Ecuación 12 en la Ecuación 11 obtenemos:

**Ecuación 13.** Volumen cámara de fermentación. Relación diámetro y altura

$$V_{cf} = \frac{\pi(X * d_{cf})^2 h_{cf}}{4} = \frac{\pi X^2 h_{cf}^3}{4}$$

**Fuente:** CAMPOS CUNÍ, Bernardo. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo campesino. Revista ciencias técnicas agropecuarias. 2011, Vol. 20, Nro. 2, pp. 37-41. ISSN 1010-2760

De la Ecuación 13 se despeja  $h_{cf}$  y se reemplaza en la Ecuación 11 de donde se obtendrán los valores de la altura y diámetro:

**Ecuación 14.** Altura cámara de fermentación

$$h_{cf} = \sqrt[3]{\frac{4V_{cf}}{\pi X^2}}$$

**Fuente:** CAMPOS CUNÍ, Bernardo. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo campesino. Revista ciencias técnicas agropecuarias. 2011, Vol. 20, Nro. 2, pp. 37-41. ISSN 1010-2760

**Ecuación 15.** Diámetro cámara de fermentación

$$d_{cf} = \sqrt{\frac{4V_{cf}}{\pi h_{cf}}}$$

**Fuente:** CAMPOS CUNÍ, Bernardo. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo campesino. Revista ciencias técnicas agropecuarias. 2011, Vol. 20, Nro. 2, pp. 37-41. ISSN 1010-2760



## Cálculos de la altura y diámetro de la cúpula

El diámetro y la altura de la cúpula son datos más que necesarios para determinar el tamaño de la excavación que se debe llevar a cabo con este biodigestor, por lo tanto, también se es necesario obtener el valor de estos datos.

El radio y la altura de la cúpula se obtendrán de las siguientes ecuaciones:

### Ecuación 16. Radio de la cúpula

$$r_c = \sqrt{h_{cf}^2 + r_{cf}^2}$$

**Fuente:** CAMPOS CUNÍ, Bernardo. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo campesino. Revista ciencias técnicas agropecuarias. 2011, Vol. 20, Nro. 2, pp. 37-41. ISSN 1010-2760

Donde  $r_c$  representa el radio de la cúpula,  $r_{cf}$  el radio de la cámara de fermentación y  $h_{cf}$  la altura de la cámara de fermentación.

### Ecuación 17. Altura de la cúpula

$$h_c = r_c - h_{cf}$$

**Fuente:** CAMPOS CUNÍ, Bernardo. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo campesino. Revista ciencias técnicas agropecuarias. 2011, Vol. 20, Nro. 2, pp. 37-41. ISSN 1010-2760

Para verificar qué tan apropiado es el valor de "X" supuesto Bernardo Campos Cuni<sup>47</sup> propone una fórmula para obtener el valor del volumen de la cúpula con los datos anteriormente ya calculados, esto con el fin de volver a confirmar el volumen total del biodigestor y así decidir qué valor de "X" es más conveniente.

### Ecuación 18. Volumen de la cúpula rectificad

$$V_c = \pi h_c \left( \frac{d_{cf}^2}{8} + \frac{h_c^2}{6} \right)$$

**Fuente:** CAMPOS CUNÍ, Bernardo. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo campesino.

---

<sup>47</sup> Ibid., p.40.

**3.4.1.1 Diseño red de transporte de gas.** Se espera obtener un sistema eficiente de transporte de gas mediante la utilización de una tubería y una serie de accesorios que permitan filtrar, monitorear y controlar el flujo de biogás.

**3.4.2 Estimación de la obtención de productos.** Se realizarán una serie de cálculos para tener presente la cantidad de productos que se esperan obtener con la elaboración de un biodigestor a partir de heces caninas. Se calculará la posible cantidad tanto de biogás como de biol que generara la empresa teniendo en cuenta no solo la cantidad de canes que residen dentro de esta si no, tal vez mas importante la cantidad de desechos orgánicos diarios que generan los animales y que fue la principal razón del desarrollo de este trabajo.

Para calcular la cantidad de biogás que producirá la empresa será necesario cuantificar la cantidad que se generará dentro del prototipo construido si se logra llevar a cabo una correcta digestión anaerobia de los desechos orgánicos y para obtener la cantidad de biofertilizante bastara con tener claro la cantidad de heces caninas generadas y la cantidad de agua a alimentar si es que se requiere bajar el porcentaje de solidos presente dentro de los desechos.

**3.4.2.1 Estimación de la producción de biomasa por parte de la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA.** Para determinar la cantidad de heces caninas que se producen diariamente en la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA se decide hacer un promedio entre los resultados obtenidos por una semana.

El procedimiento por seguir será el de llenar un recipiente diariamente y se pesará respectivamente la cantidad diaria de materia orgánica producida, a ese peso obtenido se le restará respectivamente el peso del recipiente para así asegurarnos de la cantidad exacta de materia orgánica canina diaria producida. Esto mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 19.** Masa heces caninas

$$m_{heces} = m_{recipiente+heces} - m_{recipiente}$$

$m_{recipiente+heces}$  representa el peso que tiene el recipiente lleno de la materia orgánica y  $m_{recipiente}$  el peso del recipiente, valores que nos permitirán obtener la cantidad de heces pesadas  $m_{heces}$ .

Este dato será tal vez el más importante para los cálculos a escala real del biodigestor pues nos ayudara con una visión clara acerca de la cantidad de desechos orgánicos que se generan dentro de la empresa y que son finalmente la problemática por manejar dentro de este trabajo.

**3.4.2.2 Estimación de la producción de biofertilizante o biol.** Para obtener el valor de biol que se producirá, basta con calcular el valor de masa orgánica húmeda (MOH) esto mediante la Ecuación 20. Que tendrá en cuenta la proporción de agua a alimentar junto con los desechos orgánicos para generar una correcta dilución con el fin de permitir la movilidad de las bacterias dentro del biodigestor y además claro tendrá en cuenta la cantidad de heces caninas que se generan actualmente dentro de la empresa.

**Ecuación 20.** Masa orgánica húmeda producida

$$MOH = \frac{m_{heces}}{\rho_{heces}} + \left( Proporción_{agua} * \frac{m_{heces}}{\rho_{heces}} \right)$$

Donde  $m_{heces}$  y  $\rho_{heces}$  son la masa y la densidad de las heces caninas respectivamente y  $Proporción_{agua}$  representa la cantidad de agua a alimentar junto con los desechos para generar una correcta dilución asegurando un contenido de solidos optimo dentro de los desechos orgánicos a degradar.

**3.4.2.3 Estimación de la producción de biogás.** Para estimar la cantidad de biogás que generara la propuesta es necesario obtener los resultados del prototipo, con esto poder aproximar la cantidad que generara el biodigestor y con esto verificar la viabilidad de la obtención de gas metano a partir de la digestión anaerobia de los desechos orgánicos generados en la empresa.

Dentro de este cálculo es importante mencionar la necesidad del uso del respectivo valor del tiempo de retención a manejar dentro de la empresa pues es claro que la generación de biogás solo ocurrirá pasado este respectivo número de días posterior a la correcta finalización de la digestión anaerobia que será finalmente el proceso por el cual se están degradando los desechos y orgánicos y que generara la obtención de este gas.

### **3.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS A PARTIR DEL PROTOTIPO DE BIODIGESTOR CONSTRUIDO**

En esta etapa quedara en evidencia la capacidad de la materia orgánica generada en la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA para producir tanto biogás como biol. Cada uno de los productos obtenidos se someterá a pruebas con el fin de verificar su viabilidad en el mercado y en el uso de las mismas instalaciones.

**3.5.1 Biogás.** El gas obtenido a partir de la digestión anaerobia de los desechos orgánicos generados en la empresa será sometido a una prueba de llama con el fin de verificar su composición y verificar la viabilidad en la obtención de gas metano a partir del proceso llevado a cabo dentro del biodigestor residente en las instalaciones de la empresa. “La prueba de llama no es más que la “quema de biogás” esto con el fin de verificar la producción de este mediante la digestión anaerobia de heces caninas. Si el gas quema con una llama azulada y de buena consistencia, se puede iniciar el uso normal del biogás”<sup>48</sup>

**3.5.2 Biol o biofertilizante.** Por otro lado, el biol, es decir, el efluente líquido obtenido cumplido el respectivo tiempo de retención será sometido a un estudio con el fin de verificar su composición de nutrientes y minerales, sin embargo, también se le realizaran pruebas para verificar el punto de ebullición y la densidad de dicho con el fin de comparar los datos obtenidos con experiencias de otros autores. Para el cálculo de la densidad se utilizará la Ecuación 21. Método del picnómetro Norma I.N.V. E-707-07<sup>49</sup>:

**Ecuación 21.** Densidad por picnómetro

$$\rho = \left( \frac{m_{\text{picnómetro lleno}} - m_{\text{picnómetro vacío}}}{V_{\text{picnómetro}}} \right)$$

**Fuente:** INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Fertilizantes líquidos determinación de la densidad. NTC 4685. Bogotá D.C.: ICONTEC, 1999, 381 p.

---

<sup>48</sup> VARNERO MORENO. Op. Cit. p.111.

<sup>49</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Fertilizantes líquidos determinación de la densidad. NTC 4685. Bogotá D.C.: ICONTEC, 1999, 381 p. p.205.

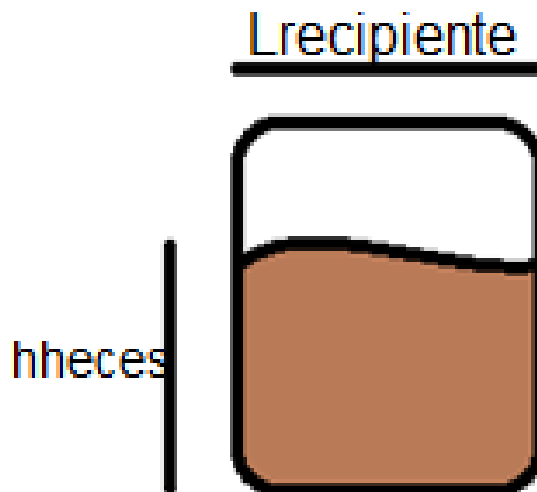
## 4. RESULTADOS

### 4.1 COMPOSICIÓN DE LAS HECES CANINAS

**4.1.1 Caracterización de las heces caninas.** Dentro de esta etapa es importante mencionar que los experimentos llevados a cabo fueron realizados sin replicas debido a la seguridad a la hora de la toma de datos y a comprobaciones continuas de los datos obtenidos.

#### 4.1.1.1 Densidad.

Ilustración 8. Recipiente recolección de heces



Fuente: elaboración propia

$$A_{\text{recipiente}} = 10,5 \text{ cm} * 10,5 \text{ cm} = 110,25 \text{ cm}^2 = 0,011025 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{heces}} = 110,25 \text{ cm}^2 * 4,9 \text{ cm} = 540,225 \text{ cm}^3 = 5,40225 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{Heces}} = \frac{498 \text{ g}}{540,225 \text{ cm}^3} = 0,92184 \text{ g/cm}^3 = 921,838123 \text{ kg/m}^3$$

**4.1.1.2 Composición química.** La tabla presentada a continuación muestra los resultados del estudio en el Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano con el fin de obtener un dato claro acerca de no solo la relación C/N que nos indicara la viabilidad de los desechos en cuanto a la generación de gas, si no, también el contenido de sólidos, valor que nos ayudara a obtener un dato claro acerca de la posible dilución de heces caninas junto con agua con el fin de proporcionar un correcto medio para las bacterias. “En este punto tampoco existen reglas fijas; mediciones realizada utilizando mezclas de estiércoles animales en agua han determinado que para digestores continuos el porcentaje de sólidos óptimo oscila entre el 8% y el 12%”<sup>50</sup>.

**Tabla 5.** Composición química

Variable	Unidades	Heces Caninas	Heces Caninas + Bovinas
Materia Orgánica	%	64,61	61,29
Cenizas	%	35,39	38,71
<b>Relación Carbono:Nitrógeno</b>	<b>p:p</b>	<b>15,67</b>	<b>20,17</b>
pH (Reacción de Acidez):	-logH+	6,50	6,60
Fósforo (P):	%	1,90	1,50
Potasio (K):	%	0,19	0,40
Calcio (Ca):	%	3,40	2,10
Magnesio (Mg):	%	0,64	0,49
Sodio (Na):	%	0,127	0,083

**Fuente:** elaboración propia en: Centro de Bio-Sistemas, Universidad Jorge Tadeo Lozano

Para ampliar la información de la Tabla 5. Remitirse directamente a los anexos A y B al final de este documento.

“Los microorganismos siempre consumen estos elementos, debe haber una relación adecuada entre nutrientes para el desarrollo de la flora bacteriana. La relación C/N debe estar comprendida entre 15/1 y 45/1, con un valor recomendable de 20-30/1. Así como además requiere algunos minerales como nutrientes”<sup>51</sup>. Por

<sup>50</sup> GRUPO ICE. Op. Cit. p.11.

<sup>51</sup>BRISEÑO ARCINIEGA, Laura Angélica. Producción de biogás a través de la codigestión de residuos sólidos y semisólidos: hacia una planta centralizada de biogás para la generación de energía. [en line]. Tesis de grado. Centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica, S.C., Santiago de Querétaro: 2017. [consultado 3, agosto, 2020]. Disponible en: <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/186/1/Producci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s%20a%20traves%20de%20la%20codigesti%C3%B3n%20de%20residuos%20s%C3%B3lidos%20y%20emis%C3%B3lidos%20hacia%20una%20planta%20centralizada%20de%20biog%C3%A1s%20para%20la%20generaci%C3%B3n%20de%20energ%C3%ADa..pdf>. p.25.

lo que se evidencia la necesidad de introducir un inóculo al inicio del proceso para obtener una cantidad considerable de gas por medio de la descomposición de manera anaerobia de los desechos orgánicos. Además de tener como una experiencia previa a RODRÍGUEZ PACHÓN, David Alexander y GARCÍA CEPEDA, Andrés Felipe<sup>52</sup> quienes como recomendación para obtener biogás a partir de heces caninas postulan el uso de estiércol de vaca junto con los desechos caninos, evidenciando así un déficit de microbiota en las heces caninas para actuar como inóculo en la digestión anaerobia.

“Las heces de vaca se añadieron como inóculo para potencializar el proceso de digestión anaerobia ya que estas cuentan con una población de bacterias metanogénicas de las cuales carecen las heces caninas”<sup>53</sup>.

Por ende, viendo la posibilidad del uso de un inóculo para acortar la primera etapa de la digestión anaerobia se decide hacer un segundo estudio a la mezcla de las heces caninas obtenidas en la empresa junto con el inóculo. Para este caso será “estiércol de vaca que empleado como inóculo presenta una elevada actividad metanogénica con un tiempo de aclimatación rápido de cerca de 15 días”<sup>54</sup>.

En la Tabla 5 se puede observar no solo la relación C/N que contribuye con información acerca del crecimiento y reproducción de las bacterias involucradas, sino también datos sobre las concentraciones de algunos nutrientes igualmente importantes para el desarrollo de estas bacterias.

Se presentan también unos porcentajes que indican una estimación del contenido de sólidos que poseen las muestras, es un dato demasiado importante pues se requiere de un porcentaje bajo de estos para permitir la movilidad de las bacterias; cómo se puede observar en ambas muestras se obtuvo un valor un poco alto teniendo en cuenta que se recomienda manejar un porcentaje entre el 8 y 12%<sup>55</sup> por lo que es necesario el ingreso de la materia orgánica con cierta cantidad de agua que será estimada en la etapa de la composición del alimento.

---

<sup>52</sup> RODRÍGUEZ PACHÓN. Op. Cit. p.94.

<sup>53</sup> ACUÑA GONZÁLEZ, Paola Andrea, et al. Aislamiento e identificación de microorganismos del género methanococcus y methanobacterium de cuatro fuentes de Bogotá D.C. 2008, Vol. 6, Nro. 10, pp. 156-161. ISSN 1794-2479. Citado por: RODRÍGUEZ PACHÓN, David Alexander y GARCÍA CEPEDA, Andrés Felipe. Diseño y construcción de un biodigestor para la producción de biogás a partir de heces caninas. [en línea]. Trabajo de grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad Tecnológica, Bogotá D.C.: 2017. [Consultado 22, febrero, 2020]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6949/1/DavidAlexanderRodriguezPach%C3%B3n2017.pdf>. p.79.

<sup>54</sup>CAMACHO, Ricardo; VILLADA, Héctor y HOYOS, José. Evaluación del estiércol de vaca como inóculo en la digestión anaerobia termófila de residuos sólidos urbanos. Evaluation of cow manure as inoculum in the thermophilic anaerobic digestion of municipal solid waste. 2017, Vol. 28, Nro. 3. ISSN 0718-0764

<sup>55</sup> GRUPO ICE. Op. Cit. p.11.

**4.1.2 Estimación del tiempo de retención.** En cuanto a La Vega, que posee una temperatura promedio de 22 °C, se debe clasificar como valle, es decir, que con respecto a los estipulado según Jaime Martí<sup>56</sup> se debe escoger un tiempo de retención de 30 días.

Con base a lo explicado anteriormente, el tiempo de retención aproximado para este biodigestor a base de heces caninas y posicionado en La Vega, Cundinamarca será de 30 días. Este dato, es un valor obtenido a partir de experiencias anteriores y la bibliografía consultada para el desarrollo de este trabajo, sin embargo, se pondrá a prueba el tiempo de retención que deberá manejar el sistema para asegurar una correcta digestión anaerobia de los desechos orgánicos alimentados al biodigestor en el desarrollo de la pre-experimentación para encontrar no solo la mejor relación en la composición del alimento del biodigestor, sino encontrar el tiempo de retención óptimo que deberá manejar un biodigestor instalado dentro de la empresa.

## **4.2 COMPOSICIÓN DEL ALIMENTO**

Los datos obtenidos en la Etapa 4.1.1.2. nos presentan un alto contenido de sólidos dentro de las muestras obtenidas en la empresa, por lo que se hace necesario la inclusión de las heces en dilución con agua para así asegurar un porcentaje de sólidos menor con el fin de permitir una movilidad óptima para las bacterias ya sea con fines reproductivos o de alimentación. Cabe aclarar que a cada uno de los recipientes se les adiciono el 15% de estiércol de vaca asegurando que la cantidad de este siempre fuera menor que la cantidad de heces caninas presentes y utilizando este estiércol como inóculo para darle un correcto inicio al proceso puesto que este se caracteriza por poseer ciertas bacterias capaces de realizar el proceso de digestión anaerobia de la materia orgánica lo cual lograra acortar la primera etapa del proceso haciendo más rápida la obtención de gas. Los 4 biodigestores tendrán la composición mencionada a continuación respectivamente y que fueron acotadas mediante los posibles cálculos de dilución con el fin de obtener un porcentaje bajo de contenido de sólidos dentro de la mezcla, asegurando así un entorno óptimo para la movilidad de las bacterias. Cabe aclara que todos los siguientes valores están en unidades de masa sobre masa.

### **1. Recipiente etiqueta azul:**

Concentración de heces caninas: 0,5  
Concentración de agua: 0,5

### **2. Recipiente etiqueta amarilla:**

Concentración de heces caninas: 0,2  
Concentración de agua: 0,8

---

<sup>56</sup> MARTÍ HERRERO. Op. Cit. p.27.



### 3. Recipiente etiqueta verde:

Concentración de heces caninas: 0,33

Concentración de agua: 0,66

### 4. Recipiente etiqueta rosado:

Concentración de heces caninas: 0,25

Concentración de agua: 0,75

**Imagen 1.** Experimento composición del alimento



**Fuente:** elaboración propia

Las concentraciones antes mencionadas son independientes a la concentración de materia orgánica vacuna anteriormente depositada. “Como variable respuesta se busca determinar el tiempo que tarda cada uno de los experimentos en iniciar la generación de metano, realizando un seguimiento del pH de la mezcla, el cual tiene un comportamiento oscilatorio entre la basicidad (7.5 – 8.5) y la acidez (4.5 – 5.5) previa al equilibrio (5.5 – 6.5) que es el momento en que se inicia la generación del gas”<sup>57</sup>. Como tal la finalidad de esta etapa fue definir la proporción de agua y

<sup>57</sup> BITTON, Gabriel. Wastewater microbiology. Florida: Wiley, 2005. 742 p. ISBN 978-0-471-71791-1. p.328.

excremento que ingresara como alimentación para el biodigestor ya construido con el fin de completar de la mejor manera la digestión anaerobia dentro del reactor.

El resultado de este experimento permite concluir la relación materia orgánica y agua que ingresará al prototipo, la proporción de agua será necesaria para permitir la movilidad de las bacterias dentro del contenido del biodigestor, además del tiempo de retención a manejar dentro de las instalaciones de la empresa.

El globo que evidencio mayor contenido en menor tiempo definitivamente fue el del recipiente numero 4 el cual además de contener 15% del contenido total de estiércol de vaca igual que en los otros tres recipientes, posee una proporción de 3:1 entre agua y heces caninas, es decir, los datos que arrojaron este experimento nos indican que la mejor composición que se debe manejar para un biodigestor alimentado por los desechos orgánicos obtenidos en la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA debe ser de 3 partes de agua por 1 de los desechos orgánicos teniendo en cuenta la inclusión de heces bovinas al inicio del proceso.

**Imagen 2.** Experimento composición del alimento finalizado



**Fuente:** elaboración propia

Así mismo el experimento desarrollado demostró que el tiempo de retención para el biodigestor que se instalará en la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA es de aproximadamente de 30 días, debido a que el tiempo en que el primer recipiente produjo el biogás fue de 35 días, la variación pudo verse representada por los cambios climáticos debido a las constantes lluvias las cuales mantuvieron un clima con temperatura mucho más baja de lo normal.

Es oportuno mencionar que los datos obtenidos de la pre-experimentación fueron netamente cualitativos, no se realizaron replicas y no se realizó el control de otras

condiciones que pudieran actuar como interferentes en la prueba además de las ya mencionadas anteriormente.

### 4.3 CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR

En esta parte del documento quedara evidenciado la construcción de un prototipo de biodigestor según el tipo que escogió la empresa que es el de cúpula fija, esto con el fin de obtener un valor acerca del rendimiento de las heces caninas en la obtención de productos a partir de la digestión anaerobia de estas. La alimentación se ingresará en dilución con agua según los resultados obtenidos en las etapas anteriores.

**Imagen 3.** Recipiente y dimensiones



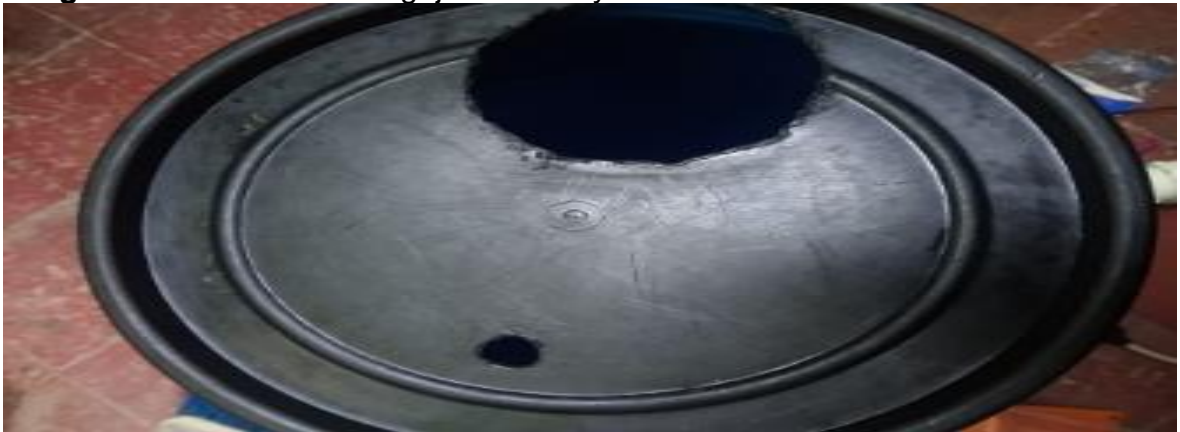
**Fuente:** elaboración propia

$$A_{Circular} = \pi * \left(\frac{0,34 m}{2}\right)^2 = 0,091 m^2$$

$$V_{Recipiente} = 0,091 m^2 * 0,55 m = 0,05 m^3 \approx 50 L$$

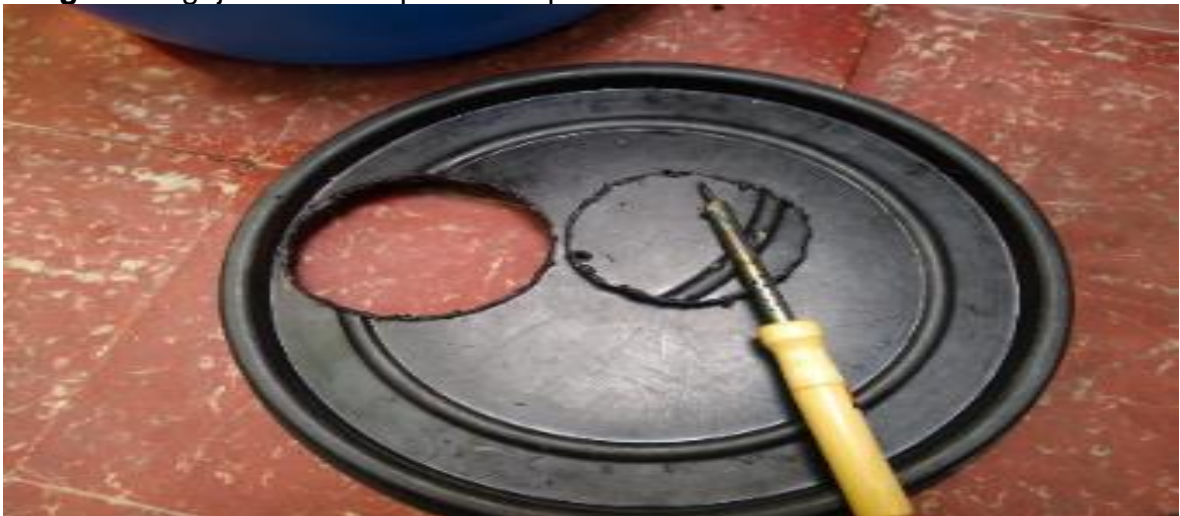
Con ayuda de un cauterizador se procede a elaborar 4 agujeros al recipiente, dos en la tapa uno más grande de 4" para la alimentación de la mezcla de heces caninas y agua, el otro pequeño de 1" para la salida del biogás a su posterior almacenamiento.

**Imagen 4.** Elaboración de agujeros con ayuda del cauterizador



**Fuente:** elaboración propia

**Imagen 5.** Agujeros en la tapa del recipiente



**Fuente:** elaboración propia

Los otros dos agujeros se realizarán en un costado del dorso del recipiente, ambos funcionarán para la salida del efluente, uno de 2" para la salida del biol y otro de 1" para la salida del efluente más pesado.

**Imagen 6.** Agujeros en el dorso del recipiente



**Fuente:** elaboración propia

**4.3.1 Entrada de alimentación.** Para la entrada de alimentación se utilizará el agujero de 4" hecho en la tapa, esto con el fin de permitir un gran caudal de entrada de heces caninas como alimento al biodigestor para así iniciar la digestión anaerobia a cargo de las bacterias anteriormente ya explicadas.

**Imagen 7.** Tubo entrada alimentación



**Fuente:** elaboración propia

Para determinar el largo del tubo se decidió dejarlo hasta 5 cm antes del fondo del recipiente, esto con el fin de evitar taponamientos por exceso de materia orgánica.

Al extremo del tubo que sobre sale de la tapa se le adicionara un tapón de limpieza de 4" con el fin de que no se escape el gas producido por este tubo.

**Imagen 8.** Tubo entrada alimentación terminado cerrado



**Fuente:** elaboración propia

**Imagen 9.** Tubo entrada alimentación terminado abierto



**Fuente:** elaboración propia

**4.3.2 Salida de biol.** Para la salida del biofertilizante o biol, se utilizará el agujero del costado de 2", para la adición de un tubo del mismo diámetro se utiliza una adicción macho-hembra de 2".

**Imagen 10.** Salida biol



**Fuente:** elaboración propia

Para evitar el derrame del fertilizante generado después de la descomposición de toda la materia orgánica, se cortan segmentos de tubos y se termina con una válvula de bola que permitirá el control de salida por este tubo.

**Imagen 11.** Tubo salida biol terminado



**Fuente:** elaboración propia

**4.3.3 Salida de efluente más pesado.** Para la salida del efluente más pesado se construyó un agujero de 1" en el fondo del recipiente, a este se le puso un adaptador de tanque de 1".

**Imagen 12.** Salida efluente más pesado



**Fuente:** elaboración propia

Para terminar esta salida y evitar fugas se unió un segmento de tubo de 1" unido a una llave de bola del mismo diámetro, que igual que en la salida de biol nos permitirá controlar la cantidad de materia que sale por el fondo del recipiente.

**Imagen 13.** Tubo salida efluente más pesado terminado



**Fuente:** elaboración propia



**4.3.4 Salida y almacenamiento del biogás.** En cuanto a la salida del biogás, se empleará el agujero más pequeño de ½” ubicado en la tapa del recipiente, a este se le adiciona un conector de tanque de igual diámetro.

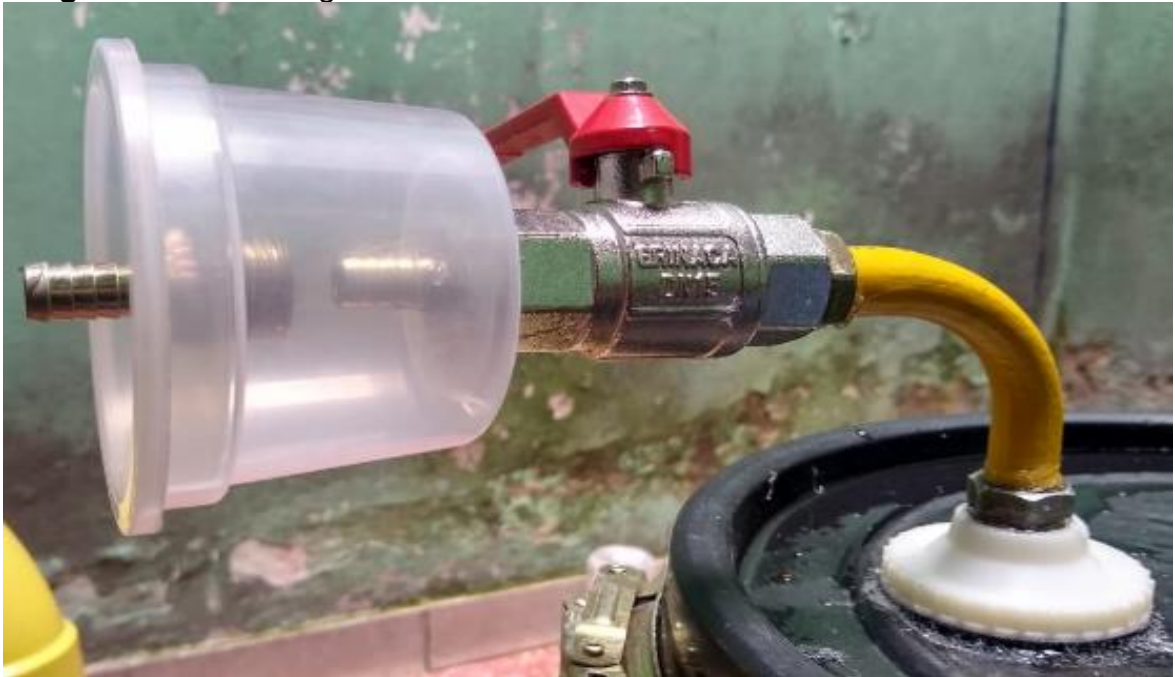
**Imagen 14.** Salida biogás



**Fuente:** elaboración propia

Al conector de tanque se le adiciona un nipple de ½” para permitir así la conexión a una manguera para gas natural, se requiere esta por las especificaciones del gas obtenido, a la manguera se le adicionara una válvula de bola en metal que permitirá la salida del biogás cuando se necesite a su respectivo almacenamiento. La válvula de bola ira unida mediante un nipple a un extremo de un recipiente transparente vacío que en su otro extremo posee otro nipple con el fin de añadir una bolsa para el almacenamiento del gas que se espera generara este prototipo de biodigestor.

**Imagen 15.** Salida biogás terminado



**Fuente:** elaboración propia

El recipiente de plástico que se ve en la imagen se llenó con virutas de hierro esto con el fin de crear una trampa de ácido sulfhídrico, esto debido a que “supone importantes daños por corrosión en las instalaciones, sobre todo en las que se acumula agua de condensación al formar  $H_2SO_4$ . Por otro lado, da lugar a la producción de óxidos de azufre ( $SO_2$  y  $SO_3$ ) como resultado de la combustión, que contribuyen a la contaminación atmosférica”<sup>58</sup>, “para eliminarlo se usan filtros de cal viva o limaduras de hierro, o limonita, todas sustancias ricas en compuestos ferrosos. El filtro se coloca entre el biodigestor y el tanque reservorio. El resultado del filtro es la eliminación del sulfuro de hidrógeno y la obtención de sulfuro de hierro”<sup>59</sup>. Y además generar así una trampa de llama con el fin de “impedir la propagación de flama eficazmente en líneas de gas a baja presión. En caso de ignición, el arrestador absorbe la flama de manera rápida, reduciendo la temperatura del gas por debajo de su punto de ignición”<sup>60</sup>. Al nipple que quedo libre se le añadió una bolsa para gases con el fin de almacenar todo el biogás generado.

---

<sup>58</sup> INTERTEK. Análisis de biocombustibles. Análisis de biogás. [sitio WEB]. Bilbao: Intertek. [Consultado 5, mayo, 2020]. Disponible en: [https://www.intertek.es/uploadedFiles/ektrondev-esintertekcom/Industries/Energy\\_and\\_Commodities/Biofuels/An%C3%A1lisis\\_biog%C3%A1s-low.pdf](https://www.intertek.es/uploadedFiles/ektrondev-esintertekcom/Industries/Energy_and_Commodities/Biofuels/An%C3%A1lisis_biog%C3%A1s-low.pdf). p.2.

<sup>59</sup> EMISION. Estudio de tratamiento gases con  $SH_2$ . [sitio WEB]. Barcelona: Emision [Consultado 20, abril, 2020]. Disponible en: <http://www.emison.com/filtros%20de%20acero.htm>

<sup>60</sup> FRANKO INSTRUMENTACIÓN S.A. Trampa de llama serie 2040. [sitio WEB]. Atizapán: Franko instrumentación S.A. [Consultado 5, mayo, 2020]. Disponible en: <https://franko.com.mx/Pdfs/2040.pdf>. p.5.

Finalmente, obtenemos un prototipo en el cual se va a evidenciar la obtención de productos a partir de la materia orgánica generada en la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA.

**Imagen 16.** Biodigestor terminado

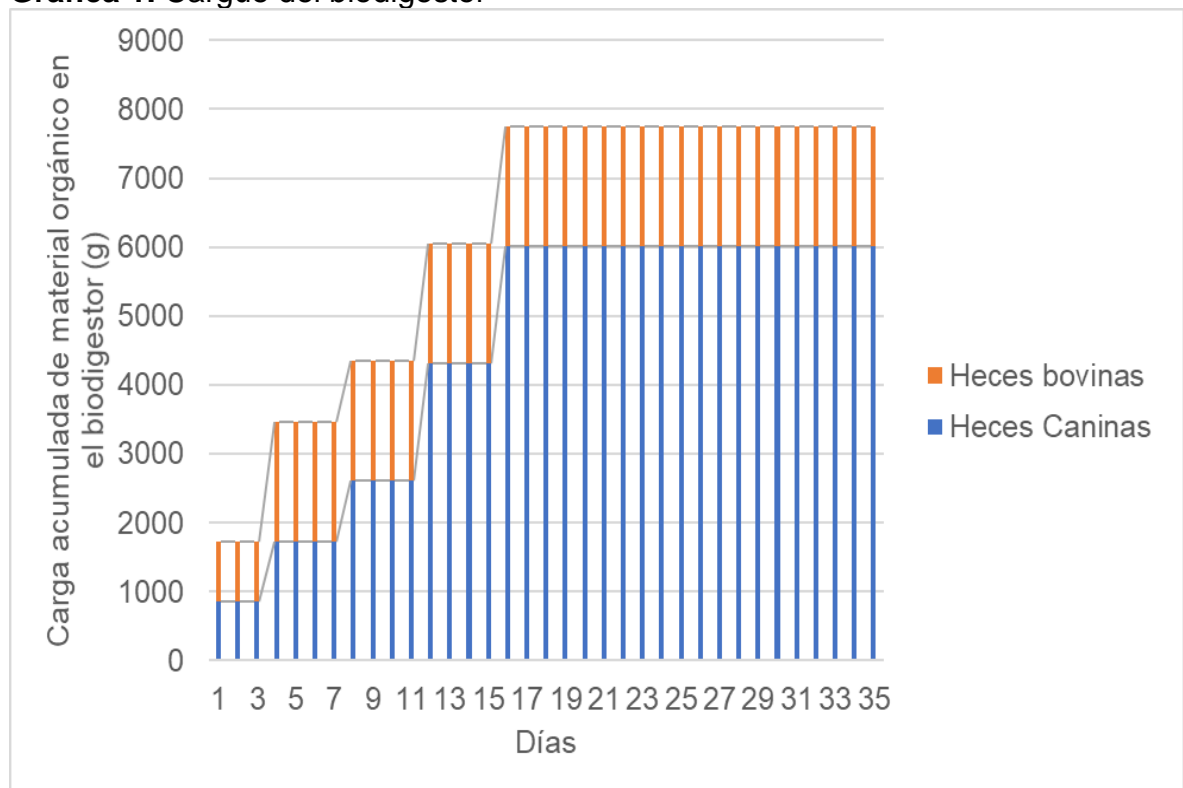


**Fuente:** elaboración propia

**4.3.5 Cargue del biodigestor.** Posterior a la etapa de construcción del prototipo de biodigestor tipo chino o de cúpula fija se realizó el cargue del biodigestor con una composición de alimentación de 3:1 resultado de la pre-experimentación, es decir, por cada parte una parte de heces que se alimenten al prototipo se alimentaran 3 de agua.

De la pre-experimentación realizada en la Etapa 4.2. donde quedo confirmado que la inclusión de heces de vaca como inóculo ayuda en la generación del gas. Por lo anteriormente mencionado, de los 5 cargues 3 se realizaron con la adición de estas para asegurar así un sustrato óptimo para las bacterias dentro del tanque.

**Gráfica 1.** Cargue del biodigestor

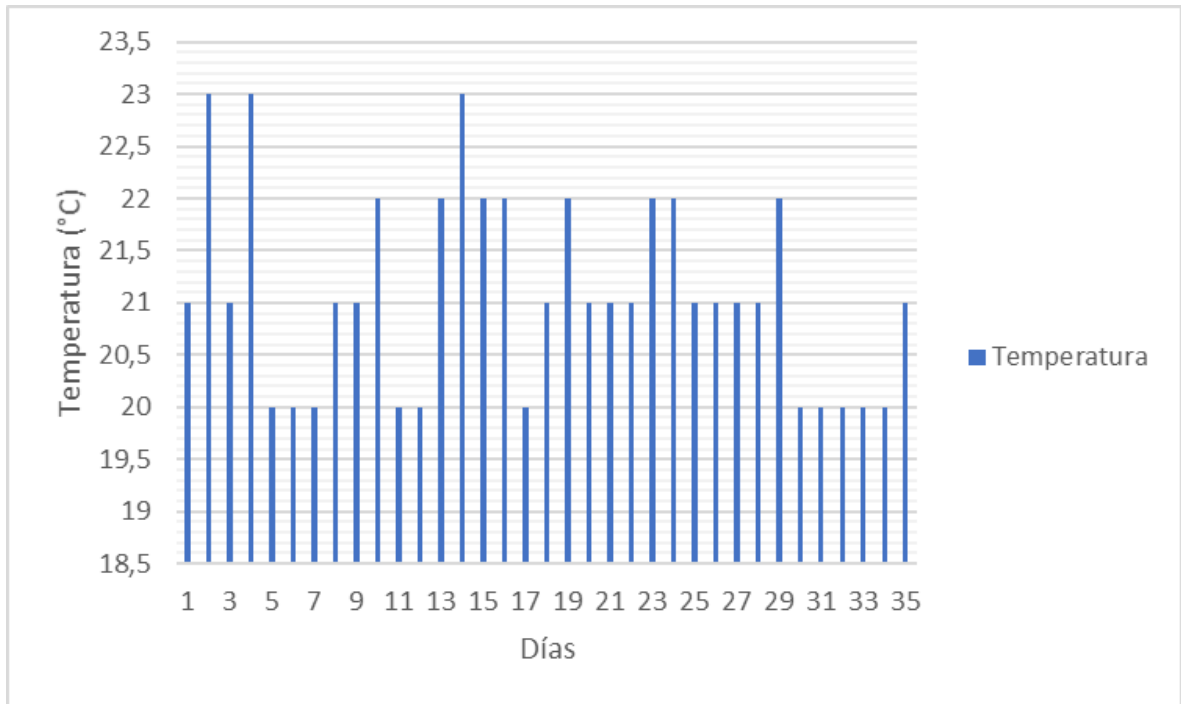


**Fuente:** elaboración propia

**4.3.6 Comportamiento diario de la temperatura.** Para revisar la temperatura ambiente promedio a la que estuvo sometido el biodigestor se realizó una revisión en una base de datos con registros de radares climatológicos para obtener un valor aproximado de la temperatura diaria a la que estuvo sometido el sistema durante los días que se mantuvo en uso.

La base de datos que se menciona es una página web llamada Weather<sup>61</sup> la cual permite buscar un historial de temperaturas que se registraron diaria, mensual o incluso anualmente en cualquier lugar del mundo; el biodigestor estuvo instalado en La vega, Cundinamarca por lo que se buscó la temperatura en esta ciudad durante el mes de mayo que fueron los días en los cuales se realizó el proceso.

**Gráfica 2.** Comportamiento de la temperatura

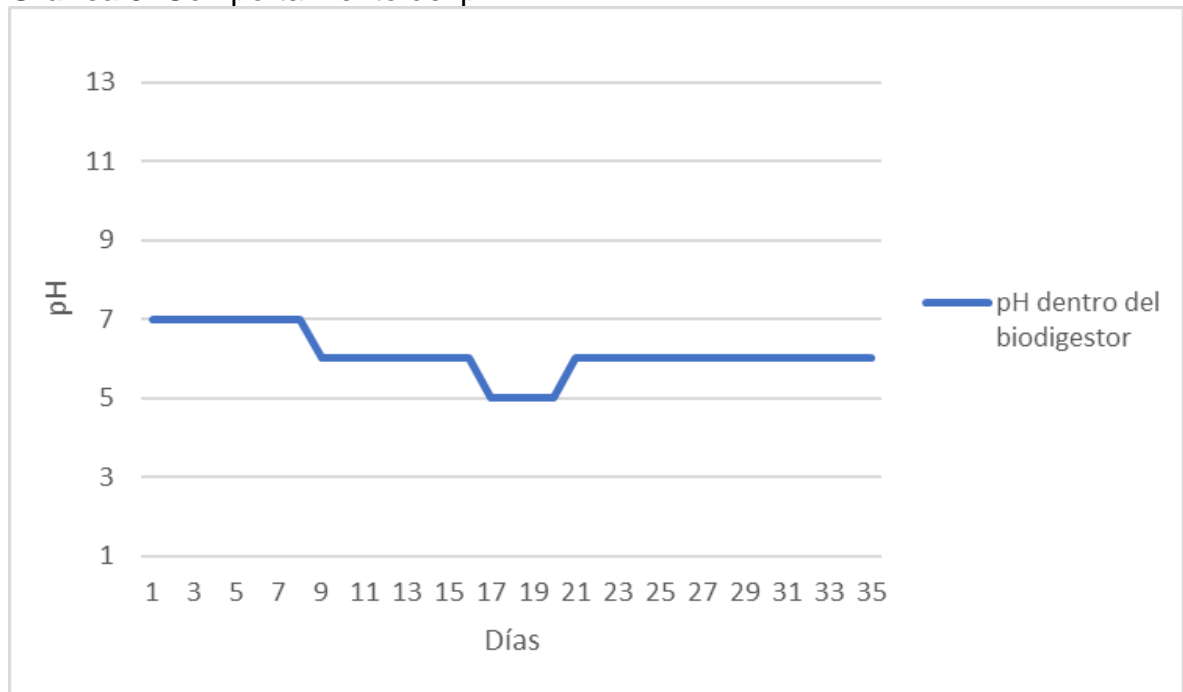


**Fuente:** elaboración propia, basado en: THE WEATHER COMPANY. Weather. [sitio WEB]. Atlanta: The weather channel. [Consultado 7, junio, 2020]. Disponible en: <https://weather.com/es-CO/tiempo/mensual//d2d29e4ba425015ee5ae6841e7e9ff427e42e93df7e43dd1024917b06691c180>

**4.3.7 Comportamiento del pH.** Para medir el pH se utilizaron tiras de papel universal que se sumergían en una muestra del contenido que posee el biodigestor extraída por medio de la salida integrada al prototipo controlando que la cantidad del líquido retirado sea mínima para no desperdiciar. La toma de datos se realizó cada 2 días y los resultados se presentan en la gráfica 3.

<sup>61</sup> THE WEATHER COMPANY. Weather. [sitio WEB]. Atlanta: The weather channel. [Consultado 7, junio, 2020]. Disponible en: <https://weather.com/es-CO/tiempo/mensual//d2d29e4ba425015ee5ae6841e7e9ff427e42e93df7e43dd1024917b06691c180>

**Gráfica 3.** Comportamiento del pH



**Fuente:** elaboración propia

Como se puede observar en la Gráfica 3 el pH de la mezcla dentro del biodigestor inicialmente ingreso en un rango de 7 mantuvo unas pequeñas variaciones disminuyendo su pH hasta finalmente hacia los 21 días de iniciado el proceso se elevó el pH terminando en un valor cercano a 6 asegurando con esto que se presentó un rango de pH en el medio el cual permitió el desarrollo de las bacterias involucradas en la descomposición de los desechos orgánicos alimentados.

Se asegura esto basándose en experiencias previas, Parra Orobio, Brayan Alexis, *et al.*<sup>62</sup> realizan un estudio de la influencia del pH en la digestión anaerobia en el cual “se evidenció que los pH ácidos correspondientes a 5,5 y 6,0 unidades presentaron la menor producción de metano, del orden de 70,0 y 71,0 mLCH<sub>4</sub>\*gSV-1, respectivamente”<sup>63</sup>, del resultado de dicho estudio podríamos concluir que la producción de biogás para el prototipo construido será baja debido al bajo valor de pH que presento la mezcla dentro del biodigestor.

<sup>62</sup> PARRA OROBIO, Brayan Alexis, et al. Influencia del pH sobre la digestión anaerobia de biorresiduos de origen municipal. [en línea]. Bogotá D.C.: 2014. [Consultado 21, agosto, 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n2/v17n2a27.pdf>

<sup>63</sup> *Ibid.*, p. 1.

#### 4.4 DISEÑO ESPERADO DEL BIODIGESTOR A ESCALA REAL

Para obtener el valor aproximado de la carga diaria que será alimentada al biodigestor, se hace un promedio de la cantidad de heces caninas recogidas durante 7 días.

**Tabla 6.** Promedio de la cantidad de materia orgánica producida durante 7 días

	1	2	3	4	5	6	7
<b>Cantidad (g)</b>	23545	23666	23854	23420	23350	23960	23630
			<b>Promedio (g):</b>	23632			

**Fuente:** elaboración propia

**4.4.1 Propuesta biodigestor de cúpula fija.** Es oportuno mencionar una vez más que este cálculo matemático está basado en experiencias previas de CAMPOS CUNÍ, Bernardo <sup>64</sup> quien propone este procedimiento para dimensionar un biodigestor tipo chino o de cúpula fija según la cantidad de desechos a alimentar.

#### Cálculos del volumen total

$$V_d = \left( \frac{23632 \text{ g}}{921,838123 \text{ g/L}} + \left( 3 * \left( \frac{23632 \text{ g}}{921,838123 \text{ g/L}} \right) \right) \right) * 35 = 3589,025 \text{ L}$$

$$V_d = 3589,025 \text{ L} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 3,589 \text{ m}^3$$

#### Cálculos del volumen cámara de fermentación

$$V_{cf} = 3,589 \text{ m}^3 * (0,75 \sim 0,80)$$

$$V_{cf} = (2,692 \sim 2,871) \text{ m}^3$$

---

<sup>64</sup> CAMPOS CUNÍ. Op. Cit. p.38.

## Cálculos del volumen cúpula

$$V_c = 3,589 \text{ m}^3 * (0,20 \sim 0,25)$$

$$V_c = (0,718 \sim 0,897) \text{ m}^3$$

## Volumen total esperado

$$V_d = V_c + V_{cf}$$

$$V_d = \left( \frac{2,692 + 2,871}{2} \right) + \left( \frac{0,718 + 0,897}{2} \right) = 3,589 \text{ m}^3$$

En cuanto al valor “X” asumido, para definir si era apropiado o no, se decide hacer el ejercicio con el tamaño de la cámara de fermentación del 75% del biodigestor y con el de 80% del total del tamaño del biodigestor. Como tal el valor correcto de “X” será aquel que dará el valor del volumen total del biodigestor más cercano al ya estimado, para esto, mediante la Ecuación 18 se calcula el volumen de la cúpula y este será sumado al respectivo valor de la cámara de fermentación ya sea del 75 o del 80% del volumen total. La Ecuación 18. No es mas que el volumen total calculado del biodigestor teniendo en cuenta la suma del volumen de la cúpula y de la cámara de fermentación, sabiendo que ambas partes del biodigestor tienen el mismo diámetro. Es por esto por lo que el valor de “X” a utilizar será el que nos de un valor de 3,589 en esta fórmula.

En pocas palabras “X” representa la relación entre el diámetro y la altura de la cámara de la cámara de fermentación, que es además es el valor que nos permite empezar el cálculo matemático pues tanto la altura como el diámetro son incógnitas por buscar, con esto se logra verificar cual es el valor de esta relación que se adapta a la cantidad alimento ingresado al biodigestor.

**Tabla 7.** Parámetros de diseño biodigestor cúpula fija. Cámara de fermentación del 75%

Volumen biodigestor (m <sup>3</sup> )	Volumen cámara de fermentación (m <sup>3</sup> )	X (Relación D/h de la cámara de fermentación)	Volumen cúpula (m <sup>3</sup> )
3,587	2,692	2,54	0,895
3,593	2,692	2,55	0,901

Fuente: elaboración propia



La relación entre el diámetro y la altura de una cámara de fermentación del 75% del total del volumen más optima esta entre 2,54 y 2,55 esto se ve evidenciado en la tabla 6.

**Tabla 8.** Parámetros de diseño biodigestor cúpula fija. Cámara de fermentación del 80%

Volumen biodigestor (m <sup>3</sup> )	Volumen cámara de fermentación (m <sup>3</sup> )	X (Relación D/h de la cámara de fermentación)	Volumen cúpula (m <sup>3</sup> )
3,586	2,871	2,15	0,715
3,592	2,871	2,16	0,721

**Fuente:** elaboración propia

La relación entre el diámetro y la altura de una cámara de fermentación del 80% del total del volumen más optima esta entre 2,15 y 2,16 esto se ve evidenciado en la tabla 7.

**4.4.1.1 Diseño red de transporte de gas.** Los cálculos para el tamaño del biodigestor a escala piloto quedan incompletos si no se tiene en cuenta la construcción adicional de un sistema de tuberías por donde el gas de una calidad mínima producido será transportado de manera segura hasta el lugar donde sea requerido, por lo que se deberá utilizar una serie de accesorios los cuales serán mencionados junto con su función.

**Accesorios para monitorear.** Un accesorio de este tipo será necesario para poder verificar y controlar la cantidad de biogás que se esté generando dentro del biodigestor.

- **Manómetro.** Se propone el uso de un manómetro con el fin de obtener datos reales de la presión permitiendo con esto observar la obtención de biogás.

**Accesorios para filtrar.** Estos serán necesarios para asegurar una calidad mínima del biogás producido dentro del biodigestor.

- **Filtro de ácido sulfhídrico.** Al igual que en el prototipo ya construido será necesario un filtro para evitar trazas de este acido en el biogás listo para utilizar,

para este se propone añadir virutas de hierro o esponjillas “bombril”<sup>65</sup> dentro de la tubería por donde será transportado el gas generado.

- **Tapón roscado.** Este accesorio se propone como solución para evitar posibles obstrucciones dentro del sistema de tuberías, esto se pueda dar gracias a la condensación de una pequeña cantidad de agua que se evapora en el proceso de la digestión anaerobia dentro del biodigestor; el uso de este será en la parte baja de la tubería permitiendo así la acumulación y posterior eliminación del agua.

**Accesorios para controlar.** Estos accesorios son necesarios para asegurar un paso controlado del biogás por dentro de las tuberías.

- **Válvula de bola.** Este accesorio es indispensable no solo para la salida del biogás generado sino también para la salida del biol obtenido mediante la digestión anaerobia. El uso de válvulas de bola dentro del sistema de salida del gas permitirá bloquear o permitir el paso de este cuando sea requerido.
- **Válvula de seguridad.** Una válvula de seguridad es más que necesaria debido a que la alimentación del biodigestor será constante por lo que la presión al interior del biodigestor será mayor a medida que pase el tiempo, aumentado así el riesgo de daño o ruptura de la cúpula del biodigestor.

La válvula de seguridad está compuesta por una tee conectada a la red de biogás, un tubo PVC de ½” soldado a la tee y un recipiente transparente para mantener un nivel de agua previamente estipulado. El tubo de PVC está sumergido en el agua del recipiente, a medida que la presión del gas aumenta, el nivel del agua dentro del tubo va bajando por que el gas empuja el agua. Entonces, cuando la presión empuje el agua por fuera del tubo, el gas se escapará de la red de biogás, manteniendo así, una presión constante<sup>66</sup>.

Posterior a todo lo ya mencionado cabe adicionar en la Ilustración 9. Un esquema de cómo será el proceso de manejo del biodigestor. Se recomienda “realizar un pretratamiento a los residuos provenientes para reducir el tamaño de partícula”<sup>67</sup>.

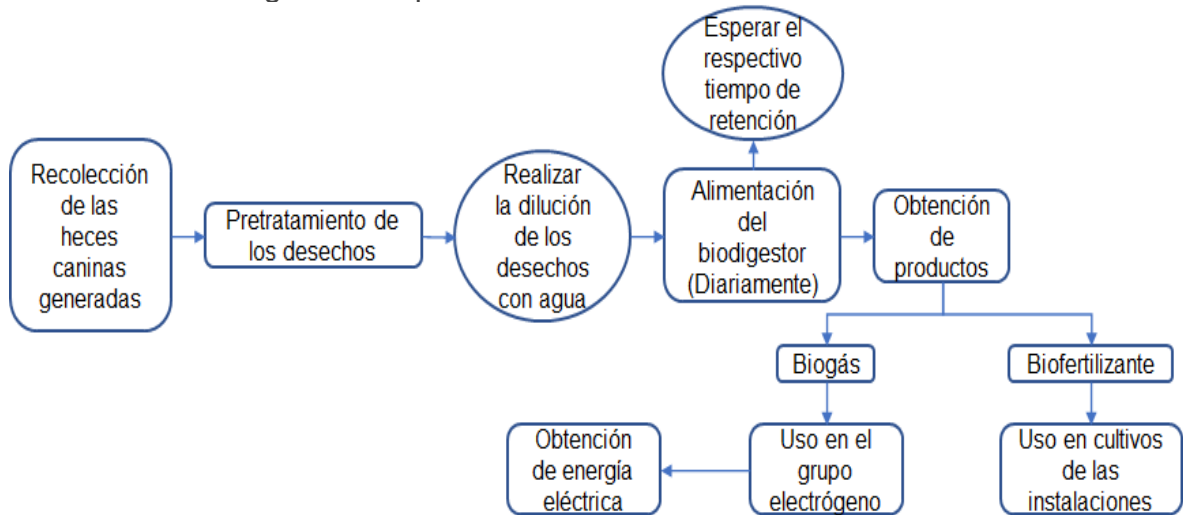
---

<sup>65</sup> RODRÍGUEZ PACHÓN. Op. Cit. p.50.

<sup>66</sup> *Ibíd.*, p.51.

<sup>67</sup> RIVAS SOLANO. Op. Cit. p.42.

**Ilustración 9.** Diagrama del proceso



**Fuente:** elaboración propia

Como pretratamiento de los desechos se tiene la disminución del tamaño de partícula para evitar posibles obstrucciones en el tubo de entrada de la alimentación y contribuir en algo a agilizar el proceso de descomposición de estos por parte de los microorganismos. Sería recomendable manejar una “reducción de tamaño de los desechos sólidos a partículas de 10 a 40 mm es necesaria para lograr una mejor accesibilidad biológica y con mejor flujo de sustrato en el proceso”<sup>68</sup>.

#### 4.4.2 Estimación de la obtención de productos.

**4.4.2.1 Estimación de la producción de biomasa por parte de la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA.** La cantidad de materia orgánica producida se obtendrá a partir del promedio en la medición de la cantidad producida día a día durante una semana.

La información presentada en la Tabla 7 nos dice que la producción diaria de heces caninas promedio es de 23,632 kg, por lo que, si esta se mantiene constante a lo largo de un año, la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA produciría  $8,626 \text{ TON/año}$ .

**4.4.2.2 Estimación de la producción de biofertilizante o biol.** Con el valor de la densidad de las heces caninas ya calculadas en la Etapa 4.1.1.1 y la cantidad de materia orgánica diaria producida dentro de la empresa mostrada en la Tabla 7 se puede calcular la cantidad de materia orgánica húmeda teórica que producirá la

<sup>68</sup> *Ibíd.*, p.43.

empresa diariamente, además claro de saber la cantidad de agua que ingreso con los desechos orgánicos con el fin de generar un correcto medio para los microorganismos dentro del biodigestor.

$$MOH = \frac{23,632 \text{ kg}}{921,838123 \text{ kg/m}^3} + \left( 3 * \frac{23,632 \text{ kg}}{921,838123 \text{ kg/m}^3} \right)$$

$$MOH = 0,10254 \text{ m}^3 = 102,543 \text{ L}$$

**4.4.2.3 Estimación de la producción de biogás.** Del prototipo construido en este trabajo se llenó una bolsa de 8 L de gas a partir de la digestión anaerobia de 8,64 kg de desechos orgánicos alimentados a este en una proporción 3:1 de agua y heces respectivamente. De lo anterior podemos concluir que 1 kg de desechos orgánicos generados en la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA se produce un litro de gas.

$$\frac{8 \text{ L} * 1 \text{ kg}}{8,64 \text{ kg}} = 0,96 \text{ L de biogás por kg de desechos caninos alimentados}$$

Para calcular la cantidad de gas que en teoría se generara a partir de los desechos orgánicos se debe tener en cuenta cuanto se produce de desechos orgánicos generados por los perros diariamente dentro de la empresa:

$$Biogás = 23,632 \text{ kg} * 0,926 \text{ L} = 21,883 \text{ L}$$

Lo anterior muestra la cantidad de biogás que se generaría diariamente, sin embargo, es obligatorio tener en cuenta que el tiempo de retención manejado será de 35 días, por lo que la cantidad de biogás generado por el biodigestor durante ese tiempo será:

$$Biogás_{max} = 21,883 \text{ L} * 35 \text{ días} = 765,913 \text{ L}$$

## 4.5 RESULTADOS DE LA CANTIDAD DE PRODUCTOS OBTENIDOS A PARTIR DEL PROTOTIPO DE BIODIGESTOR CONSTRUIDO

El prototipo de biodigestor construido y diseñado en este trabajo permite evidenciar la producción tanto de biogás como de biofertilizante a partir de las heces caninas producidas por la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA.

### 4.5.1 Biogás.

**4.5.1.1 Prueba de llama.** Como se mencionó en la metodología: “La prueba de llama no es más que la “quema de biogás” esto con el fin de verificar la producción de este mediante la digestión anaerobia de heces caninas. Si el gas quema con una llama azulada y de buena consistencia, se puede iniciar el uso normal del biogás”<sup>69</sup> asegurando así un porcentaje mínimo de metano (55%).

“Una vez en combustión el biogás debe apreciarse la llama color azul, lo que nos indicará la existencia de metano en el biogás producido debido a que la combustión con exceso de oxígeno es en general completa y si es lo contrario es un gas de mala calidad”<sup>70</sup>.

“El biogás, como se ha mencionado anteriormente, está compuesto en su mayoría por CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>. Para tener una prueba de llama positiva el biogás debe contener como mínimo un 55% de CH<sub>4</sub> (gas combustible) de lo contrario no se presentaría llama”<sup>71</sup>.

Para realizar este análisis se le acoplo un encendedor a la bolsa para gases del prototipo de biodigestor realizado. Es preferible realizar esta prueba en un lugar con poca luz para facilitar la confirmación visual de la coloración de la llama.

---

<sup>69</sup> VARNERO MORENO. Op. Cit. p.111.

<sup>70</sup> TORUÑO SOTELO, Lester Alí, et. al. Estudio de producción de biogás por medio del proceso de digestión anaerobia no controlada a partir de diversos sustratos orgánicos. [en línea]. Investigación. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México: 2016. [Consultado 3, agosto, 2020]. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/5547/1/17847.pdf>. p.7.

<sup>71</sup> RODRÍGUEZ PACHÓN. Op. Cit. p.84.

**Imagen 17.** Prueba de llama



**Fuente:** elaboración propia

El resultado como se puede evidenciar en la Imagen 18 muestra una llama de coloración azul, con esto podemos decir que el biogás obtenido presento una composición de mínimo 55% de gas metano.

#### **4.5.2 Biol o biofertilizante.**

**4.5.2.1 Caracterización.** Para la caracterización del producto liquido obtenido mediante la digestión anaerobia ocurrida dentro del biodigestor se realizó un análisis parcial de solución nutritiva en el Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano y esto debido a que como se ha mencionado este líquido está catalogado como un biofertilizante, los resultados se presentarán en la Tabla 10.

**Tabla 9.** Caracterización (Biol)

<b>Cationes (mg * litro<sup>-1</sup> o ppm)</b>				
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>
428,3	235,1	375,3	259,9	97,5
30,56	6,03	18,77	21,66	4,24
0,428	0,235	0,375	0,260	0,098
<b>Aniones (mg * litro<sup>-1</sup> o ppm)</b>				
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>
83,0	296,0	139,7	193,8	3123,7
5,93	9,55	8,73	5,46	51,21
0,083	0,296	0,140	0,194	

<b>pH</b>	5,9
<b>C.E. (dS/m)</b>	0,16

**Fuente:** elaboración propia en: Centro de Bio-Sistemas, Universidad Jorge Tadeo Lozano

Para ampliar la información de la Tabla 10. Remitirse directamente al Anexo C. Al final del documento.

Como tal este estudio se mandó a realizar con el fin de ampliar de manera clara la tabla de contenido del biofertilizante generado, “Antes de usar el bio-abono se debe ampliar la información según el cultivo que se tenga, debido a que para cada cultivo son distintos los requerimientos del mismo”<sup>72</sup>.

Los abonos orgánicos tienen altos contenidos de nitrógeno mineral y cantidades significativas de otros elementos nutritivos para las plantas. Dependiendo del nivel aplicado, originan un aumento en los contenidos de materia orgánica del suelo, en la capacidad de retención de humedad y en el pH, también aumentan el potasio disponible, y el calcio y el magnesio. En cuanto a las propiedades físicas, mejoran la infiltración de agua, la estructura del suelo y la conductividad hidráulica; disminuyen la densidad aparente y la tasa de evaporación, así como promueven un mejor estado fitosanitario de las plantas<sup>73</sup>.

<sup>72</sup> HERNÁNDEZ RAMÍREZ, Bibiana Andrea y RAMÍREZ SAAVEDRA, Natalia. Especificación de las condiciones de operación de un biodigestor usando como materia prima estiércol bovino y equino en la finca “Villa Italia” ubicada en el municipio de paipa (Boyacá). [en línea]. Tesis de grado. Fundación universidad de América, Bogotá D.C.:2019. [Consultado 7, abril, 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7385/1/6141228-2019-1-IQ.pdf>. p.77.

<sup>73</sup> RAMOS AGÜERO, David y TERRY ALFONSO, Elein. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Cultivos tropicales. 2014, Vol. 35, Nro. 4, pp. 52-59 ISSN 0258-5936. p.53.

**4.5.2.2 Punto de ebullición.** Para determinar el punto de ebullición se pusieron 300 mL de biol en un recipiente, posteriormente este se calentó con el fin de llevar el líquido en su interior al punto de ebullición, a continuación, se procedió a tomar la temperatura al momento de iniciar el burbujeo con un termómetro de punzón.

$$T_E = 92,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**Imagen 18.** Determinación temperatura de ebullición



**Fuente:** elaboración propia

**4.5.2.3 Densidad.** Con el fin de hallar el valor de la densidad del biol obtenido a partir de los desechos orgánicos generados en la empresa se utilizó un picnómetro el cual se pesó vacío, posteriormente se llenó con el biol para así obtener la masa de este lleno del biofertilizante. Como tal, para obtener este valor se usará la Ecuación 23.

**Imagen 19.** Determinación densidad



**Fuente:** elaboración propia

$$\rho = \left( \frac{43,83 \text{ g} - 18,63 \text{ g}}{25 \text{ mL}} \right) = 1,008 \text{ g/mL}$$



Tanto la temperatura de ebullición (92,6 °C) como la densidad (1,008  $g/mL$ ) son valores normales a los que se presentan en este tipo de fertilizante. Rodríguez y García<sup>74</sup> obtienen valores similares para estas magnitudes (92 °C y 1,00269  $g/mL$  respectivamente) teniendo como referencia el biofertilizante obtenido por medio de un biodigestor de estructura flexible.

---

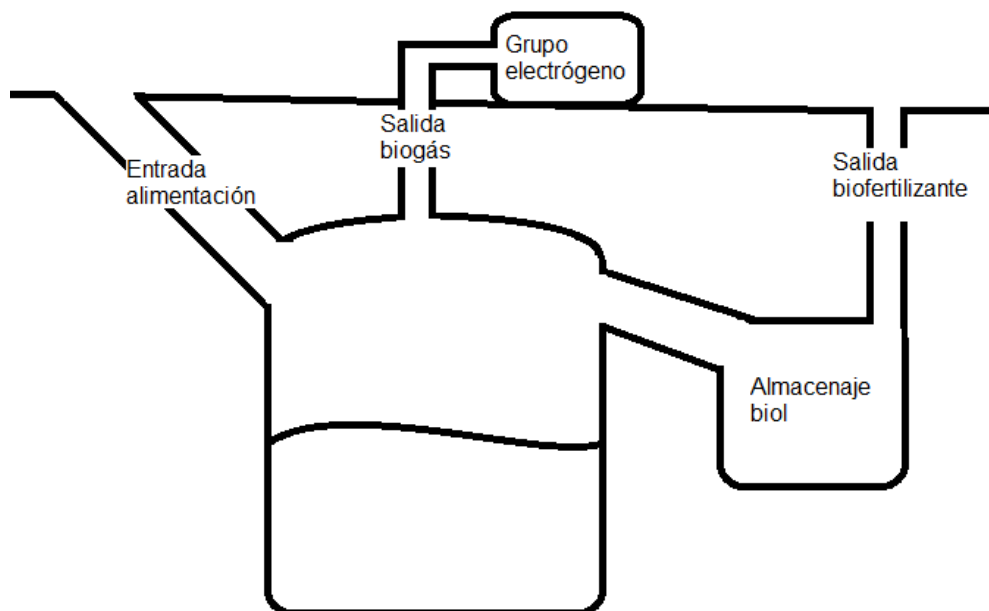
<sup>74</sup> RODRÍGUEZ PACHÓN. Op. Cit. p.87.

## 5. ANÁLISIS DE COSTOS

Se requiere de un análisis de costos para determinar la inversión necesaria a la hora de instalar el biodigestor a escala planta piloto en la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA. Para esto se ha de realizar un estudio financiero de un biodigestor tipo chino o de cúpula fija con el dimensionamiento según la cantidad de desechos orgánicos generados por los animales dentro de la empresa.

La Ilustración 10. Nos muestra un esquema de la estructura esperada para el biodigestor propuesto en este trabajo y para el cual se le realizó el respectivo análisis de costos.

**Ilustración 10.** Esquema biodigestor propuesto



**Fuente:** elaboración propia

### 5.1 COSTOS

“Entendemos por costos todas las erogaciones en las que se incurrió para producir determinado bien: mano de obra, materia prima e insumos, suelen ser los principales costos en cualquier proyecto”<sup>75</sup>. Como tal esta parte del análisis

<sup>75</sup>RODRÍGUEZ URIBE, Carlos Alberto. Estudio de factibilidad para la implementación de biodigestores para el procesamiento de los residuos sólidos orgánicos en granjas avícolas. [en línea]. Trabajo de grado. Universidad

financiero está enfocada a mostrar la estructura de costos de la construcción e instalación de un biodigestor de cúpula fija.

**Tabla 10.** Estructura de costos propuesta biodigestor cúpula fija

Insumos/Referencia	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
<b>Actividades preliminares</b>				
Replanteo	m <sup>2</sup>	9	\$ 2.239	\$ 20.151
Excavación mecánica	m <sup>3</sup>	3,589	\$ 28.424	\$ 102.014
Seguridad industrial (Dotación obreros)	GLB	1	\$ 500.000	\$ 500.000
Herramientas	GLB	1	\$ 500.000	\$ 500.000
				\$ 1.122.165
<b>Estructura biodigestor</b>				
Muro en ladrillo macizo prensado 12 cm	m <sup>2</sup>	26,767	\$ 69.319	\$ 1.855.463
Concreto 1:2:2	m <sup>3</sup>	3,589	\$ 397.857	\$ 1.427.919
Impermeabilización integral mortero SIKA	m <sup>2</sup>	26,767	\$ 4.363	\$ 116.785
				\$ 3.400.166
<b>Entrada de alimentación</b>				
Accesorio PVCS 4"	un	5	\$ 24.708	\$ 123.540
Tubería sanitaria PVCS 4"	m	2	\$ 40.210	\$ 80.420
				\$ 203.960
<b>Salida y almacenaje biol</b>				
Accesorios para drenaje 4"	un	3	\$ 31.224	\$ 93.672
Tubería para drenaje 4"	m	1	\$ 42.046	\$ 42.046
Tanque subterráneo	m <sup>3</sup>	1	\$ 652.918	\$ 652.918
Impermeabilización integral mortero SIKA	m <sup>2</sup>	9	\$ 4.363	\$ 39.267
				\$ 827.903
<b>Salida biogás</b>				

del Rosario, Bogotá D.C.: 2016. [Consultado 23, junio, 2020]. Disponible en: <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/12588/1098708047-2016.pdf?sequence=1>. p.38.

Accesorio galvanizado 1/2"	un	4	\$ 18.673	\$ 74.692
Adaptador macho galvanizado 1/2"	un	2	\$ 13.712	\$ 27.424
Tubería acero galvanizada 1/2"	m	15	\$ 16.699	\$ 250.485
Válvula de bola gas 1/2"	un	4	\$ 22.353	\$ 89.412
Manómetro	un	1	\$ 30.000	\$ 30.000
Tee galvanizada 1/2"	un	2	\$ 4.477	\$ 8.954
				\$ 480.967
<b>Opcional</b>				
Grupo electrógeno	GLB	1	\$ 5.500.000	\$ 5.500.000
<b>Costo biodigestor</b>				
				\$ 11.535.162
<b>Inversión diferida</b>				
				\$ 11.000.000
<b>Total</b>				
				\$ 22.535.162

**Fuente:** elaboración propia

Precios tomados de la revista Construdata. Análisis Resumidos Generales. Edición 174 (\*)<sup>76</sup>.

Los resultados de la tabla anterior nos dejan como evidencia que a partir de una inversión de \$ 22.535.162 se asegura la construcción, instalación y puesta en marcha de un biodigestor de cúpula fija según los requerimientos de la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA. “La inversión diferida representa el 50% del total dado el alto costo de diseño y mantenimiento por parte de un equipo técnico”<sup>77</sup>.

“Un grupo electrógeno se refiere a un equipo que tiene como función convertir la llamada capacidad calorífica en energía mecánica y luego en energía eléctrica. De forma sucinta, consiste en un motor y un alternador que están acoplados e insertan en una base con otros elementos”<sup>78</sup>. Como dice en la tabla este es opcional y esto es porque depende del requerimiento energético que se tenga en las instalaciones de la empresa, es decir, el uso de este será necesario si se requiere de energía

<sup>76</sup> (\*) CONSTRUDATA. Información especial. Mano de obra. Análisis resumidos generales. 2015, Vol. 1, Nro. 1, pp. 199-254. ISSN 0121-5663

<sup>77</sup> RODRÍGUEZ URIBE. Op. Cit. p.40.

<sup>78</sup> GRUPEL S.A. Grupel.eu. [sitio WEB]. Vagos: GRUPEL S.A. – energy everywhere. [Consultado 23, junio, 2020]. Disponible en: <https://grupel.eu/es/grupel-es/grupo-electrogeno/>

eléctrica para su uso dentro de la empresa, si esto no es así, entonces no se adiciona el grupo electrógeno al biodigestor teniendo así la posibilidad de obtener el gas directamente.

Como se puede observar en la tabla, la construcción de la estructura del biodigestor, así como todas las actividades preliminares son la mayor parte del costo, siendo de \$ 3.400.166 y \$ 1.122.165 respectivamente y esto puede ser en gran medida a la cantidad de ladrillo que se usara para las paredes del biodigestor junto con el pago de mano de obra y dotación de los obreros encargados de la obra.

Por otro lado, tanto las salidas de los productos como la entrada de alimentación son las partes menos costosas de toda la construcción del biodigestor con un total de \$ 1.512.830, que comparado con el total del costo de la construcción e instalación del biodigestor sin tener en cuenta la inversión diferida representa menos del 14% de la inversión total del proyecto.

## **5.2 INVERSIÓN DIFERIDA**

Como inversión diferida se pone un valor estimado de \$ 11.000.000 debido a lo mencionado en la etapa anterior respecto a que representa un 50% aproximadamente del valor total. Esta inversión es necesaria debido a que se estamos frente a un proceso relativamente complejo, este tipo de biodigestores requiere de un grupo técnico calificado quien se encargará no solo del diseño y construcción de este, sino que también estará encargado del mantenimiento.

## 6. CONCLUSIONES

- Según la experimentación realizada se determinaron características básicas de las heces caninas generadas en la empresa CRIADERO PANDORA COLOMBIA (relación C/N, contenido de sólidos y una aproximación del tiempo de retención) necesarias para proponer de manera acertada la proporción de alimento más eficaz que favorece la digestión de los desechos orgánicos mediante el desarrollo de una pre-experimentación, es la de 0,75 de agua y 0,25 de los desechos orgánicos.
- Se construyó un prototipo del tipo de biodigestor seleccionado por la empresa para determinar su viabilidad y eficiencia en cuanto a la obtención de biogás y biol como productos de la digestión anaerobia de los desechos orgánicos generados dentro del mismo; el gas obtenido se sometió a una prueba para confirmar una composición mínima del 55% de metano, de igual manera al biofertilizante se le realizaron pruebas con el fin de mostrar su composición equilibrada de nutrientes y minerales.
- Teniendo en cuenta que la empresa actualmente está generando cerca de 24 kg de heces caninas además de que esta misma selecciono el tipo de biodigestor a dimensionar y utilizar en este trabajo, se debe manejar un biodigestor de aproximadamente 3,6 m<sup>3</sup> de volumen con el fin de aprovechar eficientemente todos los desechos generados por las actividades realizadas dentro de la empresa. De este volumen el 20 o 25% será destinado para la acumulación momentánea del biogás generado con el fin de evitar daños en el sistema.
- El análisis de costos de la propuesta indico que la construcción e instalación de un biodigestor de tipo cúpula fija dentro de la empresa tendría un costo de \$ 22.535.162 teniendo en cuenta la cantidad de desechos que le serán alimentados diariamente y la instalación de un grupo electrógeno con el fin de obtener energía eléctrica a partir del gas generado, además de una inversión diferida que corresponde al grupo técnico encargado de la construcción, instalación y mantenimiento del biodigestor.

## 7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda controlar constantemente el pH de la mezcla contenida dentro del biodigestor, con esto asegurar que el pH se mantenga en un rango óptimo que permita el correcto desarrollo de las bacterias encargadas de este proceso.
- Es recomendable adicionar un control de temperatura con el fin de supervisar constantemente la temperatura que mantiene el biodigestor, esto es importante pues variaciones bruscas pueden causar una deficiencia en el desarrollo de la población bacteriana, con esto afectar la obtención de biogás.
- Es importante evitar las fugas de gas puesto que el gas generado es un gas inflamable por ende podría ser causante de algún accidente, por lo que es recomendable revisar periódicamente el estado de la manguera encargada del transporte de este, además se recomienda asegurarse que la manguera que transportara el gas a su destino este posicionada en algún lugar poco transcurrido por personas, animales o cualquier objeto que pueda generar alguna fuerza sobre esta.
- Es bien sabido que el biofertilizante obtenido tiene unas excelentes propiedades para los cultivos, sin embargo, se recomienda ampliar la información de este según el cultivo en el que se vaya a utilizar.
- Puede ser recomendable la adición de otros desechos como alimentación al biodigestor como lo pueden ser residuos de comida siempre y cuando se garantice la misma o mayor cantidad de metano.

## BIBLIOGRAFÍA

ABARZA VILLALOBOS, Fabián Ignacio. Efecto de las heces caninas sobre la producción de biogás. [en línea]. Tesis de grado. Universidad de Chile, Santiago de Chile: 2014. [Consultado 20, abril, 2020]. Disponible en: [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/172781/Efecto\\_de\\_las\\_heces\\_caninas\\_.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/172781/Efecto_de_las_heces_caninas_.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

ACUÑA GONZÁLEZ, Paola Andrea, *et al.* Aislamiento e identificación de microorganismos del género methanococcus y methanobacterium de cuatro fuentes de bogotá d.c. 2008, Vol. 6, Nro. 10, pp. 156-161. ISSN 1794-2479

AGUILAR ÁLVAREZ, Gustavo. Control de temperatura y pH aplicado en biodigestores modulares de estructura flexible con reciclado de lodos a pequeña escala. [en línea]. Tesis de grado. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro: 2013. [Consultado 22, abril, 2020]. Disponible en: <http://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/904/1/RI000009.PDF>

BITTON, Gabriel. Wastewater microbiology. Florida: Wiley, 2005. 742 p. ISBN 978-0-471-71791-1

BLANCO BETANCOURT, Dairon, *et al.* Manual de diseño, montaje y operación de digestores plásticos de bajo costo. Una alternativa para Cuba. Perico: Estación experimental de pastos y forrajes indio Hatuey, 2013. 28 p. ISBN 978-959-7138-16-7

BOTERO, Raúl y PRESTON, Thomas. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. [en línea]. Costa Rica: 1987. [Consultado 13, febrero, 2020]. Disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/04-biodigestores.pdf>

BRISEÑO ARCINIEGA, Laura Angélica. Producción de biogás a través de la codigestión de residuos sólidos y semisólidos: hacia una planta centralizada de biogás para la generación de energía. [en línea]. Tesis de grado. Centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica, S.C., Santiago de Querétaro: 2017. [consultado 3, agosto, 2020]. Disponible en: <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/186/1/Producci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s%20a%20traves%20de%20la%20codigesti%C3%B3n%20de%20residuos%20s%C3%B3lidos%20y%20semis%C3%B3lidos%20hacia%20una%20planta%20centralizada%20de%20biog%C3%A1s%20para%20la%20generaci%C3%B3n%20de%20energ%C3%ADa..pdf>

CAMACHO, Ricardo; VILLADA, Héctor y HOYOS, José. Evaluación del estiércol de vaca como inóculo en la digestión anaerobia termófila de residuos sólidos urbanos. *Evaluation of cow manure as inoculum in the thermophilic anaerobic digestion of municipal solid waste.* 2017, Vol. 28, Nro. 3. ISSN 0718-0764



CAMPOS CUNÍ, Bernardo. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo campesino. *Revista ciencias técnicas agropecuarias*. 2011, Vol. 20, Nro. 2, pp. 37-41. ISSN 1010-2760

CAMPOS POZUELO, Elena, *et al.* Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas. [en línea]. Cataluña: 2004. [Consultado 13, junio, 2020]. Disponible en: [http://www.arc-cat.net/es/altres/purins/guia/pdf/guia\\_dejeccions.pdf](http://www.arc-cat.net/es/altres/purins/guia/pdf/guia_dejeccions.pdf)

CONSTRUDATA. Información especial. Mano de obra. *Análisis resumidos generales*. 2015, Vol. 1, Nro. 1, pp. 199-254. ISSN 0121-5663

CORRALES, Lucia Constanza, *et al.* Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad e la vida en el planeta. *NOVA*. 2015, Vol. 13, Nro. 24, pp. 55-82. ISSN 17942470

DÍAZ-BÁEZ, María Consuelo; ESPITIA VARGAS, Sandra Eliana y MOLINA PÉREZ, Francisco. Digestión anaerobia una aproximación a la tecnología. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2002. 100 p. ISBN 958-701-196-1

EMISION. Estudio de tratamiento gases con SH<sub>2</sub>. [sitio WEB]. Barcelona: Emision [Consultado 20, abril, 2020]. Disponible en: <http://www.emision.com/filtros%20de%20acero.htm>

FRANKO INSTRUMENTACIÓN S.A. Trampa de llama serie 2040. [sitio WEB]. Atizapán: Franko instrumentación S.A. [Consultado 5, mayo, 2020]. Disponible en: <https://franko.com.mx/Pdfs/2040.pdf>

GRUPEL S.A. Grupel.eu. [sitio WEB]. Vagos: GRUPEL S.A. – energy everywhere. [Consultado 23, junio, 2020]. Disponible en: <https://grupel.eu/es/grupel-es/grupo-electrogeno/>

GRUPO ICE. Diseño de biodigestores y producción de electricidad. [sitio WEB]. San José: infoagro. [Consultado 23, abril, 2020]. Disponible en: <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/produccion%20sostenible/Curso%20biodigestores.pdf>

HERNÁNDEZ RAMÍREZ, Bibiana Andrea y RAMÍREZ SAAVEDRA, Natalia. Especificación de las condiciones de operación de un biodigestor usando como materia prima estiércol bovino y equino en la finca “Villa Italia” ubicada en el municipio de paipa (Boyacá). [en línea]. Tesis de grado. Fundación universidad de América, Bogotá D.C.:2019. [Consultado 7, abril, 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7385/1/6141228-2019-1-IQ.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C. El instituto, 2018 ISBN 9789588585673 153 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Fertilizantes líquidos determinación de la densidad. NTC 4685. Bogotá D.C.: ICONTEC, 1999, 381 p.

INTERTEK. Análisis de biocombustibles. Análisis de biogás. [sitio WEB]. Bilbao: Intertek. [Consultado 5, mayo,2020]. Disponible en: [https://www.intertek.es/uploadedFiles/ektrondev-esintertekcom/Industries/Energy\\_and\\_Commodities/Biofuels/An%C3%A1lisis\\_biog%C3%A1s-low.pdf](https://www.intertek.es/uploadedFiles/ektrondev-esintertekcom/Industries/Energy_and_Commodities/Biofuels/An%C3%A1lisis_biog%C3%A1s-low.pdf)

LORENZO ACOSTA, Yaniris y OBAYA ABREU, Ma. Cristina. La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar*. 2005, Vol. 39, Nro. 1, pp. 35-48. ISSN 0138-6204

LUCAS HERGUEDAS, Ana Isabel y PESO TARANCO, Carlos. Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad. Bloque I. Palencia: ITAGRA-CT, 2020. 216 p. ISBN 978-84-931891-5-0

MARTÍ HERRERO, Jaime. Biodigestores familiares: guía de diseño y manual de instalación. La Paz: GTZ-Energía. Bolivia, 2008. 75 p. ISBN 978-99954-0-339-3

OKOROIGWE, E. C.; IBETO, C. N. y OKPARA, C. G. Comparative study of the potential of dog waste for biogas production. *Trends in applied sciences research*. 2009, Vol. 5, Nro. 1, pp. 71-77. ISSN 1819-3579

OLAYA ARBOLEDA, Yeison. Fundamentos para el diseño de biodigestores. [en línea]. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira: 2009. [Consultado 23, marzo, 2020]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>

PACA TELENCHANO, Fanny Indalicia. Diseño de un biodigestor de “bolsa flexible” con desechos de ganadería, en la comunidad Shobol Llin Llin, 2013. [en línea]. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba: 2013. [Consultado 19, abril, 2020]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/3278/1/236T0087.pdf>

PALOMINO AGUIRRE, Sandra; BLANCO PEDRAZA, Edison y ROBAYO BUSTOS, Diego. Tecnologías apropiadas. En: Granja integral autosuficiente. Bogotá D.C.: Fundación hogares juveniles campesinos Ltda., 2014. 192-209.

PALOMINO AGUIRRE, Sandra. Granja integral autosuficiente: manual. Bogotá D.C.: San Pablo, 2004. 67 p. ISBN 958-8233-14-3

PÉREZ ESPEJO, Rosario. El lado oscuro de la ganadería. *El lado oscuro de la ganadería*. 2008, Vol. 39, Nro. 154, pp. 217-227. ISSN 0301-7036

PONTÓN SIGCHA, Rubén Darío. Diseño de un sistema para la obtención de biol mediante residuos orgánicos generados en el Cantón Joya de los Sachas. [en línea]. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba: 2010.

[Consultado 13, marzo, 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/681/1/96T00133.pdf>

PARADA REINA, Viviana y ARDILA MEDINA, Mary Alejandra. Implementación de un biodigestor para el manejo sanitario de heces caninas potencialmente transmisoras de enfermedades zoonóticas en el refugio animal Dame Vida, en Tenjo, Cundinamarca. [en línea]. Tesis de grado. Universidad de la Salle, Bogotá D.C.: 2016. [Consultado 4, abril, 2020]. Disponible en: [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1219&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1219&context=ing_ambiental_sanitaria)

PARRA OROBIO, Brayan Alexis, *et al.* Influencia del pH sobre la digestión anaerobia de biorresiduos de origen municipal. [en línea]. Bogotá D.C.: 2014. [Consultado 21, agosto, 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n2/v17n2a27.pdf>

RAMOS AGÜERO, David y TERRY ALFONSO, Elein. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos tropicales*. 2014, Vol. 35, Nro. 4, pp. 52-59 ISSN 0258-5936

RIVAS SOLANO, Olga; VARGAS, Margia Faith y GUILLÉN WATSON, Rossy. Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. [en line]. Costa Rica: 2010. [Consultado 3, marzo, 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835857>

RODRÍGUEZ PACHÓN, David Alexander y GARCÍA CEPEDA, Andrés Felipe. Diseño y construcción de un biodigestor para la producción de biogás a partir de heces caninas. [en línea]. Trabajo de grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad Tecnológica, Bogotá D.C.: 2017. [Consultado 22, febrero, 2020]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6949/1/DavidAlexanderRodriguezPach%C3%B3n2017.pdf>

RODRÍGUEZ URIBE, Carlos Alberto. Estudio de factibilidad para la implementación de biodigestores para el procesamiento de los residuos sólidos orgánicos en granjas avícolas. [en línea]. Trabajo de grado. Universidad del Rosario, Bogotá D.C.: 2016. [Consultado 23, junio, 2020]. Disponible en: <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/12588/1098708047-2016.pdf?sequence=1>

ROTOPLAST. Rotoplast. [sitio WEB]. Colombia: WEBCreativa. [Consultado 25, febrero, 2020]. Disponible en: <http://www.rotoplast.com.co/biodigestor/>

SAVRAN, Valentina, *et al.* Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. *Pastos y forrajes*. 2012, Vol. 35, Nro. 2, pp. 219-226. ISSN 0864-0394

SISTEMA BIOBOLSA. Manual de biol. Aplicaciones de biol en diferentes cultivos agrícolas. [en línea]. Ciudad de México: 2014. [Consultado 25, junio, 2020].

Disponible en:  
[https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/SISTEMA%20BIOBOLSA%20s.f.%20Manual%20del%20BIOL.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SISTEMA%20BIOBOLSA%20s.f.%20Manual%20del%20BIOL.pdf)

TAPIA, Mario y FRIES, Ana María. Guía de campo de los cultivos andinos. Perú: Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Asociación nacional de productores ecológicos del Perú, 2007. 209 p. ISBN 978-92-5-305682-8

THE WEATHER COMPANY. Weather. [sitio WEB]. Atlanta: The weather channel. [Consultado 7, junio, 2020]. Disponible en: <https://weather.com/es-CO/tiempo/mensual/l/d2d29e4ba425015ee5ae6841e7e9ff427e42e93df7e43dd1024917b06691c180>

TOALA MOREIRA, Edwin Eyner. Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica. [en línea]. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba: 2013. [Consultado 25, marzo, 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3406/1/236T0100.pdf>

TORUÑO SOTELO, Lester Alí, et. al. Estudio de producción de biogás por medio del proceso de digestión anaerobia no controlada a partir de diversos sustratos orgánicos. [en línea]. Investigación. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México: 2016. [Consultado 3, agosto, 2020]. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/5547/1/17847.pdf>

UNIVERSIDAD DE GRANADA. Agentes físicos. [sitio WEB]. Granada: UGR. [Consultado 25, junio, 2020]. Disponible en: <https://www.ugr.es/~eianez/Microbiologia/13agfisicos.htm>

VARNERO MORENO, María Teresa. Manual de biogás. Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/632, 2011. 120 p. ISBN 978-95-306892-0

VERA MAZA, Verónica Beatriz. Diseño de un biodigestor tipo bolsa flexible utilizando desechos de estiércol porcino, en la Finca Divino Niño, en la Comunidad Campo Alegre, Parroquia San José de Payamino. [en línea]. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba: 2015. [Consultado 27, marzo, 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4893>

# **ANEXOS**

### ANEXO A.

## ANÁLISIS PARCIAL DE SUSTRATOS ORGÁNICOS (HECES CANINAS). CENTRO DE BIO-SISTEMAS, UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO



FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO  
CENTRO DE BIO-SISTEMAS  
Autopista Norte Km10 Vía Bogotá -Briceño Chia (Cundinamarca)  
Teléfono 2427030 Ext 2430/2431

#### LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS ANÁLISIS MATERIALES ORGÁNICOS

ORDEN DE TRABAJO No. 000474	FECHA SOLICITUD : 02-jul-20	FECHA IMPRESIÓN : 16-jul-20
<b>Cliente</b> Nombre: NICOLAS MEJIA Dirección: Municipio: BOGOTA Teléfono: Fax: E-Mail:		<b>Finca</b> Nombre: CRIADERO PANDORA Municipio: VEGA Departamento:
No. Muestra: 287	Solicitante: NICOLAS MEJIA	Material: No Especificado
Identificación: HECES CANINAS		

Variable	Unidades	Base Húmeda	Base Seca	Óptimos Base Seca	kg/Ton Base Húmeda
Porcentaje de Humedad	%	57.21			
Densidad Aparente	g*cm <sup>-3</sup>	0.48			
Carbono Orgánico	%	12.74	29.77		
Materia Orgánica	%	27.65	64.61		
Cenizas	%		35.39		
Relación Carbono:Nitrógeno	p:p	15.67	15.67		
pH (Reacción de Acidez):	-logH+	6.50			
Conductividad Eléctrica	dS/m	9.34			
Nitrógeno Total (N):	%	0.81	1.90		8.1
Fósforo (P):	%	0.81	1.90		8.1
Potasio (K):	%	0.08	0.19		0.8
Calcio (Ca):	%	1.45	3.40		14.5
Magnesio (Mg):	%	0.27	0.64		2.7
Sodio (Na):	%	0.054	0.127		0.5

#### Metodología:

N según Kjeldahl, P por colorimetría, K, Ca, Mg, Na por absorción atómica. C-orgánico según Walkley Black. pH y C.E. en extracto de saturación. % de elementos mayores en relación peso a peso. S por turbidimetría

Quim. Adriana Mireya Zamudio S.  
Jefe Laboratorio de Suelos y Aguas

www.utadeo.edu.co  
NIT. 860.006.848-6  
Personería Jurídica  
No. 2613/1959 Minjusticia

Sede Chía  
Autop. Norte Km. 10 vía Bogotá-Briceño  
PBX 8650218/219/239  
centro.biosistemas@utadeo.edu.co  
Chía - Colombia



**LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS**  
**ANÁLISIS DE AGUA PARA RIEGO Y SOLUCIONES NUTRITIVAS**

<b>Muestra</b>		<b>Cliente</b>		<b>Finca</b>	
No. Muestra: 000116	Identificación: BIOL	Nombre: NICOLAS MEJIA	Nombre: CRIADERO PANDORA		
Orden de Trabajo No.: 000474	Fecha de Solicitud : 02-Jul-20	Dirección:	Municipio: VEGA		
Fecha de Impresión : 13-Jul-20		Municipio: BOGOTA	Departamento:		
		Teléfono:			
		E-Mail:			
		Solicitante: NICOLAS MEJIA			

ELEMENTO ANALIZADO	pH	C.E. dS/m	Cationes (mg * litro <sup>-1</sup> ó ppm)					Aniones (mg * litro <sup>-1</sup> ó ppm)							
			N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Amonio	K Potasio	Ca Calcio	Mg Magnesio	Na Sodio	Sumatoria de Cationes	N-NO <sub>3</sub> Nitrito	P Fósforo	S Azufre	Cl <sup>-</sup> Cloruro	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Bicarbonato	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> Carbonato	Sumatoria de Aniones
RESULTADO DEL ANÁLISIS	5.9	0.16	428.3	235.1	375.3	259.9	97.5		83.0	296.0	139.7	193.8	3123.7	0.0	
Resultado en meq/litro			30.59	6.03	18.77	21.66	4.24	81.29	5.93	9.55	8.73	5.46	51.21	0.00	80.87
Resultado en gramos/litro			0.428	0.235	0.375	0.260	0.098		0.083	0.296	0.140	0.194			

**Metodología:**

P método Lactato, N-NH<sub>4</sub> y NNO<sub>3</sub> según Kjeldahl. S por turbidimetría. Los demás cationes se cuantifican por absorción atómica. CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> y Cl por titulación.

pH y C.E. en dilución: 1:50



Quim. Adriana Mireya Zamudio S.  
Jefe Laboratorio de Suelos y Aguas



## ANEXO D.

### COTIZACIÓN PIEZAS DE LA ESTRUCTURA, ENTRADAS Y SALIDAS DE LA PROPUESTA SIN TENER EN CUENTA EL GRUPO ELECTRÓGENO. FERRETERÍA TRANSMIFER



Criadero Pandora Colombia

Calle 13 No 23-37.  
Cel: 320 863 3686  
Tel: 277 2777- 277 6114- 2379226  
Transmifer@gmail.com  
Bogota, D.C.- Colombia

**COTIZACION No. 3020**

SEÑOR Nicolás Mejía  
TEL.: 3504443601  
CIUDAD LA VEGA  
ATN.: JORGE NICOLAS MONTES

Bogotá; Vence  
09-septiembre-2020 24-septiembre-2020

CONTADO
---------

validez Oferta	15	días calendario
----------------	----	-----------------

CANTIDAD	PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	VALOR UNIDAD	VALOR PARCIAL
4	Galvanizado X 1/2	Accesorio	\$ 18.673	\$ 74.692
2	Galvanizado X 1/3	Adaptador macho	\$ 13.712	\$ 27.424
15	Galvanizado X 1/4	Tubería acero X metro	\$ 16.699	\$ 250.485
4	Valvula	bola gas de 1/2	\$ 22.353	\$ 89.412
1	Manometro		\$ 30.000	\$ 30.000
2	Galvanizado X 1/2	Tee	\$ 4.477	\$ 8.954
3	Accesorios para drenaje	X 4 pulgadas	\$ 31.224	\$ 93.672
1	Tubería	drenaje 4" X metro	\$ 42.046	\$ 42.046
1	Tanque subterráneo	X metro cubico	\$ 652.918	\$ 652.918
36	Impermeabilización integral mortero SIKA X metro cuad		\$ 4.363	\$ 157.068
9	Replanteo X metro cuadrado		\$ 2.239	\$ 20.151
4	Excavación mecánica		\$ 28.424	\$ 113.696
1	Dotacion para obreros		\$ 500.000	\$ 500.000
1	herramienta surtida		\$ 500.000	\$ 500.000
27	ladrillo macizo prensado x 12 cm (metro cubico)		\$ 69.319	\$ 1.871.613
6	Concreto 1:2:2		\$ 397.857	\$ 2.387.142
5	Accesorio PVCS 4"	X unidad	\$ 24.708	\$ 123.540
2	Tubería sanitaria PVCS 4" X metro		\$ 40.210	\$ 80.420
Siempre a sus gratas órdenes				
Un millon doscientos dieciseis mil pesos			<b>SUBTOTAL</b>	\$ 7.023.233
			<b>19%</b>	\$ 1.334.414
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 8.357.647</b>