



Diseño de un biodigestor que genere biogás para el aprovechamiento del excremento avícola

**Angie Carolina Lozano Ruiz
Cristian Arled Sánchez Montealegre**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Neiva, Colombia
2020

Diseño de un biodigestor que genere biogás para el aprovechamiento del excremento avícola

**Angie Carolina Lozano Ruiz
Cristian Arled Sánchez Montealegre**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Director (a):
Ing. Juan Gonzalo Ardila Marín. MEn.

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Neiva, Colombia
2020

Dedicatoria

A Dios por ser el guía en cada etapa de mi vida, por brindarme sabiduría y perseverancia en mis metas.

A mis padres, Manuel Lozano y Arledy Ruiz, por su esfuerzo, dedicación y amor infinito, a mi hijo, José Emanuel Aldana, el pilar fundamental de mi vida y el motorcito de mi corazón y a mi novio, Miguel Aldana por su amor, comprensión y apoyo incondicional, los amo infinitamente.

Angie Carolina Lozano Ruiz.

Dedicado principalmente a Dios que nos bendijo y nos dio las fuerzas para luchar por nuestros sueños y metas.

A mi padre William Sánchez, mi madre Martha Montealegre y mi hermana Jessica Sánchez, quienes me brindaron siempre su apoyo, comprensión y compañía cuando más lo necesite.

Cristian Arled Sánchez Montealegre

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme escalar el camino hacia el éxito y orientarme, agradezco de corazón a mis padres por su comprensión, confianza, por todo ese amor, me siento muy orgullosa de los padres que Dios me bendijo, a mi hijo por ser la razón de mi vida, por darme cada día fuerzas, por brindarme ese amor sincero, a mi novio por apoyarme incondicionalmente, por estar a mi lado llenándome de palabras de ánimo, de amor y sobre todo por tenerme mucha paciencia.

A mi compañero Cristian por su dedicación en este proyecto, por su esfuerzo en cada actividad, por brindar su conocimiento para que este proyecto fuera realizado con éxito.

Angie Carolina Lozano Ruiz

Agradezco a Dios que nos dio la fuerza y la sabiduría en este camino que decidí emprender, a mis padres por toda su confianza y apoyo, por su entrega completa y que este proyecto fuera culminado, a mi hermana que estuvo conmigo cuando más lo necesitaba y me apoyó en todas las decisiones que tomadas, a todos mis compañeros de la universidad con los que compartimos metas en común.

A mi compañera Angie, ya que entregó todo su empeño, dedicación, esfuerzo, conocimiento y apoyo en la realización de este proyecto.

Cristian Arled Sánchez Montealegre

Nuestro más sincero agradecimiento al ingeniero Karel Joel Arencibia Ávila por apoyarnos y respaldarnos desde el principio, creyendo en nuestro proyecto y en nuestras capacidades, a nuestro director el ingeniero Juan Gonzalo Ardila Marín por su acompañamiento y orientación durante la realización de este proyecto, agradecemos a todos los docentes y a la universidad que nos orientaron durante este proceso de formación.

Resumen

El presente proyecto consiste en el diseño de un biodigestor para la generación de biogás utilizando como combustible el excremento de gallinas ponedoras criadas en la finca “Mi granjita huevos el dorado” de la vereda el Triunfo, corregimiento el Caguán de la ciudad de Neiva-Huila, como primer paso se determinaron las variables físico-químicas de la mezcla entre gallinaza y agua, para esto se recolecto la gallinaza producida por 1325 gallinas ponedoras durante seis meses y de un cerdo que se tenía en la finca, el cual funcionaria como un sustrato que acelera la digestión anaeróbica, como resultado se obtuvo un promedio de 33.46 kg/día, luego de la recolección se realizaron pruebas de pH a diferentes proporciones entre gallinaza, porcínaza y agua para definir el porcentaje de mezcla con el que se abastecería al biodigestor, siendo la de 40% sustrato (Gallinaza-Porcínaza) y 60% agua, la más idónea para el funcionamiento del biodigestor. Se realizó una simulación del desarrollo del biodigestor mediante una versión demo del software Simba #biogás, demostrando que aproximadamente produce 10 m³ de biogás mensual, basado en volumen de la carga orgánica, se trabajó a una temperatura de 35°C, apropiada para el crecimiento y desarrollo de las bacterias, con esto se obtuvo un tiempo de retención de 30 días, concluyendo que la producción de biogás generada por excremento avícola y porcínaza, puede suplir un 50% del gas utilizado en la finca, sustituyendo el consumo durante 15 días al mes ahorrando \$30.850 mil pesos mensuales y una recuperación de la inversión en un periodo de tres años.

Palabras clave: Biodigestor, biogás, digestión anaeróbica, gallinaza.

Abstract

The present project consists in the design of a biodigester for the generation of biogas using as fuel the excrement of laying hens raised in the farm " my farm eggs the golden " of the sidewalk the Triunfo, corregimiento the Caguán of the city of Neiva-Huila, as a first step were determined the physico-chemical variables of the mixture between chicken manure and water, for this the chicken was collected produced by 1325 laying hens for six months and from a pig kept on the farm, which would function as a substrate that accelerates anaerobic digestion, as a result an average of 33.46 kg/day was obtained, after collection pH tests were performed at different ratios between hens, and water to define the percentage of mixture with which the biodigester would be supplied, being that of 40% substrate (Chicken manure- swine manure) and 60% water, the most suitable for the functioning of the biodigester. A simulation of the development of the biodigester was carried out using a demo version of the software Simba #biogas, demonstrating that approximately 10 m^3 of biogas produced monthly, based on volume of the organic load, was worked at a temperature of 35 °C, appropriate for the growth and development of bacteria, with this a retention time of 30 days was obtained, concluding that the production of biogas generated by poultry and pig excrement, can replace 50% of the gas used in the farm, replacing consumption for 15 days a month saving \$30,850 thousand a month and a return on investment over a three-year period.

Keywords: Biodigester, biogas, anaerobic digestion, chicken manure.

Contenido

	Pág.
Resumen	V
Lista de figuras	XI
Lista de tablas	XII
Introducción.	11
Objetivo general	12
Objetivos específicos	12
1. Marco teórico	13
1.1 Biomasa	13
1.1.1 Fuentes de biomasa.....	13
1.1.1.1 Biomasa natural	13
1.1.1.2 Biomasa residual.....	13
1.1.2 Gallinaza	15
1.1.2.1 Valor de la gallinaza	15
1.1.2.2 Composición química de gallinaza	16
1.2 Digestión anaeróbica	17
1.2.1 Etapas del proceso de digestión anaerobia	18
1.2.1.1 Hidrólisis	18
1.2.1.2 Acidogénesis.....	18
1.2.1.3 Acetogénesis	18
1.2.1.4 Metanogénesis.....	19
1.2.2 Microorganismos presentes en la digestión anaeróbica.	19
1.2.2.1 Bacterias Hidrolíticas.....	19
1.2.2.2 Bacterias acetogénicas	19
1.2.2.3 Bacterias metanogénicas	19
1.2.3 Factores que influyen en la digestión anaeróbica.....	20
1.2.3.1 Material de carga	20
1.2.3.2 Relación Carbono-Nitrógeno (C/N).....	20
1.2.3.3 Temperatura	21
1.2.3.4 PH.....	21
1.2.3.5 Tiempo de retención	21
1.3 Biodigestor.....	22
1.3.1 Clasificación de los biodigestores	22
1.3.1.1 Flujo continuo.....	22
1.3.1.2 Flujo semicontinuo	22
1.3.1.3 Flujo discontinuo	23

1.3.2	Tipos de biodigestores	23
1.3.2.1	Biodigestor tipo hindú.....	23
1.3.2.2	Biodigestor tipo chino.....	23
1.3.2.1	Biodigestor Tubular	25
1.3.3	Componentes del biodigestor tubular	25
1.4	Biogás	27
1.4.1	Composición del biogás	27
1.4.2	Características del biogás	27
1.4.3	Usos del biogás.....	28
1.4.4	Ventajas del biogás.....	29
1.5	Marco legal	29
1.6	Estado del arte	30
2.	Diseño Ingenieril	37
2.1	Recolección de la gallinaza	37
2.2	Cantidad de excremento recogido	37
2.3	Determinación de pH	39
2.4	Diseño del biodigestor	40
2.4.1	Volumen del digestor (VD)	40
2.4.2	Volumen real del biodigestor y campana.....	42
2.4.3	Diámetro del biodigestor	43
2.4.4	Longitud del biodigestor	43
2.4.5	Dimensionamiento del tanque de carga y descarga	44
2.5	Plano del biodigestor	44
2.5.1	Tanque de carga y descarga.....	45
2.5.2	Tubería de alimentación y salida del sustrato.....	46
2.5.3	Tubería de salida de biogás	46
2.5.4	Reactor y construcción de la fosa	48
2.6	Costo del biodigestor	48
3.	Simulación y resultados	51
3.1	Búsqueda del software	51
3.1.1	Software biodigestor-Pro.....	51
3.1.2	SIMBA #biogás	51
3.1.3	Calculadora de Biogás	52
3.1.4	Calculadora Biovalor	52
3.1.5	OBA TM	52
3.2	Selección del software	52
3.3	Simulación pasó a paso del biodigestor	53
3.4	Recuperación de la inversión.....	59
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	60
4.1	Conclusiones	60
4.2	Recomendaciones	61
A.	Anexo: Recolección de la gallinaza y porcino.....	63
B.	Anexo: Plano del biodigestor	69
5.	Bibliografía	71

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1 Fuentes generadoras de biomasa forestal en Colombia.....	14
Figura 1-2 Animales del sector pecuario	14
Figura 1-3 Esquema del biodigestor tipo hindú.....	24
Figura 1-4 Esquema de biodigestor tipo chino.....	24
Figura 1-5 Esquema del biodigestor tubular	25
Figura 1-6 Componentes principales del biodigestor	26
Figura 2-1 Esquema general del biodigestor tubular	42
Figura 2-2 Plano del biodigestor.....	45
Figura 2-3 Dimensionamiento de tanque carga y descarga.....	45
Figura 2-4 Dimensiones de la tubería de carga y descarga.....	46
Figura 2-5 Dimensionamiento de la tubería de salida de biogás.....	47
Figura 2-6 Acople en salida de biogás.....	47
Figura 2-7 Esquema de reactor.....	48
Figura 3-1 Pantalla principal software SIMBA #biogás.....	54
Figura 3-2 Definición temperatura.....	54
Figura 3-3 Constantes del biodigestor.....	55
Figura 3-4 Cantidad de gallinaza.....	55
Figura 3-5 Materiales del biodigestor.....	56
Figura 3-6 Bloque reactor o biodigestor.....	57
Figura 3-7 Tubería de salida de gas.....	57
Figura 3-8 Características del biodigestor.....	58
Figura 3-9 Simulación final.....	58
Figura 3-10 Resultados obtenidos de la simulación.....	59
Figura 3-11 Resultados obtenidos de la simulación.....	59

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1 Valor como abono de la gallinaza	15
Tabla 1-2 Características de los diferentes tipos de gallinaza	16
Tabla 1-3 Contenido total de los nutrientes en la gallinaza	17
Tabla 2-1 Cantidad de gallinaza recogida en (Kg)	38
Tabla 2-2 Relación estiércol-agua para diferentes tipos de fuentes	40
Tabla 2-3 Tiempo de retención y materia prima.....	41
Tabla 2-4 Costos de materiales	49

Introducción.

Las energías renovables se constituyen actualmente como una alternativa para minimizar los problemas que se presentan por las emisiones de gases contaminantes generadas por combustibles fósiles convencionales. Un biodigestor ,es un elemento procesador de materia orgánica con la característica de ser herméticamente sellado e impermeable, destinado a la obtención de biogás y fertilizantes sin patógenos, el cual realiza su proceso de fermentación gracias a la intervención de microorganismos y bacterias anaeróbicos mediante un proceso dado en ausencia de oxígeno(Chillo Abril & Paguay Cuvi, 2015).

Mi granjita Huevos el Dorado es una finca productora de huevos ubicada en la vereda el Triunfo del corregimiento el Caguán en Neiva, la cual cuenta a la fecha con 1300 gallinas ponedoras que producen 1.78 kg/día de gallinaza (excremento de gallina) aproximadamente, a la cual no se le da una disposición adecuada, generando inconvenientes al medio ambiente del sector como la contaminación de los suelos debido al uso de este material como abono sin ser tratado para eliminar los microorganismos patógenos, que provocan una disminución en la capacidad de drenaje del suelo, y dificultando la mineralización del oxígeno; otro ecosistema afectado son las fuentes de agua, las cuales se ven contaminadas por lixiviados de nitratos, y el aire del ambiente, que se ve afectado por la liberación de amoníaco y la generación de malos olores y posterior propagación de moscas e insectos, afectando la salud de la población de la finca y generando un gasto económico que debe ser asumido para la solución de estos inconvenientes

El diseño de un biodigestor en esta zona resulta en una alternativa viable gracias a que en la finca donde se va a llevar a cabo el proyecto produce mensualmente una gran cantidad de gallinaza, combustible indispensable del biodigestor, el cual permite dar un uso adecuado a esta materia orgánica minimizando el impacto ambiental actual y que puede generar un apoyo económico para la finca, ya que se podrá aportar biogás para la cocción de alimentos principalmente

Los biodigestores han sido utilizados en otros países como Perú y Ecuador donde resultan en una alternativa para las fincas más alejadas de las zonas urbanas que por su inaccesibilidad carecen de servicio de gas, las cuales recurren a recursos naturales como la madera para obtener el calor para la cocción de sus alimentos. En Colombia se han utilizado en departamentos como Cundinamarca, Boyacá, Santander, Caquetá y Huila, siendo implementados tanto en fincas, en sectores rurales alejados, como en empresas que trabajan con algún tipo de material orgánico o en la crianza de animales

Este proyecto fue dividido en tres fases principales relacionadas con los objetivos del proyecto, la primera fue la fase de recolección y determinación de las propiedades físico-químicas de la gallinaza para poder calcular las medidas del biodigestor diseñado para la finca, la segunda fase se realizó el diseño del biodigestor elaborando los planos que presentan las dimensiones y ciertas partes de importancia en el ensamble y se terminó con una simulación mediante una versión demo de un software, complementándola con otros programas gratuitos disponibles en la web.

Con la última fase de simulación se obtuvieron los posibles resultados que pueden llegar a tener el biodigestor bajo las posibles condiciones de trabajo en las que se encontrará en la finca.

Objetivo general

Diseñar un biodigestor que genere biogás para el aprovechamiento del excremento avícola en la finca “Mi granjita huevos el dorado” en la vereda el Triunfo, corregimiento del Caguán en Neiva, Huila.

Objetivos específicos

- Determinar las variables físico-químicas de la mezcla gallinaza-agua.
- Diseño del prototipo del biodigestor a diseñar en la finca.
- Simular vía software el desempeño del biodigestor en las posibles condiciones de trabajo.

1. Marco teórico.

1.1 Biomasa

La biomasa es referida principalmente a la energía solar convertida por la vegetación en más vegetación o materia orgánica y posteriormente dicha materia orgánica puede ser convertida en diferentes tipos de energía, acorde al uso que se le quiera dar.

Según, la Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de la energía procedente de fuentes renovables, se define la 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 acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales” (E-ficiencia, 2015).

1.1.1 Fuentes de biomasa

1.1.1.1 Biomasa natural

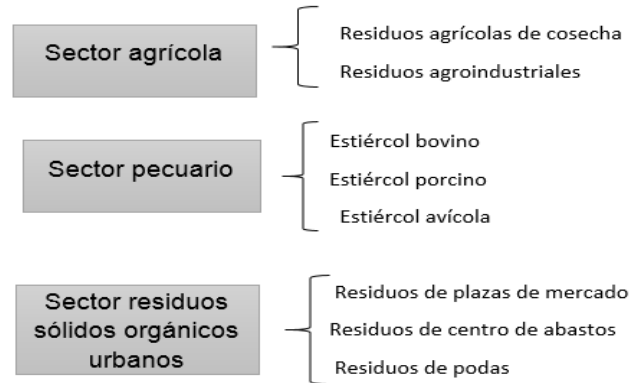
La biomasa natural es aquella que se genera en los ecosistemas naturales, sin ningún tipo de intervención por parte del ser humano (Combustibles limpios, 2016), el manejo de adquisición y transporte del recurso, es el principal inconveniente de este tipo de biomasa, siendo económicamente inviable para su explotación.

1.1.1.2 Biomasa residual

Este tipo de biomasa se genera a partir de los residuos producidos por ciertas actividades humanas, la biomasa residual hace referencia a los subproductos que se derivan de las transformaciones naturales o industriales que se llevan a cabo en la materia orgánica (Escalante Hernández, Orduz Prada, Zapata Lesmes, Cardona Ruiz, & Duarte Ortega, 2011), las fuentes generadoras de biomasa residual en Colombia se dividen en tres

sectores: sector agrícola, sector pecuario y sector residuos sólidos orgánicos urbanos, que se ilustran en la Figura 1-1.

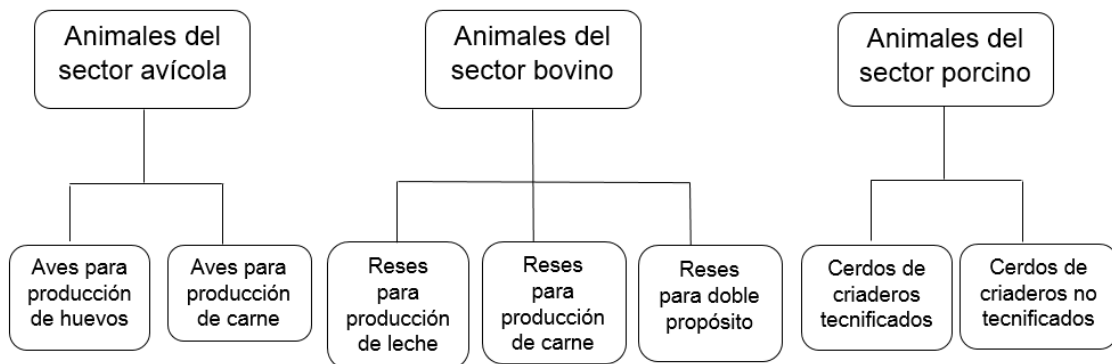
Figura 1-1 Fuentes generadoras de biomasa forestal en Colombia



Fuente: (Ambientales, Energética, & Instituto de Hidrología, 2011)

En el sector pecuario se tiene que el estiércol producido por distintos semovientes, es considerado como un tipo de biomasa residual aprovechable para los procesos de transformación. Para esta fuente se pueden destacar tres grupos diferentes, animales del sector avícola, animales del sector bovino y animales del sector porcino, que se ilustran en la Figura 1-2.

Figura 1-2 Animales del sector pecuario



Fuente: (Ambientales et al., 2011)

Según el Atlas de Potencial Energético, la biomasa residual avícola para el sistema de aves ponedoras muestra un mayor contenido de cenizas de carbono fijo frente a los valores encontrados para la biomasa de los sistemas de aves de engorde; este hecho puede estar favorecido por la deposición de excretas ricas en minerales hasta el final de ciclo. En la biomasa residual de la aves ponedoras existe un menor contenido de nitrógeno (valor promedio de 2,3 % p/p) debido a la volatilización que se presenta durante el ciclo (Ambientales et al., 2011).

1.1.2 Gallinaza

Se llama gallinaza al estiércol de gallina ponedora, sea en cama o jaula durante su desarrollo de crecimiento, preparado para ser utilizado como fertilizante orgánico.

La gallinaza resulta en una buena opción a la hora de escoger un abono orgánico, esto a que su composición rica en proteínas y minerales incluso siendo usada como alimento para animales rumiantes, sin embargo para que esta pueda ser beneficiosa para el medio ambiente, debe pasar por el proceso de digestión anaeróbica en un biodigestor, de lo contrario puede tener perjuicios en los suelos donde sea aplicada, en las fuentes hídricas superficiales como en las subterráneas y en el aire del medio ambiente, problemas sanitarios que enfrenta hoy la industria avícola (Belduma Zambrano, 2015).

1.1.2.1 Valor de la gallinaza

Según en la revista titulada “Manejo y procesamiento de la gallinaza”, la gallinaza al utilizarse como alimento para animales, fertilizante u otro uso que se le dé, debe tenerse en cuenta la composición de la misma debido a que cambia de acuerdo al momento de recolectarla y la manera en que esta se almacena, que se ilustran en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1 Valor como abono de la gallinaza

Tipo Ácido	Humedad %	Nitrógeno %	Fosfórico %	Potasio %
Fresca	70 – 80	1,1 – 1,6	0,9 – 1,4	0,4 – 0,6
Acumulada unos meses	50 – 60	1,4 – 2,1	1,1 – 1,7	0,7 – 1
Almacenada en foso profundo	12 – 25	2,5 – 3,5	2 – 3	1,4 – 2
Desecada industrialmente	7 – 15	3,6 – 5,5	3,1 – 4,5	1,5 – 2,4

Fuente: (María & Pareja, 2005a)

La gallinaza seca posee una mayor concentración de nutrientes, este valor depende del tiempo y rapidez del secado, así como de la composición de N, P (P_2O_5), y K (K_2O). Esto tiene especial relevancia en el caso del nitrógeno y el fósforo ya que, aparte de su valor como abono, en muchas ocasiones, con una excesiva densidad animal en el área, estos elementos se consideran contaminantes del suelo (María & Pareja, 2005b).

En relación con la alimentación de las aves, el nivel de nitrógeno de las deyecciones es, obviamente, más elevado en la de los pollos de engorde que en la de las gallinas, en tanto que con el calcio pasa lo contrario, por esto es primordial identificar las características de los tipos de gallinaza, que se ilustran en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2 Características de los diferentes tipos de gallinaza

Parámetros	Gallinaza de jaula	Gallinaza de piso	Pollinaza
PH	9.0	8.0	9.50 ± 0.02
Conductividad (mS/cm)	6.9	1.6	4.1±0.1
Humedad (%)	57.8	34.8	25.8±0.2
Cenizas (%)	23.7	14	39±3
Potasio (K_2O %)	1.9	0.89	2.1±0.1
Carbono orgánico (%)	19.8	24.4	23±5
Materia orgánica (%)	34.1	42.1	39.6±8
Nitrógeno (%)	3.2	2.02	2.3±0.2
Relación C/N	6.2	12.1	10.0
Fósforo (P_2O_5)	7.39	3.6	4.6±0.2
Microorganismos	18x10 ⁵ u.f.c./g		
6x10 ⁵ mohos/g	8x10 ⁵ u.f.c./g		
18x10 ⁵ mohos/g	-		
C.I.C (meq/100 g muestra)*	58.2	77.0	-
C.I.C (meq/100 g M.O)	226	138	125.0
Liposolubles (%)	3.0	0.96	-
Retención de agua (ml/g muestra)	1.39	0.86	-
Contenido de hidrosolubles (%)	4.1	5.5	-
Densidad aparente (g/cc)	0.57	0.27	-

Fuente: (María & Pareja, 2005a)

1.1.2.2 Composición química de gallinaza

Dependiendo de aspectos importantes como su origen, su procedencia ya sea de especie ponedora o de carne, tipo de alimentación, lugar de alojamiento, temperatura y acondicionamiento del galpón, es necesario conocer el contenido total de los nutrientes en la gallinaza, que se ilustran en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3 Contenido total de los nutrientes en la gallinaza

Nutriente	Gallinaza
Materia Seca %	89,6
Proteina cruda %	28,0
Proteina verdadera %	11,3
Proteina digestible %	14,4
Fibra cruda %	12,7
Grasa cruda %	2,0
Elementos libre de nitrogeno %	28,7
Cenizas %	28,0
Total de nutrientes digestible %	52,0
Energia digestible (Kcal/Kg)	1911
Calcio %	8,80
Fosforo %	2,50
Magnesio %	0,67
Manganeso (mg/Kg)	406
Sodio %	0,94
Potasio %	2,33
Cobre (mg/Kg)	150
Zinc (mg/Kg)	463

Fuente: (Autores)

Según Viera Serrato, los nutrientes que se encuentran en la gallinaza se deben a que las gallinas solo asimilan entre el 30% y 40% de los nutrientes con los que se les alimenta, lo que hace que en su excremento se encuentren el restante 60% a 70% no asimilado.

1.2 Digestión anaeróbica

Corresponde a un proceso biológico realizado en ausencia de oxígeno en el cual gracias a la intervención de ciertos microorganismos se obtiene una mezcla conocida como biogás (Térmica & Gasómetro, 2004).

En esta descomposición se obtienen compuestos gaseosos tales como el metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno (H₂) y sulfuro de dihidrógeno (H₂S) de los cuales los que se producen en mayor cantidad son el metano y el dióxido de carbono (“Digestión anaerobia - EcuRed,” 2017).

1.2.1 Etapas del proceso de digestión anaerobia

Según diversos autores estas fases varían en el transcurso que avanzan los procesos de digestión anaerobia, en la actualidad se manejan tanto para materiales sólidos y líquidos cuatro etapas para la producción de biogás y fertilizante.

1.2.1.1 Hidrólisis

En esta primera etapa la materia orgánica es sometida a un proceso de degradación mediante la intervención de bacterias hidrolíticas las cuales hidrolizan moléculas de la mezcla tales como proteínas, grasas y carbohidratos y las transforma en polímeros más simples, lo cual resulta en una conversión a monómeros más simples, en este proceso ya hay producción de dióxido de carbono (Aqualimpia Engineering, 2017).

1.2.1.2 Acidogénesis

Para esta fase compuestos obtenidos en la primera fase se convierten en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, esto gracias a las bacterias hidrolíticas-acidogénicas y las acetogénicas, las cuales convierten la materia prima en ácidos orgánicos simples, en esta fase las bacterias consumen oxígeno molecular para su metabolismo lo que genera un ambiente anaeróbico ideal para un crecimiento bacteriano rápido, ya en esta fase se producen gases como sulfuro de hidrógeno (H_2S), dióxido de carbono (CO_2) y amoníaco (NH_3) (Aqualimpia Engineering, 2017).

1.2.1.3 Acetogénesis

Esta fase es llevada a cabo por las bacterias acetogénicas donde estas realizan una degradación de los ácidos orgánicos de la materia, en esta fase los ácidos grasos y los aromáticos se degradan formando ácido acético y se da liberación de dióxido de carbono e hidrógeno que son vitales para la formación de las bacterias metanogénicas, este proceso es endoenergético por lo cual hay un demanda de energía para su realización (Sierra Rios, 2013).

1.2.1.4 Metanogénesis

En esta fase se produce la mayor producción de gas metano y dióxido de carbono gracias a las bacterias metanogénicas, las cuales solo existen en condiciones anaeróbicas bastante estrictas ya que no sobreviven en presencia de oxígeno, de estas bacterias las más importantes son las que transforman los ácidos propanoicos y acéticos, denominadas bacterias metanogénicas acetoclasticas (Alzate Tamayo, Jimenez Cartagena, & Londoño Londoño, 2011). Esta fase resulta ser la más lenta de todo el proceso y solo es posible cuando está avanzada la fermentación de los sustratos primarios y cuando se haya consumido todo el oxígeno presente, en esta fase se produce el 90% del gas metano.

1.2.2 Microorganismos presentes en la digestión anaeróbica.

En el proceso de digestión anaeróbica existen 3 grupos de bacterias principales:

1.2.2.1 Bacterias Hidrolíticas

Son las bacterias encargadas de empezar el proceso de hidrólisis a partir de aminoácidos, azúcares, ácidos grasos y alcoholes (Hernandez Ramirez & Ramirez Saavedra, 2019), entre estas bacterias encontramos las bacterias clostridium, acetovibrio, micrococcus, staphylococcus y bacillus.

1.2.2.2 Bacterias acetogénicas

Estas bacterias son productoras de oxígeno y se encargan de procesar los productos que se obtienen de la fase anterior en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono. Entre las bacterias principales están la *Acinetobacter Lwoffii*, *Acinetobacter sp*, *Actinomyces sp*, *Alcaligenes*, *Pasteurella sp*, *Staphylococcus hominis*, *Bacillus*, y *Klebsiella oxytoca*, *clostridium spp*, *peptococcus*, *Bifidobacterium*, *Delsulphovibrio spp*, *Lactobacillus*, *Staphylococcus* y *Escherichia coli* (Alzate Tamayo et al., 2011).

1.2.2.3 Bacterias metanogénicas

Constituyen uno de los grupos más importantes en el proceso de digestión, ya que estas convierten el acetato obtenido en gas metano y dióxido de carbono, además de poder reducir el dióxido de carbono a metano (Hernandez Ramirez & Ramirez Saavedra, 2019). Las bacterias que más se destacan son las de género *Methanosarcina* y *Methanosaeta*,

Methanobacterium, Methanobacillus, Methanococcus, Methanosarcinales, Methanomicrobiales, Methanobacteriales, Methanococcales y Methanopyrales (Alzate Tamayo et al., 2011).

1.2.3 Factores que influyen en la digestión anaeróbica.

Se pueden encontrar diferentes factores que intervienen en este proceso ya que los grupos de bacterias que intervienen en él reaccionan de una manera diferente a los cambios que se ven sometidas, por tanto es difícil dar valores del grado de afectación en la producción de gas de manera precisa (Acuña Rubio, 2015). Entre los factores que afectan la producción de biogás encontramos los siguientes:

1.2.3.1 Material de carga

Entre la materia orgánica que puede ser utilizada para este proceso de fermentación y producción de biogás se encuentran el excremento tanto de animales como de humanos, las aguas residuales con materiales orgánicos, los restos de cosechas y las basuras de diferentes tipos. Para un proceso de fermentación es necesario que la materia tenga una fuente de carbono y nitrógeno y que además tenga un equilibrio de sales minerales, entre los anteriores mencionados, los estiércoles y los lodos cloacales son lo que más tienen estas condiciones adecuadas para este proceso (Cubas Guarnizo & Lescano Leon, 2007).

1.2.3.2 Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)

Este valor facilita conocer si la materia es adecuada para el proceso de digestión, debido a que estos dos elementos son de gran importancia para la formación de bacterias metanogénicas. El carbono es utilizado por estas bacterias como una fuente de energía y el nitrógeno es usado para la reproducción de nuevas bacterias (Rodríguez Pachón & García Cepeda, 2017) El rango ideal que se recomienda para un buen compostaje está entre 20 y 50 a 1, y el exceso de cualquiera de los dos elementos conllevará a resultados negativos, si se tiene demasiado carbono se puede producir una fermentación lenta, las temperaturas serán bajas y el carbono se puede perder como dióxido de carbono, y si el material en exceso es el nitrógeno, este se puede convertir en amoníaco (Ambientum, 2014).

1.2.3.3 Temperatura

Este parámetro tiene una importancia primordial sobre la actividad de digestión, se destacan tres rangos de temperatura.

- Rango Psicofílico: 8 a 20°C
- Rango Mesofílico: 20 a 40°C
- Rango Termofílico: 50 a 65°C.

En cada rango predominan diferentes tipos de bacterias y estas resultan demasiado sensibles a los cambios de esta temperatura, para la digestión anaeróbica. Para la producción de biogás las bacterias se encuentran en un rango mesofílico con una temperatura cercana a los 35°C (Digestión anaeróbica. Factores, 2011).

1.2.3.4 PH

Es un factor que ayuda a determinar la inhibición y la toxicidad de las bacterias y el crecimiento óptimo de los diferentes grupos microbianos que están presentes en cada fase, los microorganismos que producen biogás son muy susceptibles a cambios en el PH y se establece que para que haya una buena digestión anaeróbica el PH debe estar cerca a la neutralidad (Bernal Patiño & Suarez Ramirez, 2018). El rango promedio en el que puede estar la mezcla para tener un óptimo desempeño durante el proceso está entre 6.8 y 7.4.

1.2.3.5 Tiempo de retención

Este parámetro se refiere al tiempo que las bacterias requieren para poder degradar la materia orgánica siendo el parámetro con el que se determina el volumen del biodigestor. Este parámetro está relacionado directamente con la temperatura ya que, si mayor es la temperatura, el tiempo de retención va a ser menor para la producción de biogás. Este tiempo también varía por el tipo de biodigestor, ya sea si es estacionario o de carga continua para también ser definido el volumen de carga diario para el funcionamiento del biodigestor (Rodríguez Pachón & García Cepeda, 2017).

1.3 Biodigestor

El biodigestor se define como recipiente o tanque herméticamente cerrado dentro de condiciones anaeróbicas es decir en ausencia de oxígeno, en el que se deposita carga afluyente denominada biomasa y proporciona un efluente rico en nutrientes que sirve como bioabono para los cultivos, como se ilustra en la Figura 1.6. Como resultado de este proceso se obtiene biogás que es aproximadamente el 66% de metano y 33% de dióxido de carbono, el cual puede ser utilizado y convertido en forma de energía para sustentar algún requerimiento como calefacción, generación de energía y cocción de alimentos e incluso motores de combustión interna (Lopez, 2012).

1.3.1 Clasificación de los biodigestores

Los biodigestores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización. Los más sencillos caen dentro de la clasificación de digestores discontinuos y los más complejos se caracterizan por poseer dispositivos que permiten alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación (María Teresa Varnero Moreno, 2011).

1.3.1.1 Flujo continuo

Se caracterizan porque el afluyente (o flujo de materia que ingresa al biodigestor) es de manera continua o por lo menos una vez al día, el cual permite manejar las variables relacionadas: carga específica, tiempo de retención y temperatura (Samoya, 2012), estos son usados para manejar y tratar una cantidad considerable de biomasa, por lo cual requieren de alta tecnología para controlar todo el proceso.

Son utilizados principalmente para el tratamiento de aguas negras. Corresponde a plantas de gran capacidad, tipo industrial, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación, así como para su control. Dado que se genera una gran cantidad de biogás, habitualmente, éste se aprovecha en aplicaciones industriales.

1.3.1.2 Flujo semicontinuo

Según Jorge Aguilar, esta clase de biodigestores es cargada con biomasa a diario en cantidades menores comparado con un biodigestor de flujo continuo. La carga debe

mantenerse de forma uniforme y es funcional para la gran mayoría de los diferentes tipos de estructura para un biodigestor (Aguilar, 2015).

Son de alto uso en el sector rural, y a diario deben ser cargados y descargados en igual cantidad para ambos procesos. Un sano manejo de carga y descarga del biodigestor harán que se produzca biogás de forma permanente, puesto que las bacterias en su interior están siendo constantemente alimentadas con nutrientes.

1.3.1.3 Flujo discontinuo

Los digestores se cargan con las materias primas en una sola carga o lote. Después de cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae a un bajo nivel, se vacían los digestores por completo y se alimentan de nuevo iniciando un nuevo proceso de fermentación.

Este biodigestor es cargado y sellado, produce biogás entre 30 a 180 días siguientes a su carga, pero al finalizar el proceso de descomposición es necesario vaciarlo e iniciar de nuevo el proceso. Este funciona a temperatura ambiente.

1.3.2 Tipos de biodigestores

1.3.2.1 Biodigestor tipo hindú

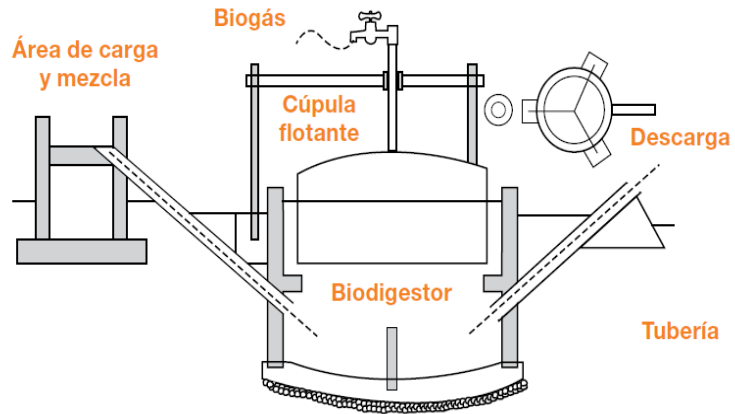
Es un digestor de campana flotante, al igual que la gran mayoría de digestores se carga por gravedad una vez al día, en este digestor el volumen de carga depende del tiempo de retención, esto lo convierte en un digestor que se carga por lotes y la producción de gas es de manera constante siendo esta su principal característica, este se ilustra en la Figura 1-3.

1.3.2.1 Biodigestor tipo chino

Se compone de un digestor construido en mampostería y un domo fijo e inmóvil cerrado donde se almacena el biogás. Durante la producción de biogás, la masa de fermentación es desplazada hacia el tanque de compensación y cuando se extrae el gas, la masa líquida vuelve hacia el biodigestor. A través de constantes oscilaciones de la masa de fermentación en la parte superior de la cúpula se evita la formación de capa flotante (Cubas

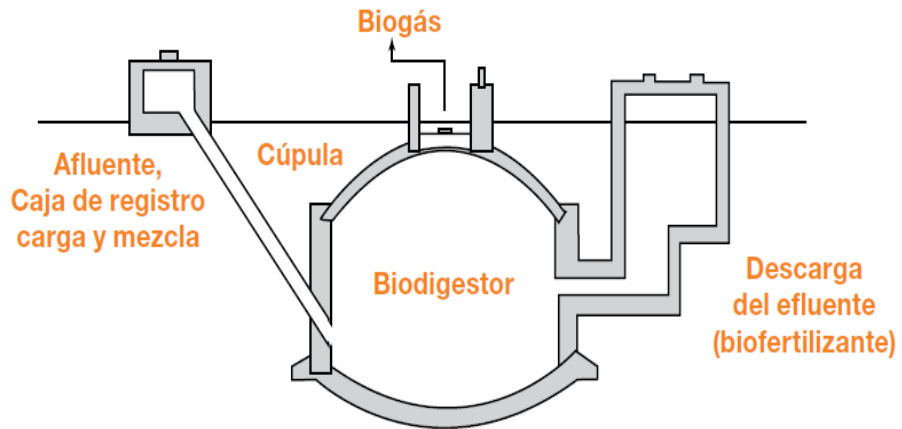
guarnizo & Lescano Leon, 2007), se ilustra el esquema del biodigestor chino en la Figura 1-4.

Figura 1-3 Esquema del biodigestor tipo hindú



Fuente:(Belduma Zambrano, 2015)

Figura 1-4 Esquema de biodigestor tipo chino

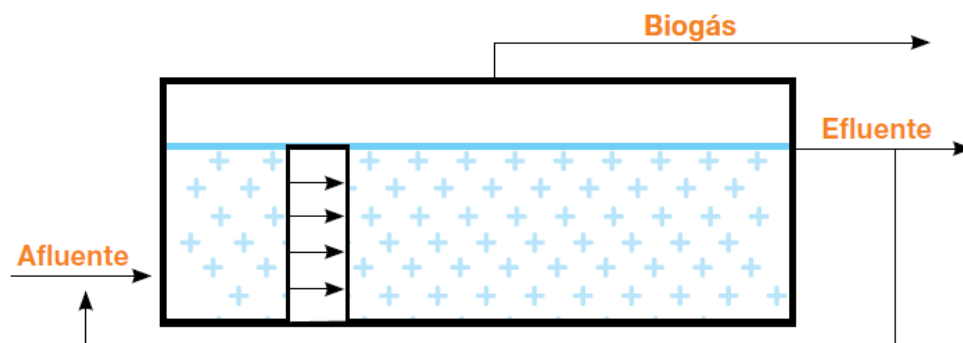


Fuente: (Belduma Zambrano, 2015)

1.3.2.1 Biodigestor Tubular

Estos sistemas de indigestión son conocidos también como biodigestores tipo salchicha o taiwanés, se caracterizan por ser sistemas continuos fabricados de goma, polietileno. Es un sistema estacionario, con formas alargadas, donde el flujo de líquido es continuo, significa que cada fracción de líquido que entra en el biodigestor no se mezcla con la fracción posterior. Para su construcción se realiza una bóveda en el suelo que tenga paredes lisas, esto con el fin de mantener una temperatura constante dentro del digestor, adicionalmente en ese hueco se mete una bolsa de polietileno que tenga la capacidad de almacenar la biomasa y el gas, se puede ilustrar el esquema del biodigestor tubular en la Figura 1-5.

Figura 1-5 Esquema del biodigestor tubular



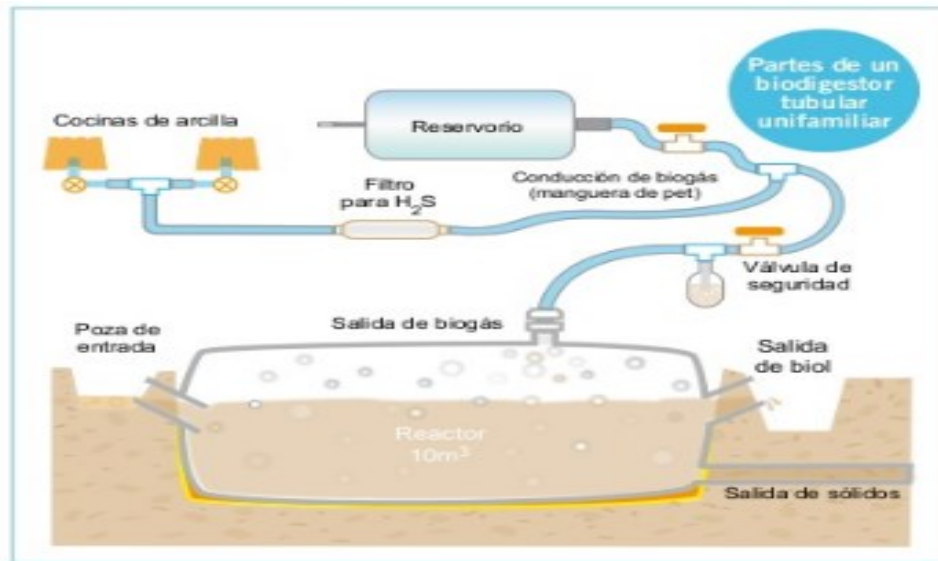
Fuente : (Belduma Zambrano, 2015)

Es un tipo de digestor de bajo costo y fácil construcción y mantenimiento. Acorde a la estructura de los otros digestores tiene una caja de entrada y otra de salida, además del digestor, el cual básicamente está constituido por una bolsa de polietileno tubular calibre 8, su longitud puede llegar a los 100 m de longitud, lo que da capacidad suficiente para alimentación de carga.

1.3.3 Componentes del biodigestor tubular

Estos son los principales componentes del biodigestor tubular, se ilustran en la Figura 1-6.

Figura 1-6 Componentes principales del biodigestor



Fuente: ("Biodigestor tubular," 2015).

- **Tanque de carga o de recolección:** Se encarga de almacenar el estiércol que ha sido generado y mezclarlo con la cantidad de agua que requiera el tipo de digestor instalado, la cual entra al reactor a través de la tubería de entrada.
- **Reactor :** Es el elemento principal del sistema, es la estructura en forma de tubo con ausencia de oxígeno, se encuentra conectada con el tanque de carga, y al final con el tanque de descarga. Idealmente el reactor debería ser el mismo espacio libre entre el volumen del digestor y el sustrato cargado, pero los reservorios aportan una capacidad adicional al proceso ya sea por eficiencia de generación o por no consumo de biogás.
- **Tanque de descarga:** Este se encarga de recibir y almacenar el biol que se obtuvo, se encuentra ubicado en la salida del biodigestor, debe ser construido en concreto.
- **Tubería de conducción de biogás:** Se encarga de llevar el biogás desde el reactor hasta el reservorio, por lo general esta compuesta por una manguera PET o una tubería de PVC.
- **Válvula de seguridad:** Tiene como función dejar escapar biogás cuando se presente mucha presión en el reactor, evitando que se rompa, el nivel de agua no debe sobrepasar de 3 o 4 cm a la salida de la tubería.

1.4 Biogás

Se le conoce como biogás al combustible obtenido mediante la biodegradación o descomposición de materia orgánica que ocurre por medios naturales o mediante dispositivos específicos, mediante la acción de diferentes bacterias siendo este proceso realizado en un ambiente anaeróbico (Marimar, 2019).

Este gas está conformado principalmente por metano (CH_4) en un 60% y por dióxido de carbono (CO_2) en un 29%, el excedente suelen ser otros gases o impurezas que en ocasiones puede ser necesario retirarlos, pero el compuesto que le da su potencial energético como gas es el metano (Inventors, 2017).

Las fuentes para obtener este combustible pueden ser variadas; entre estas tenemos los lodos resultantes de plantas de tratamientos de aguas residuales, los residuos de vertederos o rellenos sanitarios, estiércol y purines de actividades agrícolas, estos componentes son también conocidos como sustratos orgánicos (Agrícola, 2017).

1.4.1 Composición del biogás

Esta composición varía dependiendo del desecho utilizado y de las condiciones a las que se encuentre el proceso, una composición aproximada de este combustible es la siguiente.

- Metano (CH_4): 50 - 70 % (vol.)
- Dióxido de carbono (CO_2): 25 - 45% (vol.)
- Hidrogeno (H_2): 1 – 10% (vol.)
- Nitrógeno (N_2): 0.5 – 3% (vol.)
- Ácido Sulfúrico (H_2S): 0.1% (vol.)

Este tipo de combustible tiene un valor energético que está relacionado directamente con la concentración de metano de la mezcla, este valor se encuentra entre 20 – 25 MJ/m^3 , en comparación con 33- 38 MJ/m^3 del gas natural (Construpedia, 2015).

1.4.2 Características del biogás

El biogás está catalogado como una fuente de energía renovable, aunque todavía es poco conocido, es un compuesto con un peso inferior al del aire, con una temperatura de inflamación que oscila en 700°C y la llama de este alcanza una temperatura de 870°C , compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono.

Otra característica del biogás es que mientras mayor sea su tiempo de retención, mayor será su porcentaje de metano y por ende el poder calorífico del biogás será mucho más elevado, de este modo si el tiempo de retención es demasiado corto, el metano puede verse disminuido hasta en un 50%, si el biogás alcanza esta porcentaje deja de ser inflamable (Energiza, 2018).

El biogás es un compuesto incoloro, inodoro y en la combustión produce una llama color azul y sin productos contaminantes, lo cual contribuye a la problemática de los gases de efecto invernadero (Blogger, 2012).

Se puede destacar que de un metro cúbico de biogás se pueden obtener lo siguiente (Tapia, 2015):

- Generar 6 horas de luz en un bombillo de 60 watts
- Hacer funcionar un refrigerador de 1 m³ por una hora
- Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 1 hora

1.4.3 Usos del biogás

Principalmente el biogás puede servir como un sustituto al gas natural así que puede ser utilizado en dispositivos como estufas o quemadores para transmitir energía térmica, siendo esto muy útil en lugares de difícil acceso o zonas donde los combustibles son escasos, para poder suplir necesidades básicas como la cocción de alimentos; los quemadores de gas pueden ser adaptados de manera fácil para su funcionamiento por medio de biogás (Manual del biogás, 2017).

Otro uso para este biogás sería su implementación para la generación de energía eléctrica, siendo su uso similar al que se le da al gas natural para este propósito, el cual consiste en ser quemado para poder calentar un circuito de agua con el cual el vapor obtenido se usará para activar una serie de turbinas con lo cual la energía del movimiento se convierte en energía eléctrica (Arriols, 2018).

También este gas puede ser tenido en cuenta para su uso vehicular, ya que su nivel de octanaje oscila entre 100 y 110 lo que lo hace adecuado para su uso en los motores de combustión interna, pero a estos motores se les debe hacer una adecuación

implementándoles un sistema de suministro de gas y un tanque de carga al igual que para el funcionamiento con gas natural (“Usos del biogás | Textos Científicos,” 2005).

1.4.4 Ventajas del biogás

Entre los beneficios que ofrece la producción de biogás encontramos.

- Su utilidad y economía lo hacen un recurso ideal para sitios o lugares donde es difícil hacer llegar la red de gas natural.
- Permite reducir la cantidad de residuos orgánicos generados con lo cual se ayudará en gran medida al medio ambiente (“Producción del biogás y sus ventajas | CJS Canecas,” 2017).
- El biogás representa una alternativa eficaz de manera tanto eléctrica como térmica ya que puede ser utilizado para generar electricidad para una planta y a su vez para la generación de calor para procesos de calefacción.
- Es una energía renovable ya que es generada por medio de los residuos que se generan en la cotidianidad como los desechos sólidos cotidianos y los desechos orgánicos de la agricultura (Inarquia, 2019).

1.5 Marco legal

La ley 1715 del año 2014, es la ley donde se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, en la cual se busca promover el uso y desarrollo de fuentes de energía no convencionales en el sistema energético nacional por medio de su integración al mercado eléctrico, su uso en zonas que no están interconectadas a redes de gas y demás usos energéticos que contribuyan con un desarrollo sostenible, la reducción de gases de efecto invernadero y la seguridad en este abastecimiento energético (Senado, 2017).

La comisión de regulación de energía y gas (CREG), según la ley 142 de 1994 es la encargada de regular los monopolios entre las empresas que prestan el servicio de gas combustible y promover una competencia sana y justa entre quienes prestan estos servicios y de igual forma es la entidad encargada de regular los temas relacionados con el suministro de gas combustible (Distrital, 1994). Ésta, mediante la resolución CREG 135 de 2013, adopta las normas aplicables al servicio doméstico de biogás como gas combustible y en esta establece las reglas para la prestación de este servicio tanto para

usuarios regulados como no regulados (Comision de regulacion de energia y gas., 2016). Luego de puestas en marcha estas medidas, la CREG puede determinar los precios del biogás para de este modo poder ser utilizado en las redes interconectadas a nivel nacional. Según la resolución 240 de 2016 resuelve los ámbitos estipulados para la producción, transporte, distribución y comercialización del biogás como servicio público de gas domiciliario. En su artículo #6 se establece el régimen para el SPDBG a través de redes aisladas para usuarios regulados. En la cual se establece que los prestadores del servicio deberán cumplir con:

- Cumplir con condiciones de calidad establecidas en artículos posteriores al nombrado.
- Informar cada seis meses de manera oportuna y veraz los siguientes datos a la superintendencia de servicios públicos domiciliarios.
 - Propiedades: principalmente el índice de Woobe y el poder calorífico.
 - Composición: informando como mínimo los porcentajes de metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrogeno, esto para el material generado de desechos de producción agrícola.
- Las empresas que busquen suministrar este recurso deberán cumplir con las normas técnicas y ambientales que adopten o puedan llegar a adoptar las autoridades competentes (Comision de regulacion de energia y gas., 2016).

1.6 Estado del arte

La generación de biogás representa una de las alternativas de energías renovables más relevante en el sector agrícola ya que es una forma de obtener energía limpia y de bajo costo, ofrece una oportunidad al agricultor de obtener ingresos adicionales, energía descentralizada y contribuye con la protección del medio ambiente, disminuyendo el daño causado por lo gases de efecto invernadero (Venegas Venegas, Raj Arya, & Pinto Ruíz, 2018).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) la materia que resulta como desecho después de una actividad agrícola, puede ser tratada bajo ciertas condiciones especiales en recipientes herméticamente sellados conocidos como biodigestores, cuyo proceso se basa en una fermentación de ausencia de oxígeno (anaeróbica) donde la mezcla de los gases generados en conjunto se conoce como biogás

cuyo componente principal es el gas metano, un combustible de buena eficiencia que puede ser utilizado de manera directa, el residuo obtenido de este proceso contiene altas concentraciones de nutrientes y materia orgánica, propiedades que lo convierte en un excelente biofertilizante más limpio ya que en el proceso de digestión se eliminan los agentes patógenos de las heces y los malos olores de estas, haciendo que el efluente líquido pueda ser utilizado en cualquier tipo de cultivo (Alkalay, 1997).

Sobre este tema se ha encontrado a nivel internacional un proyecto realizado en la Universidad Central de Ecuador, en la ciudad de Quito, en el cual se trata el diseño e implementación de un biodigestor para el tratamiento de excremento de ganado bovino cuya problemática radica en las consecuencias que producen estos excrementos para el medio ambiente si no tiene un tratamiento adecuado entre los cuales los más importantes son la contaminación de recursos como el agua, ya sea superficial o subterránea, el suelo y el aire, esto debido a componentes presentes en este material como lo son el nitrógeno, fósforo, potasio y demás metales pesados, debido a estos inconvenientes, las corporaciones ambientales establecen unos parámetros para regular la calidad de los agentes contaminantes que son expuestos al medio ambiente, por tanto se genera una oportunidad para la aplicación de nuevas tecnologías las cuales contribuyan con el tratamiento de estos desechos y de esta forma colaborar con el medio ambiente, este proyecto se enfoca en una finca con 50 cabezas de ganado las cuales tienen una producción de 281,25 kg de estiércol por día, de la cual el único uso efectuado para una pequeña parte de este estiércol es en la lombricultura, el excedente se almacena en un tanque sin recibir ningún tipo de tratamiento y no cuenta con una capacidad suficiente para almacenar este excremento, una vez realizado el biodigestor de flujo continuo que contó con una capacidad de tratamiento de 700 kg de estiércol por semana llegó a tener una producción de 332 litros de biofertilizante para los suelos y 6 m³ de biogás diariamente que se obtuvo en un plazo de 35 días luego de ingresada la mezcla al biodigestor, resultando en un tiempo relativamente corto para obtener el fertilizante y el gas (Acuña Rubio, 2015).

En la Universidad Cesar Vallejo ubicada en la ciudad de Chiclayo en Perú, se llevó a cabo una investigación con pruebas de laboratorio sobre el uso de un biodigestor para el tratamiento de los residuos orgánicos que son generados por ganado vacuno, como una alternativa de solución al problema ambiental que se ha empezado a presentar debido a la crianza de estos animales y al manejo inadecuado que se le ha dado a estos residuos y también destinado a lograr el impulso de las tecnologías autosustentables de bajo costo

con una ejecución y mantenimiento fácil y rápido, para este estudio se seleccionó un biodigestor tipo tubular que pueda soportar una carga orgánica de 6.750 kg diarios que son los producidos por el ganado vacuno, luego de las pruebas y los cálculos realizados se llegó a la conclusión de que esta es una buena alternativa gracias a su forma fácil y sencilla de ser construido y operado, pese a que esta investigación fue llevada a cabo en laboratorios a escala pequeña se estima que llevado a una escala mayor podría generar 9 m³ de metano, con 5.150 litros de biol y 792 kilos de abono orgánico generando beneficios tanto económicos como ecológicos en la zona donde sea instalado (Sánchez Sánchez, 2017).

En la universidad de Trujillo (Perú) se realizó una obtención de gas a partir de estiércol de gallina por medio de un biodigestor de lecho fijo para producir biogás con el fin de disminuir el problema de contaminación a partir de la reutilización de este material, para esto tuvieron en cuenta variables del estiércol tales como los sólidos totales, contenido de carbono y de nitrógeno y el nivel de PH; para posteriormente realizar la construcción del biodigestor con una capacidad de 264,21 litros el cual fue cargado con 29.83 kg de estiércol de gallina ya compostado junto con un volumen de 12,78 litros de lodo activado esto con el fin de acelerar el proceso de digestión y se completó con 88,34 litros de agua, ya con la puesta en marcha del biodigestor se obtuvo como resultado una producción diaria máxima de 0,1928 kg de biogás y obteniendo una producción total acumulada de 6,92 kg de biogás al final del proceso, concluyendo con la confirmación de que si es viable la utilización del excremento de gallina para la producción de biogás, que las características mencionadas anteriormente si influyen directamente en la producción del biogás y como aporte final el biogás tuvo uso tanto en la cocina como en calentadores para los galpones de gallinas (Cubas guarnizo & Lescano Leon, 2007).

En otro proyecto realizado por la Escuela Superior Técnica de Chimborazo (Ecuador) se hizo la implementación de un biodigestor continuo para producción de biogás a partir de excremento vacuno, en este trabajo se procedió seleccionando una población de 8 vacas con las cuales se estimó la cantidad de excremento producido y sus propiedades físico-químicas y microbiológicas para con esto poder seleccionar el tipo de biodigestor y las dimensiones de este, para seguido realizar el ensamble del biodigestor con una capacidad de 500 litros el cual fue cargado diariamente con 12 litros de sustrato obteniendo una producción 2.26 m³/mes de biogás a una temperatura promedio de 29.5°C en un tiempo

de 30 días, siendo este utilizado para la cocción de alimentos en la finca, y concluyendo que la temperatura ambiente infliere de manera directa en el funcionamiento del biodigestor ya que el rendimiento de este se vio afectado en los días más lluviosos (Chillo Abril & Paguay Cuvi, 2015).

En la Universidad Nacional Agraria la Molina (Perú) se realizó un aprovechamiento del estiércol de gallina para producir biol como forma de manejo de residuos avícolas en el cual se evaluaron la calidad del biol obtenido por el excremento de gallinas ponedoras de las dos formas de crianza: en piso y en jaula adicional mezclando estas dos, las cuales el proceso de biodigestion se realizó en biodigestores tipo batch. Se realizó un seguimiento a dos variables principalmente: el PH y la temperatura, siendo los biodigestores cargados por 90 días donde se pudo obtener como resultado una reducción en el contenido de los coliformes fecales y totales siendo el biol obtenido de la digestión rico en nitrógeno, potasio, fósforo y magnesio haciéndolo un biol más útil (Carhuancho Leon, 2012).

A nivel nacional encontramos un proyecto realizado por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas que se basa en la propuesta para el diseño de un biodigestor para el aprovechamiento de materia orgánica con el fin de generar una propuesta para el manejo del excremento y orina de vacas y cerdos sacrificados de dos empresas de frigoríficos de Bogotá, se propusieron dos tipos de biodigestores; para el excremento de vacas se propuso un biodigestor tipo plug flow con un porcentaje de sólidos totales entre 11% y 13% generando una producción diaria de 1.801,71 m³ de biogás con temperatura promedio de 37,5°C en un tiempo de 20 días de retención, y para el excremento de cerdos se propuso un biodigestor tipo CIPAV con el cual se obtenía una producción diaria de 657,26 m³ de biogás durante un tiempo de retención de 45 días, en la que se concluyó que la propuesta si es viable ya que con la producción de biogás se es posible suplir las necesidades energéticas del proceso productivo de las empresas pasando a ser un proceso energéticamente sustentable y amigable con el medio ambiente (Bolívar Fuquene & Ramirez Hernandez, 2012).

Otro proyecto realizado a nivel nacional fue el de Universidad de las Américas, el cual trata sobre las condiciones de operación de un biodigestor que usaría como materia orgánica los excrementos de vacas y caballos, partiendo por determinar las características químicas de las excretas con el fin de verificar su viabilidad para obtener gas metano y con qué variable de mezcla se puede obtener la mayor cantidad de biogás; basándose en las

condiciones de la finca se propusieron dos tipos de biodigestores los cuales serían evaluados con la mezcla que se seleccionaría para al final escoger la opción más viable para la finca, al final se concluyó que la proporción de la mezcla de estos dos estiércoles que más generaba gas metano era de un 0,75 de estiércol vacuno y un 0,25 de estiércol equino y el biodigestor que más se adecuó a las condiciones fue de tipo flexible con aislamiento principalmente por que presentaba el menor tiempo de retención (Hernandez Ramirez & Ramirez Saavedra, 2019).

En esta misma universidad se realizó un tiempo atrás un diseño conceptual de un biodigestor para la producción de biogás en esta ocasión realizando un aprovechamiento de excremento vacuno y avícola, esto debido a la falta de gas natural en una finca como principal problema, el cual desencadena en afectación al medio ambiente de la zona debido a que es requerida la tala de árboles para su uso como combustible, en este proyecto a diferencia de los otros aparte del uso del biodigestor también se tuvo que implementar un colector solar el cual facilitara la estabilización de las condiciones de operación debido a las condiciones ambientales de la zona, el biodigestor propuesto es del tipo CSTR semicontinuo a una escala mediana de 250 L, luego de la implementación del biodigestor se llegó a la conclusión de que el excremento que más favorecía la producción de biogás es el excremento vacuno y que esta actividad requiere de condiciones sumamente estrictas especialmente en la temperatura y el PH, también se concluyó que el tipo de biodigestor propuesto es el más adecuado para la producción del biogás (Bernal Patiño & Suarez Ramirez, 2018).

En la Universidad Distrital Francisco José de Caldas se llevó acabo el diseño y construcción de un biodigestor utilizando el excremento generado por perros en una veterinaria ubicada en Tunja, esto con el fin de dar un mejor uso a la gran cantidad de heces las cuales generaban inconvenientes de salubridad debido a las condiciones de almacenamiento y manejo de esta materia prima, como principal obstáculo que presentó este proyecto fue la temperatura de la zona ya que esta influyó directamente en el tiempo de producción del biogás, como resultado se obtuvo la generación de biogás con heces caninas pero se requirió del uso de heces de vacas o lodo de una planta de aguas residuales y para el tema de la temperatura se requirió de un sistema de calefacción para lograr un rango de temperatura entre 18 y 32°C ideal para la generación de biogás, con las condiciones presentadas se procesaron 5.8 toneladas al año de heces caninas y se

obtuvo una producción de 24.426 litros al año de biol (Rodríguez Pachón & García Cepeda, 2017).

En un proyecto de grado realizado en la Universidad Industrial de Santander se estudió la obtención de biogás a través de la gallinaza producida en una finca de la Empresa Incubadora de Santander, esta finca tiene una producción promedio de 127,5 m³/día de gallinaza y durante la etapa de producción se llegaban a producir un promedio de 0,0804 kg de gallinaza en masa seca al día por ave, como toda empresa esta finca tiene exigencia en materia energética, consumo de combustibles fósiles como la gasolina y el ACPM y el uso de cilindros de gas propano, por lo cual la empresa estaba presta a escuchar propuestas viables que ayudarán con su economía con la disminución de costos y realizando un aporte al medio ambiente del sector, por lo tanto se realizó la evaluación de esta materia prima en la producción de gas por medio de un proceso de digestión anaeróbica y a su vez se realizó un estudio al inóculo que se utilizaría en el proceso; entre los más comunes se encuentra el estiércol bovino, el lodo estiércol de los cerdos o los lodos producidos en plantas de tratamientos de aguas residuales, como resultado se obtuvo que si es viable la producción de biogás con gallinaza y de los tres inóculos propuestos para la digestión anaeróbica, el estiércol bovino fue el que presentó el mayor aporte potencial al proceso de digestión (Sierra Rios, 2013).

A nivel regional la Universidad Nacional Abierta y a Distancia realizó un diseño e implementación de un biodigestor en una granja porcícola como una estrategia para aprovechar el lixiviado resultante del proceso de digestión como fertilizante y la generación de biogás, esto para proponer una técnica adecuada para el manejo de estos desechos y disminuir los inconvenientes generados tanto para la finca del estudio como para las fincas vecinas, se propuso la implementación de un biodigestor tipo CIPAV gracias a que es un biodigestor de bajo costo, fácil mantenimiento y fácil ensamble, se estimó una producción de biogás en que por cada 10 kg de excremento se producen 0,9 m³ de biogás, y se concluyó que el gas generado por el biodigestor suplía las necesidades de 4 familias que viven en la finca de este modo ahorrando la inversión que realizaban en la compra de cilindros de gas, también se observó una mejora en los suelos donde se era aplicado los lixiviados resultantes del biodigestor como biofertilizante (Rojas Reyes & Ñañez Muñoz, 2018).

El centro agro empresarial y de desarrollo pecuario del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) en el Huila también ha realizado la implementación de los biodigestores en su programa de capacitación en crianza y producción de cerdos, esto con el fin de promover un manejo adecuado de los desechos generados en esta actividad enfocado al mejoramiento de la calidad de vida de las familias campesinas y a la disminución de condiciones negativas que se presentan en el área rural, la principal problemática por la que se implementa esta alternativa es la falta de líneas de gas natural en las zonas rurales donde se encuentran los criaderos de cerdos, llevando a las familias que están a cargo de estos criaderos a recurrir a la leña como su forma para la preparación de alimentos lo cual genera otro problema que es la deforestación por la tala de árboles y a generar enfermedades debido a la inhalación de humo en la quema de esta leña, con lo que se llegó a la conclusión de que en los lugares donde se implementaron los biodigestores, disminuyó la deforestación y se protegen las fuentes hídricas junto con la fauna y la flora, adicional con la sustitución de la leña como forma de cocción de alimentos se contribuyó a evitar enfermedades respiratorias debido a la inhalación de humo y generó un aporte económico a las familias (Fernández, 2017).

2. Diseño Ingenieril

En este capítulo está planteado el análisis de los resultados del estudio que se realizó en la finca “Mi granjita huevos el dorado”, en donde a partir de la recolección se determinaron los parámetros de diseño que fueron usados para la selección de los componentes del biodigestor y para la toma de decisiones de dimensionamiento de este.

2.1 Recolección de la gallinaza

Con base al manual de producción avícola, la recolección en seco consistió en dejar que el material se acumulará a una altura de 40 centímetros aproximadamente, sin tocar la base de las jaulas, realizándose a mano durante la noche y con el personal especializado (Pedroza, 2005). Por esta razón la recolección se dividió en cinco sesiones respectivamente, las cuales fueron realizadas durante dos semanas en las horas de la noche. Por cuidado de las gallinas esta recolección fue realizada por las dos personas encargadas de alimentarlas, se utilizó una malla para separar las gallinas en una esquina, mientras se realizaba la recolección manual, utilizando guantes de nitrilo y se iba depositando en costales de fibra, terminado este proceso, se pesaron cada uno de los bultos en una balanza romana con gancho con peso máximo de 100 kg.

2.2 Cantidad de excremento recogido

En total se recogieron 150 bultos de gallinaza, cada uno pesó 40 kg, la información de la cantidad de bultos por sesión de recolección y la totalización del material orgánico recogido se presentan en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1 Cantidad de gallinaza recogida en (Kg)

Sesión	Bultos por sesión	Peso Bulto (Kg)	Total (kg)
No.1	10	40	400
No.2	30	40	1200
No.3	30	40	1200
No.4	40	40	1600
No.5	40	40	1600
	150	40	6000

Fuente: (Autores)

Como se puede observar en la tabla se recogieron 6000 kg de gallinaza, esta cantidad fue acumulada durante siete meses, para poder determinar la cantidad de gallinaza diaria en promedio generada (MPCG), se utilizó la ecuación 2.1.

$$MPC = \frac{\text{Cantidad de excremento recogido}}{\text{tiempo de duracion en dias}} \left[\frac{kg}{dia} \right] \quad \text{Ec.2.1}$$

$$MPCG = \frac{6000kg}{210 \text{ dias}}$$

$$MPCG = 28,57 \text{ kg}/\text{dia}$$

En la finca se contaba con un porcino pequeño, el cual duro tres meses, el excremento porcino es un sustrato potente para producir biogás, por esta razón se recolectó la porcinaza como complemento de la gallinaza. Esta recolección se realizó en un día, se tomaron las mismas medidas de higiene que con la gallinaza, primero se llenó un bulto de fibra con 10 kg de porcinaza y se pesó en una balanza continental con peso máximo de 10 kg, por esta razón se realizó este proceso cuatro veces por costal, se recogieron en total 11 bultos de 40 kg de porcinaza cada uno, para un total de 440 kg de porcinaza, para determinar la cantidad de porcinaza diaria en promedio generada (MPCP), se aplicó la ecuación 2.1.

$$MPCP = \frac{440 \text{ kg}}{90 \text{ dias}}$$

$$MPCP = 4,89 \text{ kg}/\text{dia}$$

Ya teniendo la cantidad de gallinaza y porcinaza generada diariamente, se pudo determinar la cantidad total de excremento diaria, aplicando la ecuación 2.2.

$$E = MPCG + MPCP \left[\frac{kg}{dia} \right] \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

E = Cantidad de excremento diaria que ingresaría al digestor (kg/día)

$MPCG$ = Gallinaza diaria generada

$MPCP$ = Porcinaza diaria generada

$$E = 28,57kg/dia + 4,89kg/dia$$

$$E = 33,46kg/dia$$

2.3 Determinación de pH

Para la determinación del pH se utilizó un medidor universal de papel que consiste en tiras de papel individuales, las cuales cuando entran en contacto con la mezcla cambian de color de acuerdo al pH que tenga la muestra. Se tuvieron en cuenta tres tipos de muestras con las siguientes proporciones entre gallinaza, porcinaza y agua.

-Muestra 1: Gallinaza: 40% - Agua: 60%

-Muestra 2: Porcinaza: 40% - Agua: 60%

-Muestra 3: Gallinaza: 20% - Porcinaza: 20%- Agua: 60%

En las muestras se tuvo en cuenta una mayor proporción de agua a la de la materia prima, basándonos en proyectos realizados con este tipo de análisis donde se recomienda así para mejorar la eficiencia de proceso (Chillo Abril & Paguay Cuvi, 2015).

De las pruebas realizadas obtuvimos los siguientes resultados.

*Muestra 1: Color: verde: escala neutra o ligeramente ácida

*Muestra 2: Color: naranja: empieza a estar en escala ácida

*Muestra 3: Color: verde: escala neutra.

Se podría obtener un valor más exacto (valor numérico) del pH de las muestras con un multi-párametro Apera PH400S disponible en los laboratorios de la UAN sede Neiva Buganviles para conocer la proporción exacta de la mezcla más cercana a un valor neutro de acuerdo con la recomendación, se sugiere seguir este procedimiento en trabajos futuros.

2.4 Diseño del biodigestor

2.4.1 Volumen del digestor (V_D)

Para poder calcular el volumen del digestor, es necesario saber que el excremento contiene un gran porcentaje de agua, por esta razón es importante conocer las relaciones entre el sustrato y el agua dependiendo de la fuente proveedora, como se presenta en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2 Relación estiércol-agua para diferentes tipos de fuentes

Animal	Relación Estiércol : agua
Bovino estabulado	1:1
Bovino semiestabulado	1:1
Porcinos peso > 50 Kg.	1:1-2-3
Aves peso ≈ 2 Kg.	1:1
Equino	1:1-3

Fuente: (Chungandro Nacaza & Manitio Cahuatijo, 2010)

De acuerdo con la Tabla 2.2 el factor de dilución del residuo se considera como un 1kg de excremento que es igual, aproximadamente, a un 1 litro de agua, es decir 1 kg estiércol : 1 L agua, esto quiere decir que el factor de dilución es 1:1.

Según la tesis de (Kleber Chungandro, 2010) el volumen del biodigestor se calcula con la ecuación 2.3.

$$V_D = (E)(TR)(F_d) [m^3] \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

V_D = Volumen del biodigestor en m^3

E = Cantidad de estiércol diario

TR = Tiempo de retención en días

F_d = Factor de dilución del residuo

El tiempo de retención indica el tiempo conveniente que debe dejarse la materia prima dentro del biodigestor, para que en las condiciones ambientales del lugar puede degradarse y así producir biogás, en la tabla 2-3 se ilustra el tiempo de retención recomendado para diferentes materias primas.

Tabla 2-3 Tiempo de retención y materia prima

MATERIA PRIMA	TR
Estiércol vacuno líquido.	20 - 30 días
Estiércol porcino líquido.	15 - 25 días
Estiércol aviar líquido.	20 - 40 días

Fuente: (Chungandro Nacaza & Manitio Cahuatijo, 2010)

En el presente estudio la materia prima dominante es el estiércol aviar líquido, con base a los datos de la tabla 2.3 se realiza promedio de los días recomendados para aviar y porcino, es decir 35 días de retención, se reemplaza en la ecuación 2.2, con el factor de dilución y con los días de retención, como se sugiere en la ecuación 2.3.

$$V_D = \left(33,46 \frac{kg}{dia}\right) (35 dias)(2)$$

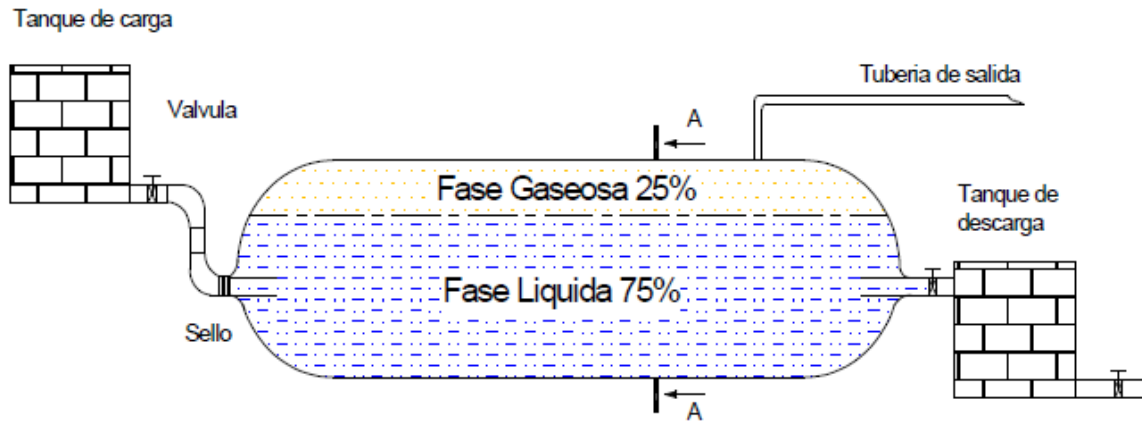
$$V_D = 2342.2 \text{ kg/dia} \left(\frac{1 \text{ litro}}{1 \text{ kg}}\right) \left(\frac{1m^3}{1000litro}\right)$$

$$V_D = 2,34m^3$$

2.4.2 Volumen real del biodigestor y campana

Para el biodigestor tubular tipo Plug Flow se sugiere que 75% del volumen sea fase líquida y el 25% del volumen se disponga para una fase gaseosa, entendiendo que la fase líquida equivale al volumen del sustrato ingresado y la fase gaseosa al volumen de biogás generado, como se ilustra en la Figura 2-1.

Figura 2-1 Esquema general del biodigestor tubular



Fuente: (Chungandro Nacaza & Manitio Cahuatijo, 2010)

Como ya se tiene el volumen de la fase líquida, el cual es igual al 75% del volumen real como se ilustra en la ecuación 2.4, se calcula el volumen de la fase gaseosa para así determinar el volumen real del biodigestor (V_{DR}), como se ilustra en la ecuación 2.5, se calculará el volumen de la campana (V_C) o del gasómetro.

$$V_D = V_L = 2,34 \text{ m}^3 = 75\% \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$V_C = V_L \left(\frac{0,25}{0,75} \right) \quad \text{Ec. 2.5}$$

$$V_C = 2,34 \text{ m}^3 \left(\frac{0,25}{0,75} \right)$$

$$V_C = 0,780 \text{ m}^3$$

Donde

V_D = Volumen del digestor

V_C = Volumen de la campana

V_L = Volumen de la fase líquida

De esta manera el volumen real del biodigestor se calculará como indica la ecuación 2.6.

$$V_{DR} = V_C + V_D \quad \text{Ec. 2.6}$$

$$V_{DR} = 2,34 \text{ m}^3 + 0,78 \text{ m}^3$$

$$V_{DR} = 3,12 \text{ m}^3$$

2.4.3 Diámetro del biodigestor

Se tiene como referencia que el biodigestor tubular utiliza un plástico de polietileno tubular calibre 8 con protección rayos UV para su membrana, teniendo un perímetro de 2,5 m, con base a ese dato se pudo determinar su diámetro con las ecuaciones 2.7 y 2.8.

$$P_f = \pi D_f \text{ [m]} \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$D_f = P_f / \pi \text{ [m]} \quad \text{Ec. 2.8}$$

$$D_f = 2,5 / \pi$$

$$D_f = 0,79 \text{ m}$$

Donde:

P_f = Perímetro

D_f = Diámetro de la membrana de plástico

2.4.4 Longitud del biodigestor

Para calcular la longitud del biodigestor (L_D), se utilizará el diámetro y el volumen real del biodigestor, mediante fórmulas geométricas aplicadas para calcular el volumen de un cilindro, como se ilustra en la ecuación 2.9 y en la ecuación 2.10.

$$V_{DR} = A_D L_D \text{ [m}^3\text{]} \quad \text{Ec. 2.9}$$

$$A_D = \pi \frac{D_f^2}{4} \text{ [m}^2\text{]} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Ya con las fórmulas anteriores se iguala y se despeja la longitud del biodigestor (L_D), se obtiene la ecuación 2.11 y se reemplazan los datos.

$$\frac{L_D}{V_{DR}} = \pi \frac{D_f^2}{4} \quad \text{Ec. 2.11}$$

$$L_D = \frac{4 V_{DR}}{\pi D_f^2}$$

$$L_D = \frac{4 (3,12)}{\pi (0,79^2)}$$

$$L_D = 6,4 \text{ m}$$

Como el biodigestor está conectado a la tubería de entrada y de salida del sustrato, por esa razón, se le debe adicionar un 1 m a cada lado, es decir que la longitud total de la membrana quedaría en 8,4 m.

2.4.5 Dimensionamiento del tanque de carga y descarga

Los tanques de carga (V_{TC}) y descarga (V_{TD}), se encargan de almacenar el excremento antes y después de entrar y de salir del biodigestor, según la tesis de (Kleber Chungandro, 2010), los tanques de entrada y de salida se diseñan para un tamaño de tres veces la carga diaria, determinándose como se ilustra en la ecuación 2.12.

$$V_{TC} = V_{TD} = 3 \text{ carga diaria } [m^3] \quad \text{Ec. 2.12}$$

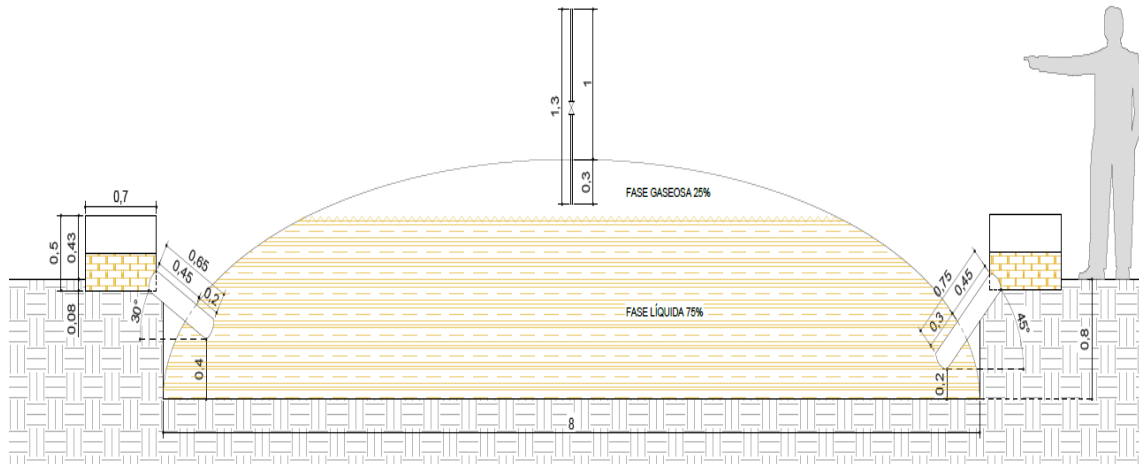
$$V_{TC} = 3 (0,3346 \text{ m}^3)$$

$$V_{TC} = V_{TD} = 1,0038 \text{ m}^3$$

2.5 Plano del biodigestor

En la Figura 2-2 se tiene el plano del biodigestor, en corte longitudinal y transversal donde se determina las dimensiones del tanque de carga y descarga, de la tubería de entrada y salida del sustrato, así también la forma que tomará el digestor con sus dimensiones y de la tubería de salida de biogás.

Figura 2-2 Plano del biodigestor

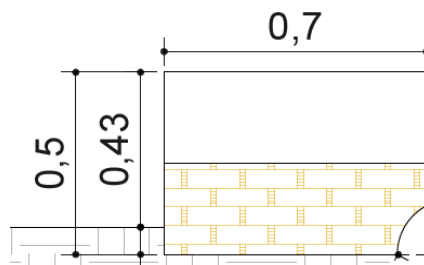


Fuente: (Autores)

2.5.1 Tanque de carga y descarga

El tanque de carga se encuentra ubicado a un nivel diferente que el digestor, ingresando el sustrato por gravedad, para que el sustrato fluya hacia el digestor por medio de la tubería de conducción, se estima una altura de máximo 50 cm por encima del nivel del digestor, por lo contrario el tanque de descarga estará ubicado al nivel del biodigestor, permitiendo la facilidad de mantenimiento y recolección del bioabono, en la figura 2-3 se puede observar el dimensionamiento del tanque de carga y descarga. Para su construcción se recomienda elaborarse en concreto, debido a que en términos económicos es más viable y su vida útil es mejor.

Figura 2-3 Dimensionamiento de tanque carga y descarga



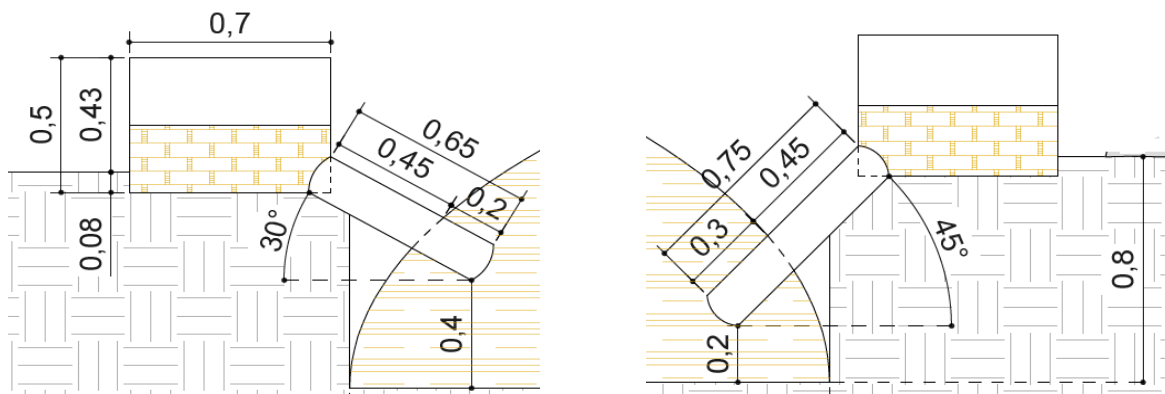
Fuente: (Autores)

2.5.2 Tubería de alimentación y salida del sustrato

Como se puede observar la Figura 2-4, la tubería de alimentación tiene inclinación de 30° sobre la horizontal, permitiendo que el sustrato fluya por gravedad al digestor, para que la salida del efluente sea más fácil de retirar, la tubería de salida debe tener una inclinación de 45° sobre la horizontal.

Para la tubería se encuentran materiales tales como: PVC, galvanizado, cobre y aluminio, cotizando se pudo observar que la tubería en PVC es más económica y fácil de adquirir, además con este tipo de tubería se evitarían problemas de corrosión y su mantenimiento es de mayor facilidad.

Figura 2-4 Dimensiones de la tubería de carga y descarga

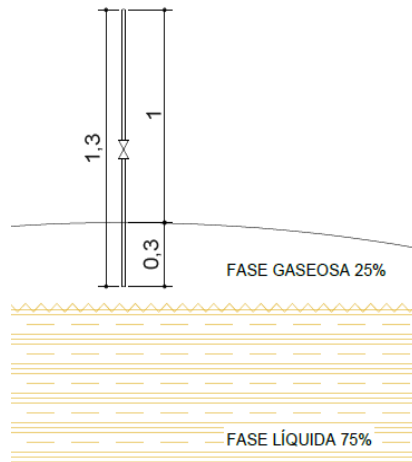


Fuente: (Autores)

2.5.3 Tubería de salida de biogás

Para la salida del biogás, como se mencionó anteriormente la tubería recomendada es el PVC, debido a que posee un recubrimiento interno con poca rugosidad, de esta manera permite el paso más fácil del gas, evitando la condensación en el interior del tubo. Se indica que la tubería de salida deber tener 1 pulgada de diámetro para digestores familiares y de $1\frac{1}{2}$ pulgada para digestores grandes, se puede observar el dimensionamiento de la tubería en la figura 2-5.

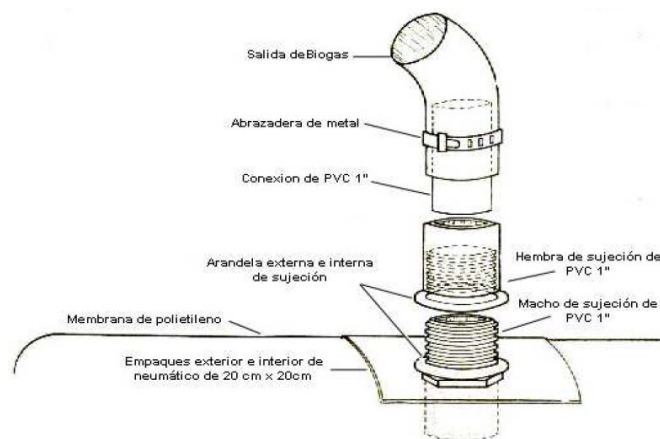
Figura 2-5 Dimensionamiento de la tubería de salida de biogás



Fuente: (Autores)

Cuando comienza el proceso de digestión metanogénica, incrementa la presión interna del digester, causada por la generación de gases, controlada con una válvula de alivio manteniendo un flujo constante y una presión interna adecuada, como se puede observar en la figura 2-6, el digester tiene un acople hembra y macho de PVC entre el plástico polietileno y la tubería de salida, siendo la membrana perforada en el centro del digester, seguido se acopla un empaque, de goma de neumático o plástico de 2,3mm de espesor, con diámetro menor a 1 pulgada, de esta manera se forma un sello mecánico evitando cualquier fuga.

Figura 2-6 Acople en salida de biogás

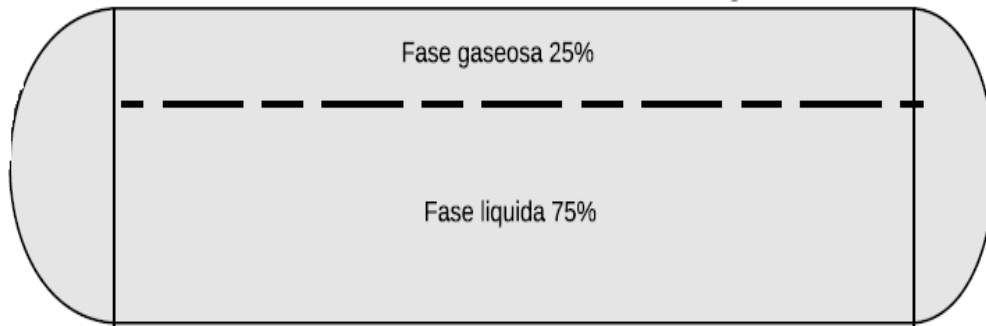


Fuente: (Chungandro Nacaza & Manitio Cahuatijo, 2010)

2.5.4 Reactor y construcción de la fosa

El reactor es el principal componente del biodigestor, el cual está dividido en dos partes, en fase líquida que es la materia orgánica cargada igual a 75% y la fase gaseosa que es la generación de biogás equivalente al 25% del reactor, como se observa en la Figura 2-7.

Figura 2-7 Esquema de reactor



Fuente: (Autores)

Para la construcción de la fosa, se recomienda abrirla con retroexcavadora, se debe cavar la zanja primero considerando que los lados y el piso deben ser lisos, sin piedras y raíces, sus lados deberán estar inclinados de 10° a 15° para evitar que colapse, por esa razón es necesario ubicarlo en una zona cerca de la línea de consumo, encontrándose debajo de la tierra, evitando de esta manera efectos variables de temperatura y pérdidas de calor.

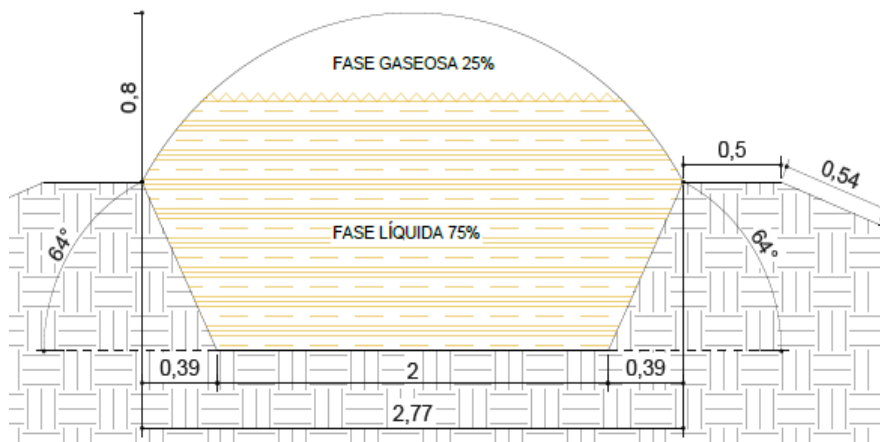
Por lo general, las fosas para biodigestores tubulares deben tener una profundidad máxima de 90 cm, un ancho de 2 metros y su largo depende de la cantidad de materia cargada en m^3 , como se puede observar en la Figura 2-8. Estos biodigestores se caracterizan por estar cubiertos con un plástico polietileno tubular de calibre 8, el cual se encarga de contener el sustrato y el gas generado, es muy importante realizar su instalación adecuada.

2.6 Costo del biodigestor

Los materiales relacionados a continuación corresponden a los de más fácil acceso en términos económicos, disponibilidad e instalación, se cotizaron en la ferretería "Único Ferretería y Seguridad", ubicada en el centro de la ciudad de Neiva, donde se puede adquirir de manera fácil y directa. El plástico tubular calibre 8 con protección de rayos x,

se cotizo en la ciudad de Neiva, en Calipso a \$ 15.400 pesos por metro, pero solamente se puede adquirir el plástico por 100 metros mínimo, por esta razón se buscaron otras tiendas en internet, tanto en la ciudad como en otras ciudades. En la ciudad de Bogotá, se localizaron dos tiendas, se comunicó con cada una telefónicamente, la primera Global Plast venden el plástico a \$ 16.000 mil pesos por metro y SurtiPlast a \$ 13.500 mil pesos por metro, para adquirirlas se consigna el dinero directamente y realizan el envío en cinco días hábiles, en Tabla 2-4 se presentan los costos detallados de los materiales para la construcción del biodigestor.

Figura 2.7 Dimensionamiento de la fosa



Fuente: (Autores)

Tabla 2-4 Costos de materiales

LISTA DE MATERIALES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Plástico tubular calibre 8 con protección de los rayos UV por metro	9	\$13.500,00	\$121.500,00
Plástico aislante por metro	9	\$8.000,00	\$72.000,00
Tubo de PVC 1/2"	1	\$4.000,00	\$4.000,00
Tubo de PVC de 6"pesado de 2m	1	\$25.000,00	\$25.000,00
Unión roscada de PVC de 1/2"	1	\$600,00	\$600,00
Codo PVC 1/2"	2	\$600,00	\$1.200,00
Adaptador macho PVC 3/4"	1	\$700,00	\$700,00
Adaptador hembra PVC 3/4"	1	\$700,00	\$700,00
Reductor PVC de 3/4" a 1/2"	1	\$800,00	\$800,00
Unión lisa PVC 1/2"	1	\$500,00	\$500,00

Arandelas metálicas 1/2"	2	\$700,00	\$1.400,00
Te PVC 1/2"	2	\$600,00	\$1.200,00
Llave de paso de 1/2"	2	\$5.000,00	\$10.000,00
Uniones de PVC de 1/2"	2	\$600,00	\$1.200,00
Kilo de Cal	1	\$2.000,00	\$2.000,00
Arandelas de hule	2	\$800,00	\$1.600,00
Silicona Roja	1	\$6.000,00	\$6.000,00
Pegante PVC	1	\$9.500,00	\$9.500,00
Bultos de cemento	3	\$28.000,00	\$84.000,00
Neumáticos	4	\$2.000,00	\$8.000,00
Válvula de escape	1	\$95.000,00	\$95.000,00
Arena en bugados	2	\$10.000,00	\$20.000,00
Fosa (con retroexcavadora)	2	\$90.000,00	\$180.000,00
Ladrillos paneloles	10	\$600,00	\$6.000,00
Mano de obra	6	\$50.000,00	\$300.000,00
Gastos estudiantes	2	\$75.000,00	\$150.000,00
Total			\$1.102.900,00

Fuente: (Autores)

3. Simulación y resultados

3.1 Búsqueda del software

Se realizó una búsqueda de posibles softwares que realizarán la simulación del desarrollo del biodigestor, de igual forma se buscaron calculadoras de biogás, donde nos suministrara la cantidad de biogás generada, se encontraron los siguientes:

3.1.1 Software biodigestor-Pro

El programa Biodigestor-Pro ayuda de forma rápida y fácil en el dimensionamiento (volumen, base, altura) de biodigestores, el cálculo de la producción de biogás ($\text{m}^3/\text{día}$), la estimación de la energía eléctrica (kWh) y calorífica (kWh-BTU), calcula un presupuesto estimado de construcción y un análisis costo beneficio. Desarrollado por Aqualimpia Engineering e.K., representa una herramienta precisa para el diseño exclusivo de biodigestores domésticos e industriales y plantas de biogás, el programa se debe comprar una licencia anual de € 175 que equivale en pesos colombianos a \$844.658 mil pesos, por medio de la página www.aqualimpia.com (Aqua limpia Engineering, 2017).

3.1.2 SIMBA #biogás

Es un simulador dinámico de plantas de biogás, que ofrece todos los componentes necesarios para un análisis sólido de las plantas de biogás de digestión húmeda, incluyendo modelos de reactores explícitos y un modelo de digestión dinámica capaz de manejar múltiples sustratos (InCTRL, 2016).

SIMBA # biogás permite la realización de una amplia gama de aplicaciones en la práctica de ingeniería, investigación y educación, esto incluye el diseño y la optimización de diseños

de plantas de biogás y procesos de unidades conectadas. Fue desarrollada por simuladores SIMBATM, se puede obtener un demo para poder realizar la simulación.

3.1.3 Calculadora de Biogás

Es una calculadora de digestión anaeróbica, que presenta diferentes tipos de materias primas como sustrato, teniendo como resultado la producción de biogás, utilización de biogás en diferentes ámbitos, reducción de GEI y costos potenciales, su uso es libre y se puede acceder por la página BiogasWorld (Cibiogas, 2020).

3.1.4 Calculadora Biovalor

Es una calculadora que permite estimar el potencial de valorización de residuos según el sector y tecnología, suministra como resultado la producción neta de biogás, la generación de energía eléctrica, la cantidad de residuos generada, y la estimación de emisiones neta de GEI, esta calculadora es de uso libre y se puede acceder por la página Proyecto Biovalor (Biovalor, 2018).

3.1.5 OBA TM

Es una calculadora de uso libre y gratuito, donde permite calcular la producción acumulada de biogás a partir de estequiometría, en función de la composición del sustrato, se puede acceder a esta calculadora por la página Biotransformers (Holliger et al., 2016).

3.2 Selección del software

Después de tener las opciones de software que cumplieran con la simulación del biodigestor, se buscó cuáles de los softwares encontrados tenían versiones demo, meses de prueba o licencias no tan costosas.

Se intentó contactar con la empresa Aqualimpia Engineering e.K, que son los desarrolladores de Biodigestores Pro para consultar la opción de adquirir una licencia por menos tiempo y a menor precio, pero no fue posible obtener contacto con algún asesor de esta empresa y por ende se descartó este software para su uso debido a que su licencia anual resulta en un costo demasiado alto para el desarrollo del proyecto.

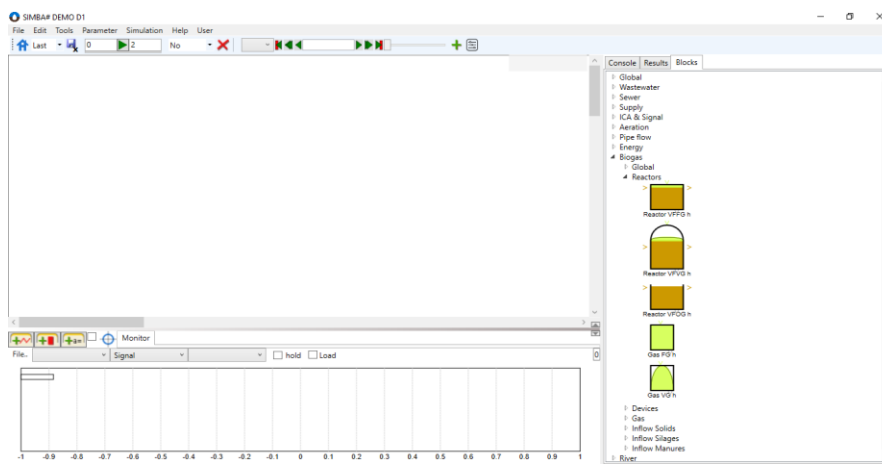
Se pasó a contemplar la opción del software Simba #biogás ya que, según lo consultado en la página de la empresa desarrolladora de este software, este contaba con una versión demo gratuita, se logró enviar un mensaje por la página web de esta empresa, argumentando el interés en obtener la versión demo de este software. Al día siguiente de enviar el mensaje, se recibió por correo electrónico un mensaje de dos empleados de la empresa con la invitación a realizar una vídeo llamada para brindar capacitación en el software y realizar una demostración de lo que podía ofrecer este software.

En horas de la tarde se realizó el contacto con el señor Manel Garrido y Alex Rosenthal, quienes fueron los encargados de la orientación, en la cual explicaron qué era el software que trabajaban, para qué servía, qué cualidades tenía, entre otros aspectos, la vídeo llamada tuvo una duración de 1 hora donde por medio de un ejemplo enseñaron el funcionamiento del software, al final facilitaron la versión demo del software la cual tiene como restricción que no permite guardar los trabajos que se realicen y que esta versión muestra solo una parte de los resultados obtenidos, ofrecieron al final la opción de una licencia anual del software en su versión completa, la cual tenía un costo bastante elevado por lo que decidimos utilizar la versión demo de este software hasta donde esta lo permitiera y complementar los resultados con alguna de las calculadoras de biogás que encontramos por internet.

3.3 Simulación pasó a paso del biodigestor

1. Entorno de trabajo del software SIMBA #biogás, véase la Figura 3-1.

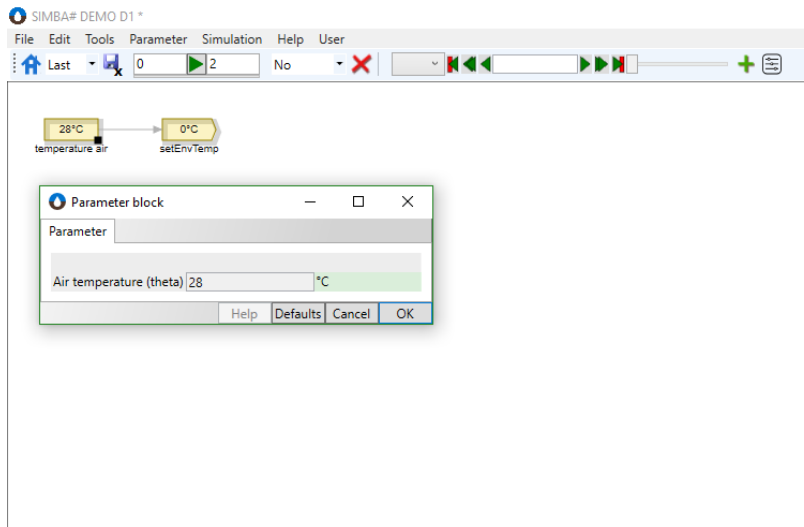
Figura 3-1: Pantalla principal software SIMBA #biogas



Fuente: (Autores).

2. Se define la temperatura del ambiente en la que va a trabajar el biodigestor, así como se observa en la Figura 3-2.

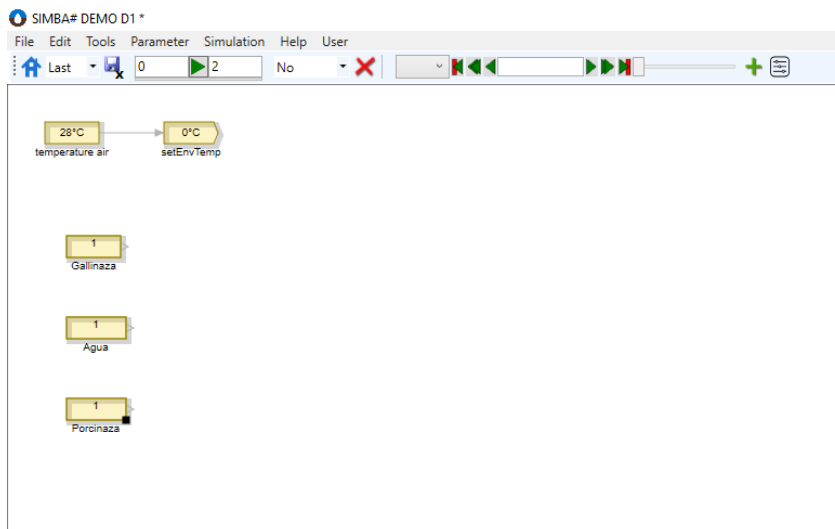
Figura 3-2: Definición temperatura.



Fuente: (Autores)

3. Se define las constantes que influyen en el funcionamiento del biodigestor, en este caso las constantes son la gallinaza, la porcínaza y el agua, como se ilustra en la Figura 3-3.

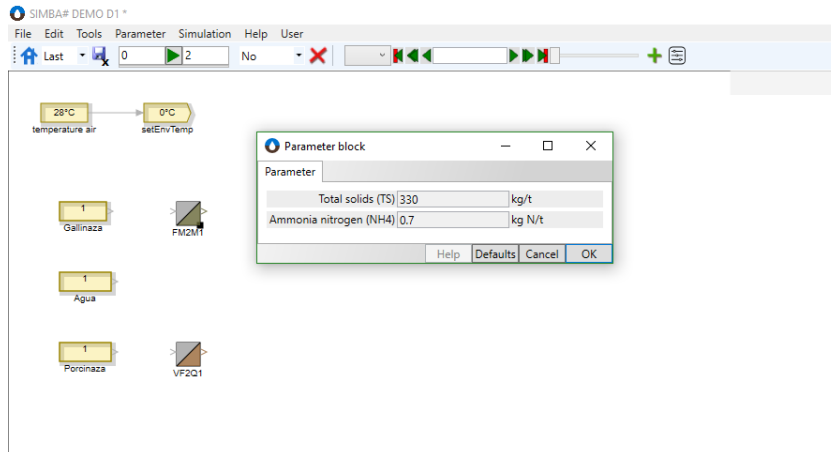
Figura 3-3: Constantes del biodigestor



Fuente: (Autores)

- Seguido se colocaron los cuadros FM2M1 en la parte de gallinaza y el cuadro VF2Q1 en la parte de la porcínaza, esto sirve para digitar la cantidad de cada excremento que ingresa al biodigestor, como se observa en la Figura 3-4.

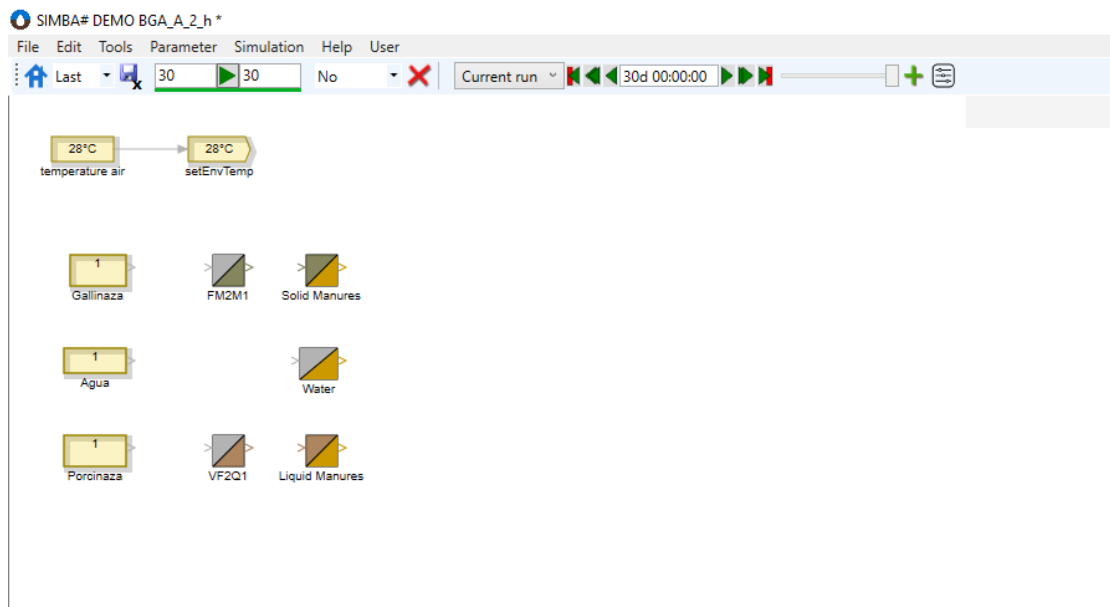
Figura 3-4: Cantidad de Gallinaza



Fuente: (Autores).

- Se agregan los siguientes cuadros de “solid manure”, “liquid manure” y “wáter” con los cuales se especifican las propiedades de las materias primas presentes en el biodigestor, el programa ya trae cargadas estas propiedades por defecto, solo se modifica la temperatura y el pH, así como se ilustra en la Figura 3-5.

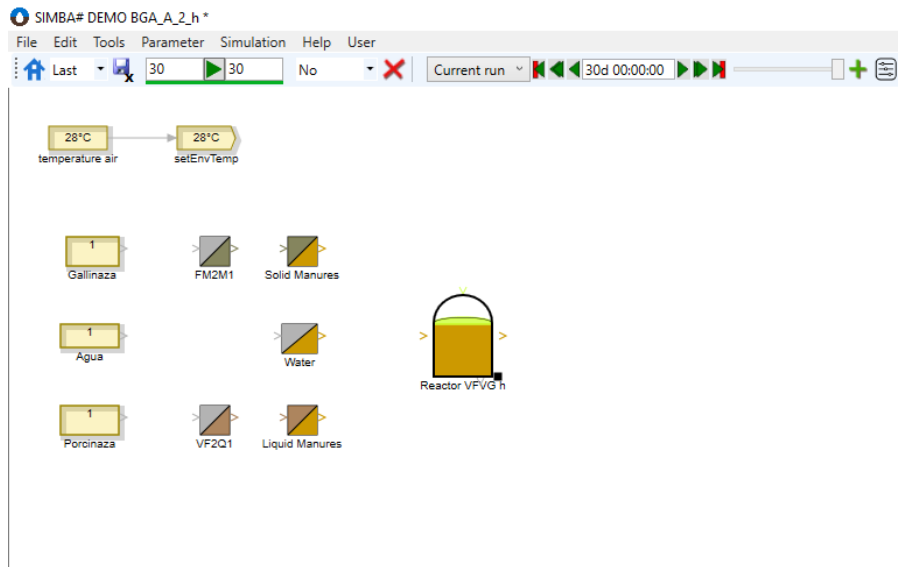
Figura 3-5: Materiales del biodigestor.



Fuente: (Autores).

6. Se agrega el bloque del reactor o en este caso el biodigestor donde se realizará el proceso de digestión anaeróbica, observar la Figura 3-6.

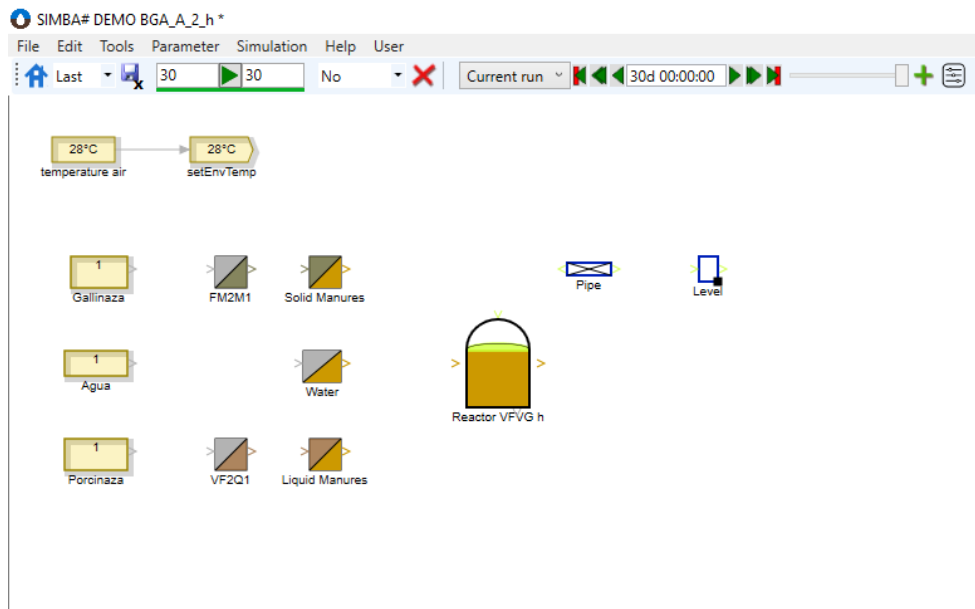
Figura 3-6: Bloque reactor o biodigestor.



Fuente: (Autores)

7. Al agregar los bloques “pipe” y “level” se está representando la tubería de salida para el biogás generado en el bloque del reactor, como se ilustra en la Figura 3-7.

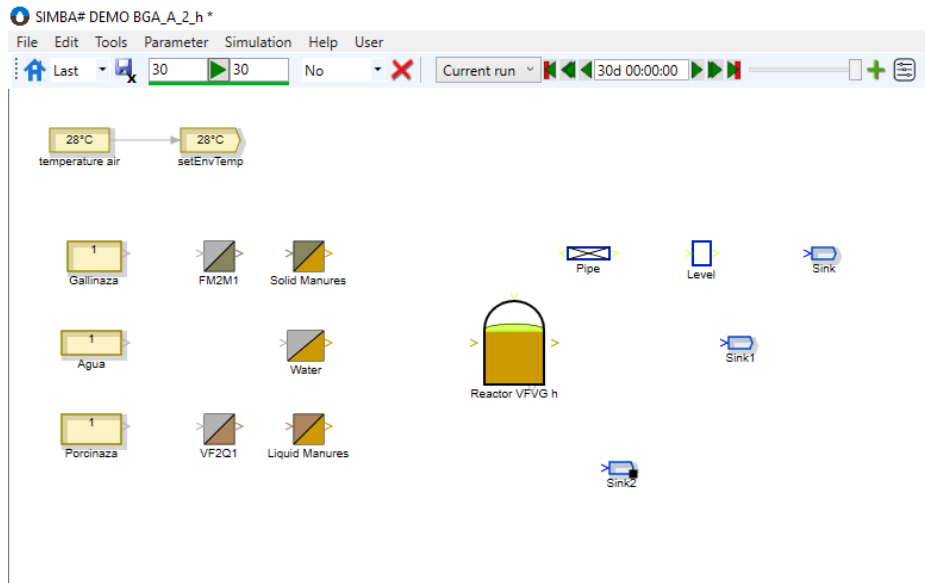
Figura 3-7: Tubería de salida del gas



Fuentes: (Autores).

- Los bloques llamados “sink” funcionan para revisar información del gas en la tubería de salida, el lodo que sale del biodigestor y la información dentro del reactor del biodigestor, esto se ilustra en la Figura 3-8.

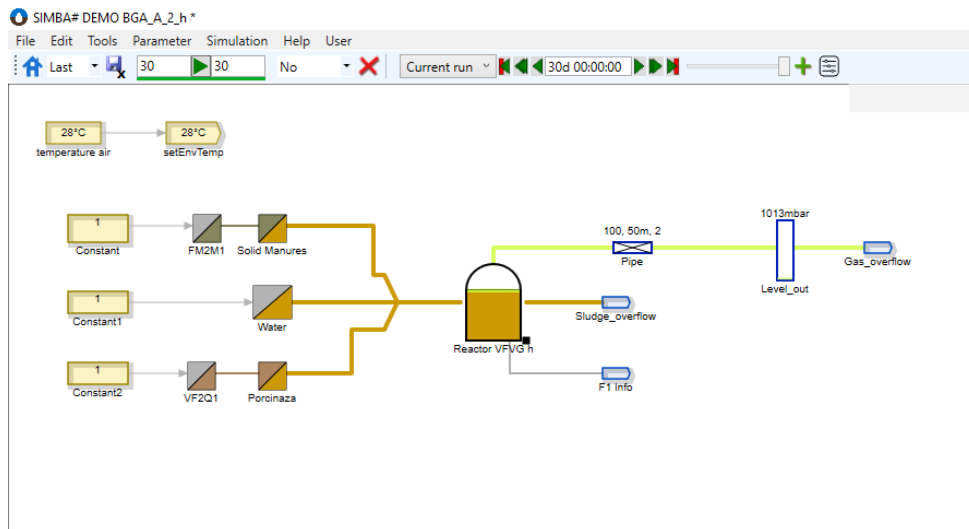
Figura 3-8: Características biodigestor



Fuente: (Autores)

- Luego de tener todos los componentes en el área de trabajo, se procede a conectarlos todos entre sí como se realiza en la Figura 3-9.

Figura 3-9: Simulación final.



Fuente: (Autores)

10. De esta forma ya se puede iniciar la simulación, se verifica que los datos de las piezas hayan sido puestos como son requeridos, y se simulan por los días que sean requeridos.

11. Estos son los resultados que genera el programa:

Figuras 3-10 y 3-11: Resultados obtenidos de la simulación.

Block Reactor VFVG h (Biodigestor)

Gas phase

Cont. state	Value	Unit	Description
n_N2	0.04718	-	Dinitrogen
n_O2	6.154e-25	-	Oxygen
n_CO2	0.3516	-	Carbone dioxide
n_CH4	0.6676	-	Methane
n_H2	8.442e-07	-	Hydrogen
n_NH3	0.0002149	-	Ammonia
n_N2O	2.537e-23	-	Nitrous dioxide
n_SO2	3.936e-30	-	Sulphur dioxide
n_H2S	2.576e-38	-	Hydrogen sulphide
n_H2O	0.06158	-	Water vapour
theta	33.68	°C	Temperature
Vg	9.99	m3	Volume gas

Fuentes: (Autores)

Block biodigestor info

Block of type basmLib.assembly_block, Assembly= basmLib.dll, Class= basmLib.assembly_block, subtype= BiogasReactorInfo_v2

Discr. state	Value	Unit	Description
VFA	0.4347	kg/m ³	Volatile fatty acids
TAC	8.692	kg CaCO ₃ /m ³	pH5 - Acid capacity
VFA2TAC	0.05002	-	VFA/TAC ratio
pH	7.559	-	pH value
OLR	0.0207	kg VSS/m ³ /d	Organic load rate
HRT	84.9	d	Hydraulic retention time
SGY	5828	m ³ /t VSS	Specific gas yield
GY	60.33	m ³ /t FM	Gas yield
dTSS	-275.5	%	Total particulates reduction
dVSS	-243.4	%	Organic particulates reduction
dCOD	-228.5	%	Chemical oxygen demand reduct
VTot	1010	m ³	Total reactor volume
Vs	1000	m ³	Sludge volume
Ms	1015	t	Sludge mass
Mch	33.52	t	Sugar mass
Mpr	9.244	t	Protein mass
Mli	1.995	t	Lipid mass
Mmi	9.07	t	Mineralics mass
Mw	960.8	t	Water mass
Vg	9.99	m ³	Gas volume
Pg	1.013	bar	Gas pressure
Qge	9.971	m ³ /d	Gas inflow by pressure fuse

Fuentes: (Autores)

Actualmente en la finca se consume un promedio de $20,0 \text{ m}^3$ de gas mensual, donde un m^3 tiene un costo de \$3.068 mil pesos en esa zona, como se ilustra en la anteriores imágenes, el volumen de biogás generado es de $9,99 \text{ m}^3 = 10 \text{ m}^3$ mensual, donde la producción de biogás generado por el excremento avícola y porcínaza puede suplir un 50% del gas utilizado en la finca para uso de cocción de alimentos, sustituyendo el consumo de gas natural durante 15 días al mes, logrando así un ahorro de \$30.680 mil pesos mensuales.

3.4 Recuperación de la inversión.

El costo total de la inversión en el biodigestor propuesto es de \$1.102.000 mil pesos, se estima una recuperación de la inversión en un lapso de tres años aproximados, si se mantiene el mismo volumen de biogás generado, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Valor Inversion} \div \text{Valor ahorro mensual} = \\ \text{Tiempo de recuperacion de la inversion}$$

$$1.102.000 \text{ mil pesos} \div 30.680 \text{ mil pesos}$$

$$35,72 \text{ meses} = 3 \text{ años}$$

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

- Se determinó que la producción de excremento diario en la finca es de 28,75 kg de gallinaza y 4,89 kg de porcinaza, adicionalmente se debe tener una disolución de 1:1 de agua: estiércol, con un pH de mezcla aproximadamente de 7, favoreciendo la producción de metano y eliminando las bacterias eficazmente.
- De acuerdo con los parámetros identificados, se diseñó un biodigestor tubular, para favorecer la producción de biogás en la finca, siendo uno de los biodigestores más económicos. Teniendo una capacidad diaria de 3,12 m^3 de materia cargada, tomando en cuenta las condiciones del lugar, el tipo de sustrato trabajado, una temperatura ambiente de 35°C y un tiempo de retención de 30 días máximo, para así obtener una excelente calidad de gas generado.
- Según la simulación de desarrollo del biodigestor en el demo Simba #biogas, se verificó que con las condiciones y parámetros establecidos para el biodigestor es posible su funcionamiento y la producción de biogás, generando 10 m^3 mensual, llegando a suplir un 50% del gas natural utilizado en la finca, sustituyendo el consumo durante 15 días al mes ahorrando \$30.850 pesos mensuales y recuperando la inversión en un periodo de tres años.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda a largo plazo implementar el biodigestor tubular en la finca “Mi Granjita Huevos el Dorado”, de bajo costo y fácil construcción, recuperado a futuro la inversión inicial.
- Realizar nuevas pruebas de las mezclas del sustrato, determinando el pH, relación de C/N, sólidos totales, sólidos volátiles, carbono orgánico, nitrógeno total, humedad y microorganismos recogidos, con el fin de confirmar que los parámetros se encuentren en rangos favorables para la digestión anaeróbica.
- Evaluar la posibilidad de agregar otro tipo de materia prima a la mezcla, utilizando otros desechos que genere la finca, observando la efectividad de la producción de biogás.
- Se recomienda usar el bioabono generado, como nuevo fertilizante en la finca y analizar su impacto positivo a la producción y al medio ambiente.
- Evaluar la posibilidad de implementar los resultados del biodigestor para la generación de energía eléctrica.

A. Anexo: Recolección de la gallinaza y porcínaza

Anexo 1 Galpón



Anexo 2 Cochera



Anexo 1 Recolección de porcinoza



Anexo 3 Recolección de gallinaza



Anexo 4 Peso de cada bulto



Anexo 5 Bultos empacados



Anexo 6 Muestras de mezclas de Gallinaza- agua y porcinaza - agua



Anexo 7 Báscula eléctrica

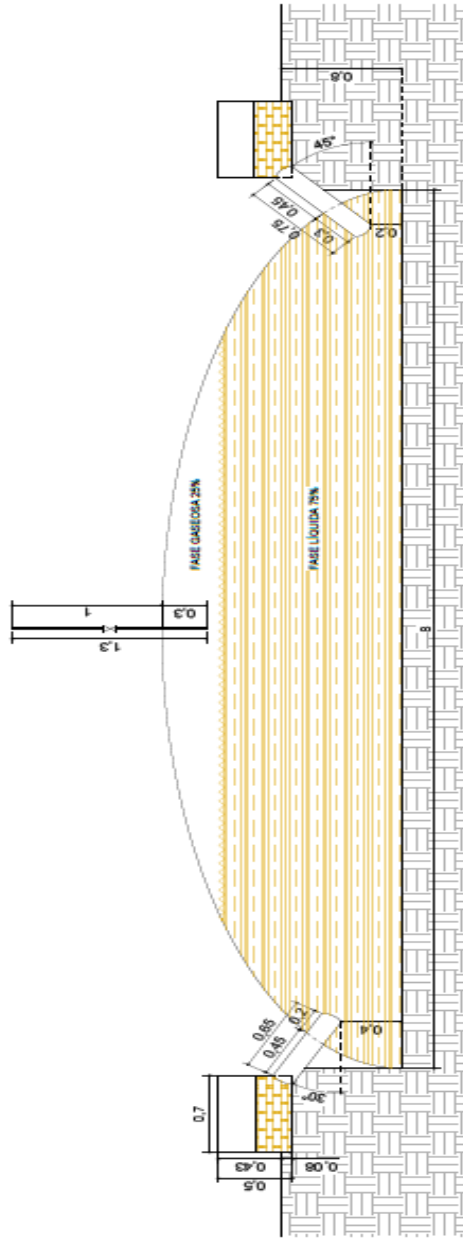


Anexo 8 Toma de pH a las muestras

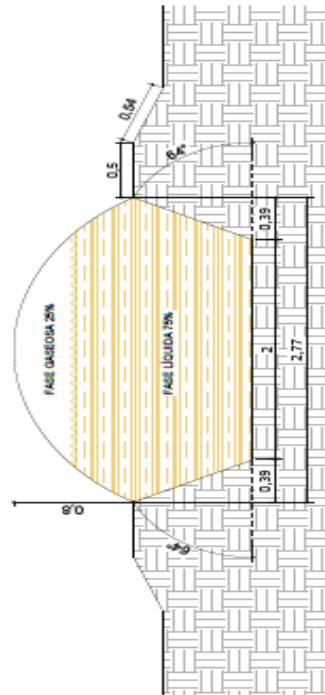


B. Anexo: Plano del biodigestor

CORTE LONGITUDINAL

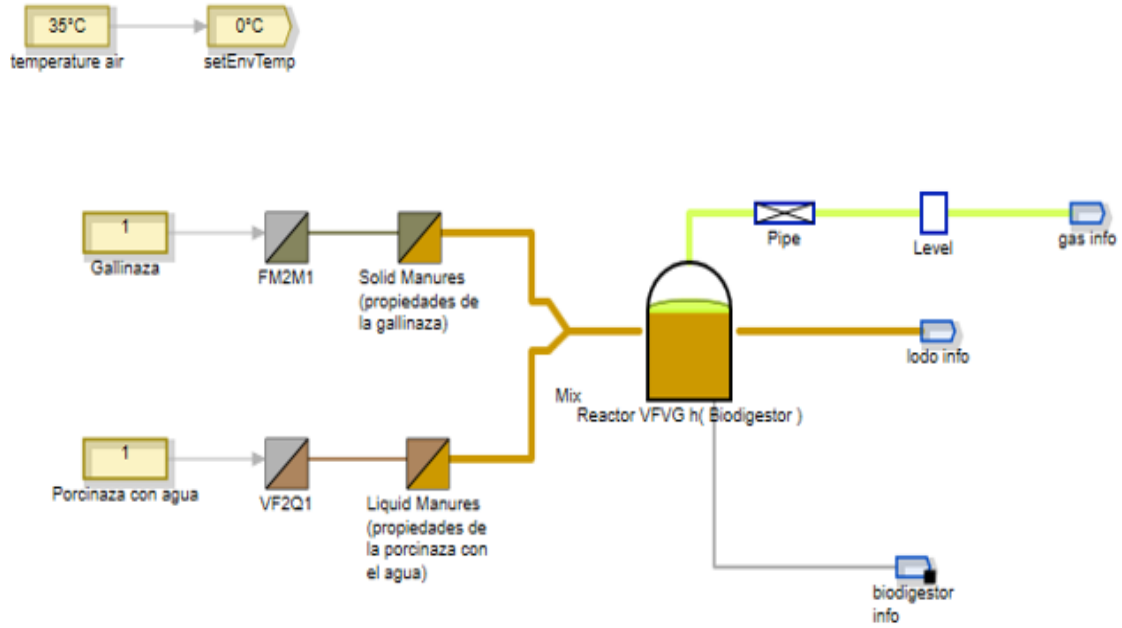


CORTE TRANSVERSAL



ESCALA 1:25

Anexo 9 Esquema de biodigestor en Simba #biogas



5. Bibliografía.

- Acuña Rubio, J. P. (2015). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA EL TRATAMIENTO DE EXCRETAS DE GANADO BOVINO*. Quito-Ecuador.
- Agricola, R. (2017). Lo básico para entender el biogás: sus usos y beneficios. Retrieved February 27, 2020, from <http://www.redagricola.com/cl/lo-basico-entender-biogas/>
- Alkalay, D. (1997). REUNION REGIONAL SOBRE BIOMASA PARA LA PRODUCCION DE ENERGIA Y ALIMENTOS. Retrieved December 6, 2019, from <http://www.fao.org/3/AD098S/AD098S08.htm>
- Alzate Tamayo, L., Jimenez Cartagena, C., & Londoño Londoño, J. (2011). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para mejorar la calidad sensorial y nutricional de productos avícolas. *Producción + Limpia*, 6(1), 108–127.
- Ambientales, U. I. de S. C. de E. e I., Energética, U. de P. Mi., & Instituto de Hidrología, M. y E. A. I. (2011). *Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia*. Bucaramanga: Bucaramanga (Colombia) : Universidad Industrial de Santander, 2011.
- Ambientum. (2014). Relación Carbono - Nitrógeno - Enciclopedia Medioambiental. In *Enciclopedia medioambiental*. Retrieved from https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/relacion_carbono_nitrogeno.asp
- Arriols, E. (2018). Qué es el biogás y sus usos - te lo contamos todo. Retrieved February 27, 2020, from Ecología verde website: https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-biogas-y-sus-usos-1568.html#anchor_2
- Belduma Zambrano, A. M. (2015). *EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA DEGRADACIÓN DE GALLINAZA SOMETIDA A DIFERENTES RELACIONES C/N* (Universidad Técnica de Machala). Retrieved from

- [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2850/2/CD000010-TRABAJO COMPLETO-pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2850/2/CD000010-TRABAJO%20COMPLETO-pdf)
- Bernal Patiño, L. E., & Suarez Ramirez, L. S. (2018). *DISEÑO CONCEPTUAL DE UN BIODIGESTOR PARTIENDO DE ESTIÉRCOL VACUNO Y AVÍCOLA, PRODUCIDO EN LA FINCA EL GUARUMAL, PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS*. FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, Bogota.
- Biodigestor tubular. (2015).
- Biovalor, P. (2018). Calculadora - Proyecto BIOVALOR. Retrieved April 28, 2020, from <http://biovalor.gub.uy/calculadora/>
- Blogger. (2012). Biogas!: Composicion del Biogás. Retrieved February 27, 2020, from <http://biogas-dah-cx.blogspot.com/p/composicion-del-biogas.html>
- Bolivar Fuquene, H. E., & Ramirez Hernandez, E. Y. (2012). *PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA MATERIA ORGÁNICA GENERADA EN LOS FRIGORÍFICOS DE BOGOTÁ*. Bogota.
- Carhuancho Leon, F. M. (2012). *APROVECHAMIENTO DEL ESTIÉRCOL DE GALLINA PARA LA ELABORACIÓN DE BIOL EN BIODIGESTORES TIPO BATCH COMO PROPUESTA AL MANEJO DE RESIDUO AVÍCOLA*. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, Lima.
- Chillo Abril, J. F., & Paguay Cuvi, S. C. (2015). *IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR CONTINUO PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIERCOL DE GANADO VACUNO EN LA FINCA LA PODEROSA*. (ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO). Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4773>
- Chungandro Nacaza, K. R., & Manitio Cahuatijo, G. J. (2010). *“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA PEQUEÑAS Y MEDIANAS GRANJAS.”* Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1650/1/CD-2734.pdf>
- Cibogas. (2020). Calculadora do Biogás | CIBiogás. Retrieved April 28, 2020, from <https://biogas-calculator.herokuapp.com/#!/>
- Combustibles limpios. (2016). Tipos de biomasa - Combustibles Aragón.
- Comision de regulacion de energia y gas. (2016). Resolucion No 240 de 2016. Retrieved

- February 27, 2020, from ministerio de minas y energia website:
[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/dafe4d4fc83940e2052580bf005b67d0/\\$FILE/Creg240-2016.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/dafe4d4fc83940e2052580bf005b67d0/$FILE/Creg240-2016.pdf)
- Construpedia. (2015). Biogás | Construpedia, enciclopedia construcción. Retrieved February 27, 2020, from <https://www.construmatica.com/construpedia/Biogás>
- Cubas guarnizo, W. A., & Lescano Leon, N. A. (2007). *OBTENCION DE BIOGAS A PARTIR DE ESTIERCOL DE GALLINA PROCEDENTE DE LA GRANJA AVICOLA LESCANO-CHICAMA UTILIZANDO UN BIORREACTOR ANAEROBIO DE LECHO FIJO*. Univrsidad nacional de trujillo, Trujillo.
- Digestión anaerobia - EcuRed. (2017). Retrieved February 20, 2020, from https://www.ecured.cu/Digestión_anaerobia
- Digestión anaeróbica. Factores*. (2011).
- Distrital, S. juridica. (1994). Ley 142 de 1994 Nivel Nacional. Retrieved February 27, 2020, from Bogota juridica website:
<http://www.bogotajuridica.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2752>
- E-ficiencia. (2015). ▷ ¿Qué es la biomasa? | □ Tipos, Ventajas y Biocombustibles. Retrieved April 28, 2020, from E-ficiencia website: <https://e-ficiencia.com/que-es-la-biomasa/>
- Energiza. (2018). La Tecnología del Biogás. Retrieved February 27, 2020, from https://www.energiza.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=59:la-tecnología-del-biogás
- Engineering, Aqua limpia. (2017). Software Biodigestor-pro - Biogas - biodigestores - plantas de biogás. Retrieved April 28, 2020, from <https://www.biogas.uno/software-biodigestores/>
- Engineering, Aqualimpia. (2017). Fases de la digestión anaeróbica - Biodigestores - plantas de biogas - generadores - energia. Retrieved February 21, 2020, from Aqua limpia engineering website: <https://www.aqualimpia.com/digestion-anaerobica/>
- Escalante Hernández, H., Orduz Prada, J., Zapata Lesmes, H. J., Cardona Ruiz, M. C., & Duarte Ortega, M. (2011). *INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, Ideam*.
- Hernandez Ramirez, B. A., & Ramirez Saavedra, N. (2019). *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 PAIPA (BOYACÁ). BOGOTA D.C.*
- Holliger, C., Alves, M., Andrade, D., Angelidaki, I., Astals, S., Baier, U., ... Wierinck, I. (2016). Towards a standardization of biomethane potential tests. *Water Science and Technology*, 74(11), 2515–2522. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.336>
- Inarquia. (2019). 6 beneficios del biogás como suministro energético | Inarquia. Retrieved February 27, 2020, from Inarquia website: <https://inarquia.es/6-beneficios-biogas-simunistro-energetico>
- InCTRL, solution. (2016). SIMBA # biogás | Soluciones inCTRL. Retrieved April 28, 2020, from <https://www.inctrl.com/software/simba/simbabiogas/>
- Inventors, T. (2017). ¿Qué es el Biogás? – Techno Inventors Inc. Retrieved February 27, 2020, from <https://www.technoinventors.com/que-es-el-biogas/>
- Manual del biogás, ministerio de chile. (2017). Usos del biogás - MÖBIUS. Retrieved February 27, 2020, from <http://mobius.net.co/usos-del-biogas/>
- María, M., & Pareja, E. (2005a). *Artículo de Revisión Manejo y procesamiento de la gallinaza Handling and processing of hen waste as manure.*
- María, M., & Pareja, E. (2005b). *Artículo de Revisión Manejo y procesamiento de la gallinaza Handling and processing of hen waste as manure.* Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/695/69520108.pdf>
- María Teresa Varnero Moreno. (2011). *Manual de biogás.*
- Marimar. (2019). Biogás - El Gas Combustible Alternativo - ElBlogVerde.com. Retrieved February 27, 2020, from EL blog verde website: <https://elblogverde.com/el-biogas/>
- Producción del biogás y sus ventajas | CJS Canecas. (2017). Retrieved February 27, 2020, from CJS CANECAS website: <https://www.canecas.com.co/proceso-y-ventajas-del-biogas>
- Rodríguez Pachón, D. A., & García Cepeda, A. F. (2017). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE HECES CANINAS.* UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, Bogota Colombia.
- Rojas Reyes, J. F., & Ñañez Muñoz, L. (2018). *Diseño e implementación de un Biodigestor en la granja porcícola San Sebastián del municipio de Timaná – Huila, como estrategia de aprovechamiento de los residuos generados para la fertilización*

- de pasturas y la generación de biogás*. Pltalo.
- Sánchez Sánchez, V. M. (2017). *Biodigestor para el Tratamiento de Residuos Orgánicos Generados por Ganado Vacuno del Fundo de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque*. Chiclayo- Peru.
- Senado, S. de. (2017). Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad [LEY_1715_2014]. Retrieved February 27, 2020, from http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html
- Sierra Rios, A. X. (2013). *OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE GALLINAZA PRODUCIDA EN LA GRANJA BELLAVISTA-HORIZONTES A SERVICIO DE INCUBADORA SANTANDER S.A*. Bucaramanga. Santander.
- Tapia, A. (2015). ¿Qué es el biogás? - VIX. Retrieved February 27, 2020, from <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/4505/que-es-el-biogas>
- Térmica, E., & Gasómetro, E. E. (2004). *Digestor anaeróbico Biogás Motor Digestor Agitador Sustratos Residuos Biogás (CH 4 + CO 2) Depósito efluente-desgasificador Efluente Intercambiador de calor Figura 4.15. Esquema de una instalación tipo para residuos ganaderos*. Retrieved from <http://www.arc-cat.net>
- Usos del biogás | Textos Científicos. (2005). Retrieved February 27, 2020, from Textos científicos.com website: <https://www.textoscientificos.com/energia/biogas/ usos>
- Venegas Venegas, J. A., Raj Arya, D., & Pinto Ruíz, R. (2018). Biogás, la energía renovable para el desarrollo de granjas porcícolas en el estado de Chiapas. Retrieved December 6, 2019, from scielo website: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-66552019000100169&script=sci_arttext