

**Prototipo de generador de energía eléctrica a partir del biogás  
(excretas porcinas de la granja Agroindustria Tecnológica del  
Llano - AGROTEC SAS)**

Lina María Ruiz Plazas – Álvaro Stiven Gómez Aguilar.

Trabajo Final presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Industrial

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Industrial

Villavicencio - Meta

Agosto 2020

Nota de Aceptación

Álvaro Steven Gómez Aguilar

Lina María Ruiz Plazas

---

Comité Trabajo de Grado

---

Jurado

---

Jurado

## Resumen

El presente trabajo se encuentra enfocado en la problemática enfrentada por la granja Agroindustria Tecnológica de llano Agrotec SAS ante las constantes fallas en el suministro de energía eléctrica, con base a esto se llevó a cabo la elaboración de un prototipo de un biodigestor tubular, siendo este una fuente para llevar a cabo la generación de energía eléctrica por medio del aprovechamiento de las excretas producidas por el ganado porcino, para dar inicio a la elaboración del mismo se inició por identificar la producción diaria de excretas por medio de muestreos realizados en campo, obteniendo como resultado una producción de 6919,83 Kg/diarios de excretas; el prototipo fue elaborado con base a una carga de 25 kg de excretas con una relación 25 kg de agua, por medio del cálculo matemático se determinó que el volumen total del biodigestor era de  $1\text{m}^3$ , la construcción del prototipo del biodigestor fue realizada acorde a los cálculos matemáticos y a la disponibilidad de los materiales conseguidos en el comercio local, después de la puesta en marcha del biodigestor la producción de biogás fue evidente después a los 8 días después, puesto que la superficie superior de la bolsa tubular rebasaba el nivel de la biomasa ingresada en el sistema, teniendo en cuenta esto se llevó a cabo la identificación de la capacidad de producción de biogás que generaría la granja con base a los datos especificados por el Ministerio del Medio Ambiente Colombiano en la Guía Ambiental para el Subsector Porcicola, generando como resultado una producción de  $463.63\text{ m}^3$  teniendo como base el inventario actual de granja porcicola, siendo esta una fuente para la generación de  $3315,66\text{ kw/día}$  la cual puede ser utilizada en las instalaciones de la granja porcicola.

Palabras claves: Biomasa, biogás, energía eléctrica.

### **Abstract**

The current work is focused in the trouble faced by the technological agroindustry of the llano AGROTEC SAS farm in the face of constant failures of electrical energy supply based on this we carried out the production of a prototype of a tubular biodigester being this a source to carry out the generation of electrical energy through the use of excrete produced by the pigs to start with the production first we identified the daily production of excretes through information seen in the farm, finding a production of 9145,4 kg/daily of excretes, the prototype was made based on a charge of 25 kg excretes with a relation 25 kg of water, through mathematical calculation was determined that the total volume of the biodigester was  $1\text{m}^3$ , the construction of the prototype was made according to the mathematical calculations and the availability of the materials after started up the biodigester the production of biogas was evident at the 8 days later because the surface of the tubular bag exceed the level of biomass entered in the system, taking into account this we carried out the identification of biomass production capacity that generates the farm based on the specific information given by the Ministerio del Medio Ambiente Colombiano, in the environmental guide for the porcicola subsector, generating as result a production of  $463.63\text{ m}^3$  having as a basis the current inventory of the farm, being this a source for the generation of 3315,64 kw per day which can be used in the facilities of the farm.

Keywords: Biomass, biogas, electrical energy.

**Tabla de Contenidos**

Capítulo 1 Problema de Investigación	14
Descripción	14
Planteamiento	15
Justificación	16
Capítulo 2 Objetivos	19
Objetivo General	19
Objetivos Específicos	19
Capítulo 3 Marco de Referencia	20
Marco Conceptual.	25
Marco Geográfico	28
Marco Legal	30
Capítulo 4 Diseño Metodológico	34
Tipo de Investigación	34
Técnicas para la recolección de información y análisis de resultados	34
Etapas de diseño	35
Etapa 1. Diseñar el prototipo de un biodigestor tubular.	35
Etapa 2. Construir el prototipo del biodigestor teniendo en cuenta los materiales óptimos para su ejecución	35
Etapa 3. Diseñar un sistema de adaptación que permita la generación de energía mediante el biogás recolectado en el biodigestor.	36
Capítulo 5 Resultados	37

Etapa 1. Diseño del prototipo de un biodigestor tubular	37
1.1. Identificar la cantidad de los residuos producidos en la granja AGROTEC SAS.	37
1.2 Determinación de las variables influyentes en el proceso del biodigestor.	40
1.3 Establecer el diseño del biodigestor iniciando por el plano a escala, donde se plasmarán las dimensiones y áreas requeridas del sistema.	46
1.4 Elaborar un diagrama de proceso para la construcción del prototipo de biodigestor tubular.	49
Etapa 2. Construir del prototipo del biodigestor	50
2.1 Identificar los materiales requeridos para la construcción del biodigestor tubular.	51
2.2 Construcción del prototipo del biodigestor de acuerdo al procedimiento definido y materiales seleccionados.	51
2.3 Identificar la cantidad de biogás generado en el prototipo del biodigestor tubular con base a la (Dirección General Ambiental Sectorial, 2002)	65
Etapa 3. Diseñar un sistema de adaptación que permita la generación de energía mediante el biogás recolectado en el biodigestor.	68
3.1 Determinar la cantidad de energía eléctrica que puede producir la granja, por medio del desarrollo de la fórmula de generación de energía eléctrica por biogás según (Díaz Valencia & Toledo Méndez, 2008).	69
3.2 Seleccionar el tipo de equipo electrógeno conveniente para el sistema de acuerdo a los historiales documentales encontrados.	70

3.3 Diseño del sistema de conducción de biogás para la adaptación de un generador de energía eléctrica a un biodigestor tubular, por medio de planos esquemáticos.	70
Capítulo 6 Conclusiones	72
Capítulo 7 Recomendaciones	73
Lista de Referencias	75
Anexos	81

**Lista de Tablas**

Tabla 1. Marco Legal.....	30
Tabla 2. Producción de excretas porcinas.....	37
Tabla 3. Rangos de temperatura y tiempos de retención para la fermentación anaeróbica.	42

### Lista de Figuras

Figura 1 . Ubicación geográfica de la empresa AGROTEC SAS, Fuente: Google Maps.....	29
Figura 2. Vista lateral del prototipo del biodigestor tubular, elaboración propia. ....	47
Figura 3. Vista superior del prototipo del biodigestor tubular, elaboración propia.....	47
Figura 4. Vista frontal del prototipo del biodigestor tubular, elaboración propia. ....	48
Figura 5. Vista posterior del prototipo del biodigestor tubular, elaboración propia.....	49
Figura 6. Esquema del prototipo del biodigestor tubular, elaboración propia.....	49
Figura 7. Diagrama de flujo de la construcción del prototipo del biodigestor tubular, elaboración propia.....	50
Figura 8. Diseño de conducción de biogás, elaboración propia. ....	71

**Tabla de Ilustraciones**

Ilustración 1 Recolección de excretas, zona de parideras.....39

Ilustración 2 Recolección de excretas, zona de levante.....39

Ilustración 3. Terreno para la elaboración de la zanja. ....52

Ilustración 4. Demarcación de la zanja. ....53

Ilustración 5. Excavación de la zanja.....53

Ilustración 6. Aplicación de cobertura de cemento.....54

Ilustración 7. Acondicionamiento de paredes laterales.....54

Ilustración 8. Identificación del centro de las bolsas tubulares. ....55

Ilustración 9. Acomodación doble de bolsas tubulares.....56

Ilustración 10. Adaptación de salida de biogás.....57

Ilustración 11. Recorte de tiras de neumático .....58

Ilustración 12. Forrado de tubería. ....58

Ilustración 13. Fijación de tubería de entrada. ....59

Ilustración 14. Caja de salida del prototipo del biodigestor tubular .....60

Ilustración 15. Recubrimiento de la zanja.....60

Ilustración 16. Prototipo del biodigestor tubular inflado.....61

Ilustración 17. Conexión de caja de entrada en el prototipo del biodigestor tubular.....62

Ilustración 18. Conexión de caja de salida con el prototipo del biodigestor tubular .....62

Ilustración 19. Red de biogás.....64

Ilustración 20. Prototipo del biodigestor tubular .....64

Ilustración 21. Recolección de excretas porcinas. ....65

Ilustración 22. Dilución de la biomasa. ....	66
Ilustración 23. Carga del prototipo del biodigestor tubular. ....	67
Ilustración 24. Prototipo de biodigestor tras 8 días de la puesta en marcha. ....	67
Ilustración 25. Prototipo de biodigestor tras 20 días de la puesta en marcha. ....	68

**Lista de Anexos**

Anexo A. Cantidad de Excretas Porcinas, elaboración propia. ....	81
Anexo B. Cantidad de Excretas Porcinas, elaboración propia.....	82
Anexo C. Producción de Excretas Porcinas, elaboración propia.....	83
Anexo D. Materiales para la construcción del prototipo del biodigestor, elaboración propia. .....	84
Anexo E. Materiales para la construcción del prototipo del biodigestor, elaboración propia. .....	85

## Capítulo 1

### Problema de Investigación

#### Descripción

En los últimos años Colombia ha demostrado tener un crecimiento constante en el sector porcícola, esto ha sido evidenciado en las cifras obtenidas durante los últimos años, en donde se demuestra que en el año 2017 la producción de carne de cerdo cierra con el aumento del 4.2% respecto al año anterior, no obstante, el año 2018 presentó un incremento del 10,4% por encima de los registrado en el año 2017, estos datos nos demuestra que la producción de cerdo seguirá en auge por lo que desencadenará un aumento del impacto ambiental generado por el crecimiento de las explotaciones porcinas y por ende un mayor volumen de residuos orgánicos e inorgánicos, dentro de los cuales las excretas porcinas son el residuo que genera mayor controversia ambiental por sus características físico-químicas que al no tener un buen manejo causan alteración en las propiedades del suelo, en la calidad del aire y en el bienestar tanto de los animales como en el de las personas, el aprovechamiento de este tipo de residuos puede generar ahorro energético mediante la implementación de fuentes alternativas de energía como lo es el gas metano, siendo este útil en la calefacción, la cocción de alimentos o para la producción de electricidad, reduciendo los costos de operación y a su vez proporcionando una solución a los problemas ambientales generados por los desechos orgánicos.

Agroindustria Tecnológica del Llano (AGROTEC S.A.S) es una granja porcícola ubicada en el municipio de San Martín - Meta, dedicada específicamente a la reproducción, la cría, el levante y el engorde del ganado porcino, con el fin de llevar a cabo la

comercialización en pie de los mismos. Actualmente la granja posee aproximadamente 3.000 porcinos los cuales requieren los acondicionamientos necesarios en todas las fases de su ciclo productivo. Entre los obstáculos encontrados para esta actividad se ha evidenciado inestabilidad en el suministro eléctrico por parte de la Electrificadora del Meta S.A. (EMSA), de acuerdo al administrador de las instalaciones de la granja porcícola allí se presenta cortes del suministro eléctrico en un promedio semanal de 3 a 4 veces, cabe resaltar que estos casos son de manera continua en tiempos de invierno y cuando se presentan fuertes corrientes de aire; debido a que la granja se encuentra alejada del perímetro urbano del municipio de San Martín, se presenta una escasa cobertura de servicio técnico al momento de presentar fallas en el suministro de energía. Como medio de mitigación ante estas irregularidades, la granja cuenta con una planta eléctrica la cual funciona por medio de combustible diésel, generando un aumento directo a los costos de producción a causa de la compra del combustible para el abastecimiento de la planta generadora de electricidad y alterando los factores ambientales por medio de la emisión de dióxido de nitrógeno.

### **Planteamiento**

Las continuas fallas de la energía eléctrica en la granja porcícola Agroindustria Tecnológica de Llano influyen notablemente en los procesos internos del ciclo productivo de la granja, iniciando por la zona de parideras debido a que se utilizan lámparas colgantes como fuente de calor para los lechones; las cuales deben estar encendidas en un promedio de 13 horas diarias, evitando la exposición de los lechones a temperaturas inferiores a los 30°C, previendo situaciones indeseadas como la hipotermia, debido al paso de los lechones

de un ambiente cálido, como es el útero de la cerda (39°C), a un ambiente frío y húmedo como es la paridera, donde pueden perder de 3-5 °C de su temperatura corporal y el lechón para hacer frente a la hipotermia realiza la vasoconstricción, pilo erección (piel de gallina) y disminución de la circulación periférica, cambios posturales y amontonamiento entre los propios lechones, para reducir la superficie corporal que es capaz de disipar calor por convección y radiación. (Quiles & Hevia, 2018)

De igual forma, las continuas fallas de energía que actualmente se presentan en la granja Agrotec S.A.S también influyen en la ejecución de tareas y procesos que garantizan el bienestar del ganado porcino y el de los trabajadores, como lo es la refrigeración de medicinas e insumos veterinarios para el ganado porcino, la limpieza de corrales y pasillos debido a que se requiere el uso de electrobombas para su realización, la iluminación total de la granja y el manejo computarizado de equipos de oficinas.

De acuerdo a la problemática planteada surge el siguiente interrogante: ¿Cómo diseñar un sistema alternativo de energía eléctrica en la Granja porcicola Agroindustria Tecnológica del Llano AGROTEC S.A.S?

### **Justificación**

A nivel global, se determina que la producción del sector pecuario adquiere una participación del 9% al generar aproximadamente un total de seiscientos sesenta y ocho millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>-eq) (FAO, 2013), de esta manera también es posible dimensionar la contaminación ambiental producidas por las excretas de los animales. No obstante, existen mecanismos para el aprovechamiento de

estos residuos que además de mitigar el impacto medioambiental también genera oportunidades de mejora económica para las empresas. (Pérez Bort, 2011)

Con la implementación de un biodigestor generador de biogás por medio un proceso de digestión anaeróbica, se busca aprovechar el estiércol producido por la granja con el fin de generar energía eléctrica y llevando a cabo la utilización de la misma en las instalaciones generando así una disminución de los costos de energía y a su vez disminuir la alteración en la calidad de aire (FAC, 2011); según (Machado Hernández , Robayo Gomez, Ayala Bello, & Chávez Porras, 2014), el estiércol está compuesto por un 55% de excretas sólidas y el 45% corresponde a orina, contribuyendo de esta forma a las emisiones nocivas que llegan a la atmosfera tras la actividad desarrollada por el sector porcicola.

Al tener en cuenta el del factor económico, la implementación y ejecución de este tipo de sistema alternativo se traduce a un beneficio monetario estable, puesto que los propietarios y administradores de la granja porcicola manifiestan que aunque se realiza la venta del estiércol, esta actividad no se realiza de manera constante y que interviene de manera influyente el estado de vegetación de los cultivos y en especial si son pasturas de corte o pastoreo.

De acuerdo a (Campos, 2014) los sistemas alternativos en especial los biodigestores tubulares son una fuente eficaz y exitosa para llevar a cabo el tratamiento de los desechos orgánicos que son producidos por el sector agropecuario, esto se debe a por medio de los procesos que se ejecutan se genera una disminución del factor contaminante, se obtiene la eliminación de olores ofensivos lo cual disminuye la proliferación de vectores en el sector, se produce una energía renovable conocida como biogás, siendo este un combustible eficaz

para la producción de energía eléctrica, la obtención de luz por medio de lámparas de gas, entre otros.

Con base a (Castaño Orjuela, Jorge Alfonso, 2017) el sector ambiental se ve beneficiado al emplear este tipo de sistemas puesto que se genera una contribución al contrarrestar el nivel de contaminación producido por el estiércol porcino, aunado a esto se obtiene un aprovechamiento de una materia que generalmente es considerada como desecho y pasa a identificarse como una materia prima que desencadena una fuente de energía renovable, adicionalmente tras el desarrollo de la digestión anaeróbica del proceso se obtiene como subproducto el denominado biol y biosol siendo este un fertilizante natural y eficaz para los cultivos.

El aspecto social es un factor relacionado con este trabajo de investigación, gracias a que puede ser tomado como una referencia de origen para la industria enfocada en el sector pecuarios, sin discriminar el tamaño de aquellas empresas relacionadas y brinda una visualización de oportunidad hacia la tecnificación de la disposición final de las excretas porcinas en las granjas porcícolas; cabe resaltar que a mayor tecnificaciones de estas nuevas fuentes de energía renovable mayor rendimiento y beneficios obtendrá la cadena de producción, generando así un aumento de los ingresos económicos que mejoran su calidad de vida desarrollando sistemas auto sostenibles.

## **Capítulo 2**

### **Objetivos**

#### **Objetivo General**

Elaborar un prototipo de biodigestor tubular que permita el aprovechamiento energético del biogás generado por las excretas porcinas mediante una propuesta de adaptación a un sistema eléctrico.

#### **Objetivos Específicos**

1. Diseñar el prototipo de un biodigestor tubular.
2. Construir el prototipo del biodigestor teniendo en cuenta los materiales óptimos para su ejecución.
3. Diseñar un sistema de adaptación que permita la generación de energía mediante el biogás recolectado en el biodigestor.

## Capítulo 3

### Marco de Referencia

A continuación, se llevará a cabo la recopilación de las referencias que soportan el trabajo de investigación.

(Quiles & Hevia, 2018), En el documento Puntos críticos en el manejo del lechón al nacimiento, dan a conocer que la hipotermia es uno de los problemas más comunes en las parideras debido a que el lechón pasa de estar de una temperatura aproximada de 39° C en el útero de la cerda a temperaturas inferiores a 30°C, en donde el lechón se encuentra expuesto a una pérdida de 3 a 5°C de su temperatura corporal, por ende, explican que las parideras deben contar con sistemas de calefacción que brinden una temperatura de 35 a 37 °C, los conocimientos expuestos este documento nos sirven de apoyo para la construcción de la justificación de nuestra investigación.

(Cuní, 2011), En su artículo Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino, da a conocer una confección de una metodología que proporciona el análisis y los cálculos de aquellos parámetros que influyen en la construcción del biodigestor teniendo como herramienta el procesador de cálculo de Microsoft Excel, adicional da a conocer los elementos que componen el biodigestor; esta información es de gran apoyo en nuestra investigación en el desarrollo del diseño del biodigestor tubular.

(Murillo, 2014), en su artículo denominado Implementación de un sistema para generar electricidad a partir de biogás en la finca pecuaria integrada de earth, se realizaron pruebas con el fin de determinar la concentración del ácido sulfhídrico, dióxido de carbono y

monóxido de carbono que están presentes en el biogás, los cuales son tóxicos y al entrar en contacto con el agua forman ácidos que corroen las estructuras metálicas de los motores, para esto se evaluó el filtro de alámbricas de hierro y el filtro de óxido de calcio para identificar el tiempo de efectividad para disminuir la cantidad de CO<sub>2</sub>, CO y el H<sub>2</sub>S, como resultado de estas pruebas se obtuvo que el filtro de CaO es el indicado para la disminución de estos gases, en nuestro trabajo esta información nos sirve de referencia para determinar el tipo de filtro que será utilizado a la en la adaptación del sistema de biodigestion al equipo electrógeno.

(Muhajir, Badrawada, & Susastriawan, 2019), Utilization of biogas for generator set fuel: performance and emission characteristics, este artículo fue enfocado a determinar el rendimiento del grupo electrógeno de encendido por chispa mediante gasolina, biogás y gas licuado de petróleo, el resultado de este estudio demuestra que el biogás ofrece mejores resultados a comparación de los combustibles mencionados anteriormente, esta información es importante gracias a que por medio de esto se evidencia que el biogás es un combustible que puede ser utilizado para generar energía eléctrica por medio de la adaptación de un motor de combustión.

(Lansing, Botero , & Martín, Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters, 2008) Este artículo se basó en la investigación y el estudio de siete biodigestores de bajo costo para determinar la potencia de cada uno de ellos al llevar a cabo el tratamiento de los residuos generados para producir energía renovable, este estudio determinó que los biodigestores a pequeña escala pueden producir metano en

concentraciones útiles para cocinar y ser utilizado como fuente de energía eléctrica, este artículo no sirve como soporte en nuestro marco teórico.

(Pinheiro Silva, Melegari de Souza, Sey Kitamura, Bueno Otto, & Camargo Nogueira, 2018), Energy efficiency of a micro-generation unit of electricity from biogas of swine manure, se evidencia mediante experimentos realizados que los sistemas de combustión interna tipo Otto, generan mayor eficiencia de la combustión a razón de mayores cargas de biogás transmitido, la información de este artículo es de apoyo al momento de llevar a cabo la elección del equipo para la transformación del biogás en energía eléctrica.

(Lansing, Víquez, Martínez, Botero, & Martín , 2008), Quantifying electricity generation and waste transformations in a low-cost, plug-flow anaerobic digestion system, tras la necesidad de mitigar el creciente calentamiento global generado se ha decidido implementar alternativas limpias como el uso de biodigestores, los cuales proporcionan un tratamiento aceptable de los residuos porcinos siendo esta la materia prima para generar biogás mediante la fermentación de los mismos, llegando a ser utilizado en la generación de energía.

(Tamkin, y otros, 2015) Impact of organic loading rates on the performance of variable temperature biodigesters, con fin de identificar el funcionamiento de los biodigestores a lo largo de un periodo de tiempo se llevó a cabo la evaluación de las variaciones en las tasas de cargas orgánica suministrada conservando una temperatura estable, este artículo se toma de apoyo para llevar a cabo el desarrollo de la metodología planteada.

(Arnott, 1985) The biogás/Biofertilizer Business Handbook, en este libro se establece las dimensiones extremas (mínimas y máximas) en relación de la longitud/diámetro con las que

debe contar un biodigestor tipo tubular las cuales son, máximo por cada 8 metros de longitud se debe contar con un 1 metro de diámetro y mínimo 3 metros de longitud por 1 metro de diámetro, se debe tener en cuenta que estas dimensiones se encuentran relacionadas con la cantidad de carga que será ingresada al biodigestor, el aporte dado por este libro se tiene encuentra en el desarrollo de los cálculos requeridos con el objetivo de dar ejecución a la construcción del biodigestor tubular.

(Van Lier, Lettinga, Hulsbeek, & Stams, 1993) Bioresource Technology, este libro brinda información acerca de los diferentes tipos de fermentación que pueden realizar las bacterias metanogénicas en el proceso de digestión anaerobia, esto teniendo en cuenta la temperatura a la que será expuesta el biodigestor, para llevar a cabo su identificación, establecen los rangos de temperatura en grados centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ) para cada fermentación junto con el tiempo de retención requerido para el desarrollo del sistema, esta información es fundamental en el desarrollo de este trabajo de investigación, puesto que, nos permite identificar el tipo de fermentación que se presentara en el sistema del prototipo del biodigestor y adicionalmente nos permite establecer el tiempo de retención del mismo, actividades que hacen parte de la metodología a desarrollar.

(FAO, 2000) Tecnologías disponibles para reducir el potencial contaminante de las excretas de granjas porcícolas nos brinda información acerca que varios aspectos relacionados con la caracterización, composición y producción de las excretas, adicionalmente expone los tratamientos y las alternativas que pueden ser utilizadas para disminuir la contaminación y/o alteración que es ocasionada por este residuo generado en las explotaciones porcinas, a información suministrada por medio de este documento nos

soporta la estructura del marco teórico, adicionalmente nos brinda información relevante para la caracterización de los excretas porcinas generadas en la granja porcícola Agroindustria Tecnológica del llano.

(Dirección General Ambiental Sectorial, 2002) Guía Ambiental para el Subsector Porcícola, dentro de esta guía ambiental se establece la producción promedio y los rangos de excretas diarias que son generadas de acuerdo al grupo etario en el que se encuentre el ganado porcino, la información suministrada por este artículo es tomada como base para llevar a cabo el desarrollo de la metodología planteada.

(FAO, 2011) Manual de biogás, este manual da a conocer que durante los últimos años el biogás se ha caracterizado por ser combustible obtenido mediante sistemas alternativos y es una de las tecnologías con fácil implementación, adicionalmente resaltan que es de ayuda en la obtención de biofertilizante, dentro de este manual se encuentra una gran variedad de temáticas relacionadas con los procesos, los factores y los usos del biogás, la información que se encuentra en este manual de soporten en el marco teórico de este trabajo de investigación.

(Instituto para la diversificación y ahorro de energía, 2002), Manuales de energías renovables, dentro de este informe se da a conocer que para llevar a cabo la transformación de la biomasa en electricidad existen dos formas, por medio de la combustión de biomasa transformándola en vapor y por medio de procesos bioquímicos en donde la biomasa se transforma en un combustible que es empleado en motores de combustión interna o turbinas de gas, adicionalmente da a conocer los tipos de combustión en los motores de gas,

la información suministrada en este documento soporta la estructura del marco teórico de este trabajo de investigación.

(Baculima Pintado & Rocano Tenezaca, 2015) El Estudio para la determinación de la producción de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del biogás de una granja porcina ubicada en la ciudad de azogues, este proyecto está enfocado en la construcción de un biodigestor y el aprovechamiento del biogás para posteriormente generar energía eléctrica, este estudio plantea los cálculos identificar el volumen de energía eléctrica que puede ser producido mediante la obtención del biogás, esto en base las pruebas y los análisis realizados en los laboratorios, estos cálculos son de apoyo para identificar la cantidad de energía producida mediante el biogás generado por el sistema de digestión.

### **Marco Conceptual.**

A continuación, se describirán los conceptos relevantes que serán mencionados en el transcurso de este trabajo.

**Acidificación:** Proceso químico en el cual las sustancias se transforman adquiriendo características ácidas, es la medición de pH inferior a 6 dentro de la cámara de digestión (energía, 2019).

**Acidogénesis:** Es una de las etapas de la digestión anaeróbica, que se caracteriza por producir principalmente ácidos orgánicos y alcoholes por medio de azúcares simples, ácidos grasos y aminoácidos (Parra Huertas, 2015).

**Alcalinidad:** Se traduce a la capacidad que posee el agua para mantener su pH ante los cambios y adiciones de soluciones ácidas o alcalinas (Pérez López, 2016).

**Bioabono:** Es conocido como un fertilizante de contextura líquida el cual posee todas las características de los abonos orgánicos, brinda beneficios en el fortalecimiento y crecimiento de las plantas (Pagrario, 2014).

**Biogás:** Hace referencia a combustible producido por medio de la biodegradación de la materia orgánica, esto se suele presentarse en medios naturales o dentro de dispositivos específicos para su proceso (Enerxía Galega Máis, 2018).

**Biol:** Abono líquido específicamente orgánico que resulta por medio de la descomposición de los residuos orgánicos mediante la fermentación anaeróbica gracias a los microorganismos que se producen dentro del sistema (Banegas, 2020).

**Bioquímico:** Estudio químico de la estructura y de las funciones de los seres vivos (García Barreno, 2015).

**Biodigestor:** Se conoce como un contenedor caracterizado por ser hermético y en el se deposita la biomasa y se mezcla con agua con el objetivo de dar inicio al proceso de fermentación anaeróbica (ProyectoFSE, 2018).

**Ciclo Otto:** Ciclo termodinámico que se produce en los motores de combustión interna de encendido generado por una chispa eléctrica. (Rafael Morales & Hernández Guzmán , 2014)

**Convección:** es un mecanismo de transferencia de calor propio de fluidos que implica el movimiento del medio a la escala microscópica, se transmite cuando absorben calor en una porción y luego esta se desplaza mezclándose con otra porción más fría cediéndole el calor absorbido (Soncco Tumpi, 2019).

**Electrógeno:** Es un equipo que por medio de un motor de combustión interna genera el movimiento un generador eléctrico (Iñigo Labiano, 2014).

**Excretas:** Es el resultado tras la conformación de las heces, la orina y el agua, esta composición es un contaminante riesgoso para el suelo, los mantos freáticos y participa en la formación de lluvias acidas debido a la aportación de oxígeno a la atmosfera (Cervantes Hernández, 2020).

**Gas metano:** Hace referencia a un gas inflamable y es uno de los compuestos más abundantes en la tierra, se caracteriza por ser el componente principal del gas natural, aunado a esto este gas es utilizado para producir calefacción o electricidad (Valle, 2019).

**Hidrolisis:** Conocida como una fase del proceso de fermentación anaeróbica, en ella se lleva a cabo la descomposición de las largas cadenas de la materia orgánica en unas cadenas cortas, esto se realiza gracias a la acción de las bacterias hidrolíticas (Aqualimpia, 2017).

**Metanogénesis:** Es la etapa final de la digestión anaerobia, en ella se produce el 90% del total del gas metano que se genera en el biodigestor (Corrales , Antolinez Romero, Bohórquez Macias, & Corredor Vargas, 2015).

**Parideras:** Hace referencia a aquella instalación en donde mantiene la cerda antes de su proceso de parto, esta consta de una jaula a una altura determinada la cual cuenta con un barra anti aplastamiento con el objetivo de evitar que la cerda al echarse no aplaste a sus lechones (Rutllant, López, & Lorente, 2017).

**Ph:** Es reconocido como una variable química cuyo objetivo radica en identificar y medir el grado o nivel de acidez de una sustancia de acuerdo a una escala estandarizada que oscila entre los valores de 0 y 14 (Fronteras, 2019).

**Piloerección:** Desarrollo evolutivo de respuesta ante disminución de temperatura corporal en donde se genera la elevación del pelo (Mota Rojas , 2019).

**Radiación:** Fenómeno de propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas que se propagan en línea recta y se transforman en energía térmica al estar en contacto con un animal (Echeverría, 2016).

**Sustrato:** Son los residuos o desechos principalmente orgánicos para el tratamiento de un sistema de biogás (Linnenberg , Malebrán, Jofré, & Schleenstein, 2019).

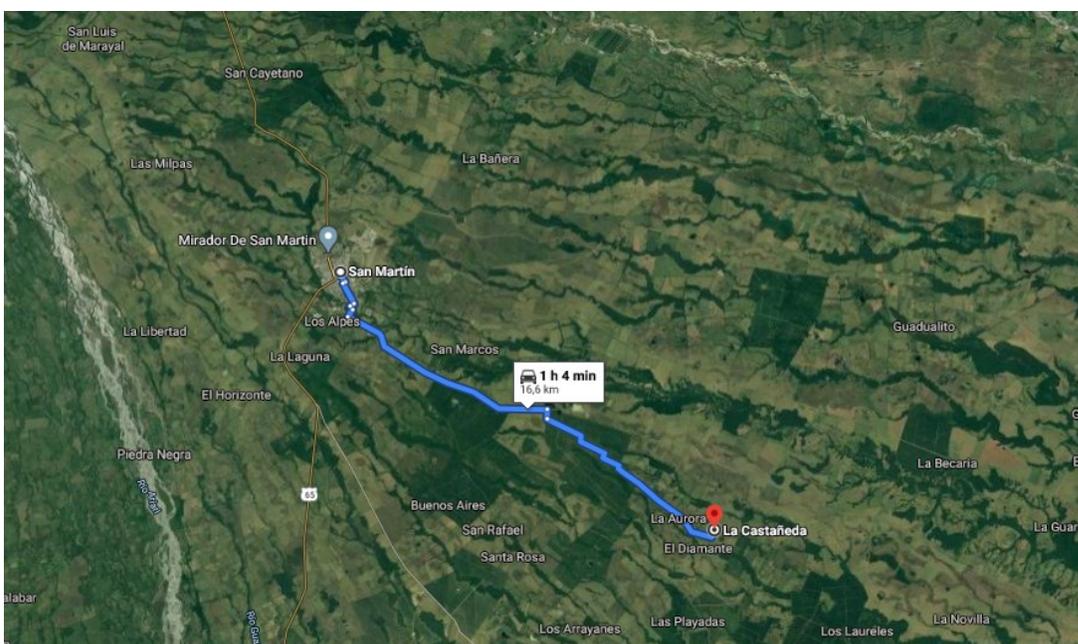
**Tiempo de retención:** Es el tiempo de permanencia de biomasa en el biodigestor este valor depende de la temperatura y de la carga orgánica volumétrica del digestor (Maisonnavé , Millares, & Lamelas, 2016).

**Vasoconstricción:** Es considerado como la disminución del flujo sanguíneo en dirección a la superficie cutánea alterando la cantidad de sangre caliente que se desplaza desde el centro del cuerpo con el objetivo de evitar su enfriamiento (Córdova, y otros, 2016).

### **Marco Geográfico**

La empresa Agroindustria Tecnología del Llano se encuentra ubicada en el municipio de San Martín – Meta, específicamente en la vereda La Castañeda considerada como zona rural como se puede apreciar en la figura 1, este municipio es caracterizado por ser uno de los más antiguos del país, cuenta con una extensión de 6.454 km<sup>2</sup> según la ficha Municipal del

Departamento Nacional de Planeación ( DNP) y con una población total de 24.992 habitantes, los cuales representan el 2,55% a nivel departamental, del cual el 1.25% pertenecen a género masculino y el 1.30% a género femenino según la proyección del DANE, este municipio hace parte de la subregión del ARIARI según la Ordenanza 851 de 2014 y es compartida con los municipios de San Juan de Arama, El Castillo, Fuentedeoro, Puerto Lleras, Lejanías y Granada.



*Figura 1 . Ubicación geográfica de la empresa AGROTEC SAS, Fuente: Google Maps.*

San Martín geográficamente se encuentra ubicado al sur del municipio de Villavicencio, limita al norte con los municipios de Guamal, Castilla La Nueva, San Carlos de Guara y Puerto López, al oriente con Puerto Gaitán, al Sur con Fuentedeoro, Puerto Lleras y Mapirípan, al Occidente con los municipios de El castillo, El dorado y Cubarral.

Según la estación meteorológica El Barbascal del IDEAM, la temperatura promedio anual del municipio de San Martín de los Llanos fluctúa entre los 25 y 28°C teniendo en

cuenta el periodo de lluvias entre marzo-noviembre y el periodo de sequía diciembre-febrero. En cuanto a vías de comunicación este municipio posee una longitud carretable de 1.338,63 Km debido a la extracción de recursos naturales, la modernización y el desarrollo vial al que está expuesto.

La principal fuente de su economía parte de la ganadería, siendo este municipio conocido como la capital ganadera del departamento del Meta gracias al volumen de cabezas de ganado que se comercializan y que son enviadas al sector nacional e internacional para el consumo diario, la explotación de la agricultura se caracteriza por ser de carácter tradicional, su principal cultivo es la palma de aceite, adicionalmente también encontramos otros cultivos como la patilla, piña, yuca y plátano y en menor escala arazá, caña panelera y cacao.

### **Marco Legal**

A continuación, dan a conocer algunas normas vigentes que se encuentran en relación con el desarrollo del sector agropecuario, con base el tipo de impacto que pueden ejercer estas industrias al ambiente, véase la tabla 2.

*Tabla 1.  
Marco Legal.*

<b>Tipo número y fecha</b>	<b>Nombre y entidad que la expide</b>	<b>Artículo</b>	<b>Impacto en el proyecto</b>
	Por la cual se dictan		Estos artículos regulan el
Ley 9 de 1979	medidas sanitarias, Congreso de la Colombia	9 y 14	desarrollo del proyecto, teniendo en cuenta las

---

			limitaciones para el vertimiento y disposición de residuos líquidos y sólidos.
Ley 697 de 2001	La cual fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones, Congreso de la Republica de Colombia.	10	El gobierno motivara y promoverá a las empresas que creen proyectos para la generación de energía no convencional
Ley 1715 de 2014	La cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, Congreso de la República de Colombia.	1	Incentiva la producción, autogeneración y uso de energía renovable, mediante beneficios tributarios y de exportación de equipos.
Ley 1215 de 2008	La cual se adoptan medidas en materia de generación de energía eléctrica, Congreso de la Republica de Colombia.	1	Si se presentan excedentes de energía o gas serán vendidos a empresas dedicadas a este sector

---

Resolución 0281 de 2015	<p>Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala, el director general de la UPME.</p>	1	<p>Da a conocer la capacidad máxima de potencia que se puede generar cuando se trata de una producción a escala pequeña</p>
Resolución 024 de 2015	<p>La cual regula la actividad de autogeneración a gran escala en el sistema interconectado nacional (SIN) y se dictan otras disposiciones, Comisión de regulación de energía y gas.</p>	4	<p>Las condiciones que se deben tener en cuenta para poder realizar la actividad de producción de energía a gran escala</p>
Ley 629 de 2000	<p>La cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", Congreso de la Republica de Colombia.</p>	2	<p>Motivaciones e incentivos a empresas y/o personas naturales que reduzcan la contaminación ambiental mediante proyectos renovables</p>
Decreto 1505 de 2005	<p>El cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación</p>	2	<p>Planes para aprovechamiento de residuos</p>

---

	con los planes de gestión		sólidos que se generen por
	Integral de residuos sólidos y		cualquier actividad
	se dictan otras disposiciones		
	El cual se conceden		
	facultades extraordinarias al		
	Presidente de la República		
	para expedir el Código de		Se preserva el medio
Ley 23 de	Recursos Naturales y de	2	ambiente mediante la
1973	Protección al Medio		reducción de emisiones y
	Ambiente y se dictan otras		desechos sólidos generados.
	disposiciones, Congreso de		
	la República de Colombia.		

---

## **Capítulo 4**

### **Diseño Metodológico**

#### **Tipo de Investigación**

El presente estudio estuvo enfocado en la investigación aplicada puesto que se buscó la aplicación de los conocimientos requeridos y adquiridos, para posteriormente implementar y sistematizar la práctica basada en la investigación, se abordó el proceso metodológico, estructural y documental haciendo diferencia con los demás tipos de investigación.

(Hernández, 2008); esta investigación tuvo como objetivo aplicar los conocimientos adquiridos mediante la búsqueda de información, estudios y aplicaciones realizadas para posteriormente realizar un prototipo de biodigestor, el cual permitió la generación de biogás.

#### **Técnicas para la recolección de información y análisis de resultados**

En primera medida se elaboró una tabla de recolección de datos identificada como ficha de recolección de datos de cantidad de excretas porcinas, cuya finalidad estuvo basada en los días del muestreo realizado en relación a las zonas evaluadas, las cuales fueron zona de hembras, zona de machos reproductores, lechones, precebo, zona de levante y engorde, las cuales componen el ciclo productivo de la granja porcicola; posteriormente se emplea la tabla de producción de excretas diarias, la cual nos permite identificar la producción total de excretas en base al promedio generado y el inventario actual de la granja porcicola.

Con el objetivo de plasmar la lista de materiales necesarios para la construcción y adaptación del prototipo del biodigestor se elaboró el formato identificado como materiales

para la construcción del biodigestor en el cual se enumeran cada uno de los materiales junto con las características, dimensiones y cantidades requeridas.

### **Etapas de diseño**

#### **Etapa 1. Diseñar el prototipo de un biodigestor tubular.**

Para llevar a cabo su desarrollo se determinaron actividades mencionadas a continuación:

- 1 Identificar la cantidad de residuos producidos en la granja AGROTEC SAS por medio de tablas de recolección de datos, anexo A, anexo B y anexo C.
- 2 Determinación de las variables influyentes en el proceso del biodigestor (Cálculo de agua, carga del biodigestor y tiempo de retención entre otros); por medio de cálculos (Cuní, 2011)
- 3 Establecer el diseño del biodigestor iniciando por el plano a escala, donde se plasmarán las dimensiones y áreas requeridas del sistema.
- 4 Elaborar un diagrama de proceso para la construcción del prototipo de biodigestor tubular.

#### **Etapa 2. Construir el prototipo del biodigestor teniendo en cuenta los materiales óptimos para su ejecución**

- 1 Identificar los materiales requeridos para la construcción del biodigestor tubular, por medio de una lista de materiales, donde se especificará las dimensiones y cantidades requeridas, anexo D y anexo E.
- 2 Construcción del prototipo del biodigestor de acuerdo al procedimiento definido y materiales seleccionados.

- 3 Identificar la cantidad de biogás generado en el prototipo del biodigestor tubular con base a los datos suministrados por la (Dirección General Ambiental Sectorial, 2002).

**Etapa 3. Diseñar un sistema de adaptación que permita la generación de energía mediante el biogás recolectado en el biodigestor.**

1. Determinar la cantidad de energía eléctrica que puede producir la granja, por medio del desarrollo de la fórmula de generación de energía eléctrica por biogás según (Baculima Pintado & Rocano Tenezaca, 2015) en base a los datos recolectados.
2. Seleccionar el tipo de equipo electrógeno conveniente para el sistema de acuerdo a los historiales documentales encontrados.
3. Diseño del sistema de conducción de biogás para la adaptación de un generador de energía eléctrica a un biodigestor tubular, por medio de planos esquemáticos.

## Capítulo 5

### Resultados

#### Etapa 1. Diseño del prototipo de un biodigestor tubular

Para llevar a cabo la ejecución de esta etapa se realizó la visita a las instalaciones de la granja porcícola Agroindustria Tecnología del Llano - AGROTEC SAS, con el objetivo de dar cumplimiento a cada una de las actividades establecidas en la metodología y realizar la toma de datos en campo.

#### 1.1. Identificar la cantidad de los residuos producidos en la granja AGROTEC SAS.

Para la ejecución de la primera actividad se tuvo en cuenta la base teórica realizada por la (Dirección General Ambiental Sectorial, 2002) en donde se determina la cantidad promedio de excretas diarias generadas por los porcinos en sus diferentes fases del ciclo productivo, véase la tabla 2.

*Tabla 2.*  
*Producción de excretas porcinas.*

<b>Estado</b>	<b>Promedio</b>	<b>Rango</b>	<b>Peso x Kg/animal</b>	<b>Estiércol Kg/cab/día</b>
<b>Hembra vacía</b>	<b>4.61</b>	<b>3.3 – 6.4</b>	<b>160</b>	<b>7,38</b>
<b>Hembra gestante</b>	<b>3.00</b>	<b>2.7 – 3.2</b>	<b>180</b>	<b>5,40</b>
<b>Hembra lactante</b>	<b>7.72</b>	<b>6.0 – 8.9</b>	<b>190</b>	<b>14,67</b>

<b>Macho reproductor</b>	<b>2.81</b>	<b>2.0 – 3.3</b>	<b>200</b>	<b>5,62</b>
<b>Lechón lactante</b>	<b>8.02</b>	<b>6.8 – 10.9</b>	<b>3,5</b>	<b>0,28</b>
<b>Precebos</b>	<b>7.64</b>	<b>6.6 – 10.6</b>	<b>16</b>	<b>1,22</b>
<b>Levante</b>	<b>6.26</b>	<b>5.9 – 6.6</b>	<b>35</b>	<b>2,19</b>
<b>Finalización</b>	<b>6.26</b>	<b>5.7 – 6.5</b>	<b>80</b>	<b>5,01</b>

Fuente: Dirección General Ambiental Sectorial 2002.

Sin embargo, es de tener en cuenta que la tasa de producción de excretas porcinas es afectada por diversos factores como la cantidad de agua y alimento que es ingerido por los porcinos, sin dejar de lado la calidad de los mismos, así como también se tiene en cuenta la etapa fisiológica y el ambiente en donde están expuestos los animales. (Dirección General Ambiental Sectorial, 2002).

De acuerdo lo mencionado anteriormente, se realizó una recolección de datos directamente de campo, con el objetivo de llevar a cabo la cuantificación del volumen de excretas generadas en la zona de hembras, zona de machos reproductores, zona de lechones, de precebo, zona de levante y engorde, las cuales componen el ciclo productivo de la granja porcicola. Los muestreos fueron realizados de la siguiente manera, en la zona de hembras se seleccionaron 20 corrales, en zona de machos reproductores cuatro corrales, para lechones seis parideras, para precebo dos corrales, para levante cuatro corrales y por último para la zona de engorde cuatro corrales, este procedimiento fue realizado durante un periodo de siete días consecutivos; para la recolección y cuantificación de las excretas porcinas se requirió del uso de herramientas como carretillas, palas, cepillos tipo escoba y bascula, como se evidencia en la ilustración 1 y 2.



*Ilustración 1 Recolección de excretas, zona de parideras.*



*Ilustración 2 Recolección de excretas, zona de levante.*

Los resultados obtenidos diariamente fueron plasmados en la ficha de recolección de datos identificada como cantidad de excretas porcinas, en la cual se especificaron los días, las zonas y la cantidad de porcinos evaluados, la cantidad de excretas generadas y las observaciones pertinentes para cada caso, una vez recolectados los datos se procedió a determinar el promedio de excretas diarias generadas del muestreo, véase anexo A.

Después de obtener el promedio de excretas diarias generadas, se llevó a cabo la identificación de la producción total de excretas diarias generadas por la granja porcicola, para esto se empleó el formato de producción de excretas diarias anexo B, en el cual se tiene en cuenta las zonas evaluadas anteriormente, la cantidad de animales muestreados por cada zona, identificando así la cantidad de excretas diarias producidas en cada área, posteriormente con base al inventario actual de la granja porcicola se determinó la producción total de excretas diarias.

### **1.2 Determinación de las variables influyentes en el proceso del biodigestor.**

Para llevar a cabo el desarrollo de esta actividad se tomó como referencia a (Cuní, 2011), quien estableció las fórmulas para hallar el volumen total del prototipo del biodigestor, el volumen de la cámara de fermentación y de la cúpula del biodigestor.

#### **Volumen del prototipo de biodigestor.**

El volumen del prototipo del biodigestor está íntimamente relacionado con la temperatura y con el tiempo de retención hidráulico (TRH), el cual expresa el tiempo en días, que se necesita para que la biomasa ingresada en un biodigestor sea degradada o consumida por las bacterias metanogénicas.

Según (Arrieta, 2016) Las bacterias metanogénicas son estrictamente anaerobias, por ende, la presencia del oxígeno en el ambiente resulta ser tóxico para ellas, es por esto que solo pueden encontrarse en los ambientes que contemplen la ausencia de oxígeno; estas bacterias son organismos claves en el proceso del biodigestor y su desarrollo es sensible a los cambios que se generan en el medio que las alberga. (Dirección General Ambiental Sectorial, 2002).

Cabe resaltar que dentro de los factores principales influyentes en el desarrollo del proceso de digestión anaeróbica encontramos la temperatura, esto es debido a que las reacciones biológicas y químicas que se presentan varían según el incremento de ella, específicamente la velocidad del crecimiento de los microorganismos es directamente proporcional al aumento de la temperatura, por tal motivo se obtiene una aceleración del proceso de fermentación lo cual permite obtener un aumento de producción del combustible (biogás) (FAO, 2011). Cuando se tiene proyectado diseñar un sistema de generación de biogás es necesario tener en cuenta los rangos de temperaturas aceptables para la operación, lo recomendado es contar con las temperaturas medias de la región en la que se desarrolló el proyecto. (Arrieta, 2016).

De acuerdo a los intervalos de temperatura en el que actúan las bacterias, se definen tres rangos: psicofílico, mesofílico y termofílico, en la tabla 3 que se presenta continuación se observan los diferentes rangos de temperatura y su influencia en el tiempo de retención de la materia en el digestor. (Van Lier, Lettinga, Hulsbeek, & Stams, 1993).

Tabla 3.  
Rangos de temperatura y tiempos de retención para la fermentación anaeróbica.

<b>Fermentación</b>	<b>Rango de temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo de retención (días)</b>
Psicofílica	15 – 25	>30
Mesofílica	30 – 38	15 – 20
Termofílica	50 – 60	2 - 7

Fuente: Bioresource Technology

De acuerdo a la tabla anterior, se resalta que la fermentación psicofilia comprende un rango de 15°C a 25°C de temperatura, con un tiempo de retención mayor a 30 días, posteriormente la fermentación mesofílica es aquella cuyo rango de temperatura oscila de entre los 30°C a 38°C con un tiempo de retención de 15 a 20 días, por último, se encuentra la fermentación termófila con temperaturas de 50°C a 60°C y una duración de 2 a 7 días.

Teniendo en cuenta la oscilación de la temperatura del municipio de San Martín - Meta para este caso se toma como referencia la fermentación mesofílica con el tiempo máximo de retención, es decir 20 días.

Posteriormente se estableció que la carga inicial del sistema del prototipo de biodigestor tubular fue de una relación 1:1 (1 Kg de agua por 1 kg de estiércol) en donde se empleó una cantidad de 25 Kg de excretas porcinas por lo cual la carga diaria del biodigestor es de 50 Kg; con estos datos se aplica la fórmula del volumen del biodigestor, para ello se utiliza la ecuación de Cuní.

$V_d = (K_g \text{ (excreta)} + K_g \text{ (agua)}) Tr$  (Ecuación 1) en donde:

- $V_d$  = Volumen del biodigestor

- $T_r$  = Tiempo de retención

$$V_d = (25 + 25) * 20$$

$$V_d = 1000 \text{ lt} = 1 \text{ m}^3$$

Al aplicar esta ecuación se obtuvo como resultado que el volumen total del prototipo del biodigestor fue de  $1 \text{ m}^3$

### **Caja de entrada y salida del biodigestor.**

El dimensionamiento de la caja de entrada y salida del biodigestor se tiene en cuenta el volumen de carga diaria que ingresó al biodigestor; para realizar dicho cálculo se utilizó la fórmula de longitud de lados de la caja de entrada (Ecuación 2) que se encuentra a continuación:

$$LLCE = \sqrt[3]{(Kg \text{ (excreta)} + Lt \text{ (agua)})} \text{ (Ecuación 2), en donde:}$$

- $LLCE$  = Longitud lado de caja

$$LLCE = \sqrt[3]{0.05 \text{ m}^3} = 0.36 \approx 0.37 \text{ m}$$

Teniendo como base el resultado obtenido se determinó que cada uno de los lados de las cajas deben tener 0.37 metros de longitud.

### **Volumen de la cámara de fermentación.**

Para calcular el volumen que requiere la cámara de fermentación para que se realice el proceso de digestión a través de las bacterias anaerobias, se tomó el porcentaje del 75% del volumen del biodigestor, para ello se tiene en cuenta la Ecuación 3, la cual permitió realizar el cálculo correspondiente, véase a continuación.

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

- $V_{cf}$  = Volumen caja de fermentación

- $V_d =$  Volumen del biodigestor

$$V_{cf} = 1\text{m}^3 * (0,75)$$

$$V_{cf} = 0,75 \text{ m}^3$$

### **Volumen de la cúpula.**

Para el desarrollo de la fórmula que permitió hallar el volumen de la cúpula del biodigestor (Ecuación 4), fue necesario tener en cuenta el volumen total del mismo, el cual fue hallado por medio de la ecuación 1, con base a ese resultado se tomó como referencia el 25% según como se evidencia en la siguiente ecuación.

$$V_c = V_d * (0,20 \sim 0,25) \text{ (Ecuación 4).}$$

- $V_c =$  Volumen de la cúpula
- $V_d =$  Volumen del biodigestor

$$V_c = 1\text{m}^3 * (0,25)$$

$$V_c = 0,25 \text{ m}^3$$

### **Diámetro del biodigestor tubular.**

Para calcular el diámetro del biodigestor tubular se empleó la ecuación 5 vea sea a continuación.

$V_{tb} = A * H$  (Ecuación 5) en donde se realizó el despeje correspondiente para dejar todo en función de  $\theta$  :

$$\theta = \sqrt[3]{\frac{V_d * 4}{\pi}}, \text{ en donde:}$$

- $\theta =$  Diámetro

- $V_d$  = Volumen del biodigestor

$$\theta = \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 4}{\pi}} = 1.08 \text{ m} \approx 1 \text{ m}$$

Como resultado de la fórmula se obtuvo que el diámetro del biodigestor fue de 1 metro.

### **Longitud del biodigestor.**

Con base a (Arrieta Palacios, 2016) la longitud de un sistema de biodigestor tubular se encuentra estrechamente ligado con el diámetro con el que contara el mismo, por ende, se estima una proporción de longitud/diámetro, cuya medidas se encuentran comprendidas en un rango de que por cada metro de diámetro se sugiere tener entre 3 a 10 metros de longitud, esta descripción es identificada de la siguiente forma, 3:1 y 10:1, posteriormente (Arnott, 1985) en el libro *The biogas/Biofertilizer Business Handbook*, establece que las dimensiones extremas de un biodigestor son de 8:1 y 3:1 longitud/diámetro, es de notar que un biodigestor que no cumpla con estos parámetros no produce una cantidad óptima de biogás, ni produce un biofertilizante de calidad como un digestor que se ajusta a los rangos antes mencionados.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, para este caso se determinó que el biodigestor contaría con 3 metros de longitud conforme al resultado del diámetro del prototipo del biodigestor calculados anteriormente, correspondiente a la relación 3:1 proporcionando un mayor volumen al prototipo del biodigestor tubular ( $2.35 \text{ m}^3$ )

### **Dimensiones de la fosa.**

De acuerdo a la (Fundación Cosmopolitana, 2018) para la instalación de un biodigestor se requiere que la zanja cuente con 0,75 m de profundidad y 1m de ancho, la longitud de

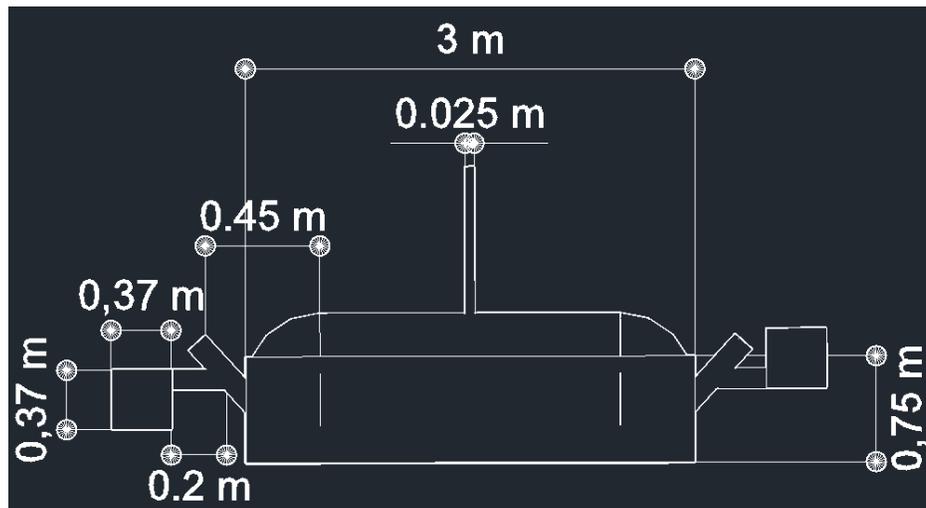
esta es directamente proporcional a la longitud del biodigestor, por ende, la longitud de la fosa correspondió a 3 metros.

### **1.3 Establecer el diseño del biodigestor iniciando por el plano a escala, donde se plasmarán las dimensiones y áreas requeridas del sistema.**

De acuerdo a los cálculos realizados anteriormente se llevó a cabo la elaboración de los esquemas del prototipo del biodigestor junto con el plano a escala correspondiente, a continuación, se visualiza la vista lateral, superior y frontal del biodigestor con sus respectivas medidas.

#### **Vista lateral.**

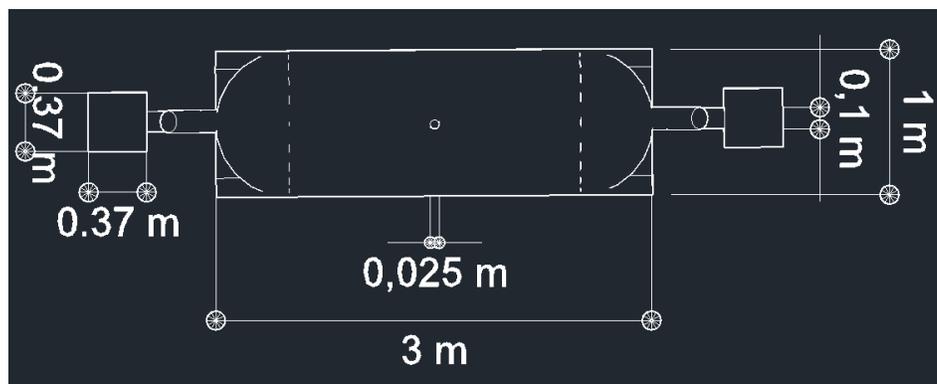
En la figura 2 que se aprecia a continuación, se encuentra la vista lateral del prototipo del biodigestor, en la cual se especificaron dimensiones como la longitud y altura del biodigestor, la longitud y altura de la zanja en donde fue adaptado prototipo, la medición de la caja de entrada al biodigestor, en donde se depositó la carga inicial del sistema, así como las mediciones de la caja de salida en donde se recolectó el bioabono, adicionalmente se puede apreciar la longitud de las tuberías que conformaron el sistema.



*Figura 2. Vista lateral del prototipo del biodigestor tubular, elaboración propia.*

### Vista Superior

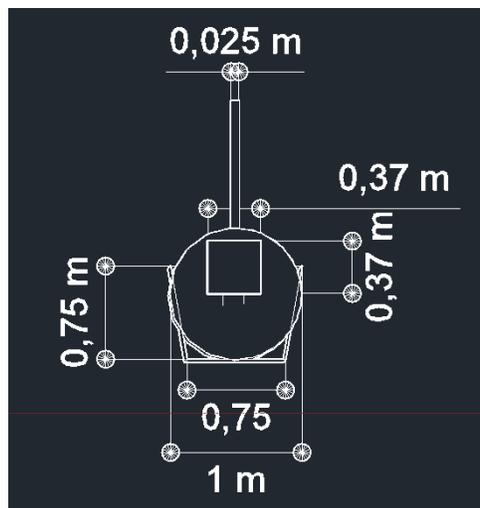
A continuación, se encuentra la vista superior del prototipo del biodigestor tubular, en donde se identifica la longitud y ancho del biodigestor y de la zanja, al igual que las mediciones de caja de entrada y caja de salida del prototipo, véase la figura 3.



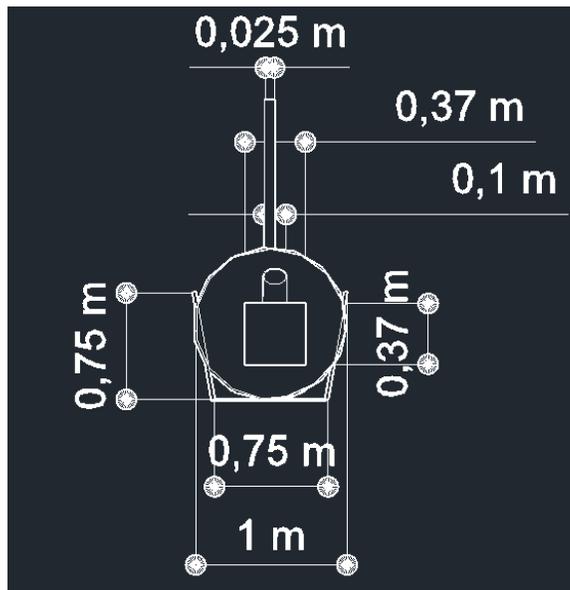
*Figura 3. Vista superior del prototipo del biodigestor tubular, elaboración propia*

### Vista Frontal

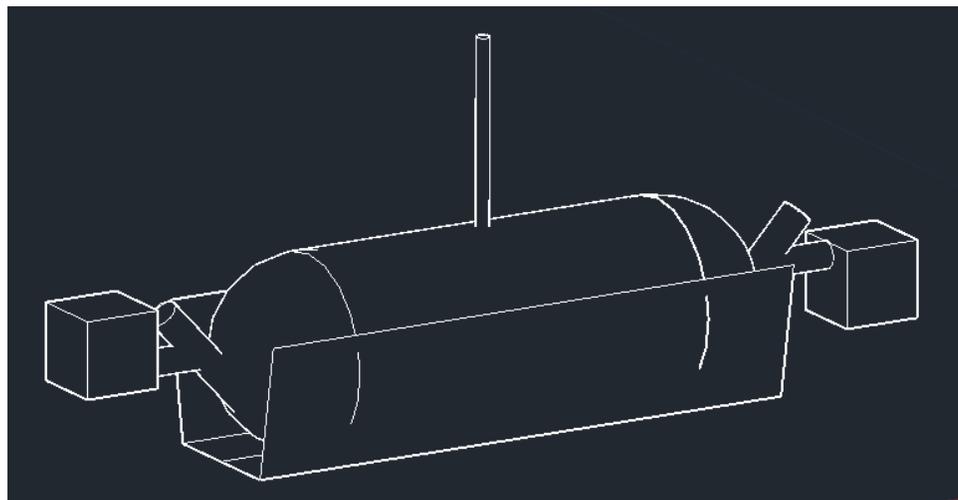
En las figuras 4 y 5 que se encuentran a continuación se dan a conocer la medición de la altura de la zanja donde fue adaptado el prototipo del biodigestor, al igual que el ancho superior e inferior de la misma, adicionalmente se puede apreciar el diámetro de las adaptaciones de tubería pvc que conformaron el sistema junto con las dimensiones de la caja de entrada y salida del prototipo del biodigestor.



*Figura 4. Vista frontal del prototipo del biodigestor tubular, elaboración propia.*



*Figura 5. Vista posterior del prototipo del biodigestor tubular, elaboración propia.*



*Figura 6. Esquema del prototipo del biodigestor tubular, elaboración propia.*

Por último, se elaboró el esquema definitivo del prototipo del biodigestor en base a las dimensiones antes mencionadas, véase la figura 6.

**1.4 Elaborar un diagrama de proceso para la construcción del prototipo de biodigestor tubular.**

El diagrama de procesos que se aprecia continuación, figura 7, se elaboró en base a la ejecución e información de proyectos de construcción de biodigestores tubulares.

### Elaboración de Prototipo del Biodigestor Tubular

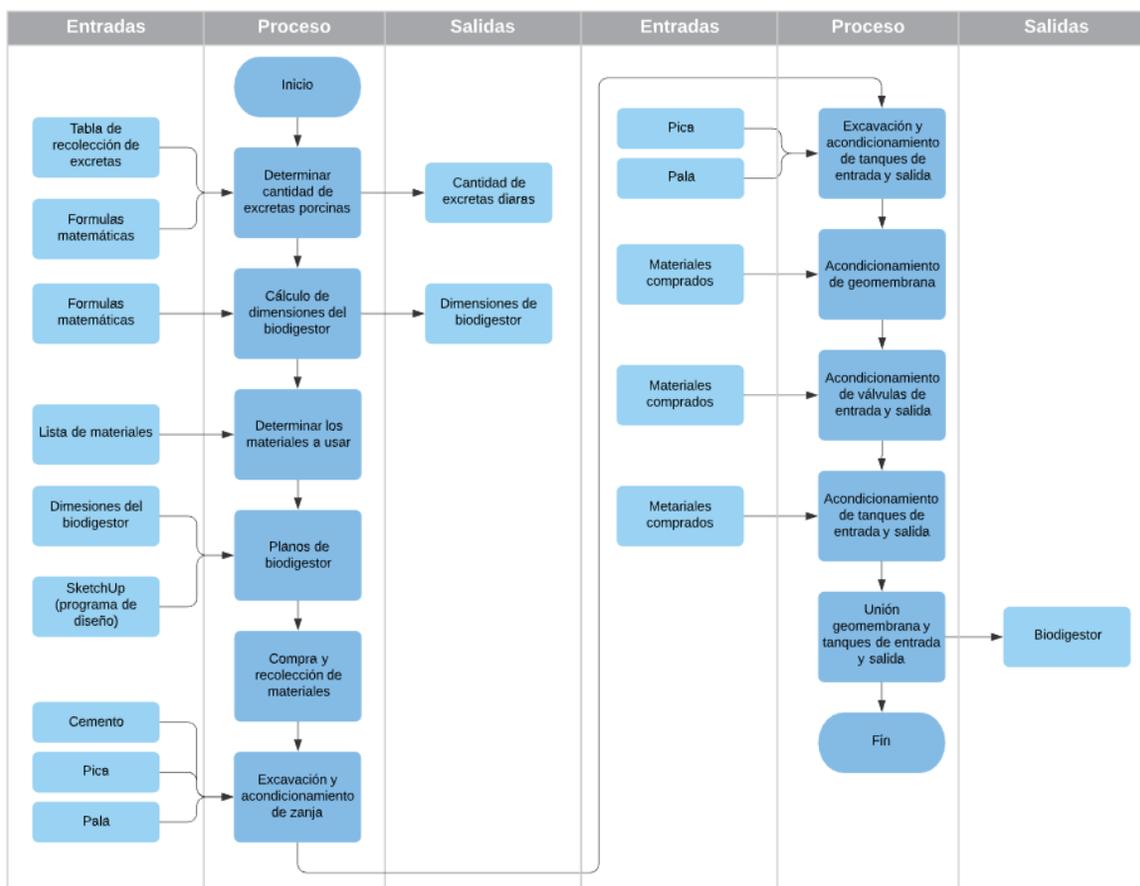


Figura 7. Diagrama de flujo de la construcción del prototipo del biodigestor tubular, elaboración propia.

## Etapa 2. Construir del prototipo del biodigestor

En esta etapa se seleccionaron los materiales utilizados en proyectos similares, una vez identificados y adquiridos se procedió con la elaboración del prototipo del biodigestor en las instalaciones de la granja porcicola; para la construcción del prototipo se estableció un

diagrama de procesos figura 7, el cual recopiló todo el procedimiento necesario para su elaboración.

### **2.1 Identificar los materiales requeridos para la construcción del biodigestor tubular.**

La identificación de los materiales para la construcción del prototipo del biodigestor fue realizada con base a la ejecución de los proyectos realizados anteriormente, teniendo en cuenta las recomendaciones, sugerencias y conclusiones que se daban dentro del desarrollo de cada uno de ellos.

La lista de materiales requeridos se plasmó por medio del formato identificado como materiales para la construcción del biodigestor, en este formato se dieron a conocer las características, dimensiones y las cantidades de cada uno de los materiales requeridos, cabe resaltar que a la hora de adquirir las bolsas tubulares en el mercado, estas no se hallaron de acuerdo a las dimensiones establecidas (Relación diámetro/longitud 3:1) aun así se encontraron algunas bolsas tubulares que contaban con un diámetro inferior estando más cerca del volumen requerido por el sistema, véase el anexo C.

### **2.2 Construcción del prototipo del biodigestor de acuerdo al procedimiento definido y materiales seleccionados.**

La construcción del prototipo del biodigestor se realizó el diagrama de procesos, figura 7, en el cual se estableció el paso a paso para la elaboración del prototipo del biodigestor tubular.

Inicialmente se llevó a cabo la selección del lugar para la ubicación de la zanja en donde fue adaptado el prototipo del biodigestor tubular, para esto se tuvieron en cuenta criterios

como la no existencia de árboles con el fin de evitar la aparición de raíces a la hora de realizar la excavación de la zanja, mitigando así los posibles daños a los que estaría expuesto el prototipo del biodigestor tubular, aun así es aceptable que se encuentre vegetación herbácea por sus alrededores, la disponibilidad y las condiciones del terreno, la cercanía del lugar con las instalaciones de la granja porcícola, en especial con los pozos estercoleros y suministros de agua con el objetivo de facilitar la carga del prototipo del biodigestor, adicionalmente se buscó que el terreno fuera estable y seco, lejano a zonas húmedas para evitar posibles derrumbes después de realizada la zanja, véase la ilustración 3.



*Ilustración 3. Terreno para la elaboración de la zanja.*

Al tener seleccionado el lugar se procedió hacer a la demarcación de la zanja, ilustración 4, según las dimensiones establecidas, 3 metros de longitud con 0,65 metro de ancho y una profundidad de 50 cm, posteriormente se inició con la excavación de la zanja como se refleja en la ilustración 5.



*Ilustración 4. Demarcación de la zanja.*



*Ilustración 5. Excavación de la zanja.*

Luego de terminar la excavación de la zanja se realizó el acondicionamiento de la misma retirando piedras de gran volumen y aquellas raíces que sobresalían en la excavación, con el objetivo de perfeccionar las terminaciones de la zanja se procedió a aplicar una capa de cemento en las paredes laterales de la misma, véase la ilustración 6, al estar el cemento seco

se decidió lijar la superficie para disminuir los sobresaltos y las terminaciones puntudas como se evidencia en la ilustración 7, luego de culminar esta actividad se realizó una limpieza dentro la zanja para retirar los residuos de cemento y piedras que podían dañar la bolsa de polietileno del prototipo del biodigestor ante la presión ejercida por el almacenamiento de las excretas y del biogás.



*Ilustración 6. Aplicación de cobertura de cemento*



*Ilustración 7. Acondicionamiento de paredes laterales.*

Teniendo en cuenta las dimensiones del prototipo del biodigestor tubular se llevó a cabo el montaje de la bolsa tubular del prototipo, para esto se utilizaron dos bolsas tubulares de polietileno negro de calibre 6 con una longitud de 3 metros de largo y 0.64 metros de diámetro. Para la adaptación de las bolsas tubulares se realizó la limpieza de la superficie en donde se extendieron con el fin de evitar algún daño en el material, esta actividad se realizó para identificar el centro longitudinal superior de cada una de ellas, seguidamente se demarco la circunferencia de 1", dimensión que fue definida para la tubería de salida del biogás, véase la ilustración 8.



*Ilustración 8. Identificación del centro de las bolsas tubulares.*

Al finalizar los cortes de los orificios en las dos bolsas, se procedió a introducir una bolsa dentro de la otra asegurando que los orificios quedaran parejos, esto con el propósito de realizar la adaptación para la salida del biogás, para llevar a cabo esto fue necesario que una persona ingresara dentro de la bolsa tubular externa y fuera halando la bolsa tubular

que quedaría en el interior, para esto se requirió que antes de ingresar a la bolsa la persona se percatara de no llevar ningún tipo de accesorio que pudiera romper, estirar o pinchar la bolsa, por preferencia se realizó el ingreso descalzo con el fin de no tallar el plástico con la suela de los zapatos, esto se puede observar en la ilustración 9.



*Ilustración 9. Acomodación doble de bolsas tubulares.*

Para proceder con la adaptación de la salida del biogás, se necesitaron dos arandelas metálicas, un adaptador macho y un adaptador hembra con dimensiones de 1"; adicionalmente se requirieron dos arandelas de neumático con el objetivo de prevenir fugas de gas y formar una capa protectora entre la arandela metálica y el plástico, previniendo así cualquier tipo de daño en el plástico tubular, una vez obtenidos los materiales se procedió nuevamente hacer el ingreso dentro de las bolsas tubulares para adaptar los accesorios, fue necesario que la persona que ingreso llevara el adaptador macho, junto con la arandela metálica y la de neumático para posteriormente introducir los elementos dentro del orificio desde el interior hacia el exterior, una vez realizado esto la persona que se encontraba por

fuera de las bolsas realizó la adaptación de los otros accesorios, después de haber realizado el acople las dos personas ejercieron fuerza para ajustar los elementos y así evitar cualquier tipo de fuga, ilustración 10.



*Ilustración 10. Adaptación de salida de biogás.*

Para llevar a cabo la adaptación de la tubería de entrada y salida de la carga orgánica para el prototipo del biodigestor, fue necesario realizar los cortes del tubo de 4" conforme a las dimensiones establecidas en el plano a escala, el tubo de entrada y salida tuvieron una longitud de 45 cm; posteriormente se recortaron tiras de 5 cm de ancho de los neumáticos de moto los cuales se utilizaron para forrar los extremos de cada uno de los tubos que ingresaría dentro de las bolsas tubulares como se evidencia en las ilustraciones 11 y 12, esto con el fin de proteger internamente las bolsas, evitando que los orificios del tubo las rasgaran.



*Ilustración 11. Recorte de tiras de neumático*



*Ilustración 12. Forrado de tubería.*

Una vez terminado este proceso se llevó a cabo la fijación de los tubos en las bolsas tubulares, para esto se ingresaron 20 cm de tubo del extremo que fue forrado situándolo en el centro del ancho de las bolsas, allí una persona se encargó de sostenerlo y otras dos realizaron los dobleces en forma de acordeón alrededor del tubo, verificando que la bolsa

quedara templada y sin arrugas para evitar escapes de gas, seguidamente se realizó el recubrimiento del tubo con tiras de neumático de 5 cm para ajustar los dobleces con la superficie del mismo, para esto el neumático se estiraba con fuerza y se iba recubriendo el tubo de manera que la tira quedara encima de la vuelta anterior, el amarre de la tira se realizó con la presión que ejercía la última vuelta del neumático en el tubo, ingresando sobre esta el extremo del neumático, este procedimiento se realizó de igual forma para el otro tubo, obsérvese la ilustración 13



*Ilustración 13. Fijación de tubería de entrada.*

La elaboración de la caja de entrada y la caja salida fue realizada con dos garrafones plásticos de capacidad de 50 litros, a cada garrafón se le realizó una abertura cuadrada en una de sus caras laterales, cuya finalidad fue permitir el ingreso de la biomasa dentro del recipiente (caja de entrada) y la salida del biofertilizante obtenido por la fermentación (caja de salida), seguidamente se procedió hacer un orificio circular a cada uno de los garrafones y se llevó a cabo la adaptación de los tubos de PVC que permitieron la conexión de la caja de entrada y salida con la bolsa tubular, véase la ilustración 14.



*Ilustración 14. Caja de salida del prototipo del biodigestor tubular*

Para llevar a cabo la adaptación de los componentes del prototipo del biodigestor tubular, se inició por recubrir la zanja con un plástico de calibre 8 que sirvió de aislante, véase la ilustración 15, previniendo que la bolsa tubular no estuviera en contacto directo con las paredes de la zanja y el suelo, evitando así futuros daños ante la presión que genera el gas estando almacenado dentro del sistema.



*Ilustración 15. Recubrimiento de la zanja.*

Posterior a esto se llevó el prototipo del biodigestor tubular a la zanja en donde se instaló, evitando que durante su transporte el plástico tuviera roces en su parte inferior,

seguidamente se procedió a colocar el biodigestor dentro de la zanja revisando que no quedaran piedras ni ningún elemento que pudiera perforar o rasgar las bolsas, estando allí se colocaron los tapones en los extremos de los tubos y se adaptó un tubo junto con una válvula en la salida del biogás con el propósito de cerrar el orificio, con la ayuda de un compresor se inflo el prototipo y se dejó expuesto al ambiente durante 3 horas con el objetivo de verificar si había algún escape, esto se puede observar en la ilustración 16.



*Ilustración 16. Prototipo del biodigestor tubular inflado.*

Pasadas las 3 horas se realizó la revisión, el prototipo del biodigestor seguía inflado y mantenía los mismos pliegues que fueron marcados en sus extremos, al comprobar que no había fugas se abrió la válvula del biogás, se quitaron los tapones de los tubos para desinflar la bolsa y se acomodó de tal forma que el orificio de salida de biogás quedara en el centro de la parte superior de la bolsa tubular.

Seguidamente se realizó la unión del prototipo del biodigestor tubular con el sistema de entrada y salida del prototipo, para esto se utilizó tubería de PVC, dos yee's, dos tapones y soldadura para tubería de PVC, cabe resaltar que los accesorios antes mencionados fueron de dimensión de 4", obsérvese la ilustración 17 y 18.



*Ilustración 17. Conexión de caja de entrada en el prototipo del biodigestor tubular*



*Ilustración 18. Conexión de caja de salida con el prototipo del biodigestor tubular*

Como se puede evidenciar en las ilustración 17 y 18 la caja de entrada y salida del prototipo del biodigestor tubular fueron instaladas al mismo nivel, pero con el orificio realizado en diferente posición, la caja de entrada fue adaptada con el orificio en la parte inferior de manera que al ingresar la mezcla esta no se quedara estancada a dentro del recipiente, a diferencia de la caja de salida la cual tiene el orificio en la parte superior, debido a que allí se depositó el biofertilizante que resultó tras el proceso de la fermentación anaerobia.

La construcción del prototipo del biodigestor culminó con el acondicionamiento de la red de biogás para la cual fue necesaria tubería de PVC de 1", acompañada de un codo, dos tee's, y una válvula de seguridad, adicionalmente se requirió un reductor de PVC de 1" a ½", un adaptador de rosca y tubería de PVC de ½", un manómetro y un racor de ½" a ¼" y por último una botella plástica de 1,5 Litros, la red tuvo inicio desde la salida del biogás que se encontraba en las bolsas tubulares, después de pegar e instalar el primer tramo de la tubería se llevó a cabo la adaptación del manómetro con fin de que este midiera la presión que contenía el prototipo, seguidamente se acondicionó la trampa de presión que fue conformada por la botella plástica y una t que en su inferior contenía un tubo el cual fue introducido y sumergió en agua dentro de la botella véase la ilustración 19, esto se llevó a cabo para que a medida de que la presión del prototipo del biodigestor aumentara, el gas pudiera liberarse por medio de la trampa de gas, manteniendo así una presión constante dentro del sistema evitando posibles rupturas del prototipo, en busca de que la red no permitirá el ingreso de oxígeno dentro del sistema, se acoplo la válvula de seguridad y por último se adicionó tubería la cual se colocó sobre un mesón para darle estabilidad y apoyo a

la red, debido a que el peso de los accesorios instalados era considerable y hacía que la tubería se cayera, también se procedió a sostener red de biogás de la estructura del techo que cubre el prototipo con el objetivo de ser levantada desde el primer tramo de la tubería evitando que esta quedara inclinada y que el peso de la salida del biogás que fue instalada en la bolsa tubular generara daños en la misma, esto se realizó con ayuda de un lazo de 10 metros de largo, esto se puede evidenciar en la ilustración 20.



*Ilustración 19. Red de biogás*



*Ilustración 20. Prototipo del biodigestor tubular*

### **2.3 Identificar la cantidad de biogás generado en el prototipo del biodigestor tubular con base a la (Dirección General Ambiental Sectorial, 2002)**

Para identificar la cantidad de biogás que se generó dentro del sistema, se necesitó realizar la puesta en marcha del prototipo del biodigestor, inicialmente se identificó el peso neto de la carretilla en donde se depositaron las excretas del ganado porcino que fueron recolectadas en las instalaciones de la granja, seguidamente se procedió a trasladar la carretilla a la báscula con el propósito de realizar el pesaje hasta llegar a 25 kilos siendo estos los requeridos para la carga del biodigestor, véase la ilustración 21.



*Ilustración 21. Recolección de excretas porcinas.*

Para preparar la carga del biodigestor se realizó la mezcla de los 25 kilogramos de excretas con los 25 kilos de agua correspondientes, en busca de que la mezcla fuera homogénea se agito con una pala dentro de la carretilla, debido a que quedaron grumos en el fondo de la misma, se trasladó la mezcla a un balde con el propósito de disolver los

grumos con las manos, puesto que fue más fácil detectarlos y disolverlos, esto se parecía en la ilustración 22.



*Ilustración 22. Dilución de la biomasa.*

Antes de ingresar la carga de biomasa al sistema del prototipo del biodigestor tubular se realizó una carga de 50 litros agua para acomodar la bolsa tubular en la zanja, estirándola de sus laterales longitudinales y revisando que no quedaran arrugas o pliegues por debajo de la bolsa, adicionalmente se procedió a cerrar la válvula que fue adaptada en la red de biogás, una vez realizada la carga de agua se dio inicio a la carga de la biomasa al biodigestor como se evidencia en la ilustración 23, al finalizar la carga del biodigestor con los 50 litros de biomasa se realizó un palpado al biodigestor, con el fin de verificar que la mezcla ingresada estuviera a un nivel superior de los orificios de los tubos internos del prototipo garantizando que no entrara oxígeno por medio de ellos, al realizar la verificación se obtuvo que el nivel de la mezcla llegó hasta la mitad de los orificio de los tubos, por ende en este caso se adicionaron dos cargas más de biomasa garantizando así, que el

sistema no estuviera expuesto al ingreso de oxígeno dando paso a la fermentación anaerobia dentro del biodigestor tubular.



*Ilustración 23. Carga del prototipo del biodigestor tubular.*

Ocho días después de la carga del sistema se evidenció que el prototipo del biodigestor ya contaba con gas en su interior, puesto que la superficie superior de la bolsa se encontraba levantada a comparación del nivel de la biomasa ingresada como se observa en la ilustración 24.



*Ilustración 24. Prototipo de biodigestor tras 8 días de la puesta en marcha.*

Es de resaltar que cada dos días se le realizaba una limpieza externa al prototipo del biodigestor debido a que se presentaron fuertes corrientes de aire y lluvias, por ende, se encontraban hojas, bolsas y arena a los alrededores de la zanja y algunas veces dentro de la

misma, pasados los 20 días establecidos como el tiempo de retención del sistema, se evidencio que el prototipo ya tenida una forma tubular más marcada gracias a la producción y el almacenamiento del biogás en las bolsas tubulares, véase a la ilustración 25.



*Ilustración 25. Prototipo de biodigestor tras 20 días de la puesta en marcha.*

De acuerdo a la (Dirección General Ambiental Sectorial, 2002) se estima que a partir de 5,01 kg de excretas que genera un cerdo adulto se pueden producir 0,34 m<sup>3</sup> de biogás, por lo tanto se concluyó que 1 kg de excretas porcinas produce 0,067 m<sup>3</sup> de biogás, teniendo en cuenta que la caga de biomasa que fue ingresada al biodigestor contó con un total de 100 kg de excretas porcinas, se determinó que la cantidad de biogás que generada el sistema sería de 6.7 m<sup>3</sup> de biogás, teniendo en cuenta el inventario actual que se encuentra en las instalaciones de la granja se identificó que la producción diaria de excretas es de 6919,83 kilogramos lo cual se puede evidenciar en el anexo B, por ende se estima que la granja porcicola produce un total de 463.63 m<sup>3</sup> de biogás.

**Etapas 3. Diseñar un sistema de adaptación que permita la generación de energía mediante el biogás recolectado en el biodigestor.**

Para realizar esta etapa se hizo necesario la consulta de las fuentes bibliográficas señaladas dentro del trabajo de investigación, con el fin de extraer y seguir los cálculos planteados por los diversos autores para la generación de energía en grajas similares; por ende, el desarrollo de esta etapa fue enfocado en la propuesta de adaptación para la generación de energía eléctrica en la granja porcicola Agroindustria Tecnología AGROTEC SAS, donde se identificó la cantidad de la energía eléctrica producida teniendo en cuenta el volumen de biogás que se puede generar de acuerdo a la cantidad de las excretas totales que genera la granja, aunado a esto se llevó a cabo la selección del equipo adecuado para el desarrollo del sistema y por último se realizó el plano esquemático de la adaptación del biodigestor al equipo seleccionado.

**3.1 Determinar la cantidad de energía eléctrica que puede producir la granja, por medio del desarrollo de la fórmula de generación de energía eléctrica por biogás según (Díaz Valencia & Toledo Méndez, 2008).**

Para el desarrollo de esta etapa se tuvo como base la cantidad total de biogás que generaría la granja porcicola Agrotec SAS, la cual sería de 463,63 m<sup>3</sup> de biogás, debido a que este es un dato fundamental para identificar la potencia eléctrica que se generaría; de acuerdo a (Díaz Valencia & Toledo Méndez, 2008) para determinar la aportación de Kw es necesario tener en cuenta la cantidad diaria de biogás generado por el sistema la cual es calculada por medio de la ecuación 6 que se encuentra a continuación.

$$Vol. biogás_{diario} = \left( \frac{Vol_{biogás}}{TRS} \right) \text{ (Ecuación 6)}$$

$$Vol. biogás_{diario} = \left( \frac{463,63 m^3}{20 días} \right) = 23,18 m^3 / día$$

Al obtener el resultado de la cantidad de biogás diaria generada por la granja porcicola, se procede a identificar la aportación energética, tomando como referencia el poder calorífico del biogás por medio de siguiente ecuación.

$$Aportación_{Kw} = \left( 143.04 \frac{Kw/d}{m^3 \text{ de biogás}} \right) (Vol. \text{ biogás}_{diario} m^3) \text{ (Ecuación 7)}$$

$$Aportación_{Kw} = \left( 143.04 \frac{Kw/d}{m^3 \text{ de biogás}} \right) (23,18 m^3/día) = 3315,66 Kw$$

Dando solución a las fórmulas anteriores se determina que la cantidad de energía energética generada por la granja porcicola es de 3315,66 kw

### **3.2 Seleccionar el tipo de equipo electrógeno conveniente para el sistema de acuerdo a los historiales documentales encontrados.**

Con base a la potencia eléctrica generada por la granja porcicola se optó por escoger un sistema turbogenerador o más conocido como turbina de gas, puesto que se cuenta con gran variedad de tamaños variando así su rango de capacidad, específicamente entre 100 Kw – 10 MW siendo apto para la potencia generada por la granja porcicola, el segundo aspecto importante que se tuvo en cuenta en la selección del equipo es que el funcionamiento del mismo es cien por ciento con biogás, adicionalmente el tiempo de arranque de los turbogeneradores es de 10 min a 1 hora permitiendo tener una respuesta rápida en el requerimiento de energía según (Aldana Méndez, 2018).

### **3.3 Diseño del sistema de conducción de biogás para la adaptación de un generador de energía eléctrica a un biodigestor tubular, por medio de planos esquemáticos.**

Para llevar a cabo la adaptación de sistemas productores de biogás a motores o generadores de electricidad, es necesario que el biogás sea deshumidificado y no tenga presencia de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), debido a que estas sustancias son altamente

corrosivas y pueden ocasionar graves daños en el sistema mecánico del sistema (FAO, 2011), por tal motivo y teniendo en cuenta el estudio realizado en el artículo denominado implementación de un sistema para generar electricidad a partir de biogás en la finca pecuaria integrada de earth realizado por (Murillo, 2014), se tuvo como resultado que el filtro de óxido de calcio (CaO) es el más óptimo para la eliminación de los gases corrosivos en los motores, por ende ese filtro fue el seleccionado para la eliminación de los gases que afecten el estado y rendimiento del equipo.

Por medio del plano esquemático que se representa por medio de la figura 8 se evidencia el diseño de adaptación del biodigestor a equipo y los componentes más relevantes del turbogenerador.

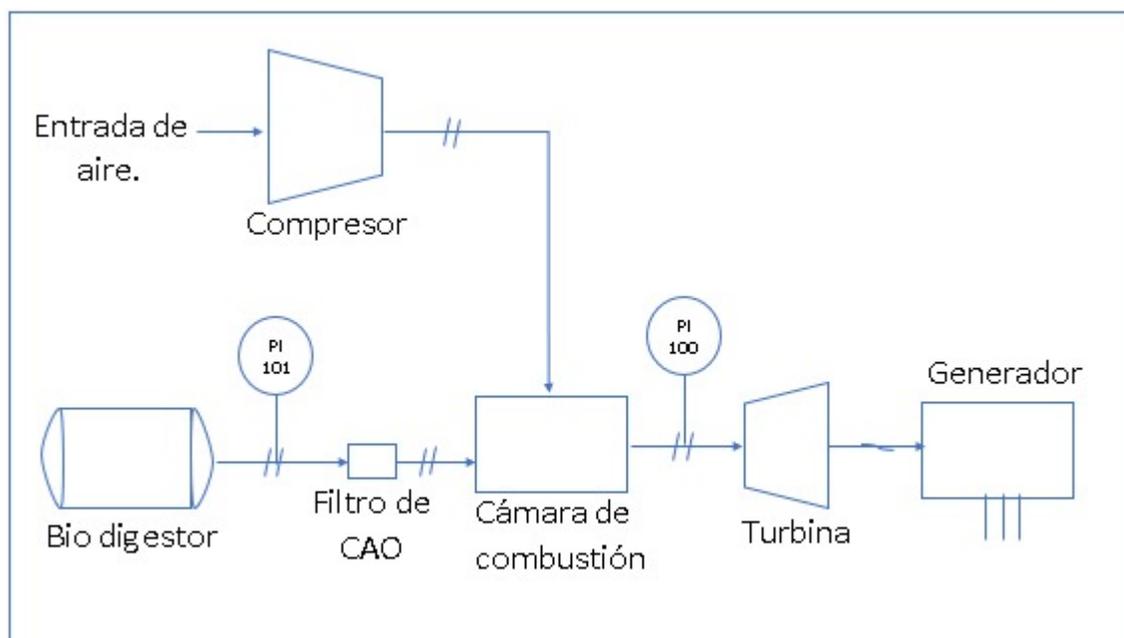


Figura 8. Diseño de conducción de biogás, elaboración propia.

## **Capítulo 6**

### **Conclusiones**

El diseño del prototipo del biodigestor tubular en la granja porcicola Agroindustria Tecnología del Llano AGROTEC S.A.S se plasmó en el programa AutoCAD con base a las dimensiones obtenidas en los cálculos matemáticos correspondientes, allí se identifican las partes del prototipo las cuales son, la caja de entrada y salida, la geomembrana, la red de biogás y las adaptaciones de la tubería de Pvc, posteriormente se llevo a cabo la construcción del prototipo del biodigestor en donde se tuvieron en cuenta los materiales más utilizados y recomendados por los antecedentes teórico-prácticos referenciados dentro del trabajo investigativo, dentro de los materiales más relevantes encontramos, plástico tubular negro de polipropileno calibre 6, neumáticos de caucho, plástico sencillo negro calibre 8, tubería de Pvc, silicona y cemento, cabe resaltar que para la selección de estos materiales se tuvieron en cuenta características como resistencia, durabilidad y flexibilidad.

Una vez terminado este proceso se procedió a proponer el sistema de adaptación que permitió la generación de energía eléctrica, para esto se determinó el uso de un turbo generador o mas conocido como turbina de gas; para llevar a cabo la selección de este equipo se tuvieron en cuenta las características del motor, la capacidad de producción de biogás que generó la granja porcicola y el por poder calorífico del mismo para llevar a cabo el desarrollo de los cálculos matemáticos de generación de energía eléctrica.

## Capítulo 7

### Recomendaciones

En la implementación de un prototipo de un biodigestor tubular se deben tener en cuenta los factores y las características con las que cuentan las instalaciones de la granja porcícola, reconociendo así los diferentes factores que pueden influir a la hora de dar inicio con el desarrollo de la metodología planteada, aunado a esto se recomienda tener una amplia gama de referencias bibliográficas tanto de carácter teórico como práctico para ampliar el conocimiento del funcionamiento del sistema y de los diferentes factores influyentes en el proceso con el fin de diseñar e implementar un biodigestor de alta efectividad.

El terreno en donde se piense implementar el biodigestor debe ser totalmente llano puesto que al haber alguna inclinación la carga del biodigestor se acumulará en solo un solo extremo y no se esparcirá en el biodigestor.

Se recomienda que las cajas de entrada y salida se elaboren más grande de lo que se calculara para evitar que las cargas no se alcancen a desbordar.

Se sugiere utilizar soldadora para PVC en las uniones de la tubería de gas y de las cajas para evitar filtraciones de gas o de agua.

El tubo inicial de salida de biogás se recomienda que sea flexible con el fin de que este no ejerza fuerza a la bolsa del biodigestor y pueda generar escapes de gas.

A la hora de realizar las cargas al biodigestor se debe verificar que este esté totalmente líquida y que no contenga objetos extraños que puedan dañar la estructura del biodigestor afectando el proceso de biodigestión.

Para elaborar el diseño del sistema generador de electricidad a partir de biogás se recomienda contar con una serie de referencias bibliográficas de carácter científico y práctico, con el objetivo de determinar el equipo más conveniente y diseñar el sistema que se pueda acoplar al biodigestor.

Para que la generación de biogás sea más eficiente se recomienda que el sistema cuente con una fuente de calor con el propósito de que el biodigestor no esté expuesto a temperaturas inferiores durante la noche interrumpiendo así el proceso de producción de biogás.

La zona en donde sea instalado el biodigestor en lo posible debe contar con techo en buen estado y a una altura baja esto con el fin de evitar que la zanja se inunde en temporadas de lluvia.

Para el acondicionamiento de las bolsas tubulares con los tubos, se debe tener muy en cuenta que los dobleces de los extremos de las bolsas que se hagan alrededor del tubo en forma de acordeón sean muy firmes a la horma del tubo, con el fin de evitar arrugas en donde se pueda escapar el biogás, de igual manera ejercer gran fuerza a la hora de templar las tiras neumáticas sobre la bolsa y el tubo con el fin de evitar fugas de gas en la unión.

Para aprovechar todo el biogás generado por la biomasa dentro del biodigestor es necesario acondicionar un reservorio de gas, cuyo objetivo es almacenar el biogás generado evitando que la bolsa del biodigestor se llene en su totalidad permitiendo así la salida de biogás por medio de la presión generada por el combustible.

### Lista de Referencias

- Aldana Méndez, F. A. (2018). *Evaluación técnica, económica y ambiental de alternativas de autogeneración de electricidad o cogeneración, a partir de biomasa residual para la empresa planta productora de aceite de palma africana, “INVERSIONES LA MEJORANA” en el Departamento del Meta*. Bogota, Colombia .
- Aqualimpia. (2017). Fases de la digestión anaeróbica. *Aqualimpia*.
- Arnott, M. (1985). The biogas/Biofertilizer Business Handbook. Third Edition. En M. Arnott, *The biogas/Biofertilizer Business Handbook. Third Edition* (pág. 193). Washington, DC.: Peace corps / information collection & exchange.
- Arrieta Palacios, W. (2016). *Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado*. Piura, Perú.
- Arrieta, W. (2016). *Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado*. Piura, Perú: Repositorio Institucional PIRHUA.
- Baculima Pintado, M. V., & Rocano Tenezaca, G. C. (2015). *Estudio para la determinación de la producción de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del biogás de una granja porcina ubicada en la ciudad de Azogues*. Cuenca.
- Banegas, S. (2020). El biol, nuestro mejor aliado. *Comunicaciones COMSA*.
- Campos, C. (2014). Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 37- 41.
- Castaño Orjuela, Jorge Alfonso. (2017). *Factibilidad de la implementación de un Biodigestor que transforme estiércol de porcino en Biogas y Biofertilizante para la*

- venta comercial, en la finca la primavera, municipio de Lejanías, Meta. Acacias, Meta: UNAD.*
- Cervantes Hernández, L. (2020). Reducción de nitrógeno y fósforo en las heces, indicación de uso aprobada por SADER para Stafac500. *Phibro Animal Health Corporation*. .
- Córdova, A., Ruiz Lang, C. G., Xolalpa Campos, V., Méndez Mendoza, M., Huerta Crispin, R., & Villa Mancera, A. (2016). *El bienestar animal en la producción porcina II*. Sinaloa.
- Corrales, L. C., Antolinez Romero, D. M., Bohórquez Macías, J. A., & Corredor Vargas, A. M. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contriuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *NOVA*.
- Cuní, B. C. (2011). *Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino*. Santamaría, Boyeros. : Revista Ciencias Técnicas Agropecurias. .
- Díaz Valencia, A., & Toledo Méndez, C. (2008). Diseño de un biodigedor anaerobio y propuesta de un sistema de generación eléctrica para el abastecimiento de un área de la Dacbiol. . *División Académica de Ciencias Biológicas*, 130.
- Dirección General Ambiental Sectorial. (2002). Guía ambiental para el subsector porcicola. *Asociación Colombiana de Porcicultores / Fonda Nacional de la Porcicultura*, 224.
- Echeverría, A. (2016). *El ambiente climatico en la producción porcina. Facultad de Agronomía y Veterinaria*.
- energia, S. d. (2019). *Manual de uso del biodigestor*. Santafe.

- Enerxía Galega Máis. (2018). ¿Qué es el biogás y que aplicaciones tiene? *Enerxía Galega Máis, Compañía eléctrica*.
- FAC. (2011). Estudio de performance ambiental desarrollado para el FAC. *Universoporcino*, 1-4.
- FAO. (2000). Tecnologías disponibles para reducir el potencial contaminante de las excretas de granjas porcícolas. En FAO, *Reporte de la Iniciativa de la Ganadería, el Medio Ambiente y el Desarrollo (LEAD) - Integración por Zonas de la Ganadería y de la Agricultura Especializadas (AWI) - Opciones para el Manejo de Efluentes de Granjas Porcícolas de la Zona Centro de México*. México.
- FAO. (2011). *Manual de biogás*. Santiago de Chile.
- FAO. (2013). Una evaluación global de las emisiones y oportunidades y mitigación. *Enfrentando el cambio climático através de la ganadería*, 129.
- Fronteras. (2019). ¿Qué es el pH? *Cultura científica*.
- Fundación Cosmopolitana. (2018). Tecnologías que liberan. *Caracara*, 94.
- García Barreno, P. (2015). Química - Bioquímica - Biología Molecular IV . *Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular* .
- Hernández, W. J. (2008). *La investigación científica*.
- Instituto para la diversificación y ahorro de energía. (2002). *Manuales de energías renovables*. San José, Costa Rica.
- Iñigo Labiano, I. (2014). *Estudio de viabilidad de un sistema de generación de energía eléctrica empleando biogás como combustible en el matadero municipal de Cochabamba*. Pamplona.

- Lansing, S., Botero , R., & Martín, J. (2008). *Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters*. ELSEVIER.
- Lansing, S., Viquez, J., Martínez, H., Botero, R., & Martín , J. (2008). *Quantifying electricity generation and waste transformations in a low-cost, plug-flow anaerobic digestion system*. ELSEVIER.
- Linnenberg , C., Malebrán, C., Jofré, I., & Schleenstein, G. (2019). *Estudio de factibilidad de un biodigestor anaeróbico en una pnata faenadora de carne*. Santiago de Chile.
- Machado Hernández , E. M., Robayo Gomez, Y. M., Ayala Bello, H. U., & Chávez Porras, Á. (2014). Plan de manejo ambiental para un proyecto porcícola: proyecto la zambra, Otanche, Boyacá. *Universidad Militar Nueva Granada*, 14.
- Maisonnave , R., Millares, P., & Lamelas, K. (2016). *Buenas prácticas de manejo y utilización de efluentes porcinos*. Argentina .
- Mota Rojas , D. (2019). *Monitoreo termográfico infrarrojo en lechones destetados*. Ciudad de México.
- Muhajir, K., Badrawada, I., & Susastriawan, A. (2019). *Utilization of biogas for generator set fuel: performance and emission characteristics*. Yogyakarta: Springer Verlag.
- Murillo, J. V. (2014). *Implementación de un sistema para generar electricidad a partir de biogás en la finca pecuaria integrada de earth*.
- Pagrario. (2014). El bioabono. *Panorama Agrario*.
- Parra Huertas, R. (2015). Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. *SciELO*.

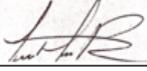
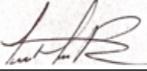
- Pérez Bort, I. (2011). *Optimización de la producción de biogás de Iso biodigestores unifamiliares de la zona rural andia de Perú*. Barcelona.
- Pérez López, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la reggión occidental de costa rica . 1-12.
- Pinheiro Silva, F., Melegari de Souza, N. S., Sey Kitamura, D., Bueno Otto, R., & Camargo Nogueira, E. (2018). *Energy efficiency of a micro-generation unit of electricity from biogas of swine manure*. ELSEVIER.
- ProyectoFSE. (2018). ¿Cómo funciona un biodigestor? *ProyectoFSE*.
- Quiles, A., & Hevia, M. L. (2018). Puntos críticos en el manejo del lechón al nacimiento. *Producción Animal*, 6.
- Rafael Morales, M. Y., & Hernández Guzmán , A. (2014). *Caraterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible*. Sanfandila.
- Rutllant, J., López, H., & Lorente, J. (2017). La paridera ideal: número de plazas, tamaño de sala, tipo de jaula. *3tres3*.
- Soncco Tumpi, S. (2019). *Implementación de sistema de generación de energía eléctrica alternatico a partir de la producción de biogás, en el distrito de Yanaoca Provincia de Canas*. Arequipa - Perú.
- Tamkin, A., Martin, J., Castaño, J., Ciotola, R., Rosenblum, J., & Bisesi, M. (2015). *Impact of organic loading rates on the performance of variable temperature biodigesters*. ELSEVIER.
- Valle, S. (2019). ¿Qué es el metano? *Francamagazine*.

Van Lier, J., Lettinga, G., Hulsbeek, J., & Stams, A. (1993). *Bioresource Technology*. En J.

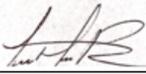
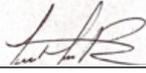
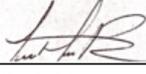
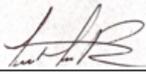
Van Lier, G. Lettinga, J. Hulsbeek, & A. Stams, *Bioresource Technology* (págs.

227-235). Editorial Elsevier.

## Anexos

		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS CANTIDAD DE EXCRETAS PORCINAS			
		Página: 1	Código: 001	Versión: 1.0	
Día	Zonas	Cantidad ( Kg)	Cant. Porcinos	Observaciones	Firmas responsables
Día 1	Hembras	78	20	Muestra de 20 corrales	
	Machos Reproductor	22	4	Muestra de cuatro corrales	
	Lechones	14	60	Muestra de seis parideras	
	Precebo	71	210	Muestra de dos corrales	
	Levante	133	65	Corrales N° 35 - 36 - 37 - 38	
	Engorde	258	64	Corrales N° 20 - 21 - 22 - 23	
Día 2	Hembras	71	20	Muestra de 20 corrales	
	Machos Reproductor	18	4	Muestra de cuatro corrales	
	Lechones	16	60	Muestra de seis parideras	
	Precebo	75	210	Muestra de dos corrales	
	Levante	123	65	Corrales N° 35 - 36 - 37 - 38	
	Engorde	251	64	Corrales N° 20 - 21 - 22 - 23	
Día 3	Hembras	72	20	Muestra de 20 corrales	
	Machos Reproductor	20	4	Muestra de cuatro corrales	
	Lechones	13	60	Muestra de seis parideras	
	Precebo	68	210	Muestra de dos corrales	
	Levante	127	65	Corrales N° 35 - 36 - 37 - 38	
	Engorde	264	64	Corrales N° 20 - 21 - 22 - 23	
Día 4	Hembras	68	20	Muestra de 20 corrales	
	Machos Reproductor	19	4	Muestra de cuatro corrales	
	Lechones	15	60	Muestra de seis parideras	
	Precebo	73	210	Muestra de dos corrales	
	Levante	140	65	Corrales N° 35 - 36 - 37 - 38	
	Engorde	249	64	Corrales N° 20 - 21 - 22 - 23	
Observaciones:					

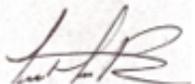
Anexo A. Cantidad de Excretas Porcinas, elaboración propia.

		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS CANTIDAD DE EXCRETAS PORCINAS			
		Página: 2	Código: 001	Versión: 1.0	
Día	Zonas	Cantidad ( Kg )	Cant. Porcinos	Observaciones	Firmas responsables
Día 5	Hembras	70	20	Muestra de 20 corrales	
	Machos Reproductor	22	4	Muestra de cuatro corrales	
	Lechones	13	60	Muestra de seis parideras	
	Precebo	77	210	Muestra de dos corrales	
	Levante	134	65	Corrales N° 35 - 36 - 37 - 38	
	Engorde	254	64	Corrales N° 20 - 21 - 22 - 23	Steven Gomez A.
Día 6	Hembras	69	20	Muestra de 20 corrales	
	Machos Reproductor	24	4	Muestra de cuatro corrales	
	Lechones	16	60	Muestra de seis parideras	
	Precebo	75	210	Muestra de dos corrales	
	Levante	130	65	Corrales N° 35 - 36 - 37 - 38	
	Engorde	252	64	Corrales N° 20 - 21 - 22 - 23	Steven Gomez A.
Día 7	Hembras	75	20	Muestra de 20 corrales	
	Machos Reproductor	19	4	Muestra de cuatro corrales	
	Lechones	15	60	Muestra de seis parideras	
	Precebo	69	210	Muestra de dos corrales	
	Levante	137	65	Corrales N° 35 - 36 - 37 - 38	
	Engorde	258	64	Corrales N° 20 - 21 - 22 - 23	Steven Gomez A.
Promedio	Hembras	71,9	20	Muestra de 20 corrales	
	Machos Reproductor	20,6	4	Muestra de cuatro corrales	
	Lechones	14,6	60	Muestra de seis parideras	
	Precebo	72,6	210	Muestra de dos corrales	
	Levante	132,0	65	Corrales N° 35 - 36 - 37 - 38	
	Engorde	255,1	64	Corrales N° 20 - 21 - 22 - 23	Steven Gomez A.
Observaciones:					

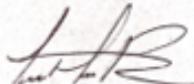
Anexo B. Cantidad de Excretas Porcinas, elaboración propia.

	PRODUCCIÓN DE EXCRETAS DIARIAS				
	Página: 1	Código: 002	Versión: 1.0		
<b>Estiercol/ Kg/ día Según Datos Recolectados</b>					
Grupo Etareo	Promedio Kg Excreta	Nº Animales Muestra	Estiercol kg/día		
Hembras	71,9	20	3,59		
Machos Reproductor	20,6	4	5,14		
Lechones	14,6	60	0,24		
Precebo	72,6	210	0,35		
Levante	132,0	65	2,03		
Engorde	255,1	64	3,99		
<b>Cantidad Excreta Porcina Diaria</b>					
Grupo Etareo	Nº Animales	Estiercol kg/día	Total Excretas	Solidos ( 55%)	Orina ( 45%)
Hembras	301	3,59	1081,45	594,80	486,65
Machos Reproductor	4	5,14	20,57	11,31	9,26
Lechones	452	0,24	109,77	60,37	49,40
Precebo	1283	0,35	443,38	243,86	199,52
Levante	967	2,03	1963,75	1080,06	883,69
Engorde	828	3,99	3300,91	1815,50	1485,41
<b>TOTAL</b>	<b>3835</b>	<b>15,34</b>	<b>6919,83</b>	<b>3805,91</b>	<b>3113,93</b>

*Anexo C. Producción de Excretas Porcinas, elaboración propia.*

		<b>MATERIALES PARA LA CONTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR</b>				
		Página: 1	Código: 003	Versión: 1.0		
Item	Material	Características	Dimensiones	Cantidad		
1	Geomembrana	Plastico de polietileno tubular	3 m de largo 0.62 m de diametro calibre 6	2		
2	Plastico	Aislante sencillo	3 m de ancho 4 m de largo Calibre 8	1		
3	Tubo	PVC Semiduro	4"	2 m		
4	Yee	PVC Semiduro	4"	2		
5	Tubo	PVC Semiduro	1"	4 m		
6	Tee	PVC Semiduro	1"	2		
7	Codo	PVC Semiduro	1"	1		
8	Adaptador	Macho PVC Semiduro	1"	1		
9	Adaptador	Hembra PVC Semiduro	1"	1		
10	Valvula	PVC Semiduro	1"	1		
11	Aradela	Metalica plana	1"	2		
12	Soldadura	Para tuberia PVC	N/A	1		
13	Pegamento	En silicona tipo tubo	N/A	2		
14	Neumático	Tiras de Neumático	5cm ancho	6		
15	Pistola Silicona	Metalica tipo tubo	N/A	2		
16	Garrafon	Plastico	Capacidad 50 Lt.	2		
17	Botella	Plastica	Capacidad 1,5 Lt	1		
18	Neumático	De moto	N/A	2		
19	Tapones	PVC pesado	4"	2		
20	Metro	De construcción	5m largo	1		
21	Cegueta	Metalica	N/A	1		
<b>Firma Responsable:</b>  Steven Gomez A.				<b>Observaciones:</b>		

*Anexo D. Materiales para la construcción del prototipo del biodigestor, elaboración propia.*

 <b>AGROTEC</b> <small>AGROINDUSTRIA TECNOLÓGICA DEL LLANO S.A.S.</small>		<b>MATERIALES PARA LA CONTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR</b>			 <b>UAN</b> <small>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</small>
<b>Página: 2</b>		<b>Código: 003</b>	<b>Versión: 1.0</b>		
Item	Material	Características	Dimensiones	Cantidad	
22	Tijeras	N/A	Medianas	1	
23	Lija	Lamina mediana	N/A	2	
24	Escoba	N/A	N/A	1	
25	Cemento	N/A	N/A	25 kg	
26	Arena blanca	N/A	N/A	25 kg	
27	Pala	N/A	N/A	2	
28	Pica	N/A	N/A	1	
29	Palustre	N/A	N/A	1	
30	Compresor	N/A	N/A	1	
31	Manometro	De glicerina	100 psi	1	
32	Racor	Galvanizado	De 1/2" a 1/4"	1	
33	Union macho	De PVC	De 1" a 1/2"	1	
34	Tubo	PVC semiduro	1/2"	1	
35	Rollo Cinta	Teflon para PVC	N/A	1	
36	Lazo	Semi delgado	10 metros	1	
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
<b>Firma Responsable:</b>  Steven Gomez A.			<b>Observaciones:</b>		

*Anexo E. Materiales para la construcción del prototipo del biodigestor, elaboración propia.*