

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BIODIGESTOR ANAEROBIO PARA LA
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA
PRODUCIDA POR LAS EXCRETAS DE BOVINOS, PORCINOS Y OVINOS EN
LA FINCA LA ARCADIA, DE PROPIEDAD DE LA EMPRESA ORBE
AGROPECUARIA SAS.**

DINA PAOLA MONTEALEGRE ROSADO

JOSE DAVID LUQUEZ MAESTRE

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR-CESAR**

2020

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BIODIGESTOR ANAEROBIO PARA LA
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA
PRODUCIDA POR LAS EXCRETAS DE BOVINOS, PORCINOS Y OVINOS EN
LA FINCA LA ARCADIA, DE PROPIEDAD DE LA EMPRESA ORBE
AGROPECUARIA SAS.**

ANTE PROYECTO PRESENTADO PARA OPTAR AL GRADO DEL TITULO:

**INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO
ORBE CONSTRUCCIONES- ORBE AGROPECUARIA**

DINA PAOLA MONTEALEGRE ROSADO

JOSE DAVID LUQUEZ MAESTRE

DIRECTOR:

HERNANDO CARLOS OÑATE BARRAZA

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR-CESAR**

2020

Agradecimientos

Agradecemos primeramente a Dios, sin el cual no estaríamos donde estamos, a él sea la gloria.

A nuestros padres y familia por su apoyo y su respaldo.

A la Universidad Popular Del Cesar y su cuerpo de docentes por su formación dada.

A Orbe Construcciones Y Agropecuaria y su equipo de trabajo, por la oportunidad de ser parte de esta visión, por el acompañamiento, el apoyo y por creer en nosotros.

A nuestro director de proyecto por sus consejos y sugerencias y su apoyo incondicional en este proceso.

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
2. JUSTIFICACIÓN	8
3. OBJETIVOS	10
3.1. OBJETIVO GENERAL	10
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
4. MARCO REFERENCIAL	11
4.1. ANTECEDENTES	11
4.2. MARCO TEÓRICO.....	20
Energía Renovables.....	20
Biogás	23
Biogás en Generación de Energía Eléctrica o Térmica.....	24
Digestión anaerobia	32
Etapas de la digestión anaerobia	32
Parámetros en el proceso de digestión anaerobia	34
Biodigestores	38
Tipos de Biodigestores.....	38
Ventajas de los biodigestores	42
Inconvenientes de los biodigestores	43
4.3. MARCO CONCEPTUAL	45

4.4.	MARCO CONTEXTUAL	47
4.5.	MARCO LEGAL	56
4.6.	MARCO INSTITUCIONAL.....	58
4.6.1.	Misión	58
4.6.2.	Visión.....	58
5.	MARCO METODOLÓGICO	60
5.1.	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	60
5.2.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	60
5.3.	POBLACIÓN	60
5.4.	MUESTRA.....	61
5.5.	DESARROLLO METODOLÓGICO	62
5.5.1.	Etapa 1. Revisión bibliográfica y visitas de campo.	63
5.5.2.	Etapa 2. Caracterización de la carga orgánica proveniente del estiércol de los porcinos, los ovinos y los bovinos.....	64
5.5.3.	Etapa 3. Determinación las condiciones técnico – operativas necesarias para el diseño optimo del biodigestor.....	68
5.5.4.	Etapa 4. Montaje y puesta en marcha del biodigestor piloto.....	83
5.5.5.	Etapa 5. Evaluación del comportamiento y la eficiencia del biodigestor y sus subproductos.	95
5.5.6.	Etapa 6. Desarrollo del informe final.....	98
6.	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	99
6.1.	ETAPA 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y VISITAS DE CAMPO.	99
6.2.	ETAPA 2. CARACTERIZACIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA PROVENIENTE DEL ESTIÉRCOL DE LOS PORCINOS, LOS OVINOS Y LOS BOVINOS.	99

6.2.1. Determinación la carga orgánica capaz de producirse por el estiércol de los porcinos, los ovinos y el ganado bovino en la finca La Arcadia.....	99
6.3. ETAPA 3. DETERMINACIÓN LAS CONDICIONES TÉCNICO – OPERATIVAS NECESARIAS PARA EL DISEÑO OPTIMO DEL BIODIGESTOR.	107
6.3.1. Determinación de los parámetros necesarios para el funcionamiento óptimo del biodigestor.....	107
6.3.2. Cálculo del volumen que requerirá el biodigestor para la producción de la energía deseada.....	111
6.3.3. Producción de biogás diaria.....	113
6.3.4. Tabla de dimensionamiento del biodigestor.....	116
6.3.5. Diseño del biodigestor y sus componentes.....	117
6.4. ETAPA 4. MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DEL BIODIGESTOR PILOTO.....	119
6.4.1. Elaboración de la zanja portadora del biodigestor y armado del biodigestor.....	119
6.4.2. Instalación del plástico tubular en la zanja.....	119
6.4.3. Implementación de las redes de conducción del biogás y almacenamiento del biofertilizante y demás componentes del sistema.	119
6.4.4. Puesta en marcha del biodigestor	120
6.4.5. Determinación de la producción de energía en base a la bibliografía y el uso de ecuaciones.....	122
6.5. ETAPA 5. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y LA EFICIENCIA DEL BIODIGESTOR Y SUS SUBPRODUCTOS.....	125
6.5.1. Demostración de la eficiencia del biofertilizante por medio de pruebas de laboratorio.	127
6.6. ETAPA 6. DESARROLLO DEL INFORME FINAL.....	137

7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	138
7.1.	CONCLUSIONES.....	138
7.2.	RECOMENDACIONES	139
8.	REFERENCIAS.....	141
9.	ANEXOS	146
9.1.	Anexo 1. Selección, pesaje y caracterización de los Bovinos y los Ovinos 146	
9.2.	Anexo 2. Caracterización de las excretas de los cerdos	150
9.3.	Anexo 3. Instrumentos de recolección de información.	152
9.4.	Anexo 4. Construcción de la zanja	155
9.5.	Anexo 5. Instalación del plástico tubular.	158
9.6.	Anexo 6. Instalación de las redes de conducción y demás componentes. 163	
9.7.	Anexo 7. Puesta en marcha del biodigestor	166
9.8.	Anexo 8. Demostracion de la eficiencia de los subproductos	171
9.9.	Anexo 9. Base referencial sobre biodigestores.	179
9.10.	Anexo 10. Resultados de laboratorio	184
	Anexo 10.1. Resultados del Efluente.	184
	Anexo 10.2. Resultados del Afluente.	185
9.11.	Anexo 11. Certificacion de practicas laborales y carta de satisfaccion	186

IMÁGENES

Imagen 1. Fuentes de energía renovables, tecnologías y aplicaciones.....	20
Imagen 2. Composición del biogás.....	25
Imagen 3. Tipos de biodigestores.....	39
Imagen 4. Esquema de un biodigestor tubular.....	44
Imagen 5. Capture satelital de la distancia de la finca La Arcadia.....	47
Imagen 6. Hidroxilos de almacenamiento de agua.....	50
Imagen 7. Tanque estercolero de la finca La Arcadia.....	51
Imagen 8. Tanque de reservorio de agua de la finca La Arcadia.....	51
Imagen 9. Establos del ganado.....	53
Imagen 10. Porquerizas de la finca La Arcadia.....	53
Imagen 11. Área social del ganado.....	54
Imagen 12. Sistema rotacional silvopastoril intensivo en La Arcadia.....	55
Imagen 13. Cálculo de la cantidad de estiércol producido por los 100 cerdos	77
Imagen 14. Cálculo de la carga de mezcla diaria estiércol/agua.....	77
Imagen 15. Cálculo del volumen líquido del biodigestor.....	78
Imagen 16. Cálculo del volumen de gas del biodigestor.....	79
Imagen 17. Cálculo del volumen total del biodigestor.....	79
Imagen 18. Cálculo del volumen de biogás producido.....	80
Imagen 19. Cálculo de la energía a producirse.....	80
Imagen 20. Báscula Agrogama, medición del peso.....	146
Imagen 21. Medición del peso de los bovinos.....	146
Imagen 22. Aislamiento de la muestra poblacional de los bovinos.....	147
Imagen 23. Rebaño de ovinos.....	147

Imagen 24. Selección de la muestra poblacional de los ovinos.....	148
Imagen 25. Pesaje de los ovinos en la bascula.....	148
Imagen 26. Adecuación del lugar para el aislamiento de la muestra poblacional de los ovinos..	149
Imagen 27. Recolección y pesaje de las excretas de los ovinos	149
Imagen 28. Clasificación de los porcinos en corrales según su etapa o edad...	150
Imagen 29. Recolección de las excretas de los porcinos discriminadas según su etapa o edad.	150
Imagen 30. Pesaje de las excretas de los porcinos.....	151
Imagen 31. Trazado para la zanja	155
Imagen 32. Excavación de la zanja	155
Imagen 33. Recubrimiento de la zanja en concreto.....	156
Imagen 34. Estructura protectora del biodigestor, cubierta y pasillos laterales .	156
Imagen 35. Recubrimiento con geotextil.....	157
Imagen 36. Corte del plástico Tubular	158
Imagen 37. Introducción de un plástico dentro del otro.	158
Imagen 38. Instalación de la salida del gas en el platico.	159
Imagen 39. Prueba del plástico en busca de fugas.	160
Imagen 40. Instalación del plástico tubular en la zanja.....	160
Imagen 41. Instalación de la ruana de Neumático en la salida del gas e inflado del plástico	161
Imagen 42. Recubrimiento de la zanja en material esponjoso.....	162
Imagen 43. Manguera flexible de polietileno en la salida del biogás.	163
Imagen 44. Derivación en T, en la conducción del gas.....	164
Imagen 45. Válvula de alivio de presión.	164

Imagen 46.	Trampa de agua.....	165
Imagen 47.	Filtro de Ácido Sulfhídrico.....	165
Imagen 48.	Conducción del gas.....	166
Imagen 49.	Recolección de las excretas.....	166
Imagen 50.	Dilución del estiércol.....	167
Imagen 51.	Filtros en el tanque estercolero y en el tanque de distribución.....	167
Imagen 52.	Tanque estercolero.....	168
Imagen 53.	Adición de agua para diluir el estiércol.....	168
Imagen 54.	Dilución del Estiércol.....	169
Imagen 55.	Remoción de material suspendido en el estercolero.....	169
Imagen 56.	Tanque de distribución.....	170
Imagen 57.	Sistema de entrada y salida al biodigestor.....	170
Imagen 58.	Toma de muestra en el Afluente.....	171
Imagen 59.	Muestras del Afluente.....	172
Imagen 60.	Tomade muestra en el Efluente.....	172
Imagen 61.	Muestras del Afluente.....	173
Imagen 62.	Refrigeracion de muestras para entrega en laboratorio.....	174
Imagen 63.	Evidencias de la producción de Gas y del Biofertilizante.....	174
Imagen 64.	Prueba de combustión del biogás.....	175

TABLAS

Tabla 1. Comparación del poder calorífico del biogás con el de otros combustibles.	25
Tabla 2. Comparación del poder calorífico entre el biogás y diferentes tipos de combustibles.	26
Tabla 3. Poder calorífico de otros combustibles	26
Tabla 4. Equivalencias del biogás respecto a otros combustibles.	28
Tabla 5. Equivalencias energéticas del biogás	28
Tabla 6. Tabla demanda energética según el usuario	30
Tabla 7. Consumos típicos de biogás para diferentes elementos.....	31
Tabla 8. Valores Indicativos de Tiempos de Retención	36
Tabla 9. Descripción de los animales de la finca y el área que ocupan.....	48
Tabla 10. Descripción de la alimentación de los animales.....	49
Tabla 11. Tanques de distribución	52
Tabla 12. Normatividad Legal.....	56
Tabla 13. Características del estiércol según su origen.....	69
Tabla 14. población proyectada y muestra tomada	99
Tabla 15. Cantidad de comida en función de la cantidad de cerdos y la edad. ...	100
Tabla 16. Producción de excretas de los porcinos.....	101
Tabla 17. Producción máxima y mínima en los distintos horarios de recolección	102
Tabla 18. Población de ovinos y muestras.....	103
Tabla 19. Alimentación ovinos	103
Tabla 20. Producción de excretas de ovinos.	104

Tabla 21. Cantidad máxima y mínima de excretas al día.....	104
Tabla 22. Población de los bovinos y muestra poblacional.....	105
Tabla 23. Forma de alimentación de los bovinos.....	105
Tabla 24. Producción de excretas de los bovinos.....	106
Tabla 25. Cantidad máxima y mínima de las excretas de los bovinos.....	106
Tabla 26. Temperaturas según el tipo de regiones.....	107
Tabla 27. Temperatura de trabajo de un biodigestor, en diferentes eco regiones, considerando o no el diseño solar.....	108
Tabla 28. Temperaturas según el tipo de regiones.....	109
Tabla 29. Tiempo de retención según la temperatura.....	109
Tabla 30. Tiempo de retención según la temperatura para mejor fertilizante.	109
Tabla 31. Factor de producción de biogás relativamente a los sólidos volátiles.	114
Tabla 32. producción de biogás.....	115
Tabla 33. Producción de biogás según la temperatura y tiempo de retención...	115
Tabla 34. Tabla de cálculo y dimensionamiento del biodigestor.....	116
Tabla 35. Parámetros según el ancho del rollo.....	117
Tabla 36. Dimensiones de la zanja según el ancho de rollo.....	118
Tabla 37. Equivalencia energética de 1 m ³ de Biogás.....	122
Tabla 38. Consumos típicos de biogás para diferentes elementos.....	123
Tabla 39. Comparacion de los resultados del Afluente y el Efluente.....	127
Tabla 40. Rangos de eficiencia en los procesos de tratamiento.....	128
Tabla 41. Eficiencias de remoción.....	129
Tabla 42. Porcentaje de reduccion en diferentes tratamientos.....	130
Tabla 43. comparación en los procesos de nitrificación y desnitrificación.....	131

Tabla 44. Experiencias a escala piloto y real para el tratamiento anaerobio del ARD	136
Tabla 45. Modelo utilizado para determinar la producción de carga orgánica en la finca.....	152
Tabla 46. Modelo para la producción máxima y mínima en los distintos horarios de recolección.....	153
Tabla 47. Producción de excretas de ovinos.....	153
Tabla 48. Producción de excretas de los bovinos.....	154
Tabla 50. Base referencial sobre biodigestores, biogas y energía.....	179

GRÁFICOS

Gráfico 1. Etapas de la Digestión Anaerobia.....	34
Gráfico 2. Esquema de la metodología realizada.....	62
Gráfico 3. Biodigestor y sus características.....	71
Gráfico 4. Procedimiento de la elaboración de la zanja para el biodigestor	83
Gráfico 5. Procedimiento para la instalación del plástico tubular.	86
Gráfico 6. Colocación del plástico en la zanja.	87
Gráfico 7. Instalación de las Redes de conducción del biogás.....	89
Gráfico 8. Cantidad de comida vs cantidad de desechos.....	103
Gráfico 9. Esquema del proceso	111
Gráfico 10. Ilustración de donde se daría la nitrificación y la desnitrificación	133

RESUMEN

Este trabajo se basó en el aprovechamiento de los residuos orgánicos provenientes de las excretas de los Porcinos en la finca La Arcadia, con el fin de generar energía eléctrica para el funcionamiento de la finca. Esto a través del diseño y construcción de un biodigestor anaerobio, del cual se derivan dos productos con un gran potencial de aprovechamiento (biogás y biofertilizante). Para ello se caracterizó la carga orgánica proveniente del estiércol de los porcinos y de los otros dos grupos de animales con los que cuenta la finca (ovinos y bovinos), se determinaron las condiciones técnico – operativas necesarias para el diseño óptimo del biodigestor y se procedió a realizar la construcción y puesta en marcha del biodigestor para finalmente evaluar la eficiencia de los productos y del sistema. Con esto se quiere generar una energía alternativa que solucione la necesidad energética de la finca, al mismo tiempo se producen beneficios ambientales, sociales y económicos, disminuyendo la contaminación generada por estos desechos y siendo uno de los proyectos pioneros en la región.

Por medio del presente trabajo, se obtuvo una caracterización de la carga orgánica capaz de producir la finca, se determinaron las condiciones y los parámetros necesarios para el diseño del biodigestor con los cuales se calculó el volumen y se estimó la producción de biogás. con la información obtenida y en base a las referencias se diseñó una tabla estandarizada para el diseño del biodigestor y basándonos en la bibliografía y datos experimentales se obtuvo un estimado de la energía que se puede producir. A su vez el biofertilizante resultante del proceso de biodigestión es aprovechado como fertilizante natural del suelo y compost.

Palabras claves: Biomasa, Biogás, Energía Eléctrica, Residuos orgánicos, Biodigestión.

Summary

This work was based on the use of provident organic waste from the excreta of the Swine in the La Arcadia farm, in order to generate electricity for the operation of the farm. This through the design and construction of an anaerobic biodigester, from which two products are derived with great potential for use (biogas and biofertilizer). For this, the organic load from pig manure and from the other two groups of animals that the farm has (sheep and cattle) was characterized, the technical-operational conditions necessary for the optimal design of the biodigester were determined and the to carry out the construction and start-up of the biodigester to finally evaluate the efficiency of the products and the system. With this, we want to generate an alternative energy that solves the energy needs of the farm, at the same time producing environmental, social and economic benefits, reducing the pollution generated by these wastes and being one of the pioneering projects in the region.

Through this work, a characterization of the organic load capable of producing the farm was obtained, the conditions and parameters necessary for the design of the biodigestor were determined with which the volume was calculated and the production of biogas was estimated. with the information obtained and based on the references a standardized table was designed for the design of the biodigestor and based on the bibliography and experimental data an estimate of the energy that can be produced was obtained. In turn the biofertilizer resulting from the biodigestion process is used as natural soil fertilizer and compost.

Key words: Biomass, Biogas, Electric Power, Organic Waste, Biodigestio

INTRODUCCIÓN

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) el planeta ha venido sufriendo cambios debido al calentamiento global causante del cambio climático, que se da por las emisiones de gases de efecto invernadero, los cuales han hecho que la temperatura de la tierra incremente de manera acelerada. Estos gases son producidos en su mayoría por actividades humanas y sus hábitos de consumo. Destacando entre estas la ganadería, la porcicultura, la deforestación, el transporte y la quema de combustibles fósiles para generar energía, entre otros. En su informe de 2018 el IPCC, estimó que las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0 °C con respecto a los niveles preindustriales, con un rango probable de 0,8 °C a 1,2 °C. Es probable que el calentamiento global llegue a 1,5 °C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual.

La industria agropecuaria con la cría porcina, avícola, ganado, generan una parte importante de estos gases. La ganadería causa el 14,5 por ciento de todas las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, como son el dióxido de carbono, el óxido de nitrógeno, el metano, los gases fluorados y el ozono. Pues bien, el ganado representa aproximadamente la cuarta parte de las emisiones de metano que libera a través de la fermentación intestinal y la putrefacción de los excrementos. (Planeta recicla, 2017)

Según el informe de la FAO de 2006, el 18% de las emisiones de efecto invernadero provienen de los desechos del ganado. El gas metano que emite el excremento de vaca es 23 veces más dañino para la atmósfera que el CO₂. Este proceso es una reacción química llamada fermentación anaeróbica, en la cual las bacterias metanogénicas digieren la materia orgánica y se estima que anualmente la actividad microbiológica libera a la atmósfera entre 590 y 880 millones de toneladas de metano (CH₄).

El mundo tiene una demanda muy alta de energía, pero en su gran mayoría esta es obtenida de los combustibles fósiles, los cuales son recursos no renovables y que se encuentran de manera limitada en el planeta, por lo que es necesario visionar nuevas estrategias y tecnologías alternativas que permitan generar la preciada energía.

De acuerdo con el Informe de Energías Renovables REN 21, el 80% de las fuentes para la generación de electricidad en el mundo proviene de combustibles fósiles. Una cifra que todavía no representa los esfuerzos a lo largo y ancho del planeta por conectarnos con otras fuentes de energía, éstas sí renovables y limpias, como el sol, la energía eólica, la biomasa y la hidroeléctrica, entre otras.

Para detener el cambio climático, se deben sustituir los combustibles fósiles por energías renovables (eólica, termosolar, fotovoltaica, geotérmica), parte de la solución es promover fuentes no convencionales de energía, como la energía solar, biomasa, eólica, geotérmica y pequeñas centrales hidráulicas. (Reve, 2013)

Las necesidades energéticas de nuestro planeta son satisfechas hasta en un 90% con la utilización de combustibles fósiles (petróleo, gas licuado de petróleo, carbón), todos ellos extinguidos en un futuro cercano, fuertemente contaminantes y utilizados en forma ineficiente (Barrena et ál., 2010). De igual manera, los apuros de energía en las zonas rurales de los países en vías de desarrollo, obliga a los pobladores a utilizar a gran escala leña (para lo cual deforesta) y desperdicios agrícolas secos (estiércol y residuos de cosecha) (Liriano, 2005).

Es así que esta problemática, plantea la necesidad de encontrar una tecnología apropiada, utilizando recursos locales disponibles como son los residuos orgánicos (heces humanas, estiércoles, basura orgánica y plantas), los cuales pueden ser usados como medio para producir energía (biogás) y biofertilizantes mediante biodigestores (Barrena et ál., 2010); (Liriano, 2005). De esta manera se mejorará la vida de los campesinos, se incrementará la producción agrícola y se preservará el medio ambiente (Barrena et ál., 2010).

En este contexto de la búsqueda de energías alternativas, encontramos el aprovechamiento del biogás generado por la digestión anaerobia de la materia orgánica proveniente de Bovinos, Porcinos y Ovinos, esto con el fin de producir energía empleando dicho gas. A su vez, constituye un recurso de fácil acceso y que representa una solución sanitaria al manejo de los residuos provenientes de los animales, disminuyendo la contaminación generada por estos residuos, así como una apuesta a prácticas eco amigables y de producción más limpia que repercute a su vez en un beneficio económico.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Finca La Arcadia ubicada a veinticinco minutos de la cabecera municipal de la ciudad de Valledupar, vía Bosconia, perteneciente a la empresa Orbe Agropecuaria dedicada a la cría y venta de ovinos (carneros), ganado bovino y porcinos (cerdos), así como a la siembra de pastizales. Dichas actividades generan ciertos residuos sólidos y líquidos provenientes de los animales de la finca, estos constituyen un problema sanitario, debido al alto contenido de sustancias patogénicas presentes en esos residuos orgánicos, generando a su vez impactos ambientales principalmente por las emisiones de metano y dióxido de carbono, por la descomposición de los mismos. La libre disposición de estiércol de ganado en el campo o su tratamiento inadecuado lo convierte en una fuente de contaminación ambiental y en un foco infeccioso para seres humanos, puesto que propicia el desarrollo de vectores de enfermedades (Liriano, 2005). Por otro lado, existe un riesgo de contaminación del pozo de agua del cual se abastece La Arcadia, debido a que se puedan presentar infiltraciones con las lluvias. La empresa no cuenta con un tratamiento adecuado para los residuos que genera en sus distintas actividades, y a su vez está desaprovechando una materia prima que puede ser empleada para generar energía renovable, como es el caso del biogás, el cual puede ser usado como combustión, calefacción o generación de energía eléctrica, esta última es requerida con gran solicitud por la empresa debido a las limitaciones en la producción y en el desarrollo óptimo de sus actividades por la falta de una fuente de energía eléctrica, así como los costos adicionales que se generan por el uso de otros combustibles.

En la finca existe una demanda nutricional del suelo ya que se requieren grandes cantidades de pastizales como fuente de alimento del ganado bovino y los ovinos, los periodos de lluvias son intermitentes y el agua que se requiere para regarlos no es abastecida en su totalidad por el sistema de riego implementado por la finca, por lo que se requiere de la ayuda de fertilizantes que permitan mantener los pastizales

en un estado óptimo para el consumo, comprar dichos fertilizantes generarían costos adicionales en la producción.

Por estas razones se vio la necesidad de buscar una fuente de energía alternativa, en este caso, el biogás resultante del proceso de biodigestión anaerobia de los residuos provenientes de Bovinos, Porcinos y Ovinos. Debido a esto se hace necesario construir un biodigestor anaerobio con dimensiones tales que permita aprovechar los residuos orgánicos generados por los animales y que como subproductos del proceso podamos obtener el biogás necesario para generar energía y el biofertilizante como fertilizante natural para riego de los cultivos y los pastos.

¿Podrá el biodigestor generar la cantidad necesaria de biogás para producir un mínimo de 10 kva, y satisfacer así las necesidades energéticas de la finca La Arcadia?

2. JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta la problemática anteriormente abordada se crea la necesidad de buscar una manera de darle un tratamiento adecuado a los residuos orgánicos provenientes de los animales de la finca la Arcadia, ya que estos constituyen un problema sanitario y ambiental que necesita de un manejo adecuado, a su vez según la ley 1715 de 2014 "Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional" y cuyo objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, nos da pie para justificar el aprovechamiento de esta materia orgánica a través de la implementación de un biodigestor en la finca la Arcadia, transformando así una problemática en una solución ambiental, económica y productiva para la finca.

“Mediante esta Ley se declaran las energías renovables como asunto de utilidad pública, de interés social y de conveniencia nacional, dado el carácter substancial que tiene la utilización de estas fuentes no convencionales en la protección del medio ambiente y en el uso eficiente de la energía” (ACER, Asociación Colombiana de Energías Renovables)

Actualmente casi el total de la energía es proporcionada por fuentes fósiles, que son limitados y cada vez más escasos, de altos costos y variables, además incrementan las emisiones de gases invernadero contribuyendo al calentamiento global. Estas emisiones se pueden reducir con el uso de energía renovable producida a través de la biomasa como el estiércol del ganado, los porcinos y demás animales presentes en la Finca.

Este biodigestor propuesto generaría básicamente dos subproductos, el primero es el biogás proveniente de la digestión anaerobia de las bacterias metanogénicas en el biodigestor, este por sus propiedades puede ser usado para la calefacción, combustión y como fuente para generar energía eléctrica. El segundo subproducto

es el biofertilizante, el cual es rico en nutrientes y puede ser usado en el riego de los pastizales y como un producto a comercializar. Estos subproductos son altamente aprovechables en las actividades productivas de la finca.

De esta forma se procura contar con una fuente alternativa de energía y a la vez disminuir la liberación al ambiente de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, encontramos que en Colombia y en la región caribe, son pocos los que ha apostado por estas alternativas, las cuales evidencian ser eficientes, de bajo costo y amigables con el ambiente. Por lo que sería un proyecto innovador y modelo en la zona, apuntando a las energías renovables en conformidad a los objetivos del desarrollo sostenible.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un biodigestor anaerobio para la generación de energía eléctrica a partir de materia orgánica producida por las excretas de bovinos, porcinos y ovinos en la finca La Arcadia, de propiedad de la empresa Orbe Agropecuaria SAS.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 3.2.1. Caracterizar la carga orgánica proveniente del estiércol de los porcinos, los ovinos y los bovinos en la finca la Arcadia.
- 3.2.2. Determinar las condiciones técnico – operativas necesarias para el diseño optimo del biodigestor.
- 3.2.3. Realizar la construcción y puesta en marcha del biodigestor.
- 3.2.4. Evaluar el comportamiento y la eficiencia del biodigestor y sus subproductos.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ANTECEDENTES

4.1.1. A nivel internacional

Osejos, M. (2018). Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIMA Jipijapa – Ecuador.

La hipótesis fue diseñada para confirmar la producción de biogás, para generar energía mediante el tratamiento biológico del estiércol de cerdos y generar beneficios ambientales en el recinto San Carlos. La metodología utilizada evidencia el cumplimiento de los objetivos y de la hipótesis planteada, los métodos utilizados en esta investigación fueron: bibliográfico, inductivo, deductivo y descriptivo; el tipo de investigación fue de campo y experimental, donde se logró obtener la producción total de estiércol, la cantidad de gas licuado de petróleo (GLP) consumida por año, carga diaria, el volumen en metros cúbicos de producción diaria de biogás. Mediante la generación del biogás se logra atender un problema fundamental en la producción de ganado porcino como es el manejo de desechos y a su vez favorecer el rendimiento económico del establecimiento y reduciendo la contaminación ambiental en el recinto San Carlos de Jipijapa.

Lara, M. (2016) Diseño de un biodigestor para la producción de biogás generado por las excretas de ganado vacuno, en el criadero “jersey chugllin”

Su investigación se basó en el diseño de un biodigestor para obtener biogás a partir de residuos orgánicos de ganado vacuno generados en el Criadero Jersey Chugllin ubicado en el cantón Chambo, provincia de Chimborazo, con el cual se buscó reducir la contaminación generada por los desechos. Mediante el método experimental se recolectó la muestra de estiércol de 6 vacas por 5 días consecutivos obteniendo un promedio de 7,5 Kg al día, se construyó dos biodigestores prácticos utilizando dos bidones 20L, tuberías y válvulas, el primero denominado biodigestor experimental 1 permaneció a temperatura ambiente y el segundo denominado

biodigestor experimental 2 se lo ubicó en un área que posee condiciones térmicas mejoradas, los dos fueron monitoreados durante el tiempo de permanencia del sustrato en los cuales se recolectó datos de temperatura, se realizó pruebas de probeta y flama durante el proceso de generación de biogás. Se aplicó fórmulas de diseño del biodigestor tubular para proyectar los resultados experimentales a un total de 15 cabezas de ganado bovino y así obtener resultados globales mediante los cuales se eligió el biodigestor experimental 2 con los siguientes parámetros: tiempo de retención 38 días, carga diaria de 224 Kg/d, volumen total del digestor 11,34 m³, diámetro 1,27m, longitud 8,95 m. Se concluyó que la producción de gas metano es 2,83 m³ diarios con lo que se lograra abastecer el 45% del valor total que necesita el Criadero para cubrir las actividades en las que emplea gas licuado de petróleo (GLP).

Martínez, L. (2015). Producción potencial de biogás empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato, Mexico.

En este trabajo, se presenta un estudio, empleando estadísticas locales, conducente a evaluar el potencial energético disponible a partir del uso de las excretas de ganado porcino, para producir Biogás y de ahí, establecer una valoración de la energía eléctrica anual obtenible, el ahorro en equivalente a barriles de petróleo que se podría manejar y la cantidad de gases que se dejarían de añadir a la atmósfera. El estudio se realiza dividiendo el estado por municipios y estableciendo los totales de cada variable de interés en el proceso. Los indicadores muestran que, dada la sencillez de implementación de biodigestores para la producción de biogás, esta debe ser una alternativa interesante e importante a desarrollar y potenciar en los próximos años en el país. En el caso particular del Estado de Guanajuato, existen cerca de un millón de cerdos de diferentes edades registrados, pudiendo producir una energía potencial para alimentar a más de 60,000 viviendas estándar.

Vera, R. (2014). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. México.

El trabajo reporta el potencial de energía a través del biogás obtenido directamente de las excretas del ganado vacuno y porcino con el que cuenta la región Ciénega correspondiente al Estado de Michoacán de Ocampo, México. Se empleó información del último censo agropecuario del INEGI para conocer la población de ganado, posteriormente, se estableció una cantidad de estiércol por tipo de animal y edad acorde a un tamaño promedio. Se calculó la cantidad de estiércol total y se estimó la cantidad de biogás que se podría obtener, así como la energía eléctrica. Representando un ahorro de energía eléctrica de 4.23% que corresponde para 2013 a un monto de \$18,300,000 pesos aproximadamente, con un costo promedio de 2.326 pesos por cada kWh en una tarifa 5A de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Martí, H. (2008). Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares - Biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para trópico, valle y altiplano. Bolivia.

En esta guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares describe y explica todos los parámetros que se deben tener en cuenta al momento de dimensionar el biodigestor familiar, este proyecto indica el paso a paso que se debe realizar para obtener los cálculos necesarios para hallar el volumen total del biodigestor y así poder dimensionar todo lo que respecta al biodigestor, muestra a su vez la eficiencia de la guía al ver los resultado en distintos lugares en donde se instalaron estos biodigestores, e incluso en sitios en donde dicha tecnología no tendría las mejores condiciones. Lo que el autor plantea es una forma práctica y sencilla de cómo abordar todo lo que corresponde a los biodigestores familiares desde su diseño, construcción y puesta en marcha, plasmando en esta guía más de 7 años de experiencia en el tema y una recopilación bibliográfica del mismo, expresa

como a través de este documento cientos de biodigestores han sido instalados y funcionan correctamente en Bolivia.

4.1.2. A nivel nacional

Rodríguez, E., & Cendales, A. (2018). Evaluación del impacto ambiental generados por la implementación de un biodigestor en la vereda de Puerto Tembleque (Meta).

Este proyecto tiene como principal objetivo evaluar los impactos ambientales generados por la implementación de un biodigestor en la vereda de Puerto Tembleque ubicados en el Municipio de Puerto Concordia, departamento del Meta, Colombia, para poder realizar dicha evaluación de impacto utilizó la matriz de Leopold el cual es un método universalmente empleado para realizar la evaluación del impacto ambiental que puede producir un determinado proyecto.

El fin de Realizar dicha evaluación ambiental es proponer la implementación del biodigestor para ofrecer este servicio a los habitantes de la Vereda de Puerto Tembleque ya que buscando una posible solución que beneficie a los habitantes, se encontró con un problema ambiental que tiene la región la cual es la gran cantidad de desechos orgánicos que son arrojados sin ningún tratamiento a los afluentes de la zona los cuales generan una contaminación y posibles enfermedades, por lo cual en la investigación también se tuvo en cuenta el impacto social y cultural.

Rojas, R. (2018). Determinación del potencial de biogás de diferentes sustratos para la codigestion anaerobia con excretas animales.

En este trabajo se observa una amplia investigación sobre los desechos agrícolas producidos en las regiones agroindustriales colombianas y su finalidad es aprovechar los mismos para la producción de biogás y disminuir los efectos de los gases de efecto invernadero, dándole un destino final eficiente a este tipo de desechos, Para ello se evaluaron las posibilidades usar diversos cosustratos regionales (cascarilla de arroz, residuos del cultivo de cacao, residuos de soja, residuos de piña, residuos de Sacha inchi y residuos de Cacay) en la producción de energía a través de la codigestión anaerobia.

Rincón, V., & Murillo, N (2017). Modelo de negocio para la construcción de un biodigestor que permita disponer 7500 toneladas mensuales de residuos sólidos orgánicos de la ciudad de Bogotá, empleándolos en la generación de gas y abono orgánico. Bogotá D.C.

Este proyecto presenta un análisis financiero que permite conocer el alcance del proyecto y los beneficios sociales, ambientales y económicos en los que se encuentra involucrado el estado y la ciudadanía, ya que en este estudio se realizaron análisis de la demanda de gas por parte de los consumidores y como este proyecto aportaría a el consumo total, siendo un proceso eficiente del cual resultan subproductos útiles, que generaran una fuente de ingreso, como lo es el gas y la producción de abono orgánico, cerrando así el modelo de sostenibilidad económica. Siendo este proyecto un referente para futuras aplicaciones a nivel Nacional.

Severiche, C., & Acevedo, R. (2013). Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda generación. Cartagena-Colombia.

En este trabajo se analiza de manera detallada la conveniencia de la producción de biocombustibles de segunda generación a partir de residuos sólidos orgánicos. Los autores establecen que la búsqueda de alternativas energéticas de origen renovable y la disminución de gases de efecto invernadero provenientes de la descomposición de desechos orgánicos hacen del biogás una prometedora alternativa para la sustitución de combustibles fósiles y para la valorización energética de residuos orgánicos en zonas urbanas, rurales y agroindustriales. El biogás es una fuente de energía alternativa atractiva debido a que presenta una disponibilidad energética descentralizada, en tanto que su producción es posible siempre que existan fuentes de origen orgánico. En su investigación muestran que el biogás se produce a partir de la fermentación anaerobia de 1-1.5% (H_2), 0.3-3% N_2 y varias impurezas, especialmente H_2S . Utilizado como combustible presenta una baja densidad de energía en base volumétrica, comparada con otros combustibles gaseosos debido al alto contenido de CO_2 . No obstante, dado el potencial energético que tiene el biogás, este puede ser utilizado en aplicaciones tales como cocción, calentamiento y generación de energía eléctrica mediante motores de combustión interna y turbinas de gas, lo cual implica buscar alternativas para mejorar las propiedades de combustión del biogás. En el estudio se han probado varias metodologías para mediciones de campo y determinaciones en laboratorio de un amplio rango de parámetros, que serán de gran utilidad.

4.1.3. A nivel local

Díaz, L. (2017). Diseño de un biodigestor en la producción de gas para cocinas ecológicas, a partir de desechos orgánicos producidos por animales de granja porcina, en el corregimiento de Guáimaraal municipio de Curumaní cesar.

El proyecto contempla el diseño de un sistema fermentador anaerobio, por medio de un biodigestor; para la producción de biogás, y otros factores como bioabono fertilizante y la cría de cerdos dentro de un galpón, que sirven como medio para el desarrollo de proyectos productivos y agroindustriales, en el corregimiento de Guaimaraal Municipio de Curumaní Cesar. Un biodigestor puede ser diseñado para eliminar todo el estiércol producido en una granja de cerdos, o herramientas de saneamiento básico en un hogar. Otro sería el de proveer horas de combustión en una cocina a una familia y puede usarse con el fin de producir abono fertilizante para las plantas. Dentro de las actividades se optó por realizar un censo y/o georreferenciación a través de un dispositivo gps, para la divulgación del uso de combustible en la cocción de los alimentos; además, un diagnóstico que incluya estudios de caracterización de suelo, para determinar el nivel freático y el costo de inversión de esta nueva tecnología. El cual servirá de base para la promoción del uso de las energías renovables.

Barrera, N., & Salas, J. (2014). Implementación de un sistema de calefacción a partir del biogás producto del biodigestor en el Centro Biotecnológico del Caribe – SENA Regional Cesar.

Este proyecto se basa en Realizar la medición de la cantidad de gas metano CH₄ que se genera por medio del proceso de combustión anaerobia de las excretas de los porcinos, en un biodigestor del Centro Biotecnológico del Caribe, para ello se registró la medición diaria de producción de metano durante un mes, con el fin de obtener un dato promedio confiable y así poder aprovechar dicho gas como fuente

de energía alternativa, ya que tiene un gran valor como combustible, proporcionando beneficios económicos y ambientales. El propósito de la generación de biogás en el CBC es brindarles calefacción a los cerdos recién nacidos, asegurando siempre una temperatura de 30 a 35°C, para lo cual se realizó un sistema de conducción del gas con tuberías de hierro galvanizado y cobre que van desde la salida del gas en el biodigestor hasta el sistema de calefacción.

Hernández, B., & Ortega, D. (2012). Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor tubular a escala piloto en el Centro Biotecnológico del Caribe – CBC

Esta investigación tuvo como objeto el diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor tubular a escala piloto en el CBC en la ciudad de Valledupar, mediante el proceso de digestión anaeróbica con el fin de la producción de bigas y bioabono.

Para biodigestores de agua de lavado de corrales porcícolas se obtuvieron resultados promedios en los parámetros DBO5 y DQO de 40,17% y 39,57% respectivamente a partir de 28kg de estiércol / día, un tiempo de retención de 21 días, el nivel de PH fue optimo durante el proceso con valores de 7,07 con los que se mantuvo equilibrio en el proceso de digestión anaeróbica.

Severiche C. y Acevedo R. (2013). Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda generación.

En este trabajo se analiza de manera detallada la conveniencia de la producción de biocombustibles de segunda generación a partir de residuos sólidos orgánicos. Los autores establecen que la búsqueda de alternativas energéticas de origen renovable y la disminución de gases de efecto invernadero provenientes de la descomposición de desechos orgánicos hacen del biogás una prometedora alternativa para la sustitución de combustibles fósiles y para la valorización energética de residuos

orgánicos en zonas urbanas, rurales y agroindustriales. El biogás es una fuente de energía alternativa atractiva debido a que presenta una disponibilidad energética descentralizada, en tanto que su producción es posible siempre que existan fuentes de origen orgánico. En su investigación muestran que el biogás se produce a partir de la fermentación anaerobia de 1-1.5% (H_2), 0.3-3% N_2 y varias impurezas, especialmente H_2S . Utilizado como combustible presenta una baja densidad de energía en base volumétrica, comparada con otros combustibles gaseosos debido al alto contenido de CO_2 . No obstante, dado el potencial energético que tiene el biogás, este puede ser utilizado en aplicaciones tales como cocción, calentamiento y generación de energía eléctrica mediante motores de combustión interna y turbinas de gas, lo cual implica buscar alternativas para mejorar las propiedades de combustión del biogás. En el estudio se han probado varias metodologías para mediciones de campo y determinaciones en laboratorio de un amplio rango de parámetros, que serán de gran utilidad.

4.2. MARCO TEÓRICO

Energía Renovables

Son aquellas cuyos ciclos de creación y consumo se pueden medir en escalas de tiempo similares. Se consideran renovables debido a que son sostenibles y no ponen en riesgo de agotamiento futuro los recursos. Además de ser respetuosas con el medio ambiente, no ocasionan efectos negativos sobre el entorno y los impactos ambientales, cuando los hay, son mucho menores que los producidos por las energías no renovables. De estas se destaca el avance y el mayor desarrollo tecnológico que presentan, lo que permite contar con mayores posibilidades para competir en el mercado (Valentín, 2012).

En la imagen 1 encontramos los diferentes tipos de energías renovables, así como las tecnologías empleadas para su aprovechamiento y las aplicaciones que tienen.







<p>Energía solar</p>  <p><u>Fuente:</u> Sol</p> <p><u>Tecnologías:</u> Fotovoltaica, Termosolar</p> <p><u>Aplicaciones:</u> Electricidad, Calefacción y refrigeración</p>	<p>Energía eólica</p>  <p><u>Fuente:</u> Viento</p> <p><u>Tecnologías:</u> Turbinas eólicas</p> <p><u>Aplicaciones:</u> Electricidad</p>	<p>Energía marina</p>  <p><u>Fuente:</u> Oleaje, mareas</p> <p><u>Tecnologías:</u> Presas, presas mareomotrices</p> <p><u>Aplicaciones:</u> Electricidad</p>	<p>Energía hidroeléctrica</p>  <p><u>Fuente:</u> Agua</p> <p><u>Tecnologías:</u> Centrales hidroeléctricas</p> <p><u>Aplicaciones:</u> Electricidad</p>	<p>Energía geotérmica</p>  <p><u>Fuente:</u> Tierra</p> <p><u>Tecnologías:</u> Sistemas geotérmicos superficiales y bombas de calor</p> <p><u>Aplicaciones:</u> Electricidad, Calefacción y refrigeración</p>	<p>Bioenergía</p>  <p><u>Fuente:</u> Biomasa, desechos</p> <p><u>Tecnologías:</u> Combustión de biomasa, plantas de biogás, biocarburantes</p> <p><u>Aplicaciones:</u> Electricidad, Calefacción y refrigeración, Transporte</p>
---	--	--	--	---	--

Imagen 1. Fuentes de energía renovables, tecnologías y aplicaciones
Fuente: Unión europea, 2018

Energía Mareomotriz

Esta fuente natural de energía se debe al movimiento de las olas en el mar, y está ligada a la energía cinética del viento; ya que al cubrir tres cuartas partes de la superficie del planeta los mares y océanos constituyen una gran fuente de energía (Pérez, 2006).

Energía Geotérmica

La energía geotérmica está considerada como un tipo de energía no convencional, y se presenta como una fuente de calor en forma de agua caliente o vapor de agua en alta temperatura, producida en el interior de la tierra en zonas activas de la corteza terrestre. Este calor producido es debido al resultado de desintegraciones radio activas en el núcleo de la tierra; las cuales pueden ser aprovechadas para la producción de energía eléctrica para un desarrollo energético futuro en el autoabastecimiento energético (Pérez, 2006).

Energía de la Biomasa

La biomasa vista desde el punto de vista energético se define como la materia orgánica, de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial; los cuales son susceptibles de ser utilizados con fines energéticos (Pérez, 2006).

Energía Eólica

El término de energía eólica proviene del griego Eolo, el cual es el nombre del dios griego del viento. Desde la antigüedad el ser humano ha utilizado esta energía para su uso personal como en: barcos de vela para navegación, molinos para extracción de agua de pozos y recientemente en la generación de electricidad, se estima que

de 1 a 2% de la energía proveniente del sol es convertida en energía eólica y se estima que el sol irradia 100 billones de KWh de energía a la Tierra. La fuente de energía eólica es el viento, siendo una transformación de energía cinética de la atmósfera en energía mecánica utilizada para la producción de energía eléctrica mediante aerogeneradores (Pérez, 2006)

Energía Hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica se considera como la energía que se obtiene a partir del agua de los ríos. Es pues una fuente de energía renovable, ya que de forma indirecta teniendo al Sol como origen, el calor evapora el agua en la superficie terrestre y la de los lagos y ríos formando nubes, que a su vez se transformarán en lluvia o en nieve. El mayor aprovechamiento de esta energía se realiza en los saltos de agua de las presas; el agua se encuentra generalmente retenida en un embalse el cual es un gran depósito que se forma, generalmente, de manera artificial, cerrando un valle mediante un dique o presa en el que quedan retenidas las aguas de un río (Pérez, 2006).

Energía hidráulica

El recurso se obtiene debido a la energía potencial producida por los saltos de agua dados por una diferencia entre las alturas de 2 o más puntos del curso de una fuente de agua. Las centrales hidroeléctricas usan el movimiento de las turbinas para transformar la energía potencial en energía eléctrica (Méndez & Cuervo, 2011).

Energía solar

El desarrollo de la energía solar está delimitado por la intensidad y los ciclos de radiación solar captada por la superficie terrestre, las condiciones meteorológicas

existentes y la posibilidad de convertir esta radiación en calor o electricidad. Al interior del sol se da una secuencia de reacciones que producen continuamente una reducción de masa la cual es transformada en energía. Este flujo energético se libera en forma de radiación solar llegando al exterior de la atmosfera terrestre con un valor aproximado de 1353 W/m^2 y variará según la distancia entre la Tierra y el Sol, así como por la elipticidad de la órbita terrestre (Fernández, 2010).

Biogás

Según Emilio Cerda (2011), Se denomina «metanización» al proceso de fermentación anaeróbica de los componentes orgánicos de los residuos. Dicha fermentación es producida por bacterias que se desarrollan en ambientes carentes de oxígeno. Durante el proceso de transformación de la materia orgánica, llamado digestión, dichas bacterias producen un gas denominado por su origen «biogás». El biogás puede proceder de la metanización natural de los residuos sólidos urbanos depositados en los vertederos (desgasificación) o puede ser producido en digestores anaerobios (metanización voluntaria). La digestión anaerobia puede aplicarse a excedentes de cosechas, cultivos energéticos, residuos agrícolas, residuos ganaderos, lodos procedentes de depuradoras de aguas residuales o efluentes industriales. Estos residuos se pueden tratar de forma independiente o conjunta (codigestión). El biogás resultante de aguas residuales urbanas y efluentes industriales generalmente es producido en las mismas plantas depuradoras. Los residuos agrícolas y ganaderos pueden ser tratados en pequeñas plantas de biogás a nivel de granja o grupo de granjas.

En cuanto a sus usos, el biogás puede destinarse a la generación de calor y electricidad en una caldera, generación de electricidad en motores y turbinas, pilas de combustible previa realización de una limpieza de H_2S y otros contaminantes de las membranas, introducción en una red de transporte de gas natural previa purificación y agregación de los aditivos necesarios (especialmente en Alemania,

Suecia y Holanda), material de base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como el metanol o el gas natural licuado, e incluso como combustible de automoción (IDAE, 2007).

El biogás es un tipo de energía de biomasa, que se obtiene producto de la digestión anaeróbica o fermentación de la materia orgánica (residuos animales y vegetales) y que puede presentar diferentes usos energéticos, como calefacción, alumbrado o electricidad. Esta mezcla gaseosa, combustible, está compuesta por metano (55-70%), anhídrido carbónico (30-45%), más otros elementos traza tales como, oxígeno (200 ppm - 1%), nitrógeno (menor a 5%), vapor de agua y sulfuro de hidrógeno (50 ppm – 3%). La concentración de los distintos gases en el biogás dependerá de la composición de las materias primas, las condiciones de descomposición, tiempo de retención hidráulica en el biodigestor, entre otros. (Varnero, Carú, Galleguillos y Achondo, 2012)

Biogás en Generación de Energía Eléctrica o Térmica.

De acuerdo a Aguilar (2015), el sector agroindustrial y diferentes grupos de investigación han utilizado el biogás como una fuente de energía debido a su alto poder calorífico, empleándolo para el funcionamiento de electrodomésticos como refrigeradores, estufas, lámparas, calentadores de agua entre otros. También se ha usado como el cuerpo de trabajo para hacer funcionar motores a gasolina o diésel, turbinas y micro-turbinas a gas e incluso existen máquinas para ser usados únicamente con biogás. Adicionalmente se han desarrollado diversos estudios para producir hidrogeno a partir de biogás para luego usar este como fuente energética en celdas de combustible.

El biogás fue descubierto por T. Shirley's en el año de 1667. Para obtenerlo se necesita biomasa y un biodigestor que trabaje en condiciones anaeróbicas y que cumplan una serie requisitos necesarios.

La imagen 2 muestra como se encuentra compuesto el biogás y en que proporciones.

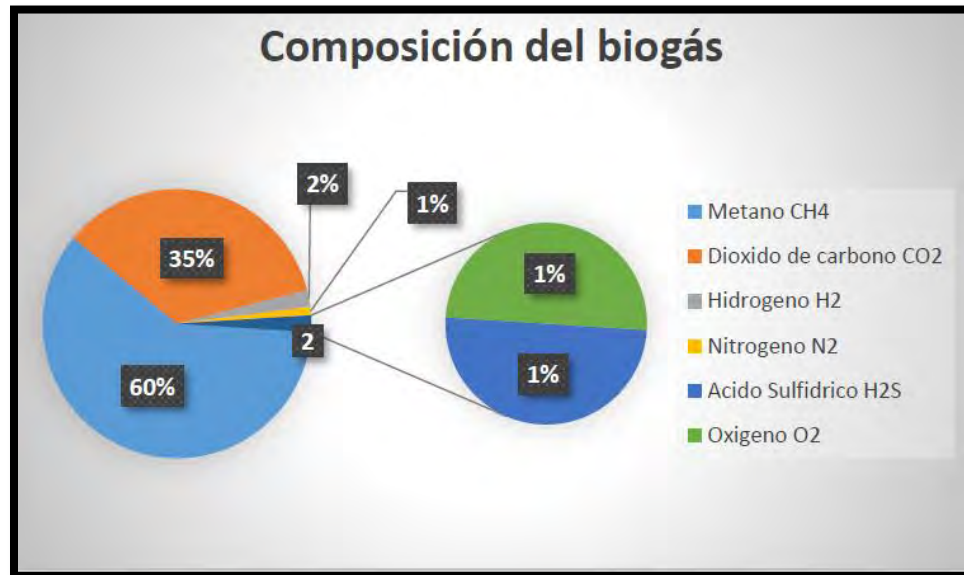


Imagen 2. Composición del biogás
Fuente: UPME, 2015

Se aprecia en la Imagen 2 que el biogás en su mayoría está compuesto por metano (CH₄) y por dióxido de carbono (CO₂), composición idónea que hace que este combustible posea un poder calorífico de 5500 Kcal/m³ o 6,4 kW h/m³ aproximadamente. En la Tabla 1 se comparará el poder calorífico del biogás con el de otros combustibles.

Tabla 1. Comparación del poder calorífico del biogás con el de otros combustibles.

Combustible	Poder calorífico				Btu/m ³
	Kcal/m ³	kWh/m ³	MJ/m ³	MJ/Kg	
Biogás	5500	6	18,9	15,3	20641,1
Gasolina	7649307,21	8413,6	32020	43,5	28707256,5
Diésel	8500000	9349,3	35581	42,7	31899840,6
Gas natural	8600	9,5	33,6	48,7	32275,1
Hidrogeno	2570,47	2,8	10,8	119,9	9646,8

Fuente: Martin & Sala, 2004

En la Tabla 1 se muestra que el biogás posee menor poder calorífico (PCI) que otros combustibles, sin embargo, cuando el biogás va a ser usado en máquinas como combustible, realmente se comparan el PCI de la mezcla, es decir, el PCI del combustible más el aire. A continuación, en la Tabla 2 y 3, se compara el PCI de diferentes combustibles mezclados con aire.

Tabla 2. Comparación del poder calorífico entre el biogás y diferentes tipos de combustibles.

Combustible	Poder calorífico de la mezcla (aire más combustible)
	MJ/Kg
Biogás	2,34
Gasolina	2,86
Diésel	2,73
Gas natural	2,82
Hidrogeno	3,37

Fuente: Martin & Sala, 2004

Tabla 3. Poder calorífico de otros combustibles

Combustible	Poder calorífico en MJ/Kg
Metano CH₄	50.2-55.8
Biogás con 60% de CH₄	30.1-33.5
Propano C₃H₈	46.5-50.6
Butano C₄ H₁₀	45.6-49.5
Querosén	39.8-43
Diesel	38.5-42
Fuel	41.8-44
Madera seca	20-21.3
Madera con 20% de humedad	16.2
Madera con 50% de humedad	10.2
Bosta seca	17.2
Carbón	28

Fuente: Astrid, 2011

Como el biogás sólo tiene de 50% a 70% de metano en proporción, que es el gas aprovechable por combustión, tiene un poder calorífico menor que gases como metano, propano o butano (propano y butano son utilizados en bombonas) y también que el querosén, diésel y fuel. Pero un kilogramo de biogás libera más energía que la misma masa de madera seca, de bosta seca o de carbón, esto lo podemos apreciar en la Tabla 3.

La Tabla 2 establece que el biogás es una alternativa viable para ser usado como cuerpo de trabajo para máquinas que poseen combustión interna.

Se sabe que el biogás posee bajo dosado estequiométrico, lo que indica la relación entre aire y el combustible necesario para que la combustión sea completa, sin que falte ni sobre comburente, es decir, sustancia oxidante que ayuda al cuerpo de trabajo a entrar en combustión, lo que hace necesario que las maquinas que usen biogás como cuerpo de trabajo sufran una serie de modificaciones para operar de forma óptima (Aguilar, 2015).

Así mismo se conoce que el biogás posee un número de octano alto, lo cual hace que este biocombustible sea considerado como uno de los más seguros para iniciar la combustión, respecto a otra clase de combustible como se puede evidenciar en la Tabla 3. Así mismo se puede garantizar que motores de encendido provocado (Ciclo Otto) que posean limitada relación de compresión ($[8,5 \text{ a } 1]$ o $[10,5 \text{ a } 1]$) sean mucho más eficientes en su funcionamiento, comparado con el mismo motor funcionando con otra clase de combustible.

Para los motores de ciclo diésel no aplica el número de octano, si no que aplica el número de cetano, que como mínimo debe ser de 40, y los valores por encima, causan que el combustible entre más rápido en combustión. Esta clase motores cuando se instalan para trabajar con biogás, este al no poseer número de cetano, no puede reemplazar el diésel en su totalidad como si lo puede hacer cuando el motor es a gasolina o son turbinas a gas natural (Aguilar, 2015).

Las Tabla 4 y 5 muestran las equivalencias del biogás respecto a otros combustibles y el porcentaje en que estos se pueden reemplazar por el biogás.

Tabla 4. Equivalencias del biogás respecto a otros combustibles.

Combustible	1m ³ de biogás equivale a			Número de octano	Número de cetano	Porcentaje que el biogás puede reemplazar en una maquina a:
	Litros	Galones	m ³			
Gasolina	0,71	0,19	--	95	--	100
Diésel	0,6	0,16	--	--	40-60	55-74
Gas natural	--	--	0,64	130	--	100
Hidrogeno	--	--	0,45	73	--	100
Biogás	--	--	1	162	--	--

Fuente: Martin & Sala, 2004

Tabla 5. Equivalencias energéticas del biogás

1000 litros (1m ³) de biogás equivalen a:	
5647 kcal	Energía (65% CH ₄)
6,56 kWh	Energía (65% CH ₄)
1.6 kg	Madera
1.2 kg	Bosta seca
1.1 litros	Alcohol
0.75 litros	Gasolina
0.65 litros	Gas-oil
0.76 m³	Gas natural
0.7 kg	Carbón
3.3 kWh	Calor útil (65%CH ₄ ; rendimiento 50%)
2 kWh	Electricidad útil (65%CH ₄ ; rendimiento 30%)

Fuente: Jaime Martí Herrero, 2019

Usos del biogás

El biogás, al igual que otros gases como el LPG (licuado) y el gas natural, tiene una gran variedad de usos, tanto doméstico como industrial. Su principal uso doméstico es en las cocinas y el alumbrado, por cuanto no requiere ser purificado.

Los usos más importantes del biogás para determinar la demanda energética del usuario son:

- a) **Cocinas.** Se emplea con una presión de 75-90 mm de columna de agua (CA), a razón de 0,38-0,42 m³ por persona-día. Para presiones inferiores el per cápita debe calcularse a razón de 0,5 m³ /día
- b) **Alumbrado.** Si se utiliza una lámpara de 100 candelas (aproximadamente 60 W), esta consume de 0,11 a 0,15 m³/h de biogás, requiriendo una presión de 70 a 85 mm de CA.
- c) **Calderas.** En dependencia del tamaño del quemador, los consumos serán:
 - Diámetro del quemador 50 mm: 0,32 m³/h.
 - Diámetro del quemador 100 mm: 0,46 m³/h.
 - Diámetro del quemador 150 mm: 0,63 m³/h.
- d) **Motores de combustión interna.** El biogás es un combustible excelente para motores, tanto de gasolina como diésel. Sólo se registra una ligera disminución de la potencia y el motor trabaja algo más caliente que con el combustible líquido. Si se dotan de un mezclador de aire-gas adecuado, los motores de gasolina pueden trabajar con 100 % de biogás, sin necesidad de gasolina, incluso en el arranque. No ocurre lo mismo con los motores Diesel, debido a que la temperatura al final de la carrera de compresión no es superior a los 700 grados, y la temperatura de ignición de la mezcla aire-biogás es de 814 grados, por lo que se hace necesaria la inyección de una pequeña cantidad de combustible diésel antes de finalizar la carrera de compresión del pistón, para obtener la ignición de la mezcla y asegurar el funcionamiento normal del motor. En condiciones óptimas se logra economizar entre 70 y 85 % del combustible diésel, sustituyéndolo por

biogás. El consumo en motores es 0,45- 0,54 m³/h por caballo fuerza (HP) de carga, o 0,60-0,70 m³/h por KW de carga, con una presión de 25 a 100 mm de CA.

- e) **Soldaduras.** La temperatura de una llama de oximetano es de alrededor de 3 000 grados, o sea, 250 grados menos que la llama oxiacetilénica. La temperatura de la llama oxi-biogás sería menor aún en dependencia del porcentaje de metano del biogás, por lo que no sería aplicable a las soldaduras ferrosas, aunque sí puede utilizarse para soldar aleaciones de latón, cobre y bronce. (Chacón, 2007)

Las Tablas 6 y 7 encontramos el consumo de biogás que tienen diferentes equipos y maquinas.

Tabla 6. Tabla demanda energética según el usuario

Equipo	Consumo
Cocina (1 quemador)	150-200 L/Hora
Lámpara de iluminación	120-200 L/Hora
Refrigerador doméstico	50-100 L/Hora
Motor de combustión	500 L/Hora por HP
Cocina industrial	1000-3000 L/Hora
Consumo por persona	150-300 L
Consumo por vivienda (5 personas y 2 comidas)	1500-2400 L/Día

Fuente: (Chacón, 2007)

Tabla 7. Consumos típicos de biogás para diferentes elementos

Usos biogás	Consumo de biogás por hora L/h
Cocina doméstica	300
Cocina industrial	450
Calefactores lechones	300
Lámpara (equivalente a 60W)	120
Olla arrocera (21)	140
Calefón de agua (14 Kw)	2500
Calefón de agua (26 Kw)	5000
Refrigeradora (100 L)	30 (en zona fría) 75 (en zona caliente)
Motor < a 5 hp (por cada 1 hp)	400
Motor > a 5 hp (por cada 1 hp)	250
Ordeñadora (15 hp)	2500
Generador (1,2 kW)	600
Generador (3 kW)	2100
1 kWh eléctrico (5-20 kW)	1600

Fuente: Herrero, 2019

Digestión anaerobia

La biodigestión anaeróbica es un proceso biológico mediante el cual la materia orgánica es transformada en ausencia de oxígeno y presencia de agua, obteniendo como subproducto una mezcla de gases llamado biogás y bioabono.

Se genera de forma natural en lugares tales como: pantanos, campos de arroz y de forma artificial se produce en un dispositivo llamado biodigestor (Ortega, 2006).

Etapas de la digestión anaerobia

La conversión biológica o digestión biológica anaerobia de materia orgánica se produce en cuatro etapas, las cuales se dan a la vez en el interior del digestor, estas son:

a) Etapa Hidrolítica.

Es la transformación enzimática de los compuestos de alto peso molecular como son los polímeros orgánicos y lípidos en compuestos estructurales básicos como los monosacáridos, aminoácidos utilizados como fuente de energía y de carbono celular, es decir las bacterias de esta etapa toman la materia orgánica con sus largas cadenas carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples liberando H y CO₂. Este complejo trabajo es realizado por diferentes tipos de microorganismos en su mayoría anaerobios facultativos. (MINENERGIA et al., 2011)

b) Etapa Acidogénicas.

También llamada etapa fermentativa es la conversión bacteriana de los compuestos orgánicos solubles resultantes de la primera etapa en compuestos intermedios identificables de menor peso molecular que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H₂) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) los cuales tendrán que ser oxidados por bacterias en la siguiente etapa del proceso. (Martí, N., 2006)

c) Etapa Acetogénica.

En esta etapa los productos de la fermentación que no pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (etanol, ácidos grasos volátiles como valeriato, butirato, propionato, y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos como acetato y H₂, a través de las bacterias acetogénicas. (Lara,2016)

d) Etapa Metanogénica.

Es la transformación bacteriana de los compuestos producidos durante la fase de acidogénesis en productos finales de estructura molecular sencilla dentro de estos tenemos principalmente metano y dióxido de carbono en más del 99% del gas total y en menor cantidad amoniaco, sulfuro de hidrogeno y materia orgánica resistente denominado biol. (Lara,2016)

Las cuatro etapas de la biodigestion anaerobia están contemplada en el grafico 1 junto con sus relaciones.

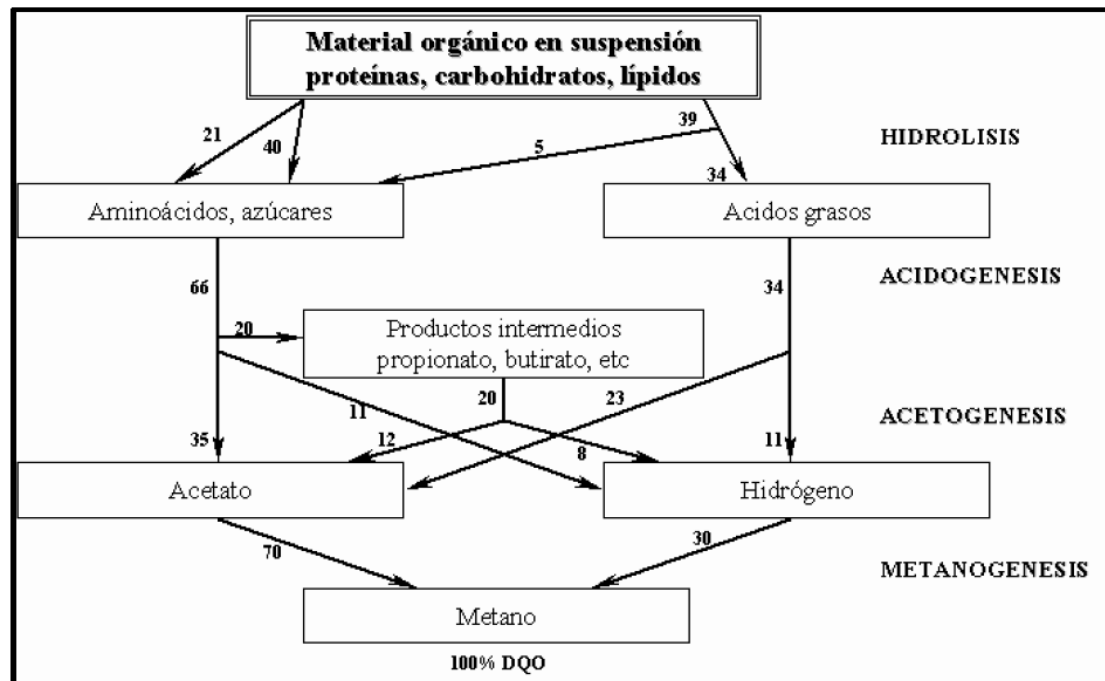


Gráfico 1. Etapas de la Digestión Anaerobia
Fuente: (Martí, N., 2006)

Parámetros en el proceso de digestión anaerobia

Para mantener un sistema anaerobio que establezca eficientemente un residuo y obtener la máxima producción de energía a partir de la conversión biológica, las bacterias metanogénica y no metanogénicas deben estar en un estado de equilibrio dinámico, para establecer y mantener tal estado, los contenidos del reactor deben estar libres de oxígeno disuelto y de concentraciones inhibidoras de amoníaco libre y de constituyentes como metales pesados y sulfitos (Martí 2002).

a) Temperatura

Uno de los factores ambientales más importantes dentro del proceso de digestión anaerobia es la temperatura de operación de los biodigestores, además de ser considerado un parámetro principal para el diseño, debido a la gran influencia de

este factor en la velocidad de la digestión anaerobia. Las variaciones bruscas de temperatura dentro del digestor pueden provocar la desestabilización total del proceso, por tal motivo es indispensable un sistema adecuado de agitación y un sistema de control de temperatura. Existen tres rangos de temperatura en los que se puede llevar a cabo la digestión anaerobia, los Psicrófilicos que se encuentran por debajo de los 25°C, los mesófilicos (25 y 45°C) y termófilicos (45 y 65°C). Las gamas de temperaturas óptimas son la mesofílicas (30 a 38°C) y las termófilas (55 a 60°C) (Martí, 2002).

b) pH y Alcalinidad

Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH acuoso debería variar entre 6 y 8. El valor de pH en los digestores no sólo determina la producción de biogás si no también su composición, el descenso del pH por debajo de 6 genera un biogás muy pobre en metano y por consecuencia tiene menores cualidades energéticas.

El pH afecta los diferentes equilibrios químicos existentes en el medio, generando un desplazamiento a la formación de un determinado componente que tenga una influencia en el proceso. En el caso del equilibrio ácido-base del amoníaco y del ácido acético, al aumentar el pH se favorece la formación de amoníaco, que en elevadas concentraciones inhibe el crecimiento microbiano y a pH bajos se genera la mayoritariamente la formación no ionizada del ácido acético, que inhibe el mecanismo de degradación del propionato (Martí 2002).

c) Tiempo de retención y velocidad de carga orgánica

En los sistemas de mezcla completa, el tiempo de retención hidráulico (TRH) coincide con el celular, por lo que el TRH deberá ser suficientemente largo como para asegurar el crecimiento de la población bacteriana. Al aumentar el TRH,

aumenta el grado de materia orgánica degradada, así como la producción de metano (Martí 2002).

Los Valores indicativos de tiempos de retención usualmente más utilizados en la digestión de estiércoles a temperatura mesofílica los podemos ver en la Tabla 8. El límite mínimo de los T.R. está dado por la tasa de reproducción de las bacterias Metanogénicas debido a que la continua salida de efluente del digestor extrae una determinada cantidad de bacterias que se encuentran en el líquido. Esta extracción debe ser compensada por la multiplicación de las bacterias que pertenecen dentro del reactor (Hilbert 2003).

Tabla 8. Valores Indicativos de Tiempos de Retención

Materia prima	T.R.H
Estiércol vacuno líquido	20 - 30 días
Estiércol porcino líquido	15 - 25 días
Estiércol aviar líquido	20 - 40 días

Fuente: Hilbert 2003

d) Velocidad de carga orgánica

La velocidad de carga orgánica (VCO) es la cantidad de materia orgánica introducida en el reactor por unidad de tiempo y volumen, siendo directamente dependiente de la concentración de sustrato y tiempo de retención fijado. En ausencia de inhibidores, la existencia de altas cargas orgánicas proporciona altas producciones de Biogás, sin embargo, puede aumentar el riesgo de sobrecargas que conlleven a la acidificación del proceso. (Martí 2002).

e) Agitación en el Reactor

Pone en contacto el sustrato fresco con la población bacteriana y eliminar los metabolitos producidos por los microorganismos Metanogénicos al favorecer la salida de los gases.

- Proporciona una densidad uniforme de la población bacteriana al interior del reactor.
- Previene la formación de espuma y la sedimentación en el reactor.
- Previene la formación de espacios muertos que reducirían el volumen efectivo del reactor y la formación de caminos preferenciales.
- Elimina la estratificación térmica, manteniendo una temperatura uniforme en todo el reactor.
- El sistema de agitación puede ser mecánico, hidráulico y neumático, la velocidad de agitación debe ser suficientemente fuerte para asegurar la homogenización, pero sin romper los agregados bacterianos.

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno, sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel). Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo, en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico. En lo atinente a estiércoles animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación de los mismos. (Villanueva et al, 2011).

Biodigestores

También llamados digestores, reactor anaeróbico o biológico; son estructuras de plástico, tubería y cemento, estos dispositivos se encuentran totalmente cerrados, en cuyo interior se da la fermentación de la materia orgánica (desechos agrícolas, agroindustriales, forestales, aguas residuales urbanas e industriales, residuos sólidos urbanos y estiércol) en ausencia de oxígeno produciendo biogás y biol.

Los biodigestores están compuestos básicamente por un área de premezclado, un tanque hermético (digestor anaeróbico), un sistema de captación de biogás, estas dos últimas pueden estar juntas o separadas y también cuenta con un sistema de distribución del efluente. (Hossain,2008)

Tipos de Biodigestores

El diseño de biodigestores ha ido evolucionando con el fin de conseguir elevadas concentraciones de biomasa en los reactores y permanencia de la misma (alto tiempo de retención de sólidos), incluso trabajando con elevadas velocidades de líquido (bajo tiempo hidráulico de residencia). Las clasificaciones de tecnologías anaerobias son muy diversas y difieren según las fuentes. En la siguiente figura se tiene los digestores más comunes. (Arboleda & González, 2009)

Existen varios tipos de biodigestores y estos pueden variar según las necesidades de operación, la capacidad deseada, la topografía y clima donde se va a emplear, etc. En la Imagen 3 se puede apreciar los tipos más comunes.

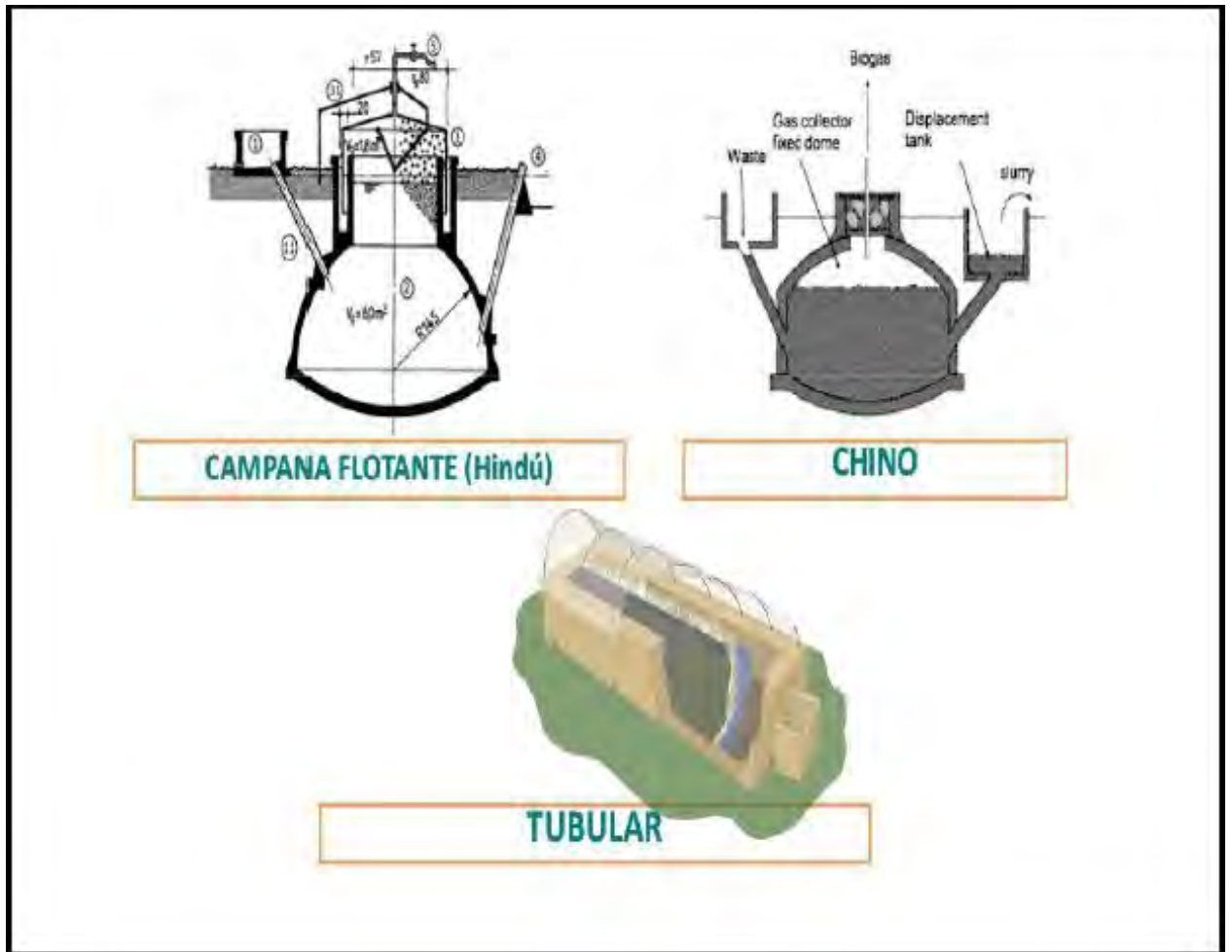


Imagen 3. Tipos de biodigestores
Fuente: (Cotrina & Villanueva, 2013)

Los principales digestores como se muestra en la imagen 3. Son el hindú, el chino, y el taiwanés descritos a continuación.

Estos son los tipos de biodigestores más comunes, siendo el biodigestor tubular uno de los más empleados, debido a su bajo costo, fácil construcción y operación, cada uno presenta características propias que los definen y cada uno cuenta con sus ventajas y desventajas. A continuación, se hace una breve descripción de los tres tipos.

Tipo Chino (Domo Fija)

Este diseño se originó en China y está ampliamente difundido ahí. Se trata de una cámara cerrada con sus respectivas cámaras de carga y descarga. La estructura puede ser construida de concreto armado, ladrillos, piedra u hormigón y las paredes internas permeabilizadas con diferentes métodos (como aplicación de cemento mezclado con porcelana) para evitar fugas de líquido.

El gas producido durante el proceso es almacenado bajo el domo y desplaza algunos de los contenidos del digester a la cámara del efluente. Esto crea fuerzas estructurales altas razón por la cual el reactor tiene formas semiesféricas en el tope y en la base.

Se recomienda que la construcción sea bajo tierra en suelos estables y firmes. Su vida útil es mayor a 15 años con un buen mantenimiento, aunque a veces no compensa su relativo alto costo, por lo que no se ha difundido fuera de china (como Latinoamérica), donde su construcción es apoyada por política nacional. Este digester no tiene separación interior es de bajo mantenimiento. Como principales problemas pueden citarse la obstrucción y los derivados de la construcción (Avendaño, 2010).

Tipo Hindú (Domo Flotante)

Este digester es en forma cilíndrica y tiene un depósito de gas móvil en forma de campana flotante. La campana puede flotar directamente en la carga de fermentación o en un anillo de agua cilíndrico. El gas se acumula en la campana, haciéndola subir y luego vuelve a bajar cuando se extrae el gas a través de un tubo instalado en la campana misma.

La campana además de subir y bajar, es libre de girar, así puede mover la capa que eventualmente pueda flotar en la superficie de la carga de fermentación, por ello requiere de una varilla guía central o rieles laterales que eviten el rozamiento contra

las paredes del reactor. Este digester una pared interior que lo divide en dos, junto con canalizaciones de carga y descarga y una cubierta que actúa como gasómetro cimentada con una placa de hierro, también tiene una cámara hermética en la cual se genera condiciones de degradación anaeróbicas de la materia orgánica formando biogás y biol.

Para su construcción se usa comúnmente ladrillos, cemento, arena y grava; para la campana flotante, lámina de acero. Las principales desventajas en su empleo son: la corrosión de la campana, pérdidas de calor, cuentan con mayor profundidad que anchura, lo que dificulta el flujo y propicia la estratificación.

Tipo tubular (Estructura Flexible)

Sistema modelo tubular (cilíndrico) de origen taiwanés. La materia a digerir entra por un lado del reactor y sale por el otro, el tanque de digestión y de recolección de gas, conforman uno sólo, el gas se va acumulando en la parte superior de la bolsa del reactor, mientras que el proceso de digestión ocurre en la parte inferior del recipiente, misma que se llena con materia orgánica y agua, la bolsa se va inflando lentamente con una presión baja. Suelen ser de polietileno o geomembrana de PVC.

Las ventajas que presenta este biodigester son: es de bajo costo de construcción, muchos materiales los puede obtener en la misma propiedad y la parte de la mano de obra puede aportar la familia, el mantenimiento es de costo mínimo. Si el plástico presentara algún problema éste se puede cambiar o reparar sin mucha inversión de dinero. Fácil de transportar por su bajo peso, en especial en aquellos sitios de difícil acceso. La forma de carga es sencilla y en los estudios realizados es uno de los que mejor funciona en el clima frío.

Entre las desventajas del biodigester de plástico se halla su bajo tiempo de vida útil, también es muy vulnerable a sufrir roturas por condiciones climáticas adversas, por las acciones del hombre o los animales; baja presión de gas.

La alta inversión que pedía construir un biodigestor de estructura resultaba una grave limitante para los pequeños granjeros por sus bajos ingresos. Esto motivó a unos ingenieros Taiwaneses en los años sesenta a diseñar biodigestores con materiales flexibles más baratos, locales y accesibles. Primero se utilizó nylon y neopreno, sin embargo; estos demostraron ser algo costosos. Un paso mayor en los setenta era combinar PVC con el residuo de las refinerías de aluminio produciéndose así "el barro rojo PVC", y de ahí fue reemplazado por polietileno más barato y es el que se usa mayormente en América Latina, África y Asia. Desde 1986, el Centro para la Investigación en Sistemas Sustentables de Producción Agrícola (CIPAV), ha estado recomendando biodigestores de plástico económico como la tecnología apropiada para optimizar el uso de excrementos pecuarios, reduciendo con ello presión en otros recursos naturales.

Los biodigestores familiares o tubulares al ser de bajo precio han sido ejecutados en países de América Latina, se han registrado varios proyectos para introducirlo en el altiplano, por lo que han sido implementados en países como Perú, Bolivia y también en nuestro país teniendo buenos resultados, siendo aptos para el clima frío y eficientes para la generación de biogás. (Lara,2016)

Ventajas de los biodigestores

Entre sus ventajas encontramos:

- Permite disminuir la tala de los bosques al no ser necesario el uso de la leña para cocinar.
- Humaniza el trabajo de los campesinos, que antes debían buscar la leña en lugares cada vez más lejanos.
- Diversidad de usos (alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor entre otros).

- Produce biofertilizante rico en nitrógeno, fosforo y capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más caros y dañan el medio ambiente
- Elimina los desechos orgánicos, por ejemplo, la excreta animal, contaminante del medio ambiente y fuente de enfermedades para el hombre y los animales.
- La utilización de los biodigestores además de permitir la producción de biogás ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos:
- Mejora la capacidad fertilizante de estiércol. Todos los nutrientes tales como nitrógeno, fosforo, potasio, magnesio, así como los elementos menores son conservados en el efluente.
- El efluente es mucho menos oloroso que el efluente, es decir elimina olores ofensivos.
- Control de patógenos. Aunque el nivel de destrucción de patógenos variara de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85% de los patógenos no sobrevive al proceso de biodigestion. En condiciones de laboratorio con temperaturas de 35°C, los coliformes fecales fueron reducidos entre el 50 y 70%, y los hongos en 95% en 24 horas. (Corona, 2007)

Inconvenientes de los biodigestores

La construcción de biodigestores conlleva también una serie de inconvenientes:

- Su ubicación debe estar próxima a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo, tanto para acumular los desechos orgánicos como para abaratar los costes que supone la canalización del sistema
- La temperatura debe ser constante y cercana a los 35° C, lo que puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos

- Puede generar como subproducto sulfuro de hidrógeno, un gas tóxico y corrosivo que puede además reducir la capacidad calorífica del biogás, encareciendo el proceso por la necesidad de depurarlo
- Puede haber posibles riesgos de explosión, en caso de no cumplirse las normas de seguridad para gases combustibles

La Imagen 4 nos muestra un esquema general de cómo está compuesto un biodigestor, explicando gráficamente como se da el proceso de la biodigestion.

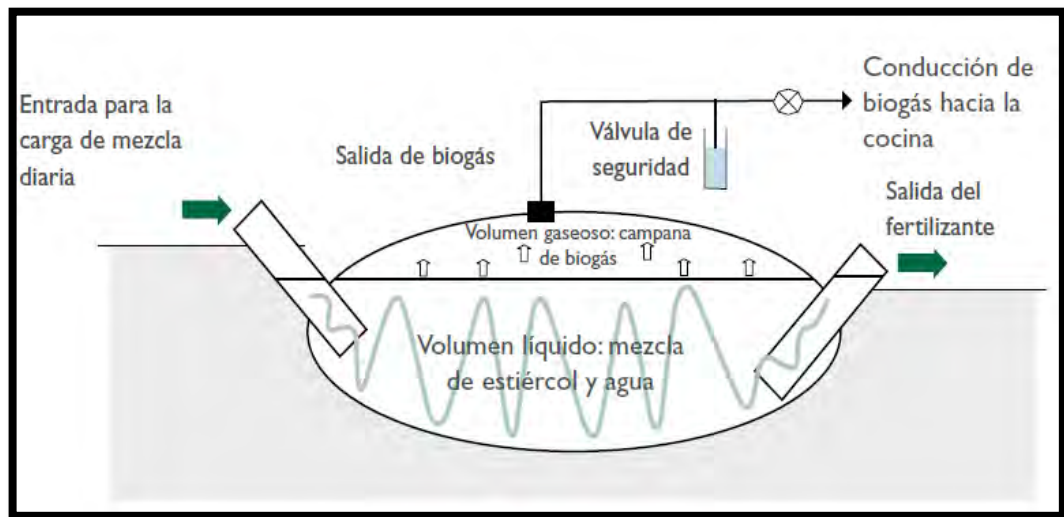


Imagen 4. Esquema de un biodigestor tubular
Fuente: Martí Herrero, 2008

Como se puede distinguir en la imagen anterior el biodigestor consta de una entrada por donde ingresa la mezcla de estiércol con agua, el plástico que hace las veces de reactor el cual tiene una fase líquida y una gaseosa donde se almacena el biogás que se va produciendo, tiene a su vez las salidas del biogás y del biofertilizante, así como algunos accesorios como válvulas y demás que permiten dar un manejo y controlar el proceso.

4.3. MARCO CONCEPTUAL

Biodigestor

Los biodigestores conocidos también como plantas (productoras o de producción) de biogás, son recintos o tanques cerrados donde la materia orgánica y el agua residual permanecen un periodo de tiempo para lograr su descomposición produciendo biogás y bioabono (Pedraza, 2002; Ramón, 2006)

Biogás

El biogás es el producto gaseoso de la digestión anaerobia de compuestos orgánicos. (Villanueva J, Nájera H, Gómez J, Hernández, Velasco, 2011).

Biomasa

La definición de biomasa que se utiliza en las directivas de la Unión Europea (UE) es la siguiente: «Biomasa es la fracción biodegradable de productos, deshechos y residuos de la agricultura (incluyendo sustancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales».

Digestión anaerobia

La biodigestión anaeróbica es un proceso biológico mediante el cual la materia orgánica es transformada en ausencia de oxígeno y presencia de agua, obteniendo como subproducto una mezcla de gases llamado biogás y bioabono (Villanueva J, Nájera H, Gómez J, Hernández, Velasco, 2011).

Energía

La energía es la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo: trabajo mecánico, emisión de luz, generación de calor, etc. (Energías renovables y eficiencia energética, 2008)

Energía renovable

Energía recogida de recursos renovables, que se reponen naturalmente a lo largo de una vida humana, como la luz solar, el viento, la biomasa y el calor geotérmico (Unión Europea, 2018).

Estiércol Material orgánico empleado para fertilizar la tierra, compuesto generalmente por heces y orina de ganado doméstico, con o sin material vegetal como paja, heno o material de cama de los animales (RAE, 2018)

4.4. MARCO CONTEXTUAL

Descripción de la Finca

Ubicación

La finca la arcadia se encuentra ubicada en el municipio de Valledupar, a 20 kms aproximadamente sobre la vía que conduce de la cabecera municipal hasta el municipio de Bosconia, el recorrido se ve a continuación en la Imagen 5, la cual nos muestra un capture satelital de la distancia entre la cabecera municipal y la Finca la Arcadia.

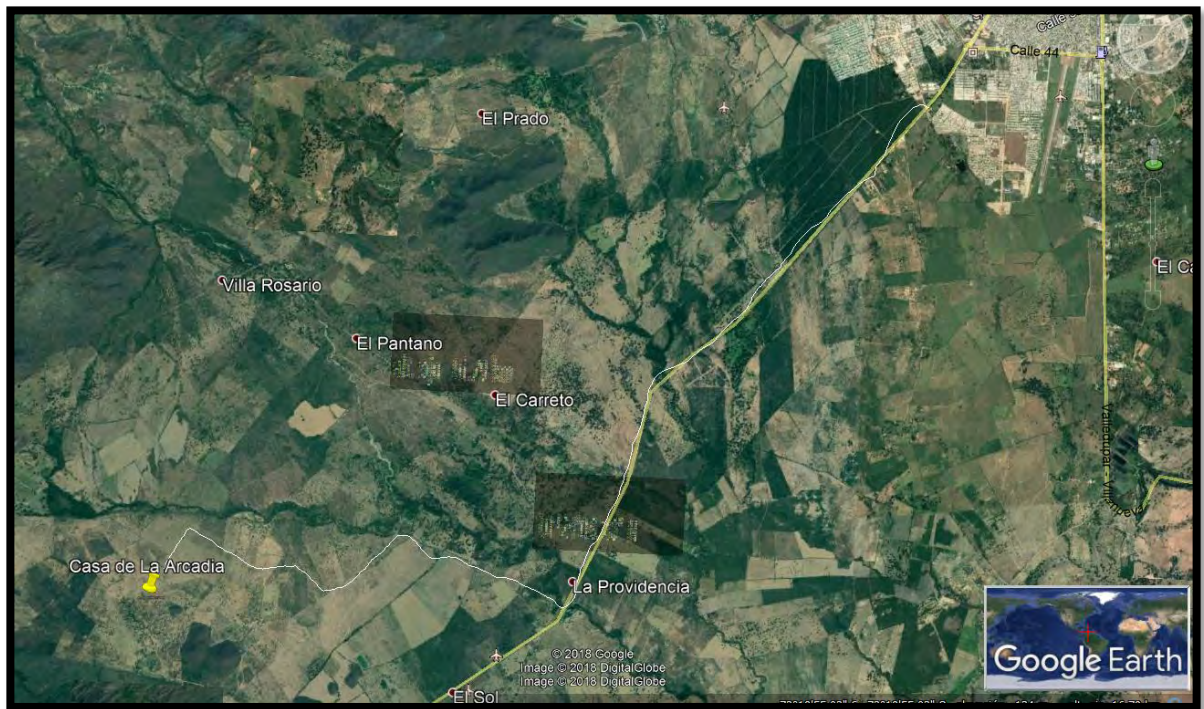


Imagen 5. Capture satelital de la distancia de la finca La Arcadia
Fuente: google earth

Área

Cuenta con un área de 89Ha, de las cuales 75 Ha se encuentran destinadas a la ganadería (pastoreo,), 5Ha destinada a los carneros, 2 Ha destinadas a la porcicultura y 7 Ha que se encuentran distribuidas para vías, áreas sociales, entre otros.

Actividades de la finca

La finca la Arcadia perteneciente a Orbe Agropecuaria se dedica a la cría y venta de carneros, ganado, cerdos, a la siembra de pastizal, cuenta con otros animales como patos, gallinas, perros, gallos, estos como animales domésticos.

Se describe la cantidad, el área que ocupan y cada cuanto son aseados los animales en la Tabla 9 y la Tabla 10 muestra una descripción de su alimentación.

Tabla 9. Descripción de los animales de la finca y el área que ocupan

Animal	Raza	Cantidad	Área de ocupación m²	Aseo
Cerdos	Pietran	200	192	Se hace lavado de 2 a 3 veces al día
Ganado	Ceboina	100	3000	Se limpia 2 veces al año el corral
Carneros	Doper	200	120	Se limpia 2 veces al año el corral

Fuente: Orbe Agropecuaria

Tabla 10. Descripción de la alimentación de los animales

Animal	Raciones	Alimentación		Hidratación
		Clasificación del tipo de alimento	Peso (KG)	
Cerdos	3 raciones al día	Pre-inicio	7-11	5lts por animal
		Inicio	12 a 15	
		Pre-ceba	30	
		Levante	35 a 60	
		Ceba	>60	
Ganado	A voluntad	Pasto, forraje		A voluntad De 30 a 40lts
Carneros	A voluntad	Forraje		A voluntad

Fuente: Orbe Agropecuaria

Infraestructuras

La finca la Arcadia para suplir sus necesidades hídricas cuenta con dos hidroxilos con dimensiones de 2m de diámetro y 10m de altura, para un volumen total de unos 62,82 m³, los cuales abastecen las necesidades de la finca como riego, hidratación de los animales, aseo de las áreas productoras. Los hidroxilos fueron ampliados para obtener el volumen mencionado anteriormente, esto lo podemos apreciar en la Imagen 6.



Imagen 6. Hidroxilos de almacenamiento de agua
Fuente: Autores

La Arcadia también cuenta con un tanque estercolero que tiene un diámetro de 2 metros y un alto de 90 centímetros, este cuenta con un sistema de dilución mediante unas aspas, que le dan la agitación disolviendo el estiércol. El estercolero se encarga de diluir la materia orgánica procedente de las porquerizas en agua, la cual es inyectada por medio de un tanque reservorio de agua. La Imagen 7 muestra el tanque estercolero con el sistema de aspas para la dilución.



Imagen 7. Tanque estercolero de la finca La Arcadia.
Fuente: Autores

El tanque reservorio de agua tiene un diámetro de 2m y una altura de 3m, para una capacidad de 9,42m³, el cual se encuentra elevado a 3m como se ve en la Imagen 8, con el fin de conducir el agua e inyectarla al tanque estercolero



Imagen 8. Tanque de reservorio de agua de la finca La Arcadia
Fuente: Autores

Para el sistema de riego se encuentran actualmente cinco tanques distribuidos estratégicamente según la pendiente del terreno, así mismo varían sus dimensiones dependiendo de los requerimientos topográficos para el riego, estos tanques son llenados con el material que se encuentra en el tanque estercolero. En la Tabla 11 se aprecia la descripción de los tanques y su capacidad.

Tabla 11. Tanques de distribución

N° del Tanque	Diámetro m	Área m²	Alto m	Volumen m³
1	1,6	5,03	1,5	7,54
2	1,6	5,03	0,9	4,52
3	1,6	5,03	0,9	4,52
4	1,6	5,03	1,6	8,04
5	1,6	5,03	1,6	8,04

Fuente: Orbe Agropecuaria

Establos

El ganado se recoge en establos como se muestra en la Imagen 9. Estos establos también los usan para pesar los animales por medio de una báscula, el ganado es llevado por medio de pasillos hasta la báscula donde son pesados.



Imagen 9. Establos del ganado
Fuente: Autores

Porquerizas

La Arcadia cuenta con dos porquerizas cada una de seis establos y con una capacidad para 200 cerdos como se muestra en la Imagen 10 (A y B). Se construyeron de forma elevada de modo que pudiera favorecer al desagüe de los residuos orgánicos de los cerdos a través del lavado.



A.



B.

Imagen 10. Porquerizas de la finca La Arcadia
Fuente: Autores

Área social del ganado

Existe un lugar destinado al reposo del ganado, denominado área social. Esta área se va a adecuar de tal manera que se puedan recolectar el excremento de los animales con una mayor facilidad.

La Imagen 11 (A y B) son del área social del ganado, un espacio sombreado con agua a disposición.



A.



B.

Imagen 11. Área social del ganado
Fuente: Autores

La Imagen 12 muestra el sistema de rotación en el pastoreo del ganado, establecido por la empresa, ya que en la Arcadia el pastoreo es nocturno y en el día se recoge el ganado y reposa.

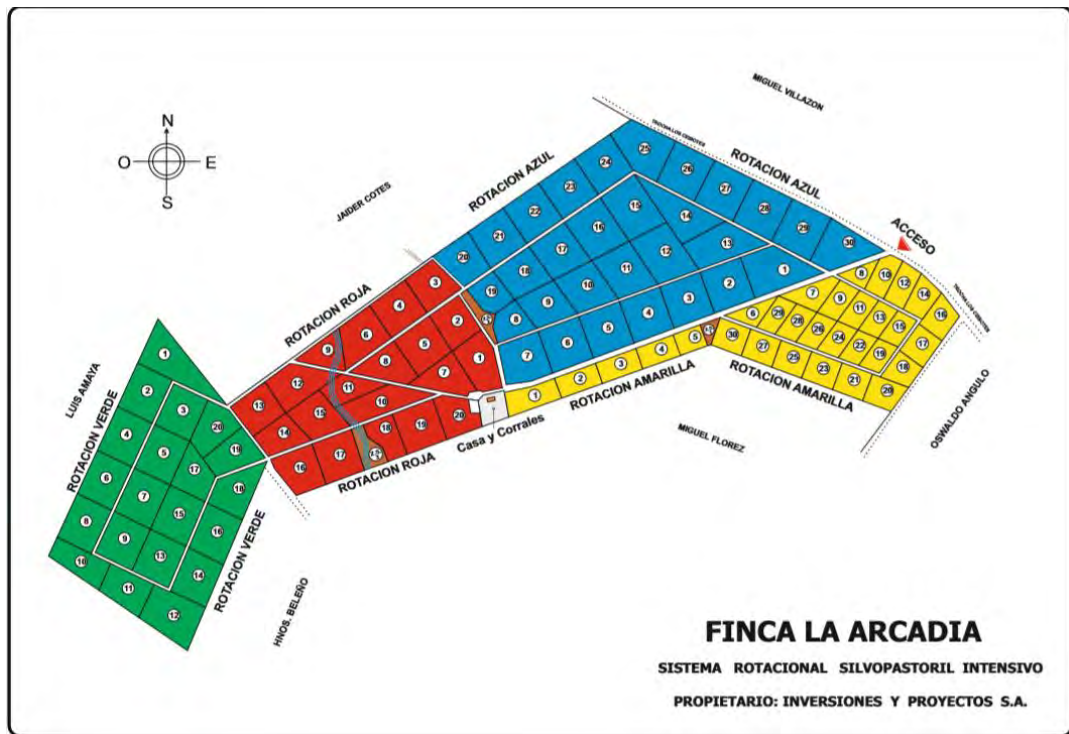


Imagen 12. Sistema rotacional silvopastoril intensivo en La Arcadia
Fuente: Orbe Agropecuaria

La Imagen 13 muestra los planos de las porquerizas las cuales constan de 6 corrales cada una.

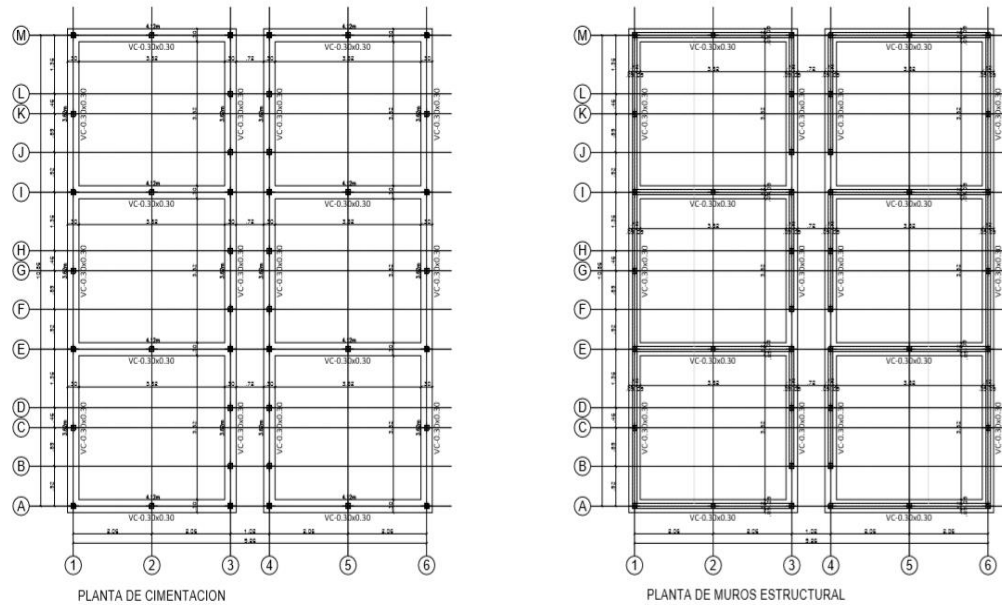


Imagen 1. Plano del proyecto de las porquerizas
Fuente: Orbe Agropecuaria

4.5. MARCO LEGAL

A continuación, en la Tabla 12 se presenta la base legal y la normatividad referente al tema del biodigestor, tomado como una fuente de energía alternativa.

Tabla 12. Normatividad Legal

Normatividad	Descripción	Recurso
Constitución política de Colombia de 1996	Carta magna de la República de Colombia	Todos
Ley 29 de 1990	Por la cual se dictan disposiciones para el fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico y se otorgan facultades extraordinarias.	Investigación
Ley 101 de 1993	Ley General de Desarrollo Agropecuario y Pesquero.	Agropecuario
Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua"	Agua
Decreto Ley 99 de 1993.	Por el cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente. Se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables. Se organiza el SINA	Todos
Ley 1715 de 2014	"Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional"	Energías renovables
Decreto 2811 de 1974	Código nacional de los recursos naturales y protección del ambiente. Por el cual se regula el manejo de los recursos naturales renovables y no renovables. Se reglamenta el manejo de los residuos, basuras, desechos y desperdicios.	Todos
Decreto N° 1541 de 1978	el cual define las regulaciones para la explotación de las aguas subterráneas y obliga a la obtención de concesión para la explotación del RHS	Agua
Decreto 2104 de 1983 (julio 26)	Por el cual se reglamentan parcialmente el Título III de la Parte IV del Libro I del Decreto Ley 2811 de 1947 y los Títulos I y XI de la Ley 09 de 1979 en cuanto a Residuos Sólidos.	Suelo
Decreto N° 1594 de 1984 de Min-salud	Define los procedimientos sancionatorios aplicables al RHS.	Agua

Decreto 1594/84	Sobre uso del agua y residuos líquidos	Agua
Decreto 948 de 1995	por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73,74, 75 y 76 del Decreto Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.	Aire
Decreto número 1076 de 2015 (26 mayo)	"Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible	Todos
Decreto 348 de 2017	"Por el cual se adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala".	Energía
Decreto 1543 de 2017	"Por el cual se reglamenta el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, Fenoge"	Energía
Resolución 631 de 2015	por la cual se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público a nivel nacional, derogando el Decreto 1594 de 1984, excepto sus artículos 20 y 21 y, reglamentando, el artículo 28 del Decreto 3930 de 2010.	Agua
Resolución Ministerio de Ambiente 1283 de 8 agosto de 2016	Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables - FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones"	Energías renovables
Resolución 2254 de 2017	Por el cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones	Aire
Resolución CREG 038 de 2018	"Por la cual se regula la actividad de autogeneración en las zonas no interconectadas y se dictan algunas disposiciones sobre la generación distribuida en las zonas no interconectadas"	Energía

Fuente: autores

4.6. MARCO INSTITUCIONAL

Orbe Construcciones se especializa en desarrollos habitacionales de vivienda unifamiliares, proyectos multifamiliares, complejos comerciales, infraestructuras industriales, entre otros.

Somos un equipo humano que interpreta bien las metas de desarrollo social, por eso, cada proyecto nuestro ha satisfecho las necesidades de un mercado inmobiliario cada vez más exigente. Con diseños exclusivos, modernos conceptos de arquitectura e ingeniería, organización y talante, hemos definido nuestro objetivo “EL PROGRESO”.

4.6.1. Misión

En ORBE generamos valor, desarrollo económico, bienestar social y relaciones de confianza con nuestros grupos de interés, siendo referentes empresariales en la región mediante una excelente gestión de nuestro talento humano, comprometido y capacitado para ofrecer productos y servicios de alta calidad.

4.6.2. Visión

En ORBE generamos valor, desarrollo económico, bienestar social y relaciones de confianza con nuestros grupos de interés, siendo referentes empresariales en la región mediante una excelente gestión de nuestro talento humano, comprometido y capacitado para ofrecer productos y servicios de alta calidad.

Orbe Construcciones tiene tres enfoques principales:

Construcción

Formular, desarrollar y ejecutar proyectos inmobiliarios, que, mediante unos procesos de alta gestión de calidad, logren satisfacer a nuestros clientes, ofreciendo un servicio integral durante el proceso de compra, ejecución y entrega de productos, direccionado a alcanzar la mayor aceptación en el mercado.

Inmobiliaria

Inversiones y proyectos S.A.S. Ofrece inmuebles en renta a comerciantes, personas naturales, profesionales e instituciones, con excelente ubicación y facilidades de uso.

Agropecuario.

En esta área es en la que se lleva a cabo el presente proyecto.

Nuestra unidad de negocio se centra en la producción de fruta de palma y aumento de peso de animales en pie, orientados a atender la creciente demanda, brindando calidad y continuidad en nuestros productos, apoyados en la aplicación de buenas prácticas agronómicas y ganaderas.

La finca la Arcadia perteneciente a Orbe Agropecuaria se dedica a la cría y venta de carneros, ganado y cerdos, utilizando un sistema rotacional silvopastoril intensivo para el ganado, se ha adaptado el ganado al empleo de un pastoreo nocturno, reduciendo estrés por el calor y el sol en los animales. Además, se dedica a la siembra de pastizal para consumo de sus animales. La empresa Orbe Agropecuaria se preocupa por optimizar sus procesos de producción empleando el ingenio y soluciones ambientales buscando alternativas para alcanzar mejores resultados y fomentar el desarrollo sostenible y sustentable de las actividades agropecuarias de la empresa.

5. MARCO METODOLÓGICO

La mayoría de la metodología empleada en cuanto al diseño, esta basada en la metodología implementada por Jaime Marti Herrero en su manuales de diseño y contruccion de Biodigestores

5.1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Sostenibilidad y gestión ambiental.

5.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a la naturaleza de la investigación se determina que es de tipo experimental y correlacional, ya que se controlan y manipulan las variables de tal manera que se examine la relación y eficiencia de las variables seleccionadas, así como la incidencia de cada variable o su efecto en otra variable de interés, de igual manera se mide el grado de relación existente entre dos o más conceptos o variables.

5.3. POBLACIÓN

La población objeto de estudio está representada por las excretas provenientes de los porcinos pertenecientes a la finca La Arcadia. Por otra parte, también se estudiaron las excretas de los bovinos y los ovinos de la finca.

5.4. MUESTRA

Se tomó una muestra de cada grupo de animales para determinar el aporte de la carga orgánica de cada uno a la generación de biogás y su incidencia en la producción de la energía eléctrica. Para esto se tomó una muestra del 30 % de la población representada por los porcinos, que es nuestra población objeto de estudio, y por otro lado una muestra del 10% y el 5% de los bovinos y ovinos respectivamente. A las muestras poblacionales escogidas se les hizo el seguimiento, caracterización y muestreo.

La muestra se seleccionó de manera empírica y aleatoria, debido a que, aunque el proyecto está pensado para 200 cerdos en el momento en que se hizo la caracterización la Finca no contaba con tal cantidad, por lo que tomamos la población que había en ese momento como una muestra poblacional representativa para hacer las proyecciones. Por su parte la muestra de los carneros y el ganado se tomó solo el 5 y 10% respectivamente, ya que por las actividades de la Finca y a el pastoreo no era posible apartar un grupo más grande de animales, por otro lado, el principal grupo de interés eran los cerdos siendo los otros dos grupos estudiados como posible complemento al proceso.

5.5. DESARROLLO METODOLÓGICO

El Grafico 2, nos ilustra en términos generales la metodología empleada en la investigación y la secuencia seguida en cada etapa.

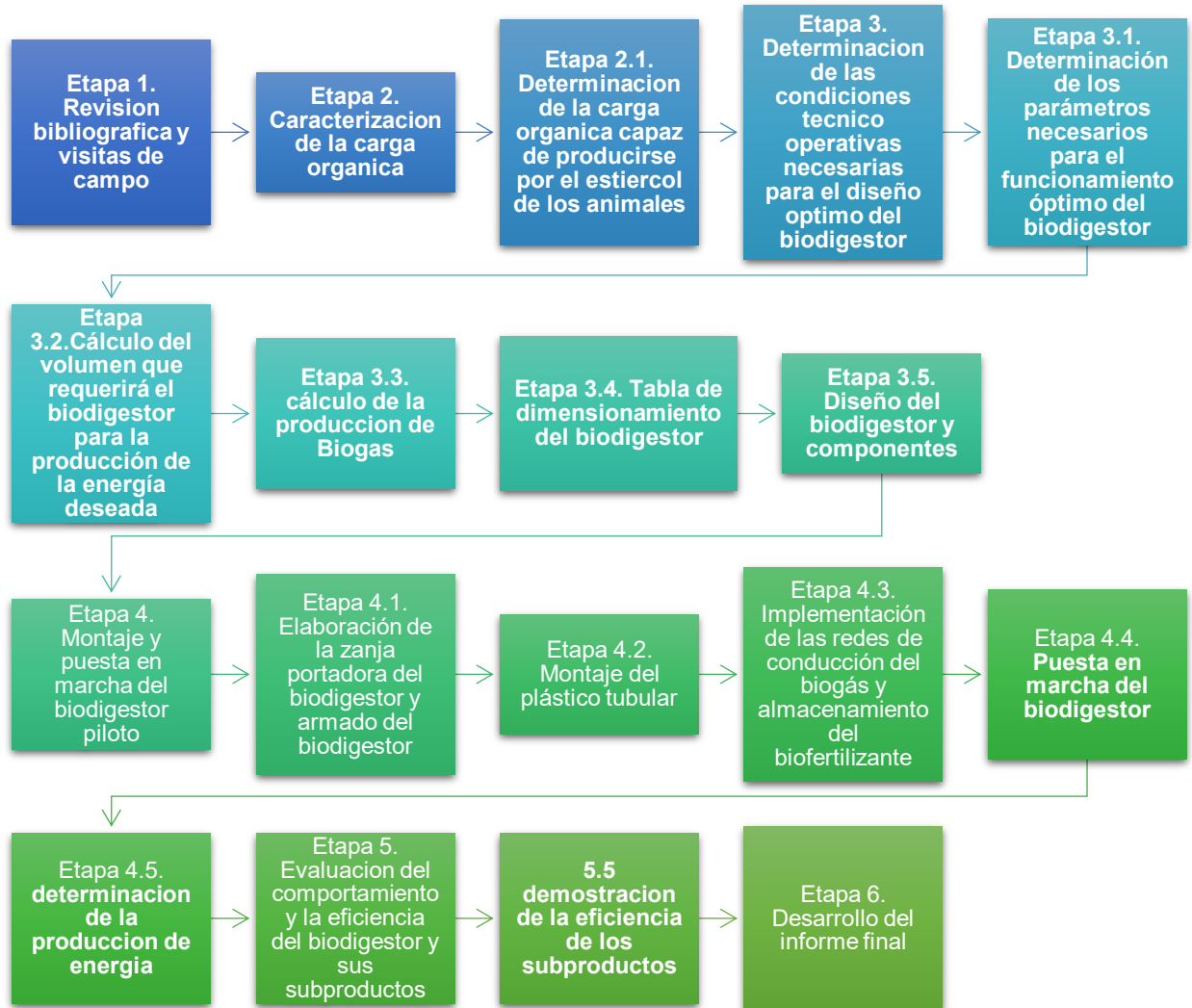


Gráfico 2. Esquema de la metodología realizada.

Fuente: Autores

5.5.1. Etapa 1. Revisión bibliográfica y visitas de campo.

5.5.1.1. Fase 1. Revisión bibliográfica

Se revisó un compendio de información y referencias con respecto a la generación de energía eléctrica a partir de biogás proveniente de la biomasa generada por las excretas de los animales (porcinos, bovinos y ovinos) y respecto al estudio, diseño, construcción, capacidad y parámetros de los biodigestores. Y la relación de la cantidad de excretas con la generación de biogás y la del biogás con la producción de energía. Creando de esta manera una base de datos referencial con respecto al diseño de biodigestores y producción de energía a través del biogás, para que los interesados en el área puedan tener a la mano la información pertinente para guiarse en el proceso de diseño y construcción de biodigestores ver en el anexo 9.

5.5.1.2. Fase 2. Visitas de campo.

Se realizaron visitas periódicas a la finca para la recolección de datos, el reconocimiento e identificación de los procesos y actividades, toma de muestras, seguimiento, entre otros. Posteriormente se realizaron visitas para la construcción, seguimiento y evaluación del biodigestor.

A su vez, las visitas de campo permitieron hacer diagnósticos, tomar información y datos importantes para el desarrollo del proyecto, además de conocer la dinámica de operación de la finca, las necesidades y como beneficiaria el proyecto una vez esté funcionando.

5.5.2. Etapa 2. Caracterización de la carga orgánica proveniente del estiércol de los porcinos, los ovinos y los bovinos.

Se realizó una caracterización de la carga orgánica capaz de producir la finca, esto lo podemos apreciar en los resultados.

5.5.2.1. Determinación la carga orgánica capaz de producirse por el estiércol de los porcinos, los ovinos y el ganado bovino en la finca La Arcadia.

En esta etapa se estimó la cantidad de carga orgánica que puede generar la finca a través de sus animales, para poder dimensionar el biodigestor posteriormente, para ello se tomaron muestras poblacionales de los animales tanto de porcinos como de bovinos y ovinos, se aislaron en lugares adecuados previamente para poder recoger las excretas y así determinar la cantidad generada diariamente en promedio, haciendo un registro para conocer la cantidad de estiércol producida por los cerdos que son el principal objeto de estudio y también de los otros dos grupos de interés (ganado bovino y los carneros), de esta manera se obtuvo información más ajustada a la realidad.

Descripción del proceso.

Para la estimación de la cantidad de carga orgánica que se produce en la finca la Arcadia a través de las excretas de porcinos, bovinos y carneros se realizó el siguiente procedimiento:

Selección de la muestra poblacional de cada grupo de animal

En el caso de los cerdos estos se subdividen en tres grupos de acuerdo a su edad, por ello se subdividieron en adultos, levante y cebo y precebo, ya que en relación a esto presentan diferencias en la parte nutricional, en el peso y así mismo en la producción de excretas y las características de estas.

El proyecto tiene un énfasis en la población porcina de la finca La Arcadia. Se tiene pensado proyectarse a 200 cerdos, que sería la población deseada, en el momento en que se hizo la caracterización y análisis de las excretas de los animales se contaba con un total de 59 cerdos lo que representa una muestra del 30 % de la población deseada como muestra la Tabla 14 en los resultados.

De los 59 cerdos de muestra poblacional se tomaron 6 adultos, 33 levante y cebo y 20 precebo.

Estos cerdos al encontrarse en diferentes etapas de crecimiento presentan diferencias en la demanda alimenticia y es a su vez influye en la generación de estiércol, ver Tabla 15.

A pesar de que el proyecto está enfocado en el aprovechamiento de las excretas de los cerdos, la finca también cuenta con otras poblaciones de animales como lo son los bovinos y los carneros, a los cuales también se les realizó la caracterización de las excretas y los análisis, de tal manera que a futuro se pueda pensar en el aprovechamiento de estas en un nuevo biodigestor o en su defecto el experimentar con la dilución de una combinación de las distintas excretas para alimentar al biodigestor. Ya que la idea es poder construir un sistema de biodigestores que pueda tratar el estiércol producido por la finca, para lo cual el presente proyecto del biodigestor pasaría a ser piloto, pionero y biodigestor experimental en el proyecto del sistema de biodigestores.

Para los bovinos se pesó el grupo de animales y se seleccionaron los que estuvieron en un peso promedio comprendido entre 200 Kg a 300 Kg, debido a que este rango es el de mayor permanencia en la finca.

Se cuenta con una población por lo general de 100 bovinos, para lo cual se tomó una muestra de 10 animales que representan el 10 % de la población (ver Tabla 22) a los que se les hizo la caracterización y los estudios apartándolos en un corral para poder recolectar las excretas, como se ve la Tabla 24 de los resultados.

Para el caso de los ovinos, se seleccionaron aleatoriamente un grupo de diez animales y se marcaron con un aerosol de color rojo de modo que pudiesen ser identificados, posteriormente se pesaron y apartaron.

Los ovinos o carneros, tienen una población de 200 animales en la finca, para el estudio se tomaron un grupo o muestra de 10 animales, los cuales fueron aislados y caracterizadas sus excretas. Estos representan el 5 % de la población, como se puede ver en la Tabla 18 de los resultados.

El registro de las excretas se encuentra en la Tabla 20 de los resultados.

Las Imágenes de la 20 a la 25, muestran el pesaje, selección y aislamiento de las muestras poblacionales de los bovinos y los ovinos, ver en el anexo 1.

Recolección y pesaje de las excretas

Materiales y equipos

- Palas
- Baldes
- Palustre
- Rastillo
- Bascula
- Cuaderno de notas
- Lapicero
- Calculadora
- Botas de PVC
- Guantes de PBD
- Tapabocas

En lo que respecta a los cerdos, la recolección y el pesaje se hizo durante 7 días de jueves a miércoles, tres veces al día, una en la mañana de entre las 6: 50 am y 7:00 am, otra antes de mediodía entre las 11:00 am y 11:20 am y una en la tarde entre 4:00 pm y 4:30 pm como se puede apreciar en la Tabla 16 de los resultados.

Se escogieron estos horarios porque son los que la finca tiene establecidos para hacer la limpieza de los establos de los porcinos, por lo que era necesario hacerlo antes para que no se perdiera la muestra y que esta sea lo más representativa posible. La recolección se hizo de acuerdo a cada grupo según su edad como se puede apreciar en la Imagen 28 (A,B y C) que se encuentra en el anexo 2.

Como primera medida se entraba al establo ya con los elementos de protección personal puestos (guantes de PBD, botas de PVC y tapabocas), posteriormente se procedía a recoger y pesar de manera separada cada grupo de animales de acuerdo a cada una de sus edades, ya que así mismo se encontraban organizados en los establo (adultos, levante y cebo y precebo), la recolección de las excretas se hacía con la ayuda de una pala y un tanque, luego de recogerlas en el tanque se pesaban en la báscula y se registraba el peso en un cuaderno de notas. Las Imágenes 29 (A, B y C) y la Imagen 30, muestran que según su edad el estiércol de los cerdos presenta características distintas, así como las cantidades producidas ver en el anexo 2.

En el caso de los bovinos y ovinos la recolección se hacía de manera más minuciosa ya que los pisos de los establos no eran lisos y las hojas y ramas provenientes de los árboles que dan sombra en estas áreas dificultaban la recolección.

La recolección y pesaje de los bovinos se realizó durante 7 días de jueves a miércoles una vez al día. Para la recolección de estas excretas primero se entraba al establo donde se encontraban los animales seleccionados y se realizaba la recolección de las excretas que se encontraban en grandes volúmenes con ayuda de la pala, posteriormente con ayuda del palustre se extraía el material que se

encontraba en las hendiduras del piso y se hacía un barrido con el rastrillo para lograr una recolección más completa, luego se separaban las hojas del material, se pesaba en la báscula y se registraba en el cuaderno de notas.

La recolección se efectuó cada día a las 3:00 pm aproximadamente, que es el horario en que los bovinos salen de los corrales al pastoreo, donde pasan toda la noche y son recogidos en la mañana aproximadamente a las 6:00 am.

Para la recolección de estas excretas primero se entraba al establo donde estaban los animales seleccionados y se realizaba la recolección de las excretas que se encontraban en grandes volúmenes con ayuda de la pala, posteriormente con ayuda del palustre se extraía el material que se encontraba en las hendiduras del piso y se hacía un barrido con el rastrillo para lograr una recolección más completa, luego se separaban las hojas del material, se pesaba en la báscula y se registraba en el cuaderno de notas.

Para el caso de los ovinos la recolección y pesaje de los bovinos se realizó durante 7 días de jueves a miércoles una vez al día a las 9:00 de la mañana aproximadamente.

En las Imágenes 26 y 27, se aprecia el proceso de adecuación del lugar en el cual se aislaron los ovinos y el pesaje del estiércol de dichos animales. Ver en el anexo 1.

Los datos obtenidos en los 3 grupos de interés fueron organizados en Tablas para facilitar su interpretación, la cual se encuentra en los resultados. En el anexo 3 se aprecia el modelo empleado para cada Tabla de recolección de datos.

5.5.3. Etapa 3. Determinación las condiciones técnico – operativas necesarias para el diseño óptimo del biodigestor.

5.5.3.1. Determinación de los parámetros necesarios para el funcionamiento óptimo del biodigestor.

Basado en la revisión bibliográfica y la experiencia en campo se determinaron las condiciones óptimas para que funcione correctamente el biodigestor y se den así los resultados esperados. Para ello se tuvieron en cuenta parámetros como la Temperatura, el Tiempo de retención, la Mezcla de carga diaria, Carga organica disponible y Selección del tipo de biodigestión.

Temperatura

La temperatura es uno de los factores más determinantes a la hora de diseñar el biodigestor, ya que las bacterias metalogénicas que son las encargadas de digerir la materia orgánica y transformarla en los subproductos del proceso que se da al interior del biodigestor (biogás, y biofertilizante), son afectadas por la temperatura, el proceso de digestión de la materia orgánica guarda una relación inversamente proporcional a la temperatura por lo que a menor temperatura el proceso de digestión es más lento y necesita más tiempo para poder ser digerida y a mayor temperatura el proceso es más rápido por lo que no necesita menos tiempo para que la materia orgánica sea digerida por lo cual el tiempo de retención en el biodigestor es menor.

Tiempo de retención

El tiempo de retención es lo que tardara nuestra carga en el biodigestor. Este tiempo de retención varía en función de la temperatura del lugar donde se ha de construir el biodigestor, ya que a mayor temperatura se favorece el proceso de degradación de la materia orgánica por parte de las bacterias metano génicas, por lo que cuando la temperatura es más alta el proceso es más rápido y el tiempo de retención es menor, por el contrario si la temperatura es baja, el tiempo de retención es mayor

ya que las bacterias necesitan de más tiempo para degradar la materia orgánica . Según la asociación de poricultores de Colombia para nuestro caso el tiempo de retención es de 15 días al encontrarse en un rango de temperatura de 30-38 °C.

Estimación de la carga disponible

El biodigestor se puede cargar con diferentes tipos de materia orgánica y de diversos orígenes, teniendo en cuenta que su tiempo de descomposición no sea muy alto, o que lo que se ingrese no vaya a dañar el biodigestor. En nuestro caso la materia orgánica con la que se cargara el biodigestor es el estiércol de los animales de la finca, teniendo como principal el del cerdo.

La bibliografía nos muestra una referencia de cuánto puede producir de estiércol un animal de acuerdo a su peso y qué características tiene este en los subproductos del proceso de biodigestión como lo podemos apreciar en la Tabla 13.

Tabla 13. Características del estiércol según su origen

Origen del estiércol	kg de estiércol fresco diario producido por cada 100 kg de peso del animal	Características cualitativas
Cerdo	4	Produce mucho biogás, Biol muy ácido, Digestión demora más que para el estiércol de vaca (9)
Vacuno	8	Estiércol equilibrado Cada animal produce mucho estiércol: más fácil recogerlo Proporción de CH ₄ en el biogás: 45-55% (10)
Caprino, ovino	4	
Conejo, cuy	3	Produce biogás con gran proporción de CH ₄ (60-70%) (10) Se recomienda preparar compost con el estiércol para que sea más fácil de utilizar
Equino	7	
Humano adulto	0.4 kg por adulto	Produce mucho biogás Biol muy ácido y con coliformes
Humano niño	0.2 kg por niño	Produce mucho biogás Biol muy ácido y con coliformes

Fuente: Astrid Forget, 2011

Carga de mezcla

La carga de mezcla es lo que va a entrar al biodigestor y está compuesta estiércol y agua. Las proporciones en que estas deben ser ingresadas son en 1:4 (una parte de estiércol por cuatro de agua) Según Herrero 2019 y Forget 2011 a excepción del ganado que es 1:3 (una parte de estiércol por tres de agua), ya que estos contienen más humedad en las excretas. Pero para nuestro caso que es el de los cerdos se toma la relación 1:4, esto es según la bibliografía existente y algunos manuales de construcción y diseño de biodigestores en otros países. Esta carga debe ser previamente mezclada antes de ingresar al biodigestor, para ello la finca cuenta con un pozo estercolero que a través de unas aspas mezcla el estiércol con agua.

El suero de la leche de la vaca está dando muy buenos resultados en la producción de biogás, y si es posible, se puede sustituir parte del agua a introducir diariamente por los mismos litros de suero de vaca diariamente (Jaime Martí Herrero, 2015).

Selección del tipo de biodigestión y esquema del sistema.

El tipo de biodigestor que se escogió fue el tubular con geo membrana o de plástico tubular, debido a que es el que mejor se ajusta a lo que se quiere lograr, además la facilidad de construcción para la empresa y los bajos costos. El grafico 3 muestra el modelo escogido.

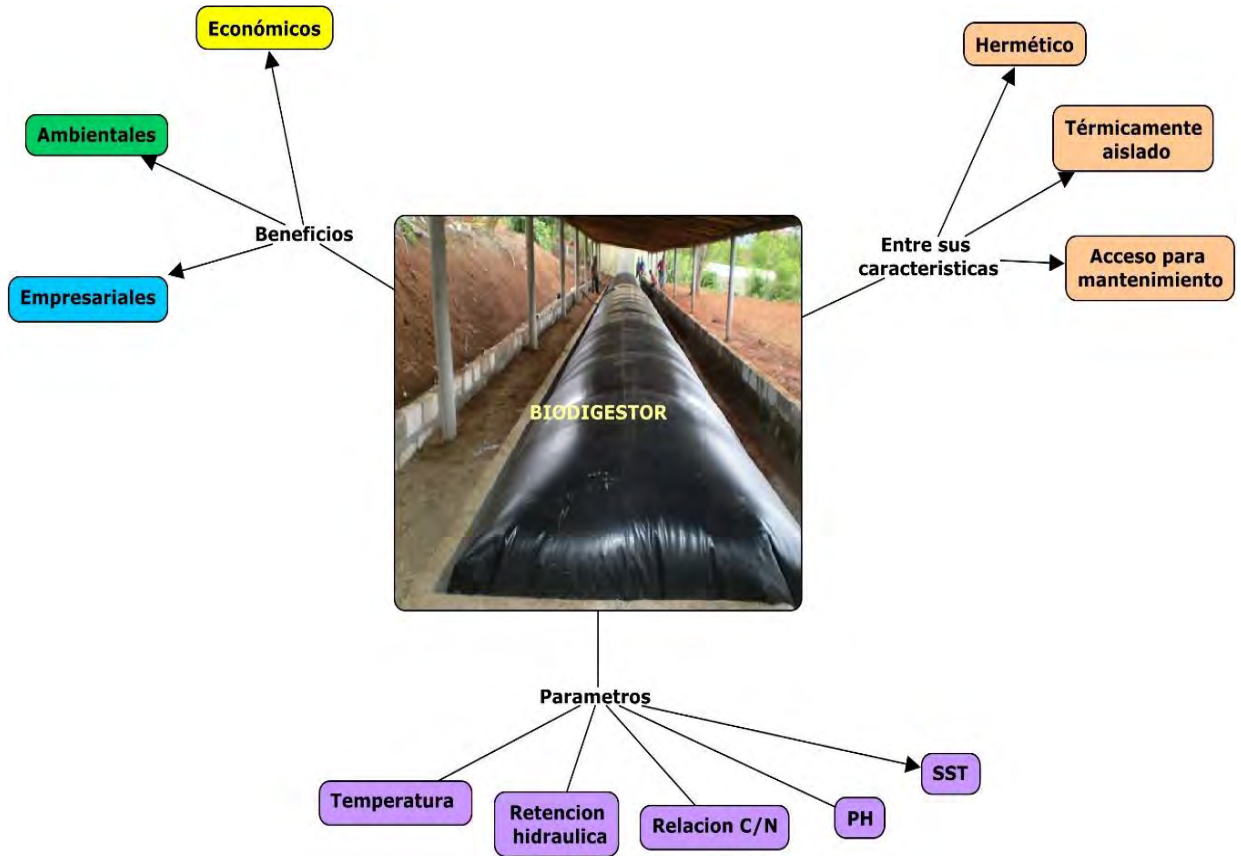


Gráfico 3. Biodigestor y sus características

Fuente: Autores

5.5.3.2. Cálculo del volumen que requerirá el biodigestor para la producción de la energía deseada.

Una vez determinados los parámetros necesarios para el funcionamiento del biodigestor y conociendo la carga orgánica capaz de producir la finca, se procedió al dimensionamiento del biodigestor, su capacidad o volumen, estructura y generalidades del proceso y analizando diferentes alternativas en busca de la que resulte óptima a las expectativas y necesidades de la investigación.

Volumen líquido

Para que la carga diaria de entrada pueda ser digerida por las bacterias, es necesario que esté en el interior del biodigestor tanto tiempo como el tiempo de retención estimado (según la temperatura del lugar). Ya que el biodigestor tubular es de flujo continuo, el volumen líquido será el resultado de multiplicar el tiempo de retención por la carga diaria. De esta manera, si imaginamos el biodigestor vacío inicialmente y comenzamos a cargarlo de forma diaria, tardará tantos días como tiempo de retención se hayan considerado en llenarse.

De esta manera el “tiempo de retención mas 1 día”, al cargar el biodigestor, se desbordará expulsando la carga del primer día ya digerida.

El volumen líquido de un biodigestor será el resultado de multiplicar la mezcla diaria de carga por el tiempo de retención. (Jaime Martí-Herrero, 2015)

Volumen gaseoso

Dentro del biodigestor, por estar en una situación anaerobia (en ausencia de oxígeno) se va a producir biogás, y éste se acumulará en la parte superior. Al ser el biodigestor de polietileno tubular se formará una campana de biogás que sirve para almacenar gas y darle forma al biodigestor. El volumen gaseoso equivale a un tercio del volumen líquido. (Jaime Martí-Herrero, 2015)

Calculo del volumen del Biodigestor

Para el cálculo del volumen que requerirá el biodigestor para la producción de la energía deseada se realizó el siguiente procedimiento siguiendo la guía de diseño de Herrero.

El volumen total del biodigestor ha de albergar una parte líquida y otra gaseosa. Normalmente se da un espacio del 75% del volumen total a la fase líquida, y del 25% restante a la fase gaseosa.

El volumen total es la suma del volumen gaseoso y el volumen líquido (Jaime Martí Herrero, 2015).

Volumen liquido

El volumen líquido V_L del reactor, o sea el volumen del líquido presente en el reactor, es el que determina el volumen total del reactor, ya que depende del tiempo de retención y de la carga diaria (expresada en L o m³):

$$V_L = \text{Carga diaria} * \text{Tiempo de retención} \quad (1.1)$$

Volumen gaseoso

El biogás producido durante el proceso de digestión se acumula en la parte superior del biodigestor, donde va formar una campana de biogás. Se suele considerar un volumen gaseoso V_G (volumen de la campana de gas) de un tercio del volumen líquido:

$$V_G = \frac{V_L}{3} \quad (1.2)$$

Volumen Total

Entonces el volumen total V_T :

$$V_T = V_L + V_G = \frac{4}{3} * V_L = 1.33 * V_L \quad (1.3)$$

Estas fórmulas pueden ser aplicadas en diferentes métodos de diseño, siendo siempre conocido el tiempo de retención, determinado por la ubicación.



Otra forma de verlo sería así, según la guía de diseño y manual de construcción de Jaime Martí Herrero:

El volumen total es la suma del volumen gaseoso y el volumen líquido.

$$V_T = V_G + V_L \quad (1.4)$$

Y por tanto el volumen líquido es tres cuartas partes del total:

$$V_L = V_T \times 0.75 \quad (1.5)$$

El volumen gaseoso es una cuarta parte del total:

$$V_G = V_T \times 0.25 \quad (1.6)$$

Y el volumen gaseoso será igual a una tercera parte del volumen líquido:

$$V_G = V_L \div 3 \quad (1.7)$$

5.5.3.3. Cálculo de la producción de Biogás diaria.

Producción de biogás

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

Existen diferentes métodos para estimar la producción de biogás de un biodigestor según su carga diaria de estiércol, pero aquí se presenta los valores estandarizados de acuerdo a los estudios realizados, para realizar este cálculo de forma sencilla.

En general, el estiércol fresco tiene una proporción de 17% de sólidos totales (puede variar entre 13 y 20%). En cuanto a los sólidos volátiles, representan aproximadamente el 77% de los sólidos totales, según la guía de diseño de biodigestores de Herrero.

Entonces, conociendo la cantidad de estiércol introducido en el biodigestor, es posible estimar la

Calculo de la producción de biogás:

Sean P_{bg} es la producción diaria de biogás generada por el biodigestor, en m^3 , y $f_{p_{gen}}$ el factor general de producción.

$$P_{bg} = f_{p_{gen}} * SV \quad (2.1)$$

$$SV = 0.77 * ST \quad (2.2)$$

Tenemos:

$$p_{bg} = 0,77 * f_{p_{gen}} * ST \quad (2.3)$$

Además, como hay 17% de ST en el estiércol fresco, si “*M_{es}*” el peso (en kg) de estiércol introducido diariamente en el biodigestor:

$$pbg = 0,77 * fpgen * 0,17 * Mes = 0,131 fpgen * Mes \quad (2.4)$$

En el caso del estiércol de cerdo, tenemos entonces:

$$pbg = 0,131 * 0,39 * Mes = 0,0511 * Mes \quad (2.5)$$

Y en el caso del estiércol de vacuno:

$$pbg = 0,131 * 0,27 * Mes = 0,0353 * Mes \quad (2.6)$$

5.5.3.4. Tabla de dimensionamiento del biodigestor.

Basándonos en la Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares de Jaime Martí Herrero y en el Manual de diseño y de difusión de biodigestores familiares con enfoque en biodigestores tubulares de Astrid Forget, se construyó una Tabla estandarizada en Excel para calcular lo necesario para dimensionar un biodigestor. Para nuestro caso, se quieren construir un sistema compuesto de dos biodigestores para tratar los 200 cerdos, el biodigestor a construir en el presente proyecto tratara las excretas de 100 cerdos ver el la Tabla 34 en los resultados. A continuación su dinámica de uso.

Dinámica de operación de la Tabla de dimensionamiento del biodigestor

Lo primero que se debe tener en cuenta es que la bibliografía nos muestra que por cada 100 kg de peso vivo de cerdo estaría generando 4 kg de estiércol al día según la Tabla 13. En este proyecto se realizó una caracterización y determinación de la cantidad de carga orgánica capaz de producirse por estos animales, por lo que el resultado de lo hecho en campo se tomó para que la información sea más ajustada a la realidad del escenario de la Arcadia.

Las Imágenes de la 13 a la 19 muestran los captures del paso a paso para el desarrollo de la Tabla 34 que se encuentra en los resultados.

Para esto se hizo una relación, si en el momento de la caracterización había 59 cerdos en sus distintas etapas de crecimiento y produjeron 46,39 kg de estiércol entonces cuantos kg producirían los 100 cerdos a los que esta dimensionado el biodigestor.

Animal	Cantidad	Kg de peso	Kg de estiércol	Carga de mezcla diaria estiércol/agua
Cerdo	1	100	4	1:4
	59	1965,68	78,63	393,14
según lo experimentado		59	46,39	
		100	= $(D9 * C10) / C9$	

Imagen 13. Cálculo de la cantidad de estiércol producido por los 100 cerdos
Fuente: Autores

El resultado obtenido sería los kg de estiércol producido por los 100 cerdos.

El siguiente paso es determinar la carga de mezcla diaria estiércol/agua el manual de Herrero, nos dice que para el estiércol de cerdo es una relación 1:4, es decir una parte de estiércol por cuatro de agua. Para ello entonces multiplicamos la cantidad de estiércol por cinco (5) que abarca la parte de estiércol y las cuatro de agua.

Kg de estiércol	Carga de mezcla diaria estiércol/agua
4	1:4
78,63	= $D8 * 5$
46,39	
78,63	

Imagen 14. Cálculo de la carga de mezcla diaria estiércol/agua
Fuente: Autores

Se procede a determinar el volumen del biodigestor, este va a depender la carga de mezcla diaria de estiércol/agua y el tiempo de retención que es el tiempo que tardara la carga en el biodigestor antes de salir, este último depende de la temperatura en nuestro caso al ser un trópico con temperaturas mayores a 24 °C, según el manual el tiempo de retención puede ir de 15-20 días y si se quiere mejorar las condiciones del biofertilizante se puede llevar hasta 25 días. Para este biodigestor se escogió un tiempo de retención de 22 días.

Para determinar el volumen liquido lo que tenemos que hacer es multiplicar los 22 días del tiempo de retención por la carga de mezcla diaria.

Carga de mezcla diaria estiércol/agua	Liquido	Gas	Total	Para 9T entre 30-35 9C
1:4	75%	25%	100%	22
393,14	=E8*7	2882,99	11531,98	15
	8,65	2,88	11,53	

Imagen 15. Cálculo del volumen liquido del biodigestor
Fuente: Autores

Este ocupará un 75% del volumen total del biodigestor, el 25 % restante será para la acumulación del biogás. Por lo que, para determinar el volumen de gas, lo que tenemos que hacer es dividir el volumen liquido entre tres (3) que es la tercera parte que falta.

Volumen total del biodigestor		
Liquido	Gas	Total
75%	25%	100%
8648,98	=F8/3	11531,98
8,65	2,88	11,53

Imagen 16. Cálculo del volumen de gas del biodigestor
Fuente: Autores

El volumen total entonces será el volumen liquido más el volumen gaseoso.

Volumen total del biodigestor		
Liquido	Gas	Total
75%	25%	100%
8648,98	2882,99	=F8+G8
8,65	2,88	11,53

Imagen 17. Cálculo del volumen total del biodigestor.
Fuente: Autores

Para calcular el volumen de biogás producido, se multiplica la cantidad en kg de estiércol por la constante de producción de biogás, para el caso de los cerdos que es de 0,051 si se quiere expresar en m³, esto según el manual de Herrera. El resultado de esta constante de producción proviene de los sólidos totales y volátiles.

Kg de estiércol	Carga de mezcla diaria estiércol/agua	Volumen total del biodigestor			Tiempo de retencion Para 2T entre 30-35 °C	Volumen de biogas (cte de produccion)		Equivalenci a energetica 1 m3 de biogas genera kw/h	Produccion del fertilizante Este sera igual a la carga de entrada solo que ya digerido
		Liquido	Gas	Total		Litros de biogas al dia por kg de estiércol	m3 de biogas al dia por kg de		
4	1:4	75%	25%	100%	22	51	0,051	2,2	1:4
78,63	393,14	8648,98	2882,99	11531,98	15	4009,98	=D8*K7	8,82	393,14
46,39		8,65	2,88	11,53					
78,63									

Imagen 18. Cálculo del volumen de biogás producido.
Fuente: Autores

La equivalencia energética o cuanto produciría de energía la cantidad de gas que se ha generado ya está también estandarizada la bibliografía nos muestra que 1 m3 de biogás equivale a 2,2 kw/h. por lo que para conocer cuanto generaría de energía basta con multiplicar la cantidad de biogás (4,01) por la equivalencia (2,2).

La producción de biofertilizante debió al principio de conservación hidráulica todo lo que entra es lo que sale, por lo que sería igual a la carga de mezcla diaria de estiércol/agua.

Tiempo de retencion Para 2T entre 30-35 °C	Volumen de biogas (cte de produccion)		Equivalenci a energetica 1 m3 de biogas genera kw/h	Produccion del fertilizante Este sera igual a la carga de entrada solo que ya digerido
	Litros de biogas al dia por kg de estiércol	m3 de biogas al dia por kg de		
22	51	0,051	2,2	1:4
15	4009,98	4,01	=K8*L7	393,14

Imagen 19. Cálculo de la energía a producirse.
Fuente: Autores

5.5.3.5. Diseño del biodigestor y sus componentes.

Establecidos los parámetros y calculado el volumen, se diseñaron las diferentes partes o componentes que comprende el sistema de biodigestión, como la zanja, adquisición del plástico tubular, la caja de registro, la entrada y la salida del biodigestor, las mangueras conductoras del biogás, así como el manómetro que mediría la presión, la trampa de agua, el filtro y el almacenamiento del biogás.

Además de dimensionar el biodigestor, se debe dimensionar la zanja en la cual se va a depositar el biodigestor, para ello se debe tener en cuenta que las dimensiones de esta estarán en función del ancho del rollo del plástico, el cual tiene ciertas especificaciones de fabricación ver en los resultados.

Conducción del biogas

La conducción del gas sigue hasta una **trampa de agua** que nos permita purgar el agua que se genera por la condensación que se da en el la tubería por el vapor de agua, esta se pone en los lugares más bajos de la tubería para que por gravedad se acumule allí el agua y periódicamente pueda ser purgado para que no obstruya el paso del gas. Esta trampa puede constar de un tapón roscado o de una válvula de paso para ejercer esa función del purgar el agua periódicamente como se ve en el anexo 6 en la Imagen 46 (a y b).

Seguidamente de la Tampa de agua se instaló el filtro de ácido sulfhídrico, este consiste en una “Y” sanitaria de 4 pulgadas con reducciones a pulgada y media en sus dos extremos y en el otro un tapón roscado, este se llenó de viruta de hierro el cual reacciona con el gas al pasar por él, retirando los sulfuros que son corrosivos con la parte mecánicas de los motores y además son los que producen el mal olor. El tapón roscado sirve para introducir la viruta de hierro y remplazarla al hacer mantenimiento, en los extremos del filtro se colocaron uniones roscadas en caso de que se requiera retirar el filtro por mantenimiento o reemplazarlo. La idea es tener más de un filtro para que sea más efectivo el proceso.

La Imagen 47 (a,b y c) en el anexo 6 muestra la elaboración del filtro.

Posterior al filtro sigue la conducción hasta el punto donde se ha de almacenar el biogás, el cual debe estar debidamente protegido y cercano al punto de uso, el gas se almacena en una bolsa plástica del mismo material del biodigestor.

En el anexo 6 la Imagen 48 muestra la conducción del gas hacia el lugar donde se tiene pensado almacenarse.

5.5.4. Etapa 4. Montaje y puesta en marcha del biodigestor piloto.

5.5.4.1. *Elaboración de la zanja portadora del biodigestor y armado del biodigestor.*

El biodigestor necesita de una zanja en donde este pueda ser instalado de acuerdo a su volumen, se realizó la construcción de dicha zanja con las dimensiones adecuadas para el biodigestor. El procedimiento se dio de acuerdo al Grafico 4



Gráfico 4. Procedimiento de la elaboración de la zanja para el biodigestor
Fuente: Autores

La longitud de la zanja queda determinada por la longitud del biodigestor y la profundidad y ancho de la misma dependerá del ancho de rollo empleado en la construcción del biodigestor.

Para ello se fue a la finca se escogió un lugar estratégico, cerca de las porquerizas, retirado del flujo de personas o animales que pudieran afectar la operación del

biodigestor, se hizo el trazado del lugar y se tomaron las medidas para poder hacer la excavación como se ve en la Imagen 31 (a,b,c y d) en el anexo 4

Luego de haber trazado las medidas de la zanja, se procedió a hacer la excavación con la ayuda de una máquina retroexcavadora. La Imagen 32 (a,b,c,d,e y f) muestra el proceso de elaboración de la zanja ver en el anexo 4

Una vez hecha la zanja, se procedió a recubrirla en concreto para evitar el contacto directo con el suelo como podemos ver en el anexo 4 en la Imagen 33 (a y b), protegiendo el plástico, además de ser un material perdurable. Se hizo una pequeña elevación o muro de tal forma que no haya inconvenientes con las aguas lluvias, que puedan afectar al biodigestor.

Luego de tener la zanja revestida de concreto, se instaló la cubierta y la estructura metálica que le daría protección al biodigestor. Esta puede ser recubierta con láminas de zinc o un plástico para proteger de la lluvia y la incidencia directa de los rayos del sol. El cercado se puede hacer con anjeo para evitar que animales entren y dañen el biodigestor o que al quien caiga en él, en este caso se hizo todo el encerramiento con láminas de zinc. Cabe destacar que las laminas empleadas en su mayoría son material sobrante de las obras hechas por la empresa por lo que también se esta reciclando.

La Imagen 34 en el anexo 4 (desde la “a” hasta la “f”) muestra la estructura de la cubierta construida para proteger el biodigestor.

Posteriormente se instaló una cubierta de geotextil sobre la zanja para una mayor protección para ello se usó un pegante aplicándolo sobre las paredes y piso de la zanja y se pega el geotextil frotándolo de modo que pegue sin arrugas, sin embargo se optó por recubrirlo con un material esponjoso que le diera mayor protección ante la fricción del plástico con las paredes de la zanja.

En el anexo 4, La Imagen 35 (desde la “a” hasta la “e”) muestra como fue recubierta la zanja con el geotextil, de tal forma que el plástico no rozara con la superficie

corrugada del concreto pudiendo dañarse el plástico. Cabe destacar que además de esto se utilizó un material espumoso en los bordes para mayor protección del plástico

5.5.4.2. *Instalación del plástico tubular en la zanja.*

Con la zanja elaborada y recubierta, se procede a introducir el plástico tubular dentro de la zanja y a sellarlo en la entrada y la salida. Para ello se siguieron los pasos contemplados los Grafico 5 y 6.



Gráfico 5. Procedimiento para la instalación del plástico tubular.
Fuente: Autores



Se introdujo con cuidado el plástico en la mitad de la zanja y se extiende hacia los extremos donde es amarrado.



Los extremos (entrada y salida), fueron sellados y con un soplador se infló el plástico acomodándolo de tal forma que no quedarán pliegues o arrugas.



Una vez inflado se revisó que no habiese fugas, pliegues o arrugas y se dejó un tiempo de prueba.



Se le hizo un encerramiento que pueda protegerlo de animales u objetos que lo puedan dañar así como de personas que puedan caer en el.



Gráfico 6. Colocación del plástico en la zanja.

Fuente: Autores

Para la instalación del plástico tubular, extendió el plástico con mucho cuidado sobre una superficie plana, limpia y libre de cualquier objeto que pueda dañar el plástico como se ve en la Imagen 36. Ver anexo 5.

Se corto dos secciones del mismo tamaño, estas deben tener el mismo largo de la zanja más uno o dos metros adicionales a cada extremo.

Se procedió a introducir un plástico dentro del otro, para lo cual una persona se introdujo con cuidado y libre de cualquier objeto que pudiera dañar el plástico, trazando con un marcador la mitad en los extremos que servirán como línea guía en los tubos de entrada y salida del biodigestor para ser amarrados posteriormente. Del mismo modo se señaló el centro de los dos plásticos por donde habría de salir la conducción del biogás. La Imagen 37 (a y b) en el anexo 5 ilustra el como se hizo la doble manga de plástico.

Para la salida del biogás, se tomó una lámina de aluminio cortando arandelas circulares, y empaques de caucho de neumático de camión con el fin de que sirvan

como un sello que evite la salida del biogás, estas fueron puestas por dentro y por fuera de los plásticos, haciendo uso de un adaptador macho y uno hembra de 1 1/2 para sujetarse y formar la salida del biogás. La Imagen 38 muestra el proceso de adaptación de la salida del biogás. Ver anexo 5.

Para ello una persona se introdujo dentro de los plásticos con el adaptador macho, el empaque y la arandela de aluminio, haciendo presión por dentro en la señalización echa en el plástico que marca el centro como se ve en la Imagen 38 en el anexo 5. Otra persona por la parte de afuera corta con un bisturí con mucho cuidado de tal manera que salga únicamente la superficie roscada del adaptador. Una vez hecho esto, se enrosca el adaptador hembra con el empaque y la arandela de aluminio por fuera y se aprietan con fuerza.

Se hizo una prueba, para verificar que no hubiese fugas en el plástico, por lo que se inflo con mucho cuidado y se inspecciono en búsqueda de fugas, como se aprecia en la Imagen 39. Ver anexo 5

Posteriormente se dobla el plástico con cuidado y se lleva hacia la zanja. Se introduce colocando la salida del gas en el centro y extendiendo los extremos hacia los tubos de entrada y salida del biodigestor, colocando la marca hecha en el centro del tubo y haciendo dobleces en forma de acordeón a los dos lados de los tubos y se amarran con fuerza con tiras de neumático de motocicleta previamente cortados con grosor de unos cuatro centímetros aproximadamente. En el anexo 5 en la Imagen 40 (desde “a” hasta “e”) se aprecia el proceso de la instalación.

Una vez amarrado el plástico a los tubos, se sellaron los extremos y se infló el biodigestor con un compresor de aire, revisando que no hubiera fugas, arrugas o pliegues. Además de esto se instaló una especie de ruana de neumático más liviano en la salida del gas para evitar posibles fugas en las hendidias de las arandelas de aluminio y el neumático, como se ve en la Imagen 41 (a,b,c y d) del anexo 5.

La zanja fue revestida por un material esponjoso como muestra la Imagen 42 en el anexo 5, para proteger el plástico y evitar perforaciones o daños por la fricción con las paredes de concreto de la zanja.

5.5.4.3. Implementación de las redes de conducción del biogás y almacenamiento del biofertilizante y demás componentes del sistema.

Se procedió a instalar las demás partes que conforman el sistema de biodigestión, las redes de conducción del gas con sus implementos, el almacenamiento del biofertilizante, entre otros, como se aprecia en el Grafico 7.



Gráfico 7. Instalación de las Redes de conducción del biogás.

Fuente: Autores

Se procedió a instalar las demás partes que conforman el sistema de biodigestión, las redes de conducción del gas con sus implementos, el almacenamiento del biofertilizante, entre otros.

Para esto se colocó una manguera de polietileno flexible de pulgada y media en la salida del gas, que nos permita que dicha manguera suba o baje cuando el biodigestor se infle o se desinfe sin que haya riesgo de que se ejerza tensión sobre la salida del gas y se rompa el plástico, esta daría inicio a la conducción del biogás. En el anexo 6, la Imagen 43 (a,b,c y d) muestra la instalación de la manguera flexible de polietileno y su comportamiento al inflarse y desinflarse el plástico.

En la conexión de la manguera de polietileno con la salida del biogás se implementó una válvula o llave de paso para tener control del flujo del gas y una unión universal en caso de que se necesite desmantelar el accesorio, hacer mantenimiento, etc.

La manguera lleva la conducción hasta una derivación en “T” de pulgada y media, ya que se tiene pensado un segundo biodigestor de forma que funcionen de manera conjunta o independiente, por lo que las válvulas puestas en dicha derivación nos darían la opción de habilitar a voluntad el que se requiera o ya sea que funcionen los dos al tiempo, así mismo facilita el mantenimiento de ambas unidades sin interrumpir el funcionamiento de la otra. La instalación de la derivación en T, con sus válvulas se puede apreciar en la Imagen 44 (a,b,c y d) en el anexo 6.

La conducción del gas se hace por tubería de PVC de pulgada y media hasta una T con una reducción de pulgada y media a media pulgada, en donde se colocara un tubo de PVC de media pulga el cual estará sumergido entre 10 a 15 cm en un recipiente con agua, esto es lo que llamamos **válvula de alivio de presión o válvula de seguridad**, esta funciona con un sello hidráulico en condiciones normales impidiendo la salida del gas, pero cuando hay sobrepresiones en el sistema, es por este medio que se libera la sobrepresión permitiendo salir el gas burbujeando en el agua. Es muy importante supervisar que siempre el recipiente contenga agua. La valvula de alivio se muestra en la Imagen 45 en el anexo 6.

Posteriormente la trampa de agua y el filtro de sulfuros ver Imagen 46 a la 48 en el anexo 6

5.5.4.4. Puesta en marcha del biodigestor

Con todos los cálculos hechos, los parámetros establecidos y después de haber dimensionando y construido los diferentes componentes del biodigestor, se puso en marcha ingresando la primera mezcla de carga.

Debido a que no se tenía inicialmente la cantidad de cerdos que se proyectaba, se decidió hacer una mezcla entre las excretas del ganado y la de los cerdos para complementar. Para ello se hizo la recolección del estiércol fresco de ganado y se llevó al tanque estercolero para ser diluido con el estiércol del cerdo hasta completar la carga de estiércol que se necesita para que el biodigestor sea cargado.

El estiércol del ganado se recolecto de forma manual, con pala en una carretilla y se llevó hasta el tanque estercolero, mientras que el de los cerdos va por tubería hasta el tanque estercolero por medio del lavado de los corrales.

En el anexo 7 La Imagen 49 (a) muestra la recolección del estiércol del ganado, la cual es manual y (b y c) muestra la recolección por lavado de los cerdos.

El estiércol se diluyo en el tanque estercolero retirando el material flotante con un colador, como se muestra en la Imagen 50 del anexo 7. Además el tanque contiene un filtro que impide pasar material de mayor tamaño por la tubería que va hacia el tanque de distribución por lo que pasa más diluido, en la Imagen 51 del anexo 7 se aprecia el filtro.

En la entrada y salida del biodigestor se optó por colocarlo de forma directa para evitar que en las cajillas de entrada o salida se puedan generar agentes patógenos o vectores que puedan ser focos de infección, esto se pudo debido a que se cuenta con dos tanques previos a la entrada (el estercolero y el de distribución) en los que se puede retirar todo material flotante o no diluido que pueda ocasionar daños al biodigestor, de manera que solo ingresa al sistema la materia diluida. El montaje de la adaptación se contempla en el anexo 7 en la Imagen 57 (a) la entrada y (b) la salida del biodigestor.

Este sistema nos permite además conocer el nivel de agua o dilución que tiene el biodigestor para no excederse del volumen líquido y dejar el volumen destinado al gas. Cada uno tiene su válvula para controlar la entrada y la salida al sistema, así como una derivación hacia arriba para poder observar el comportamiento de la entrada de la carga orgánica diluida y la salida del biofertilizante. A su vez, tanto el sistema de la caja de entrada con el de salida contiene una unión universal que permita retirar, reemplazar o hacer mantenimiento.

Dilución en el tanque estercolero

Tanto el estiércol de los cerdos, recolectado por tubería como el estiércol del ganado recolectado de forma manual son llevados al tanque estercolero para hacer la dilución. En la Imagen 52 del anexo 7, se aprecia el tanque estercolero de la finca La Arcadia.

Es importante agitar o revolver bien para que se diluya el material orgánico lo mejor posible, retirar el material suspendido y el que no se haya disuelto por medio de un colador o malla. En el anexo 7, en la Imagen 55 se observa la remoción de materia flotante que se realiza en el tanque estercolero.

Así mismo, el tanque estercolero cuenta con un filtro para garantizar que el material que pase hacia la siguiente etapa sea el diluido, esto se hace para que no pasen materiales que luego puedan causar algún daño al biodigestor o que generen muchos sedimentos en el mismo como se aprecia en la siguiente Imagen 51 del anexo 7.

Para conocer la dimensiones del tanque estercolero y hacer los respectivos cálculos de volúmenes para las diluciones tenemos que:

r = Radio

hT = Altura total

A = Área

V = Volumen



VL = volumen liquido del biodigestor

Entonces para calcular los volúmenes se procedio a realizar las siguientes operaciones:

Tanque estercolero

$$r = 1,18 \text{ m}$$

$$h_T = 0,85 \text{ m}$$

$$A = \pi \times r^2 \tag{3.1}$$

$$V = A \times h \tag{3.2}$$

Tanque de distribución

$$r = 0,70 \text{ m}$$

$$h_T = 0,85 \text{ m}$$

$$A = \pi \times r^2$$

$$V = A \times h$$

Volumen Liquido del Biodigestor

$$V_L = TR \times \text{carga diaria} \tag{3.3}$$

Para conocer la altura del tanque estercolero que nos daría el volumen de carga de mezcla diaria seria:

$$h = V / (\pi \times r^2) \tag{3.4}$$

La carga diaria “CD” sería, por tanto:

$$CD = \frac{VL}{TR} \quad (3.5)$$

Las Imágenes 53 y 54 en el anexo 7, muestran la adición de agua para diluir la mezcla.

Carga del biodigestor.

Una vez el material este diluido en el estercolero pasa a un tanque de distribución, en el cual se puede apreciar mejor la dilución, como se muestra en la Imagen 56 (a y b) del anexo 7.

En este tanque encontramos un segundo filtro como se aprecia en la Imagen 51 del anexo 7 y se debe remover el material suspendido.

De aquí el material diluido pasaría directamente al biodigestor por medio de tubería las cuales poseen unas válvulas para impedir el paso de la dilución en caso que se requiera. Una vez la carga de mezcla entre en el biodigestor, por la salida del mismo saldrá el biofertilizante en la misma proporción que la carga de mezcla que ingresa, ya que este volumen desplaza al que ya estaba dentro, el cual ya está digerido.

La Imagen 57 del anexo 7, muestra la entrada y la salida del biodigestor con sus respectivos accesorios.

5.5.4.5. *Determinación de la producción de energía en base a la bibliografía y el uso de ecuaciones.*

Con el biogás generado del proceso de biodigestión obtenido en el biodigestor piloto, a través de la bibliografía y los resultados experimentales, se determinó si la cantidad de biogás generada es suficiente para producir la energía deseada, esto a través de ecuaciones y datos estandarizados encontrados en las referencias bibliográficas, para ello nos basamos principalmente en el manual de difusión de Astrid y en la guía de diseño de Herrero.

5.5.5. *Etapa 5. Evaluación del comportamiento y la eficiencia del biodigestor y sus subproductos.*

En esta etapa se observó el comportamiento del biodigestor una vez construido y puesto en marcha, para así evaluar la eficiencia y la calidad de sus subproductos y ratificar que se cumplen las expectativas del proyecto logrando los objetivos de la investigación y los resultados esperados.

5.5.5.1. *Demostración de la eficiencia del biofertilizante por medio de pruebas de laboratorio.*

Con el biodigestor puesto en marcha y una vez generado el biogas y el biofertilizante, se tomaron muestras de la dilución del estiércol antes de entrar al biodigestor y en la salida del mismo y de esta manera determinar la eficiencia en el tratamiento y ver la calidad del biol. Las imágenes de la 58 a las 62 del anexo 8, evidencian la toma de las muestras.

Los puntos de muestreo fueron: El tanque estercolero ubicado antes de la entrada al biodigestor el cual se le denominó “Afluente” y la salida del biofertilizante con el nombre de “Efluente”. Se tomaron dos muestras en cada punto para ser llevadas al laboratorio. Los parámetros que se consideraron son el Nitrogeno total, debido que con el podemos obtener información sobre la parte nutricional del biofertilizante, la DBO₅ ya que con ella podemos conocer la eficiencia en el tratamiento en cuanto a remoción de carga orgánica y contaminante, los sólidos disueltos que es otro

parámetros que nos de información sobre la carga organica y la temperatura y el pH que nos permiten inferir mas sobre la estabilidad del Efluente..

Las Imágenes 58 (de la “a” hasta la “d”) y la 59, en el anexo 8, se refieren a la toma de muestra en el Afluente.

En las Imágenes 60 (a y b) y 61 del anexo 8, se aprecia la toma de muestra en el Efluente.

Las muestras fueron rotuladas, selladas y refrigeradas para ser llevadas la laboratorio como se muestra en la Imagen 62 del anexo 8.

Parámetros considerados en el examen de laboratorio

- **DBO5**
- **Nitrógeno total Kjeldahl**
- **pH**
- **Solidos disueltos**
- **Temperatura**

DBO₅

DBO₅ es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas e ir comprobando cual está siendo la eficacia del tratamiento depurador en una planta. (Nelson L. Nemerow, 2007.)

Para determinar la eficiencia en la remoción, tenemos la siguiente expresion:

$$Remocion \% = \frac{A - E}{A} \times 100$$

(5)

Donde “A” son los datos iniciales en este caso los del Afluente que corresponde a carga contaminante inicial y “E” son los datos finales en este caso los del Efluente que corresponde a la carga contaminante final.

Nitrogeno total Kjeldah

El nitrógeno total Kjeldahl consta del nitrógeno orgánico y el nitrógeno amoniacal.

Los efectos del nitrógeno, se constituyen en un contaminante para el ecosistema acuático, y generan un impacto negativo en las aguas residuales que comienzan por la reducción considerable del oxígeno en las capas superficiales, y acaban en la alteración de procesos naturales y riesgos a la salud humana y animal. El proceso biológico utilizado para eliminar el nitrógeno del agua básicamente se conforma por dos etapas bioquímicas, la nitrificación y la desnitrificación.

Durante la etapa de nitrificación, las aguas residuales se exponen a procesos de oxidación y transformación por medio de bacterias nitrificantes, en donde el amoníaco se convierte en nitrito y, posteriormente, en nitrato. Esta reacción produce un enlace con el resto del nitrógeno presente a través del carbono inorgánico utilizado. Sin embargo, en esta fase el nitrógeno aún no es eliminado. (Domos, 2019).

Las bacterias en este proceso son autótrofas y la reacción se realiza en condiciones aeróbicas. La importancia de este paso en el ciclo del nitrógeno es la conversión de amoníaco en nitrato, ya que el nitrato es la fuente primaria de nitrógeno presente en el suelo para la planta. Aunque el nitrato es tóxico para las plantas.

En la segunda etapa, el agua es sometida a una desnitrificación en la que el nitrato transforma el nitrógeno a un estado gaseoso, el cual por sus propiedades es

liberado a la atmósfera. Así, a este proceso en conjunto se le conoce como nitrificación de las aguas residuales (Domos, 2019).

Las bacterias son heterótrofos, y la acción se completa en condiciones anaeróbicas. Incluso la pequeña cantidad de oxígeno puede dificultar el proceso, pero existe la necesidad de carbono orgánico. La desnitrificación es útil para el tratamiento de aguas residuales, hábitats acuáticos.

pH.

En química, el pH es una escala numérica utilizada para especificar la acidez o alcalinidad de una solución acuosa. Es el logaritmo negativo en base 10 de la actividad del ion Hidrógeno. (Vasquez y Rojas, 2016).

5.5.6. Etapa 6. Desarrollo del informe final

Con el cumplimiento de las etapas anteriormente descrita se procede a la elaboración del informe final el cual presentara los resultados de la investigación, dimensionamiento del sistema de biodigestión y generación de energía a partir del biogás, planos, manual correspondiente de operación, entre otros.

6. RESULTADOS

6.1. ETAPA 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y VISITAS DE CAMPO.

La base referencial que reúne información sobre el tema, en cuanto al diseño, construcción, y operación, de los biodigestores, clasificada por los temas, autores y fechas de publicación, se encuentra en el anexo 9.

6.2. ETAPA 2. CARACTERIZACIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA PROVENIENTE DEL ESTIÉRCOL DE LOS PORCINOS, LOS OVINOS Y LOS BOVINOS.

6.2.1. Determinación la carga orgánica capaz de producirse por el estiércol de los porcinos, los ovinos y el ganado bovino en la finca La Arcadia.

Registro de la carga orgánica producida por el estiércol de los 200 porcinos, los 200 ovinos y los 100 bovinos en la finca La Arcadia, así como la incidencia de cada uno en la generación del biogás.

Carga orgánica del estiércol de los porcinos.

La Tabla 14 trata sobre la población proyectada de cerdos, la muestra que se tomó para la carecterizacion y su porcentaje con respecto a la población total.

Tabla 14. población proyectada y muestra tomada

Población	
Total, proyectado	200
Muestra de Arranque	59
Representa en porcentaje (%)	29,5

Fuente: Autores

Los cerdos se encuentran en diferentes etapas de crecimientos, y según la etapa en que se encuentren necesitan distintos tipos de alimento y en cantidades distintas. Por lo que la comida está en función de la cantidad de cerdos y la edad o etapa en la que se encuentre como podemos evidenciar en la Tabla 15.

Tabla 15. Cantidad de comida en función de la cantidad de cerdos y la edad.

Alimentación				
Etapa	Cantidad de cerdos	Cantidad de comida (Kg)	Cantidad de comida por animal al día (Kg)	Cantidad de desechos por animal al día (Kg)
Pequeños	20	16	0,8	0,70
Medianos	33	33	1	0,70
Grandes	6	12	2	1,53
total	59	61		

Fuente: Orbe Agropecuaria, 2018

Esta Tabla nos muestra que los cerdos que demandan una mayor cantidad de comida son los grandes por lo que producen mas estiercol, sin embargo son minoría en comparación con las demás etapas de crecimiento.

A continuación en la Tabla 16 se encuentra el registro de la producción de excretas diarias de los porcinos.

Tabla 16. Producción de excretas de los porcinos.

Cerdos- porcinos			Peso de excretas (Kg)			
Día	Fecha	Hora	Pequeños (Kg)	Medianos (Kg)	Grandes (Kg)	sumatoria
1	jueves 18/10/2018	7:00 a. m.	7,9	8,3	1,5	17,7
		11:20 a. m.	1,3	2,1	0,4	3,8
		4:30 p. m.	1,1	5	1,4	7,5
	total día			10,3	15,4	3,3
2	viernes 19/10/2018	7:00 a. m.	2,6	6,5	1	10,1
		11:20 a. m.	5,8	1,9	0,9	8,6
		4:00 p. m.	1,5	3,2	2,6	7,3
	total día			9,9	11,6	4,5
3	Sábado 20/10/2018	6:50 a. m.	3	5,2	1,3	9,5
		10:45 a. m.	5,3	10	4,7	20
		4:00 p. m.	3,6	8,5	3,2	15,3
	total día			11,9	23,7	9,2
4	Domingo 21/10/2018	6:50 a. m.	12,7	15	8,9	36,6
		11:20 a. m.	4,02	7,65	2,58	14,25
		3:50 p. m.	3,61	7,42	3,55	14,58
	total día			20,33	30,07	15,03
5	lunes 22/10/2018	6:50 a. m.	6,9	12,4	5,7	25
		11:20 a. m.	4,7	8,6	2,8	16,1
		4:30 p. m.	3,6	8	5,3	16,9
	total día			15,2	29	13,8
6	Martes 23/10/2018	6:50 a. m.	6,1	4,6	1,4	12,1
		11:00 a. m.	5,7	3	2	10,7
		4:30 p. m.	4,4	9,2	5,1	18,7
	total día			16,2	16,8	8,5
7	Miércoles 24/10/2018	6:50 a. m.	6,5	25,8	5,7	38
		11:20 a. m.	3,7	2,1	1,4	7,2
		4:30 p. m.	4,3	7,6	2,9	14,8
	Total día			14,5	35,5	10
Sumatoria de los 7 días			98,33	162,07	64,33	324,73
Promedio por día			14,05	23,15	9,19	46,39
promedio por animal al día			0,70	0,70	1,53	

Fuente: Autores

El resultado nos muestra que en promedio por las 3 etapas de cerdos se tendría 46,39 kg al día de estiércol.

Así mismo se determinó los valores o las cantidades máximas, mínimas y el promedio de generación de excretas por parte de los cerdos y en los diferentes horarios y a lo largo de las semanas en la que se hizo el estudio, en las cuales se halló que en la mañana en el horario de 07:00 A.m. es donde se da mayor producción de estiércol y en las horas de la tarde es menor la producción como se ver en la Tabla 17.

Tabla 17. Producción máxima y mínima en los distintos horarios de recolección

Horario	Cantidad de excretas producidas (Kg)									
	Jue	Vier	Sáb	Dom	Lun	Mart	Miér	Máximo	Mínimo	Promedio
7:00 a. m.	17,7	10,1	9,5	36,6	25	12,1	38	38	9,5	21,29
11:20	3,8	8,6	20	14,25	16,1	10,7	7,2	20	3,8	11,52
4:00 p. m.	7,5	7,3	15,3	14,58	16,9	18,7	14,8	18,7	7,3	13,58
								76,7	20,6	46,39

Fuente: Autores

Esto nos muestra que la mayor producción de estiércol se da en las horas de la mañana por lo que el biodigestor podría recibir una mayor carga orgánica en este horario. De acuerdo con esto en las horas de la mañana sería la mejor opción para cargar el biodigestor.

A continuación la gráfico 8 nos muestra una relación proporcional entre la cantidad de comida y la generación de desechos, por lo que vemos que entre más cantidad de comida ingieren producen más cantidad de excretas.

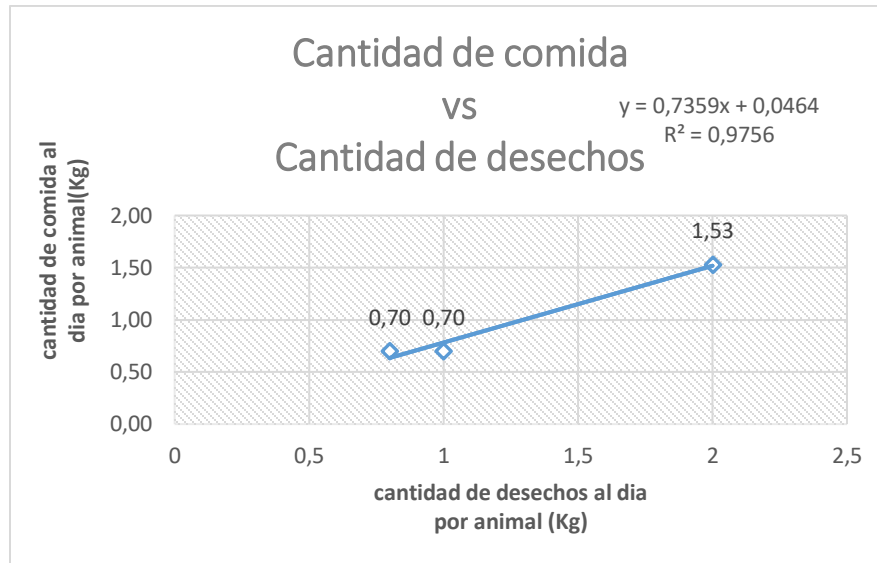


Gráfico 8. Cantidad de comida vs cantidad de desechos
Fuente: Autores

A continuación, está la caracterización de los otros dos grupos de animales

Carga orgánica del estiércol de los ovinos.

A continuación las Tablas 18 y 19 muestran la muestra tomada del grupo de los ovinos y su alimentación.

Tabla 18. Población de ovinos y muestras

Población	
Total	200
Muestra	10
Representa	5%

Fuente: Autores

Tabla 19. Alimentación ovinos

Alimentación	
pastoreo	a voluntad

Fuente: Autores

Su alimentación es a voluntad y se dejan a campo libre por lo que determinar una cantidad diaria de en su alimentación no fue posible. El registro de los datos de las excretas de los ovinos esta plasmado en la Tabla 20.

Tabla 20. Producción de excretas de ovinos.

Producción de Excretas de la Finca La Arcadia			
ovinos-carneros			
Día	Fecha	Hora	Peso de excretas (Kg)
1	jueves 18/10/2018	9:00 a. m.	1,8
2	viernes 19/10/2018	9:05 am.	4,1
3	Sábado 20/10/2018	9:10 a. m.	10,4
4	Domingo 21/10/2018	9:10 a. m.	10,9
5	lunes 22/10/2018	10:00 a. m.	7,3
6	martes 23/10/2018	10:30 a. m.	7,8
7	miércoles 24/10/2018	10:00 a. m.	10,9
cantidad total de excretas			53,2
promedio por día			7,6
Promedio por animal al día			0,8

Fuente: Autores

Los resultados nos muestran que al día en promedios estos animales están generando 7,6 kg de estiércol. Se estarían generando unos 0,8 kg de estiércol al día por animal, lo que a la población de los 200 animales daría un total de 160 kg de estiércol. Las cantidades máximas, mínimas y el promedio se ven en la Tabla 21.

Tabla 21. Cantidad máxima y mínima de excretas al día.

máximo	mínimo	promedio
10,9	1,8	7,6

Fuente: Autores

La información se registro en las Tablas 22 y 23.

Tabla 22. Población de los bovinos y muestra poblacional.

Población	
Total	100
Muestra	10
Representa	10%

Fuente: Autores

Tabla 23. Forma de alimentación de los bovinos.

Alimentación	
pastoreo	a voluntad

Fuente: Autores

Su alimentación es a voluntad y se dejan a campo libre por lo que determinar una cantidad diaria de su alimentación no fue posible.

La información sobre la producción de excretas de los bovinos se registro en la Tabla 24.

Tabla 24. Producción de excretas de los bovinos

Producción de Excretas de la Finca La Arcadia			
bovinos-ganado			
Día	Fecha	Hora	Peso de excretas (Kg)
1	jueves 18/10/2018	9:00 a. m.	26,6
2	viernes 19/10/2018	9:05 am.	36,6
3	Sábado 20/10/2018	9:10 a. m.	80
4	Domingo 21/10/2018	9:10 a. m.	60,3
5	lunes 22/10/2018	10:00 a. m.	78
6	martes 23/10/2018	9:10 a. m.	76,4
7	miércoles 24/10/2018	10:00 a. m.	65,4
cantidad total de excretas			423,3
promedio por día			60,47
promedio por animal			6,05

Fuente: Autores

Estos animales son los que generan una mayor cantidad de excretas, los resultados arrojan que en promedio por día se están generando 60,47 kg de estiércol. Por animal se estaría generando una cantidad de 6,05 kg al día, por lo que para los 100 animales serian aproximadamente 605 kg de estiércol al día.

En la Tabla 25 se contempla el máximo, mínimo y el promedio de lo producido por los bovinos.

Tabla 25. Cantidad máxima y mínima de las excretas de los bovinos.

máximo	mínimo	promedio
80	26,6	60,47

Fuente: Autores

6.3. ETAPA 3. DETERMINACIÓN LAS CONDICIONES TÉCNICO – OPERATIVAS NECESARIAS PARA EL DISEÑO OPTIMO DEL BIODIGESTOR.

6.3.1. Determinación de los parámetros necesarios para el funcionamiento óptimo del biodigestor.

Basado en la revisión bibliográfica y la experiencia en campo se determinaron las condiciones óptimas para que funcione correctamente el biodigestor y se den así los resultados esperados.

Temperatura

Para nuestro caso, según las Tablas 26 y 27 nos encontramos en una región tropical en donde las temperaturas son altas y favorecen al proceso de biodigestión. La Tabla 26 nos muestra las diferentes temperaturas según el tipo de región o a la altitud en que se encuentra.

Tabla 26. Temperaturas según el tipo de regiones

Región	Temperatura ambiente	Temperatura de trabajo	Altura sobre el nivel del mar
Antiplano o sierra alta	-12 a 20°C	6-16°C (con invernadero)	2900-4500
Valle	5-30°C	15-20°C	1800-2900
Trópico	13-38°C	25-30°C	0-1800

Fuente: Astrid Forget, 2011

Tabla 27. Temperatura de trabajo de un biodigestor, en diferentes eco regiones, considerando o no el diseño solar.

Eco región típica (altura, msnm)	Temperatura ambiente media (°C)	Temperatura de trabajo del biodigestor (°C)		
		Biodigestor sin diseño solar	Biodigestor con diseño solar	Criterios
Trópico cálido (<300)	28-32	28-32		No necesita diseño solar
Trópico (300- 1000)	23-27	23-27		No necesita diseño solar
Valles (1000-2000)	18-22	18-22	23-27	Color oscuro + aislante zanja
Valles altos (2000- 3000)	13-17	13-17	18-22	Color oscuro + aislante zanja + invernadero
Antiplanos (3000- 4500)	8-12	8-12	13-17	Color oscuro + aislante zanja + invernadero

Fuente: Jaime Marti Herrero, 2019

La temperatura necesaria para el proceso de biodigestión se da de forma natural al ser un trópico y esto hace que el proceso realizados por los microorganismos se vea favorecido.

Se hizo un encerramiento al biodigestor de tal manera que lo protegiera de animales, la lluvia u objetos que puedan dañarlo, así como de personas, especialmente niños que puedan caer en la caja de entrada o salida del biodigestor. Esto además de la protección proporciona un incremento en la temperatura lo que favorece al proceso de biodigestión y al mismo tiempo evita el contacto directo del sol con el plástico lo que hace que su vida útil sea mayor.

Tiempo de retención

Los tiempos de retención varían según la temperatura ambiente del lugar donde se instale el Biodigestor y las condiciones se le quieran dar a los productos del proceso de Biodigestión, como lo vemos en las Tablas 28 y 29.

Tabla 28. Temperaturas según el tipo de regiones.

Tiempo de retención según temperatura		
Región característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	15
Valle	20	25
Antiplano	10	60

Fuente: Jaime Martí Herrero, 2015

Tabla 29. Tiempo de retención según la temperatura.

Región característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	20
Valle	20	30
Antiplano	10	60

Fuente: Astrid Forget, 2011

Según Herrero 2015 y Forget 2011, pudimos concluir que esta variación en el tiempo de retención varía dependiendo del tipo de sustrato que se ingrese al biodigestor, el de los cerdos tarda un poco más que el de la vaca en ser digerido por lo que se puede llevar hasta 25 días como se ve en la Tabla 30.

Tabla 30. Tiempo de retención según la temperatura para mejor fertilizante.

Región característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	25
Valle	20	37
Antiplano	10	75

Fuente: Astrid Forget, 2011

Estas Tablas nos muestran que para nuestro caso, según la temperatura, la cual es un trópico y que se encuentra en promedio entre 30 y 38°C, el tiempo de retención sería de aproximadamente 15 días, en este periodo de tiempo y a esta temperatura la digestión se daría de forma adecuada y saldría un biogás y un biofertilizante con buenas propiedades, sin embargo estudios demuestran que aumentando el tiempo de retención obtendríamos un biofertilizante con mejores propiedades, por lo que nuestro tiempo de retención podría oscilar entre 20 y 25 días si se busca mejor el Biol, por lo que se escogió un tiempo de retención de 22 días

Estimacion de la carga organica disponible

según la Tabla 13 ,que se encuentra en la metodología, podemos apreciar que el estiércol de cerdo es uno de los que produce más biogás, que es lo que nos compete en cuanto a la generación de energía, sin embargo, el biofertilizante es ácido por lo que complementándolo con el estiércol de ganado se obtendría un biol más equilibrado además de que este estiércol contiene las bacterias necesarias para que se facilite la digestión.

Para la estimación de la carga organica disponible se hizo la caracterización que se planteo anteriormente en las Tablas 16, 20 y 24, para los porcinos, ovinos y bovinos respectivamente.

Selección del tipo de biodigestión y esquema del sistema.

El tipo de biodigestor escogido fue el plástico tubular debido a su facilidad de instalación, adquisición y bajo costo y que a su vez cumple con lo requerido para este proyecto.

La distribución espacial del sistema de biodigestores en la finca la Arcadia, obedece al grafico 9, el cual describe el proceso o diagrama de flujo que sigue la operación.

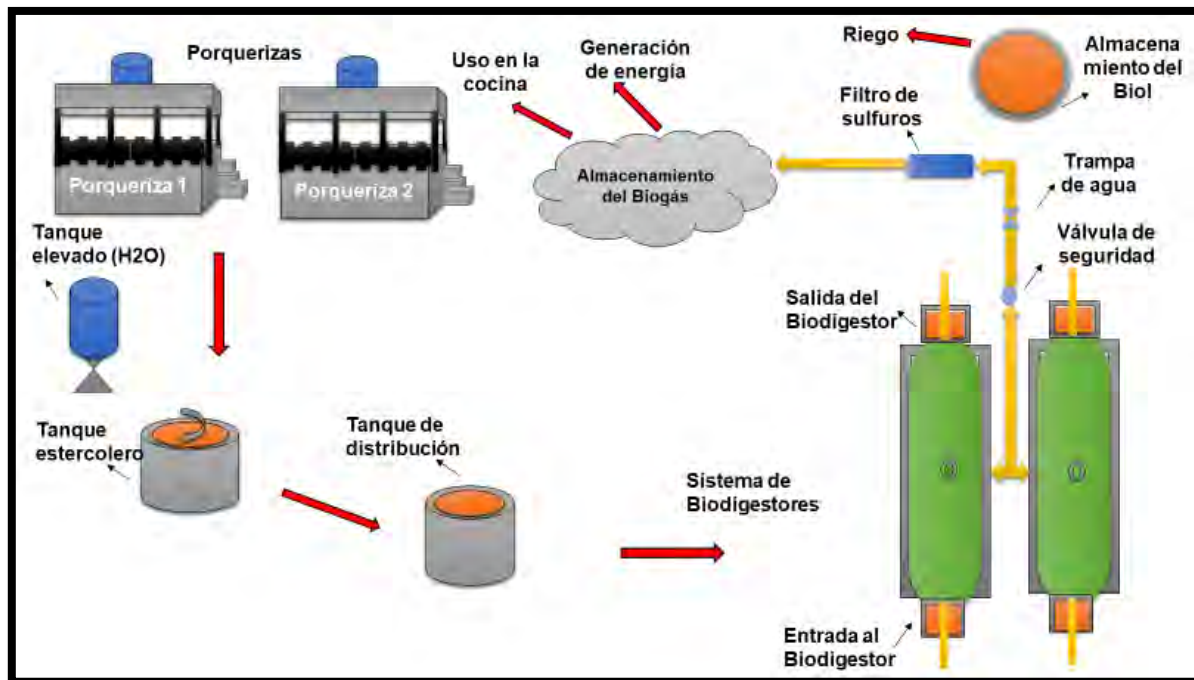


Gráfico 9. Esquema del proceso
Fuente: Autores

6.3.2. Cálculo del volumen que requerirá el biodigestor para la producción de la energía deseada.

Volumen líquido V_L del reactor:

$$V_L = \text{Carga diaria} * \text{Tiempo de retención} \quad (1.1)$$

$$V_L = 393,14 * 22 \text{ días} = 8648,98 \text{ litros o } 8,65 \text{ m}^3$$

Volumen gaseoso V_G (volumen de la campana de gas):

$$V_G = \frac{V_L}{3} \quad (1.2)$$

$$V_G = \frac{8,65}{3} = 2,88 \text{ m}^3$$

Volumen Total

Entonces el volumen total V_T vale:



$$VT = VL + VG = \frac{4}{3} * VL = 1.33 * VL = 11,53 \text{ m}^3 \quad (1.3)$$

Estas fórmulas pueden ser aplicadas en diferentes métodos de diseño, siendo siempre conocido el tiempo de retención, determinado por la ubicación.

Otra forma de verlo sería así, según la guía de diseño y manual de construcción de Jaime Martí Herrero:

El volumen total es la suma del volumen gaseoso y el volumen líquido.

$$VT = VG + VL \quad (1.4)$$

$$VT = 2,88 + 8,65 = 11,53 \text{ m}^3$$

Y por tanto el volumen líquido es tres cuartas partes del total:

$$VL = VT * 0.75 \quad (1.5)$$

$$VL = 11,53 * 0.75 = 8,65 \text{ m}^3$$

El volumen gaseoso es una cuarta parte del total:

$$VG = VT * 0.25 \quad (1.6)$$

$$VG = 11,53 * 0.25 = 2,88 \text{ m}^3$$

El volumen gaseoso también es igual a una tercera parte del volumen líquido:

$$VG = VL \div 3 \quad (1.7)$$

$$VG = 8,65 \div 3 = 2,88 \text{ m}^3$$

6.3.3. Producción de biogás diaria

La mezcla introducida en el biodigestor produce biogás poco a poco, a lo largo del proceso de digestión. La cantidad de biogás producida depende de la proporción de sólidos volátiles (SV) y por tanto de la proporción de sólidos totales (ST) en la mezcla. Los ST representan la cantidad de materia que permanece como residuo seco después de una evaporación, entre 103 y 105°C, mientras que los SV se definen como la fracción de ST que se volatiliza a una temperatura de 600°C (12); más sencillamente representan la parte de los sólidos totales de la materia que están sujetos a pasar a fase gaseosa.

En general, el estiércol fresco tiene una proporción de 17% de sólidos totales (puede variar entre 13 y 20%). En cuanto a los sólidos volátiles, representan aproximadamente el 77% de los sólidos totales. (Astrid Forget, 2011)

La producción de biogás diaria depende de la cantidad de Sólidos Volátiles que haya en la carga de estiércol. Por ello, para conocer la producción de biogás es necesario conocer previamente la cantidad de estiércol que se va a introducir diariamente al biodigestor, determinar la cantidad de Sólidos Totales que hay en el estiércol (multiplicando Kg de estiércol por 0.17), y a partir de ese resultado estimar los Sólidos Volátiles (multiplicando los sólidos totales por 0.77). Conocidos los sólidos Volátiles, dependiendo del tipo de estiércol que se esté empleando, la producción de biogás será mayor o menor. (Jaime Martí-Herrero, 2015).

La siguiente tabla muestra los valores de los factores de producción de biogás para los dos grupos de interés para el biodigestor, los cerdos y los bovinos.

Tabla 31. Factor de producción de biogás relativamente a los sólidos volátiles.

Ganado	Factor de producción	Factor general de producción
Cerdo	0.25-0.50	0.39
Vacuno	0.25-0.30	0.27

Fuente: Astrid Forget, 2011

Entonces, conociendo la cantidad de estiércol introducido en el biodigestor, es posible estimar la producción de biogás:

Sean P_{bg} es la producción diaria de biogás generada por el biodigestor, en m^3 , y $f_{p_{gen}}$ el factor general de producción.

$$P_{bg} = f_{p_{gen}} * SV \quad (2.1)$$

$SV = 0.77 * ST$ (2.2), tenemos:

$$p_{bg} = 0,77 * f_{p_{gen}} * ST \quad (2.3)$$

Además, como hay 17% de ST en el estiércol fresco, si " M_{es} " el peso (en kg) de estiércol introducido diariamente en el biodigestor:

$$p_{bg} = 0,77 * f_{p_{gen}} * 0,17 * M_{es} = 0,131 f_{p_{gen}} * M_{es} \quad (2.4)$$

En el caso del estiércol de cerdo, tenemos entonces:

$$p_{bg} = 0,131 * 0,39 * M_{es} = 0,0511 * M_{es} \quad (2.5)$$

$$p_{bg} = 0,131 * 0,39 * 80 \text{ kg} = 0,0511 * 80 \text{ kg} = 4,088 \text{ m}^3 = 4,01 \text{ m}^3 \quad (2.6)$$

Y en el caso del estiércol de vacuno:

$$p_{bg} = 0,131 * 0,27 * M_{es} = 0,0353 * M_{es} \quad (2.7)$$

La producción de Biogás (p_{bg}) en nuestro caso dependerá de la cantidad de kg de estiércol que se decida ingresar de los 2 grupos de animales (cerdos y ganado).

Las Tablas 32 y 33 muestran las constantes que se han estandarizado experimentalmente en cuanto a la producción de Biogás.

Tabla 32. producción de biogás.

Producción de biogás	
Ganado	Número mágico (litros de biogás producidos por día por kilo de estiércol fresco cargado diariamente)
Cerdo	51
Bovino	35,3

Fuente: Jaime Martí-Herrero, 2015

Tabla 33. Producción de biogás según la temperatura y tiempo de retención.

Temperatura de trabajo del biodigestor (°C)	Estiércol de vaca fresco		Estiércol de cerdo fresco	
	Tiempo de Retencion (d)	Biogás (l/kg)	Tiempo de Retencion (d)	Biogás (l/kg)
33-37	30	39	25	71
28-32	40	38	30	67
23-27	50	35	35	61
18-22	65	33	50	59
13-17	90	31	65	54
8-12	125	29	90	50

Fuente: Jaime Martí Herrero, 2019

*El biogás está expresado para 25 °C y 1 atmósfera de presión, suponiendo 65% de contenido de metano (CH₄). Se ha considerado en el estiércol de vaca 16% ST, 80% SV/ST y 0,2 m³CH₄/kgSV; y para el estiércol de cerdo 20% ST, 75 %SV/ST y 0,3 m³CH₄/kgSV

Jaime Martí Herrero en su manual también plantea los valores contemplados en la Tabla 32, de la cual podemos deducir que para estimaciones rápidas de producción de biogás se puede considerar que:

- 1 kilogramo de estiércol de vaca fresco produce 35 litros de biogás
- 1 kilogramo de estiércol fresco de cerdo produce 61 litros de biogás

Al realizar los cálculos se observó que se genera una constante de producción de biogas diferente para los porcinos y el ganado que al ser multiplicada por la cantidad de estiércol nos daría un aproximado de la cantidad de Biogas producido. La estimación de esta constante se realiza a través de los conceptos de “sólidos totales” y “sólidos volátiles”. En la estimación se han considerado valores medios y por tanto el empleo de esta constante sirve para tener una idea aproximada del volumen de biogás generado por día siempre que se cumplan los tiempos de retención adecuados a cada temperatura de trabajo, estos valores están contemplados en la Tabla 32.

6.3.4. Tabla de dimensionamiento del biodigestor.

Basándonos en la Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares de Jaime Martí Herrero y en el Manual de diseño y de difusión de biodigestores familiares con enfoque en biodigestores tubulares de Astrid Forget se construyó la siguiente Tabla estandarizada en Excel para calcular lo necesario para dimensionar un biodigestor.

Tabla 34. Tabla de cálculo y dimensionamiento del biodigestor.

Animal	Cantidad	Kg de peso	Kg de estiércol	Carga de mezcla diaria estiércol/agua	Volumen total del biodigestor			Tiempo de retención	Volumen de biogas (cte de producción)		Equivalencia energética	Producción del fertilizante
					Líquido	Gas	Total		Litros de biogas al día por kg de estiércol	m3 de biogas al día por kg de estiércol		
Cerdo	1	100	4	1:4	75%	25%	100%	22	51	0,051	2,2	1:4
	100	1965,68	78,63	393,14	8648,98	2882,99	11531,98	15	4009,98	4,01	8,82	393,14
según lo experimentado		59	46,39		8,65	2,88	11,53					
		100	78,63									

Fuente: Autores

La Tabla 34 muestra el esquema general de la Tabla estandarizada de Excel para el diseño del biodigestor.

6.3.5. Diseño del biodigestor y sus componentes.

Diseño de la zanja

Basándonos en el manual de diseño de biodigestores familiares de Herrero, se obtuvieron los datos referenciales estandarizados para poder diseñar la zanja, como se aprecia en la Tabla 35 y la Tabla 36.

Tabla 35. Parámetros según el ancho del rollo.

Parámetros según el ancho del rollo				3,1416	valor de pi			
Ancho de rollo (m)	Perímetro de la circunferencia (m)	Radio (m)	Diámetro (m)	Sección eficaz($\pi \cdot r^2$) (m ²)	Longitud L(m)	Volumen total	L/d (óptimo de 7 en un rango de 5-10)	
1	2	0,32	0,64	0,32	35,85	12	56,01	
1,25	2,5	0,4	0,8	0,50	22,94	12	28,68	
1,5	3	0,48	0,96	0,72	15,93	12	16,60	
1,75	3,5	0,56	1,12	0,99	11,71	12	10,45	
<u>2</u>	<u>4</u>	<u>0,64</u>	<u>1,28</u>	<u>1,29</u>	<u>8,96</u>	<u>12</u>	<u>7,00</u>	

Fuente: Jaime Marti Herrero, 2015

Para la Tabla 35 de los parámetros según el ancho del rollo tenemos que el ancho de rollo escogido fue el de 2 metros que es el más comercial, la sección eficaz sería π por r^2 , la longitud sería el volumen del biodigestor entre el diámetro, y la relación entre el largo y el diámetro sería dividir la longitud entre el diámetro, siendo el rango óptimo de 7. Posteriormente la Tabla 36, indica las dimensiones que debe tener la sección trapezoidal de la zanja de acuerdo al ancho del rollo.

Tabla 36. Dimensiones de la zanja según el ancho de rollo

Dimensiones de la zanja según el Ancho de Rollo (AR)					
AR (m)	<u>2</u>	1,75	1,5	1,25	1
a (m)	<u>0,7</u>	0,6	0,5	0,4	0,3
b (m)	<u>0,9</u>	0,8	0,7	0,6	0,5
p (m)	<u>1</u>	0,9	0,8	0,7	0,6

Fuente: Jaime Marti Herrero, 2015

Siendo “b” la base superior, “a” la base inferior y “p” la altura

6.4. ETAPA 4. MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DEL BIODIGESTOR PILOTO.

6.4.1. Elaboración de la zanja portadora del biodigestor y armado del biodigestor.

La zanja tiene las siguientes medidas para el plástico de 2 m de ancho de rollo según el diseño establecido en el apartado anterior en la Tabla 36:

Longitud: 9 m

“b” la base superior: 0.9 m

“a” la base inferior: 0,7 m

“p” la altura: 1 m

Ver evidencia del montaje en el anexo 4.

6.4.2. Instalación del plástico tubular en la zanja.

Ver evidencia fotográfica en el anexo 5.

6.4.3. Implementación de las redes de conducción del biogás y almacenamiento del biofertilizante y demás componentes del sistema.

Se instaló:

- Red de conducción
- Válvulas de salida del gas
- Derivación en T para los dos biodigestores.
- Válvula de alivio de presión
- Trampa de agua
- Filro de sulfatos

Ver evidencia fotográfica en el anexo 6.

6.4.4. Puesta en marcha del biodigestor

Dilución en el tanque estercolero

Para hacer la dilución 1:4, para los 100 cerdos en promedio que requiere el biodigestor, tenemos que un cerdo genera alrededor 4 kg de estiércol al día, sin embargo esto es para los cerdos grandes con un peso vivo de 100 kg en promedio, no obstante, en la Arcadía los cerdos se encuentran en diferentes etapas de crecimiento (pequeños, medianos y grandes), por lo que al momento de hacer la caracterización encontramos que en promedio la cantidad de estiércol considerando las 3 etapas es de aproximadamente 80 kg de estiércol para los 100 cerdos, lo que nos daría un dato más aproximado a la realidad. Por tanto, necesitaríamos 80 kg de estiércol, los cuales debemos diluir en 320 litros de agua o $0,32 \text{ m}^3$, que sería las cuatro partes de agua obteniendo una carga de mezcla (estiércol + agua) de 400 litros o $0,4 \text{ m}^3$ aproximadamente. El tanque estercolero cuenta con un volumen de $3,7 \text{ m}^3$ por lo que para garantizar la carga de mezcla diaria necesitaríamos unos 10 cm de altura en el tanque estercolero que nos daría los $0,4 \text{ m}^3$

Los cálculos para calcular los volúmenes de los tanques para así hacer las diluciones por medio de relaciones de volumen dieron los siguientes datos:

Tanque estercolero

$$r = 1,18 \text{ m}$$

$$h_T = 0,85 \text{ m}$$

$$A = \pi \times r^2 = (3,1416) \times (1,18)^2 = 4,37 = 4,4 \text{ m}^2 \quad (3.1)$$

$$V = A \times h = (4,4 \text{ m}^2) \times (0,85 \text{ m}) = 3,74 \text{ m}^3 \quad (3.2)$$

Tanque de distribución

$$r = 0,70 \text{ m}$$

$$h_T = 0,85 \text{ m}$$

$$A = \pi \times r^2 = (3,1416) \times (0,70)^2 = 1,54 \text{ m}^2$$

$$V = A \times h = (1,54 \text{ m}^2) \times (0,87 \text{ m}) = 1,34 \text{ m}^3$$

Volumen Liquido del Biodigestor

$$V_L = TR \times \text{carga diaria}$$

$$V_L = 22 \times 393 = 8646 = 8,65 \text{ m}^3 \quad (3.3)$$

Para la carga inicial necesitaríamos 2 veces el volumen del tanque estercolero y 1 de el de distribución, este seria para el tiempo de estabilización.

Para la carga diaria después del tiempo de estabilización necesitaríamos 10 cm diarios aproximadamente del volumen del tanque estercolero, lo que nos daría 0,4 m³

$$h = V / (\pi \times r^2)$$

$$h = 0,4 \text{ m}^3 / (3,1416 \times (1,18)^2) \quad (3.4)$$

$$h = 0,09 \text{ m}$$

La carga diaria "CD" seria, por tanto:

$$CD = \frac{V_L}{TR} = \frac{8,65 \text{ m}^3}{22 \text{ d}} = 0,39 = 0,4 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \quad (3.5)$$

Se puede ingresar un volumen mayor, teniendo en cuenta que la dilución este correcta y el biodigestor haya cumplido su tiempo de estabilización, al ingresar un

poco más de volumen lo que pasa es que se desplazara un volumen mayor de Biol. Sin embargo, en base al diseño del biodigestor, debería funcionar correctamente ingresándole 0,4 m³ de carga diaria.

En un biodigestor ya construido, si se aumenta la carga diaria se reducirá el tiempo de retención (ya que se tardaría menos días en llenar) y si se reduce la carga diaria, por el contrario, se aumenta el tiempo de retención (se tardaría más en llenar el biodigestor al reducir la carga diaria). (Jaime Martí Herrero, 2019).

6.4.5. Determinación de la producción de energía en base a la bibliografía y el uso de ecuaciones

Se determino la energía eléctrica capaz de producirse en base a las relaciones bibliográficas y el uso de ecuaciones. Estas relaciones se encuentran contempladas en la Tabla de Excel estandariza que diseñamos para el dimensionamiento del biodigestor, la cual se encuentra en los resultados en el apartado anterior (6.3.4). y su operación en la metodología (5.5.3.4)

En las Tablas 37 y 38 se aprecia la equivalencia energética del biogás y su consumo por parte de algunos equipos.

Tabla 37. Equivalencia energética de 1 m³ de Biogás

1000 litros (1m³) de biogás equivalen a:	
5647 kcal	Energía (65% CH ₄)
6,56 kWh	Energía (65% CH ₄)
1,6 kg	Madera
1,2 kg	Bosta seca
1,1 litros	Alcohol
0,75 litros	Gasolina
0,65 litros	Gas-oil
0,76 m³	Gas natural
0,7 kg	Carbón
3,3 kWh	Calor útil(65% CH ₄ ; rendimiento 50%)
2 kWh	Electricidad útil (65%CH ₄ ; rendimiento 30%)

Fuente: Jaime Martí Herrero, 2019

Tabla 38. Consumos típicos de biogás para diferentes elementos.

Uso biogás	Consumo de biogás por hora (l/h)
Cocina doméstica	300
Cocina industrial	450
Calefactor lechones	300
Lámpara (equivalente a 60W)	120
Olla arrocera (2l)	140
Calefón de agua (14kW)	2500
Calefón de agua (26kW)	5000
Refrigeradora (100L)	30 (en zona fría) 75 (en zona caliente)
Motor <5hp(por cada 1hp)	400
Motor >5hp(por cada 1hp)	250
Ordeñadora (15hp)	2500
Generador (1.2kW)	600
Generador (3kW)	2100
1kWh eléctrico (5-20kW)	1600

Fuente: Jaime Martí Herrero, 2019

De acuerdo a la producción de biogás en base al diseño (ver en la etapa 3 de los resultados y en la Tabla de dimensionamiento), el biodigestor estaría produciendo 4,01 m³ de biogás, esto solo en el primer biodigestor.

¿Qué se puede hacer con esa cantidad de biogás?

Según Jaime Martí Herrero en su manual para y guía de diseño de biodigestores tubulares, se puede emplear en varios escenarios, por ejemplo:

Redondeando a la baja esos 4010 litros de biogás al día hasta considerar solo 4000 litros de biogás al día, equivalen energéticamente a unos 3 litros de gasolina al día o 6.4 kg de leña al día, según la Tabla 37. La Finca podría usarlos de múltiples maneras, usando los consumos por hora de referencia de diferentes dispositivos mostrados en la Tabla 38.

Por ejemplo:

- ✓ Usando 1200 litros para cocinar 4 horas al día (300 litros por hora), tener una refrigeradora a gas encendida las 24 horas con un consumo medio de unos 1200 litros por día (50 litros por hora), encender una pequeña bomba de agua (1 hp) tres horas al día por 1200 litros más (400 litros por hora), y encender una lámpara de biogás durante 3 horas por 360 litros de biogás (120 litros por hora).
- ✓ También podría usarlos en una ordeñadora mecánica de 15 hp durante hora y media por 3750 litros (2500 litros la hora).
- ✓ También podría generar electricidad con un generador de 1.2 kW durante 5 horas al día gastando 3000 litros de biogás (600 litros por hora) y dejar los restantes 1000 litros para cocinar cada día.

Esto sería con lo producido por un biodigestor tratando 100 cerdos aproximadamente. Al implementar los 2 biodigestores tratando la población deseada de 200 cerdos, las posibilidades de aprovechamiento aumentan considerablemente.

Las referencias nos muestran que 1 m³ de biogás equivale a 2,2 kW/h/día, los 100 cerdos están produciendo 4,01 m³, por lo tanto:

$$4,01m^3 * 2,2 = 8,82 \frac{kw}{h} / dia \quad (4)$$

Dicho valor es aproximado, la producción puede ser mayor al lograr estabilizar el biodigestor de forma adecuada, y mejorar la composición de la carga de mezcla que entra al sistema.

6.5. ETAPA 5. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y LA EFICIENCIA DEL BIODIGESTOR Y SUS SUBPRODUCTOS.

Se hizo inicialmente una evaluación física del comportamiento del biodigestor y sus subproductos en donde se pudo evidenciar que el biodigestor estaba operando correctamente y que se estaban generando los subproductos gracias al proceso de biodigestion

La Imagen 63 del anexo 8, muestra como se produce el burbugeo en la valvula de seguridad (a), debido a la alta producción de biogás y en (b y c) se aprecia el biofertilizante y su almacenamiento.

Los resultado fueron positivos, pasado el tiempo de retencion que el biodigestor necesitaba para estabilizarse, se evidencia abundante produccion de biogas, tanto que tiene que liberarse por la valvula de seguridad o alivio de presion, como se puede apreciar en la Imagen 63 (a) del anexo 8, lo que nos muestra que se cumplen las expectativas con respecto a la produccion del gas y que el biodigestor, ademas, esta perfectamente hermetico permitiendo que se de la digestion anaerobia de forma efectiva.

Por otro lado tenemos el biofertilizante el cual como podemos ver en la imagen 56 (b y c) del anexo 8, esta siendo almacenado para su posterior riego en los pastizales, este biol resultante del proceso de biodigestion efectivamente sale sin mal olor, una material ya digerido y conserva sus propiedades nutritivas, supliendo asi, no solo el riego (en especial cuando no se dan las lluvias), sino tambien el enriquecimiento nutricional del suelo y de los pastos, los pastos regados con el biofertilizate presenta un crecimiento mayor al regado con solo agua.

En el anexo 8, en la Imagen 64 de la (a) la (f) se puede observar la prueba de compustion realizada al biogas que sale del Biodigestor, la cual resulta generar buena combustion, lo que denota una buena produccion de metano.

Para conocer el poder de combustion del gas se le realizaron pruebas colocando paja seca y acercado una maguera conectada a la red de conduccion del gas, la cual posee una valvula que pemite controlar la salida del gas. Como resultado, se

puede evidenciar que al acercar el flujo del biogas, la llama rapidamente crecia, lo que nos muestra que la produccion del biogas es efectiva.

La Empresa tiene Proyectado mas adelante instalar un contador que permita cuantificar la cantidad de biogas que se esta generando de manera mas directa asi como la presion que se genera en la salida del biogas. Asi mismo se pretende construir el area de almacenamiento del biogas asi como estudiar la manera de comprimir el gas en unos cilindros de gran tamaño que posee la Arcadia. Por otro lado la adquisicion de la planta generadora de energia electrica.

Para efectos de este proyecto se construyo este biodigestor a manera de piloto, estabilizando todo el sistema de biodigestion, estableciendo los parametros y comprobando la efectividad del diseño en la construccion del Biodigestor asi como la viabilidad del proyecto, cumpliendo con las expectativas de la empresa Orbe Agropecuaria en su perspectiva por construir un biodigestor que pueda aprovechar los residuos organicos provenientes de los animales de la Arcadia.

6.5.1. Demostración de la eficiencia del biofertilizante por medio de pruebas de laboratorio.

Los resultados originales de dicho laboratorio se encuentran en el Anexo 10.

Dados los resultados de laboratorio que se le realizaron a las muestras, se elaboro la Tabla 39 en donde se comparan los datos obtenidos en el Afluente y el Efluente y se determino la eficiencia.

Tabla 39. Comparacion de los resultados del Afluente y el Efluente

Parametro	Afluente	Efluente	Eficiencia %
Demanda Bioquimica de Oxigeno (DBO5) mg o2/L	2338	612	73,8
Nitrogeno total kjeldahl mg N/L (A)	332	161	51,5
pH	7,06	7,1	Neutro
Solidos Disueltos mg/L (A)	930	1380	Analisis
Temperatura °C	28	29.1	Análisis

Fuente: Autores

Comportamiento de la DBO₅ en el proceso de Biodigestion.

Para determinar la eficiencia en la remoción, tenemos la siguiente expresion:

$$Remocion \% = \frac{A-E}{A} \times 100 \quad (5)$$

Por tanto, para la DBO5 tenemos:

$$\frac{2338 - 612}{2338} \times 100 = 73,8 = 74 \% \quad (5.1)$$

Esto nos muestra una eficiencia de remoción del 74 % de DBO aproximadamente. Según la Tabla 40, 41 y 42, las cuales muestran los rangos de eficiencia en los procesos de tratamiento de agua residuales, tenemos que se encuentra entre los rangos de 60 y 80% de remoción de DBO5 comparado a otros tratamientos se estaría removiendo una buena cantidad ya se encuentra entre los rangos.

Tabla 40. Rangos de eficiencia en los procesos de tratamiento

	Unidades de tratamiento	Eficiencia mínima de remoción de parámetros, porcentajes (%)						
		DBO5	DQO	SST	SSED	Grasas y aceites	Patógenos	Observaciones
Pre-tratamiento	Cribado o desbaste	0-15	0-10	10-50	0-6	0-40	N/A	Remociones con miltamices y microcribas
	Desarenadores	0-5	0-5	0-10	N/A	N/A	N/A	
	Trampa de grasas	0-5	0-3	10-15	N/A	85-95	N/A	
Tratamiento Primario	Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	75-85	60-70	30-50	
	Lagunas anaerobias	50-70	30-50	50-60	75-85	80-90	80-90	
	Tanque Imhoff	25-40	15-30	50-70	75-85	60-70	-30-50	
Tratamiento Secundario	Reactor UASB (RAFA)	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
	Lagunas facultativas	80-90	40-50	63-75	75-85	70-90	80-90	Sin contar con algas
	Lagunas aireadas	80-95	60-70	N/A	N/A	N/A	80-90	Con sedimentación secundaria
	Reactor anaerobio RAP	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
	Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
	Lodos activados (convencionales)	80-95	70-80	80-90	N/A	N/A	80-90	
	Filtros percoladores De alta tasa, roca De alta tasa, plástico	65-90 75-95	55-70 60-80	60-85 65-85	N/A N/A	N/A N/A	80-90 80-90	
Desinfección	Rayos UV	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100	
	Cloración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100	
	Laguna de maduración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	99,99	

Fuente: RAS 2017

Tabla 41. Eficiencias de remoción

Unidades de tratamiento	Eficiencia en la remoción de constituyentes, porcentaje						
	DBO	DQO	SS	P	N Org	NH ₃ -N	Patógenos
Rejilla	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Desarenadotes	0-5	0-5	0-10	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0	Desp.
Lodos activados (convencional)	80-95	80-95	80-90	10-25	15-20	8-15	Desp.
Filtros percoladores							
▪ alta tasa, roca	65-80	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15	Desp.
▪ supertasa, plástico	65-85	65-85	65-85	8-12	15-50	8-15	
Cloración	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	100
Reactores UASB	65-80	60-80	60-70	30-40	---	---	Desp.
Reactores RAP	65-80	60-80	60-70	30-40	---	---	Desp.
Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	30-40	---	---	Desp.
Lagunas de oxidación							
▪ Lagunas anaerobias	50-70	---	20-60	---	---	---	90-99.99
▪ Lagunas aireadas	80-95	---	85-95	---	---	---	90-99.99
▪ Lagunas facultativas	80-90	---	63-75	30	---	---	90-99.99
▪ Lagunas de maduración	60-80	---	85-95	---	---	---	90-99.99
Ultravioleta	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	100

Fuente: Jairo Romero Rojas, Diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales, 2010.

De la anterior Tabla se puede decir que para los parámetros que se hace indispensable reducir como lo son (DBO y DQO), el tratamiento que demuestra una mayor eficiencia de remoción es el del sistema de lodos activados, sin embargo comparativamente el tratamiento biológico empleado con el biodigestor esta dando una buena remoción teniendo en cuenta además que la Finca no ha iniciado plenamente las actividades porcícolas por lo que no se han terminado de estandarizar los procesos lo que mejoraría el sistema de tratamiento.

Tabla 42. Porcentaje de reducción en diferentes tratamientos

Procesos	Capacidad total de reducción de DBO (%)	Capacidad de reducción de SST (%)
Lodos activados tradicional	80-90	80-90
Sistemas de lagunas tradicionales	70-90	70-90
Reactores UASB	60-80	70-80
Filtro anaerobio	70-80	70-80
Tratamiento primario avanzado	44-55	70-85
Humedales construidos	80-90	80-90
UASB + filtro anaerobio	90-95	80-95
UASB + Lodo activado	83-93	87-93
UASB + Filtro anaerobio	80-93	87-93

Fuente: Adaptado de Von Sperling y Chernicharo (2005) y Libhaber (2008)

Comportamiento de Nitrogeno en el proceso de Biodigestion.

La Tabla 39 muestra además una remoción en Nitrogeno total del 51 %.

La actividad de las bacterias nitrificantes se vuelve más lenta en solución ácida, y son mejores a pH entre 6.5 a 8.5 y la temperatura varía de 16 a 35 ° C, para nuestro caso tanto la temperatura como el PH se encuentran en estos rangos. Este proceso se estaría dando en el tanque estercolero debido a la agitación que se le da y que al no entrar el volumen total del tanque al biodigestor, se estaría dando un proceso de sedimentación y precipitación.

La desnitrificación se realiza mejor a un pH entre 7.0 y 8.5 y a una temperatura entre 26 y 38 ° C. Según la información que se adquirio se encuentran en estos rangos tanto la Temperatura como el PH.

Esta segunda etapa es la que se desarrollaría dentro del biodigestor y es por tal motivo que hay una reducción de nitrógeno en la salida del biodigestor.

La Tabla 43 muestra una comparación en los procesos de nitrificación y desnitrificación.

Tabla 43. comparación en los procesos de nitrificación y desnitrificación

Bases para la comparación	Nitrificación	Desnitrificación
Sentido	La parte del ciclo del nitrógeno donde el amonio (NH_4^+) se convierte en nitrato (NO_3^-) se llama nitrificación.	La desnitrificación es el nivel en el que la reducción de nitrato (NO_3^-) se convierte en gas nitrógeno (N_2).

El proceso involucra	Bacterias nitrificantes como Nitrobacter, Nitrosomonas.	Bacterias desnitrificantes como Spirillum, Lactobacillus, Pseudomonas, Thiobacillus.
	Crece lentamente	Crece rápidamente
	Requiere condición aeróbica.	Requiere condición anaeróbica.
Los microbios	Autotrófico	Heterotrófico
Precursor	Amonio	Nitrato.
Producto final	Nitrato.	Nitrógeno.
pH y temperatura	El proceso ocurre a un pH entre 6.5 a 8.5 y una temperatura entre 16 a 35 grados C.	El proceso ocurre a un pH entre 7.0 a 8.5 y una temperatura entre 26 a 38 grados C.
Importancia	Proporciona nitrato a la planta, que actúa como la importante fuente de nitrógeno.	La desnitrificación se utiliza en el tratamiento de aguas residuales y es beneficiosa para los hábitats acuáticos.

Fuente: Gadget, 2020

El grafico 10 ilustra donde se daría el proceso de nitrificación y desnitrificación en el sistema de biodigestion empleado en la Finca la Arcadia.

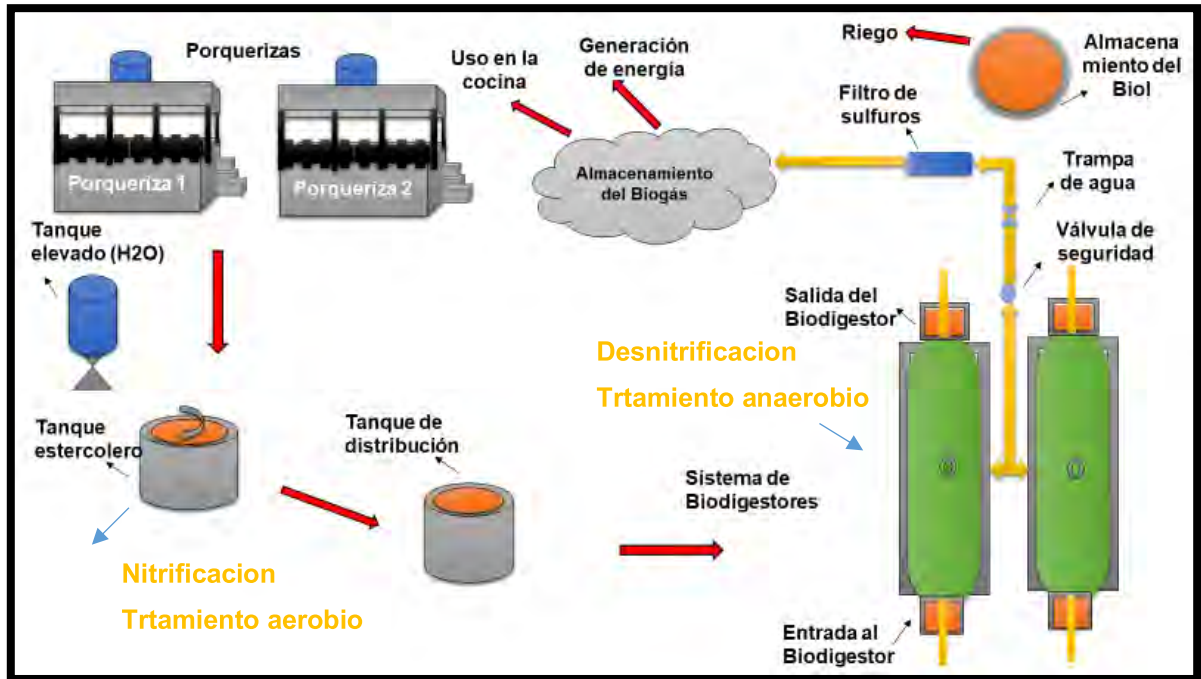


Gráfico 10. Ilustración de donde se daría la nitrificación y la desnitrificación

Fuente: Autores

Comportamiento del pH en el proceso de Biodigestion.

Por otra parte el pH, en la Tabla 39 es de 7,1 el cual es neutro, según MacCarty y Herro 2019, para lograr una mayor eficiencia en la biodigestion el pH optimo debe estar en el rango de 6,6 a 7,6 por lo cual se presentan buenas condiciones en cuanto al pH.

Comportamiento de los Solidos disueltos en el proceso de Biodigestion.

Los solidos disueltos en la Tabla 39, presentan un aumento debido a que antes del biodigestor hay una mayor cantidad de solidos en suspensión y al momento de pasar por el biodigestor estos son diluidos y degradados por los microorganismos, además de que en los tratamientos biológicos se crean lodos, los cuales no fueron removidos a la hora del muestreo. Esto podría mejorar implementando un sedimentador secundario posterior al tratamiento para que se decante el material o removidos los lodos. Debido a que de momento el fertilizante no tiene donde depositarse, se esta almacenando en tanques para su posterior riego, pero la idea es que se pueda almacenar en forma de una laguna lo que facilitaría lo mencionado anteriormente sobre darle un reposo al fertilizante que sale del sistema.

Comportamiento de la Temperatura en el proceso de Biodigestion.

En cuanto a la Temperatura, dio una medida de 28 °C para el Afluente y 29 °C para el Efluente, se aprecia un aumento de 1,1 °C, según la Tabla 46. Los datos fueron tomados en el Afluente y el Efluente por medio de un termómetro digital que consta de una sonda para tomar la medida de la temperatura como se aprecia en las Imágenes de la 65 a la 68 del anexo 8.

Se realizo un promedio de 3 mediciones tanto en el Afluente como en el Efluente arrojando un resultado en promedio de 28 °C y 29,1°C respectivamente. Esta temperatura favorece tanto a la nitrificación como a la desnitrificación según los rangos de temperatura mencionandos anteriormente.

A temperaturas mayores de 20 °C, se han obtenido eficiencias de reducción de 65 a 80 % de DBO y DQO y de 67 a 90 % de SS (Wiegant, 2001; Foresti, 2002; van Haandel et al., 2006).

Según la temperatura que se midio y la regioin en la que estamos, la temperatura se encuentra en un rango Mesófilo de 25 a 45°C. En este intervalo de temperaturas

trabajan la mayoría de los digestores. El óptimo de producción se establece entre 35-40°C o 35-42°C dependiendo del tipo de residuo a tratar, aunque en ocasiones puede situarse por debajo de 35°C. Cuando se aumenta la temperatura de 25 a 40°C, la producción de biogás aumenta un 1% por grado. El balance energético óptimo se sitúa entre 25 y 35°C.

En este rango de temperatura trabajan las bacterias metanogénicas degradando la materia orgánica presente en la dilución que se ingresa al biodigestor.

La Tabla 44 muestra algunas experiencias en diferentes PTAR y entre sus parámetros vemos las Temperaturas las cuales concuerdan con la temperatura que nos dio en el Biodigestor.

Tabla 44. Experiencias a escala piloto y real para el tratamiento anaerobio del ARD

PTAR	Inicio operación	T (°C)	Vol. (m ³)	TRH (h)	COV (kgDQO/m ³ .d)	% Reducción			Autor
						DQO	DBO	SS	
Cañaveralejo (Cali, Colombia)	1982	25	64	6	-	75-86	80-90	-	Schellinkhout <i>et al.</i> , 1985; Lettinga <i>et al.</i> , 1987
Kampur (India)	1985	20-30	1.200	6	1,81	74	75	75	Draaijer <i>et al.</i> , 1992
São Paulo (Brasil)	1986		120	6,2	-	60	70	-	Vieira y García, 1992
La Rosita (Bucaramanga, Colombia)	1986-1987	23-26	34	5	1,98	66	80	71	Collazos, 1992
Pedregal (Campina Grande, Brasil)	1989		160	2,1-17	≤ 4,0	75	85	83	Van Haandel y Lettinga, 1994
Mirzapur (India)	1989	18-32	6.000	8	0,95	62-72	65-71	70-78	Haskoning, 1996 citado por Seghezzeo, 2004; Tare, Ahammed y Jawed, 1997
Tepeyanco-Atlamaxac (Tlaxcala, México)	1990	20	2.200	20,3	0,7		75-80		Monroy <i>et al.</i> , 2000
Río Frio (Bucaramanga, Colombia)	1991	23-26	13.200	5	0,6-4,0	65-70	73	60-65	Rodríguez, 1996; Aparicio, 2008
Fideicomiso Alto Río Blanco (México)	1992	22,5	83.700	18,6	3	80	-	-	Monroy <i>et al.</i> , 2000
Vivero (Cali, Colombia)	1994	24-30	1.000	6	0,41-1,35	67	71	79	Sterling y Mora, 1998
India			12.000	8	-	24-50	25-47	50-76	Tare, Ahammed y Jawed, 1997
Mangueira (Recife, Brasil)	1997	30,8	810	9,4	-	75		51	Florencio <i>et al.</i> , 2001 citado por Seghezzeo, 2004
Restrepo (Valle del Cauca, Colombia)	1998	20	-	8,5	-	70-88	86-92	81-94	Rodríguez, Torres y Duque, 2011
Piracicamirim (Brasil)	2000		8.316	10-24	0,61-1,11	65	>80	72	Passig, Villela y Ferreira, 1999
Onça (Brasil)	2006		53.088			72	82	90	Da Silva <i>et al.</i> , 2007
Calima (Valle del Cauca, Colombia)	2007	20		8,5		67-83	87-94	71-94	Rodríguez, Torres y Duque, 2011
Riofrio (Valle del Cauca, Colombia)	2008	22		8,5		78-83	84-93	83-95	Rodríguez, Torres y Duque, 2011
-	-	-	67,5	20-40	0,65	72	81	81 (SSV)	Barjan, 1995, citado por Torres, 2000
Brasil	-	-	18	8	2,7	71-83	74-85	65-85	Villela, 1997
General	-	>20	Variable	6-10	<3	65-80	65-80	67-90	Torres y Foresti, 2001; Wiegant, 2001; Foresti, 2002; van Haandel <i>et al.</i> , 2006

Fuente: Torres, 2012

6.6. ETAPA 6. DESARROLLO DEL INFORME FINAL

Junto con la presentación de este informe se tiene el manual de operación elaborado para la finca la Arcadia, una Tabla estandarizada de Excel para el diseño del biodigestor y la zanja y los anexos.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

El biodigestor es una opción útil como fuente de energía alternativa, es de bajo costo, eficiente, de fácil operación, una tecnología sencilla y que trae beneficios ambientales, sociales, empresariales y económicos. Es interesante encontrar que aquello que para muchos es un desecho y que no representa sino un problema, pueda transformarse en la materia prima para solucionar algunas necesidades, ser más productivos al mismo tiempo que se contribuye con el ambiente y se generan recursos.

Se cumplieron con los objetivos establecidos y se pudo diseñar un biodigestor funcional y de acuerdo a las necesidades de la Finca la Arcadia con proyección a la generación de energía, este biodigestor trata la totalidad del estiércol producido por los cerdos evitando la contaminación.

Según las pruebas de combustión el biodigestor está produciendo una buena cantidad de Biogás.

Los estudios de laboratorio arrojaron una remoción del 74% en la DBO_5 , lo que se encuentra entre los rangos de remoción de otros tratamientos de agua residual (60-80%), un 51% de remoción en el Nitrogeno total, lo que denota el proceso de nitrificación y desnitrificación, un pH neutro lo que favorece al proceso y estabilidad del biodigestor y una temperatura de 29,1 °C en el Efluente la cual se encuentra en el rango de temperatura mesofilia en el cual trabajan la mayoría de los biodigestores.

Se hizo un manual operativo sobre el Biodigestor.

Se puede concluir que se cumplieron las expectativas de esta investigación.

7.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Los biodigestores son funcionales incluso en grandes diluciones, se han encontrado biodigestores funcionales con diluciones de hasta 1:20, sin embargo, la relación óptima con mejores producciones de biogás han sido la de 1:3 en ganado y 1:4 en cerdos.
- ✓ Tener en cuenta los parámetros dependiendo de la región y zona climática en que se encuentre.
- ✓ El estiércol debe ser lo más fresco posible para que tenga mejores propiedades.
- ✓ Revisar periódicamente los componentes del biodigestor.
- ✓ Hacer un encerramiento adecuado del biodigestor para evitar que animales, objetos o alguien pueda dañar el biodigestor.
- ✓ Mantener siempre la válvula de seguridad con agua, los biodigestores son seguros, pero es necesario mantener el cuidado y la prevención para evitar accidentes.
- ✓ El agua utilizada no debe contener cloro, que mataría las bacterias útiles para el proceso; así, si el agua es potable, se debe dejar descubierta unas horas hasta que se evapore el cloro.
- ✓ Si se dispone de suero de leche de vaca, es bueno substituir parte del agua con este suero, que da muy buenos resultados en la producción de biogás. También en caso que haya un matadero cerca, se puede añadir contenido de rumen de vacuno (contenido gástrico) o melasa
- ✓ Debido a la proyección de crecimiento en las porquerizas se recomienda instalar un segundo biodigestor que funcione en conjunto con este.

- ✓ Se recomienda tener un sedimentador secundario a la salida del biofertilizante de modo que ayude con lo de la decantación o remoción de lodos y mejore lo de los solidos disueltos.
- ✓ Se recomienda entechar el tanque estercolero de modo que al llover no le caiga demasiada agua que pueda afectar la dilución y la relación agua estiercol establecida.
- ✓ Se debe almacenar el biogas en alguna bolsa para garantizar un flujo continuo al momento de utilizarse en maquinaria.

8. REFERENCIAS

Astrid Forget, 2011. Manual de diseño y de difusión de biodigestores familiares, con enfoque en biodigestores tubulares, Lima.

Blanco, Santalla, Córdoba y Levy (2017). Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico. Banco interamericano de desarrollo.

Cervi, Maura S. T. y Bueno (2011). Viabilidad Económica de la Utilización de Biogás para la Conversión en Energía Eléctrica. Brasil.

Corona (2007). Biodigestores. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo.

Dominguez-Araujo, Galindo-Barboza, Salazar-Gutiérrez, Barrera-Camacho Y Sanchez-Garcia (2014). Las Excretas Porcinas Como Materia Prima Para Procesos De Reciclaje Utilizados En Actividades Agropecuarias. Centro De Investigación Regional Pacifico Centro. Tepatitlán De Morelos, Jalisco, México.

Domos agua, 2019. plantas de tratamiento de agua residuales municipales. nitrificación de las aguas residuales.

Doroteo Otlica (2012). Aprovechamiento de biogás proveniente del abono de ganado vacuno en un establo ubicado en Ixtapaluca estado de México. Escuela superior de ingeniería y arquitectura u. Z. México.

Emilio Cerdá (2018). Energía obtenida a partir de biomasa. Universidad Complutense de Madrid. España.

F. Martín Martín and V. Sala Gómez, (2004) "Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales y las nuevas tecnologías energéticas para la propulsión de vehículos destinados al transporte." Universitat Politècnica de Catalunya.

Fregoso, at, 2001. producción de biofertilizante mediante biodigestión de excretas líquidas de cerdo. Mexico.

Gadget, 2020, Diferencia entre nitrificación y desnitrificación.

Guevara & Pérez (2015). Análisis de viabilidad del suministro de energía eléctrica a la granja la fortaleza ubicada en Melgar-Tolima mediante la implementación de un sistema solar fotovoltaico. Universidad Libre Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Ambiental. Bogotá DC

IPPC, 2018. Calentamiento global de 1,5 °C. Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.

J. E. Coto, J. J. Maldonado, R. Botero¹, J. V. Murillo (2007). Implementación De Un Sistema Para Generar Electricidad A Partir De Biogás En La Finca Pecuaria Integrada De Earth. Universidad EARTH. Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica.

Jaime Marti Herrero, 2008-2015, Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación.

Jaime martin Herrero, 2019, Biodigestores tubulares, guía de diseño y manual de instalación. Ecuador

JOSÉ ANTONIO GUARDADO CHACÓN (2007) Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas, Editorial CUBASOLAR.

Lara (2016). Diseño de un biodigestor para la producción de biogás generado por las excretas de ganado vacuno, en el criadero jersey chugllin. Escuela superior politécnica de Chimborazo. Ecuador.

Lara Guilcapi (2016). Diseño de un biodigestor para la producción de biogás generado por las excretas de ganado vacuno, en el criadero "Jersey Chugllin". Riobamba - Ecuador.

Márquez Sánchez, A.C. Reciclaje de Materia Orgánica para la Producción de Biogás en Comunidades de Bajos Recursos. Universidad Autónoma de Aguascalientes

Martí Herrero, Jaime. Biodigestores familiares: guía de diseño y manual de instalación. La Paz: GIZ, 2008- actualizado 2015.

Martínez Lozano (2015) Producción potencial de biogás empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato. Escuela de Ingeniería civil, mecánica e industrial, Universidad De La Salle Bajío. México.

Nelson L. Nemerow. Industrial Waste Treatment. Elsevier, 2007. Estudio del Comportamiento del Tratamiento Anaerobio de Fangos ante Modificaciones del pH.

Olaya Arboleda y Gonzalez Salcedo (2009). Fundamentos para el diseño de biodigestores. Palmira.

Pérez (2006). Producción de energía eléctrica a partir de biogás procedente de vertederos de residuos sólidos urbanos. Guatemala.

Perspectivas de obtención de energía renovable de la biomasa del estiércol del ganado lechero en la región centro-sur de chihuahua. Revista Mexicana De Agronegocios, Vol. 30, enero-junio, 2012, Pp. 872-885 Sociedad Mexicana De Administración Agropecuaria A.C. Torreón, México.

Planeta Recicla. (2017). Nueve actividades humanas que generan gases de efecto invernadero. Retrieved from <https://www.ecoembes.com/es/planeta-recicla/blog/nueve-actividades-humanas-que-generan-gases-de-efecto-invernadero>

RESIDUALES DOMÉSTICAS EN PAÍSES EN DESARROLLO. Medellín, Colombia

Resolucion 0330, 2017, por la cual se adopta el Reglamento Tecnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Basico Ras 2017, art 184. eficiencia en los procesos de tratamiento.

Resolución 631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas

superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Reve (2013). Para detener el cambio climático, se deben sustituir los combustibles fósiles por energías renovables. Colombia.

Rómero Jairo, 2010. tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. Bogota/ Colombia.

Schallenberg, Piernavieja, Hernández, Unamunzaga, García, Díaz, Cabrera, Martel, Pardilla y Subiela, (2008). Energías renovables y eficiencia energética, Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.

Severiche Sierra, Acevedo Barrios (2013). Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda generación.

Torres Patricia, 2012. PERSPECTIVAS DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS

Unión europea (2018). Energía renovable para un desarrollo rural sostenible: posibles sinergias significativas, pero en su mayoría no materializadas en la práctica. Tribunal de cuentas europeo. Luxemburgo.

UPME (Unidad de planeación minero energética), "GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS," 2003. [Online]. Available: http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/GUIA_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_SISTEMAS_DE_PRODUCCION_DE_BIO.pd. [Accessed: 01-May-2015].

Vazquez y Rojas, 2016. pH teoría y 232 problemas, universidad autónoma metropolitana. Mexico

Villanueva Hernández, Nájera Aguilar, Gómez Ramos, Hernández Lárraga, Velasco Ortíz. (2011) Generación, caracterización y uso del biogás, producto de la digestión anaerobia de las excretas de ganado bovino, LACANDONIA, México.

William Hernando Vargas Salcedo, Jessica Abigail Rodriguez Rojas (2017)
Fabricación Y Comercialización de Biodigestores Para El Sector Agrícola- BEFCO-
. Bogotá D.C.

WWF (2018). Cambio Climático. [online] Wwf.org.co. Available at:
http://www.wwf.org.co/que_hacemos/wwf_al_clima

9. ANEXOS

9.1. Anexo 1. Selección, pesaje y caracterización de los Bovinos y los Ovinos



Imagen 20. Báscula Agrogama, medición del peso
Fuente: Autores



Imagen 21. Medición del peso de los bovinos
Fuente: Autores



Imagen 22. Aislamiento de la muestra poblacional de los bovinos.
Fuente: Autores



Imagen 23. Rebaño de ovinos.
Fuente: Autores



Imagen 24. Selección de la muestra poblacional de los ovinos.
Fuente: Autores



Imagen 25. Pesaje de los ovinos en la bascula.
Fuente: Autores



Imagen 26. Adecuación del lugar para el aislamiento de la muestra poblacional de los ovinos..
Fuente: Autores



Imagen 27. Recolección y pesaje de las excretas de los ovinos
Fuente: Autores

9.2. Anexo 2. Caracterización de las excretas de los cerdos



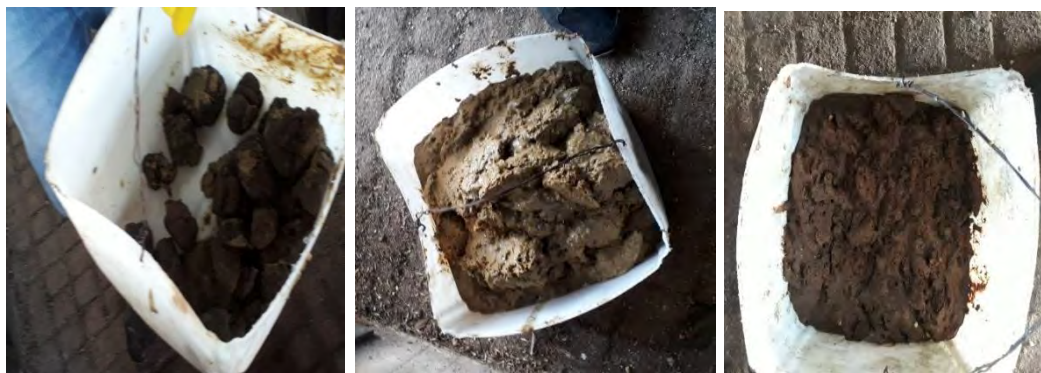
A. Adultos

B. Levante

C. Cebo y precebo

Imagen 28. Clasificación de los porcinos en corrales según su etapa o edad.

Fuente: Autores



A. Adultos

B. Levante

C. Cebo y precebo

Imagen 29. Recolección de las excretas de los porcinos discriminadas según su etapa o edad.

Fuente: Autores



Imagen 30. Pesaje de las excretas de los porcinos.
Fuente: Autores

9.3. Anexo 3. Instrumentos de recolección de información.

Tabla 45. Modelo utilizado para determinar la producción de carga orgánica en la finca..

Día	Fecha	Hora	Cerdos- porcinos			sumatoria
			Pequeños (Kg)	Medianos (Kg)	Grandes (Kg)	
1	Fecha 1	Hora 1				
		Hora 2				
		Hora 3				
		Total día				
2	Fecha 2	Hora 1				
		Hora 2				
		Hora 3				
		Total día				
3	Fecha 3	Hora 1				
		Hora 2				
		Hora 3				
		Total día				
4	Fecha 4	Hora 1				
		Hora 2				
		Hora 3				
		Total día				
5	Fecha 5	Hora 1				
		Hora 2				
		Hora 3				
		Total día				
6	Fecha 6	Hora 1				
		Hora 2				
		Hora 3				
		Total día				
7	Fecha 7	Hora 1				
		Hora 2				
		Hora 3				
		total día				
Sumatoria de los 7 días						
Promedio por día						
promedio por animal al día						

Fuente: Autores

Tabla 46. Modelo para la producción máxima y mínima en los distintos horarios de recolección.

Horario	Cantidad de excretas producidas (Kg)									
	Juev	Vier	Sáb	Dom	Lun	Mart	Miér	Máximo	Mínimo	Promedio
7:00										
A. M.										
11:20										
A. M.										
4:00										
P. M.										

Fuente: Autores

Tabla 47. Producción de excretas de ovinos.

Producción de Excretas de la Finca La Arcadia			
ovinos-carneros			
Día	Fecha	Hora	Peso de excretas (Kg)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
cantidad total de excretas			
promedio por día			
Promedio por animal al día			

Fuente: Autores

Tabla 48. Producción de excretas de los bovinos.

Producción de Excretas de la Finca La Arcadia			
bovinos-ganado			
Día	Fecha	Hora	Peso de excretas (Kg)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
cantidad total de excretas			
promedio por día			
promedio por animal			

Fuente: Autores

9.4. Anexo 4. Construcción de la zanja



Imagen 31. Trazado para la zanja
Fuente: autores



Imagen 32. Excavación de la zanja
Fuente: Autores



Imagen 33. Recubrimiento de la zanja en concreto
Fuente: Autores

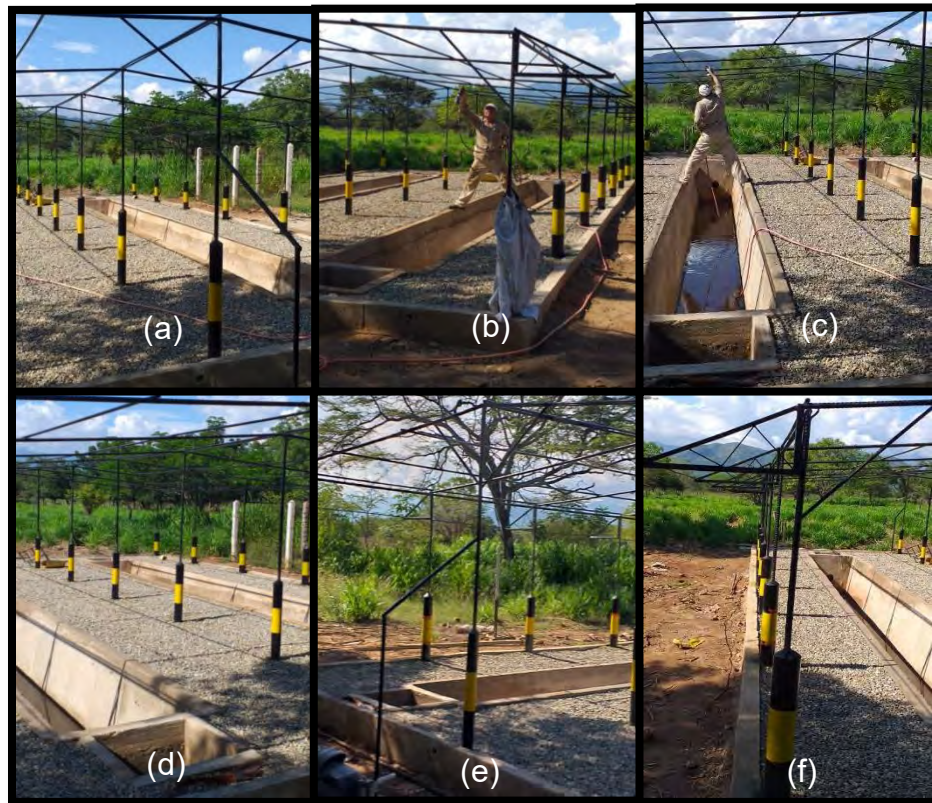


Imagen 34. Estructura protectora del biodigestor, cubierta y pasillos laterales
Fuente: Autores

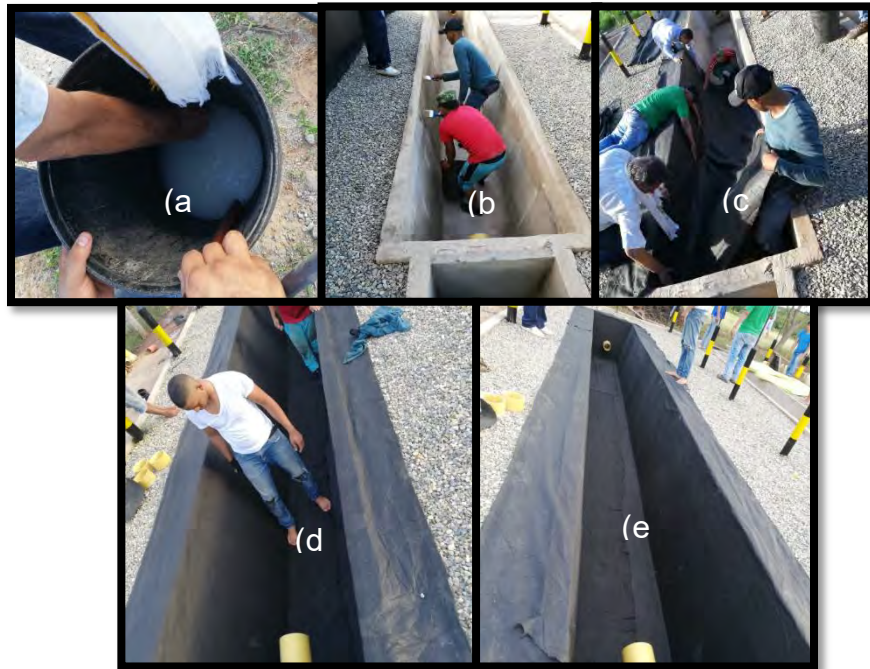


Imagen 35. Recubrimiento con geotextil
Fuente: Autores

9.5. Anexo 5. Instalación del plástico tubular.



Imagen 36. Corte del plástico Tubular
Fuente: Autores



Imagen 37. Introducción de un plástico dentro del otro.

Fuente: Autores

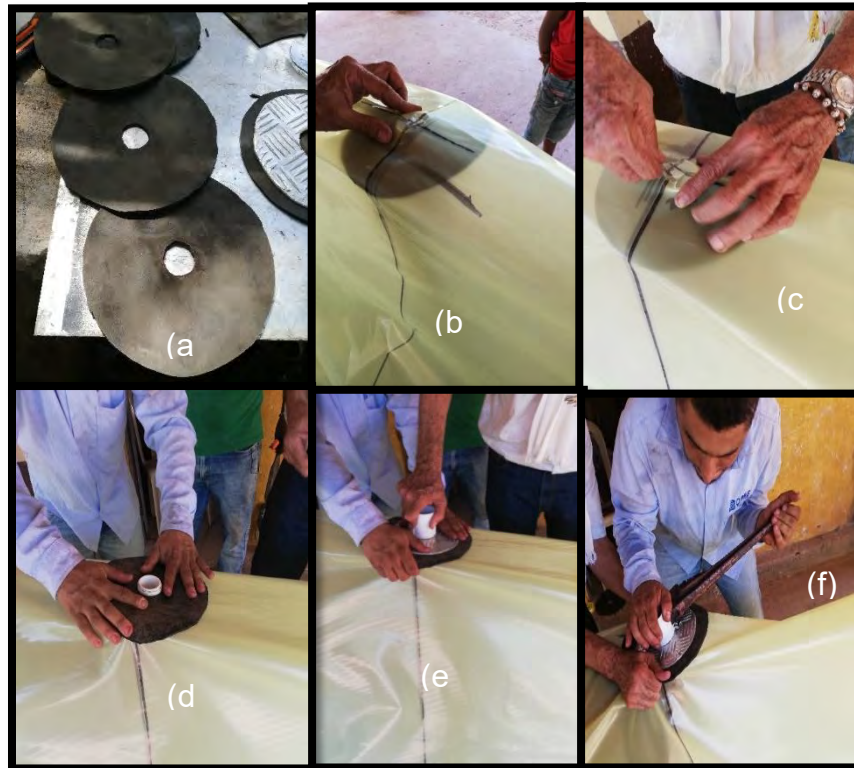


Imagen 38. Instalación de la salida del gas en el plástico.
Fuente: Autores



Imagen 39. Prueba del plástico en busca de fugas.
Fuente: Autores

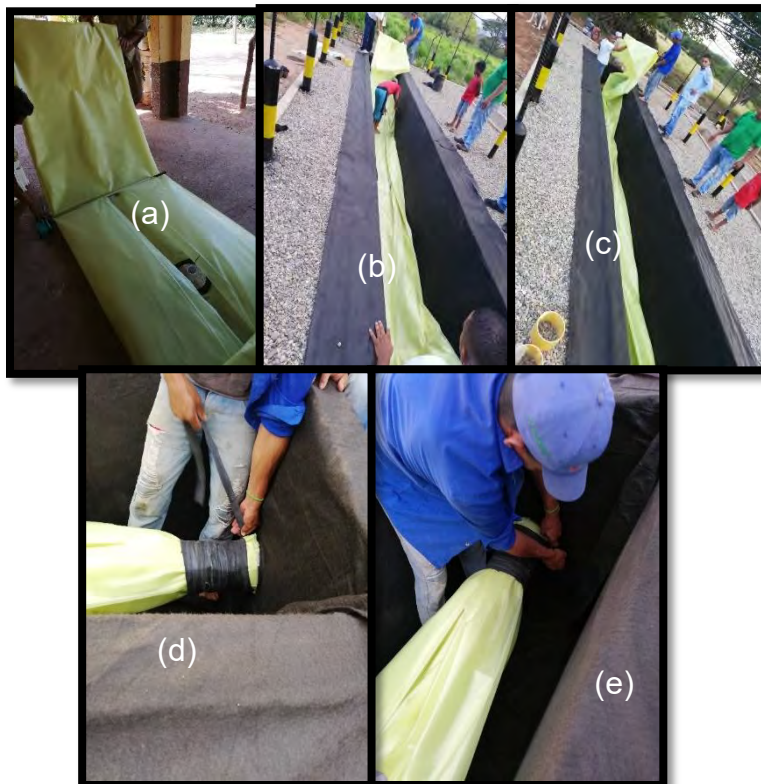


Imagen 40. Instalación del plástico tubular en la zanja.
Fuente: Autores

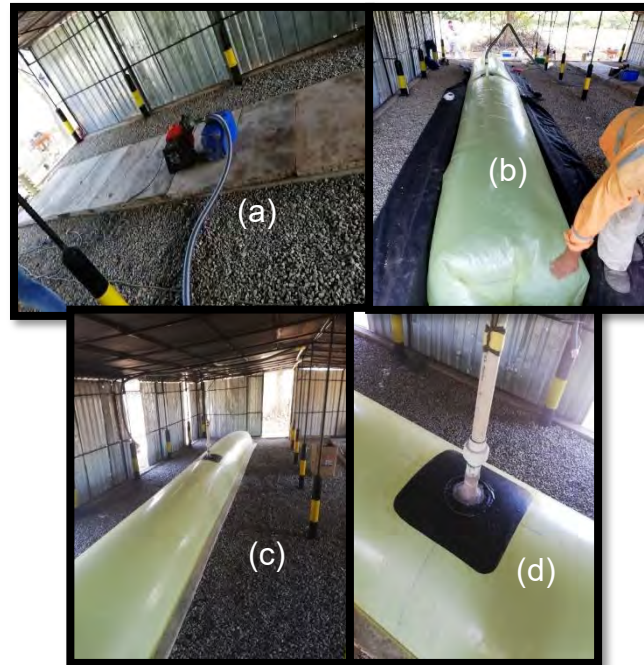


Imagen 41. Instalación de la ruana de Neumático en la salida del gas e inflado del plástico
Fuente: Autores



Imagen 42. Recubrimiento de la zanja en material esponjoso
Fuente: Autores.

9.6. Anexo 6. Instalación de las redes de conducción y demás componentes.



Imagen 43. Manguera flexible de polietileno en la salida del biogás.
Fuente: Autores

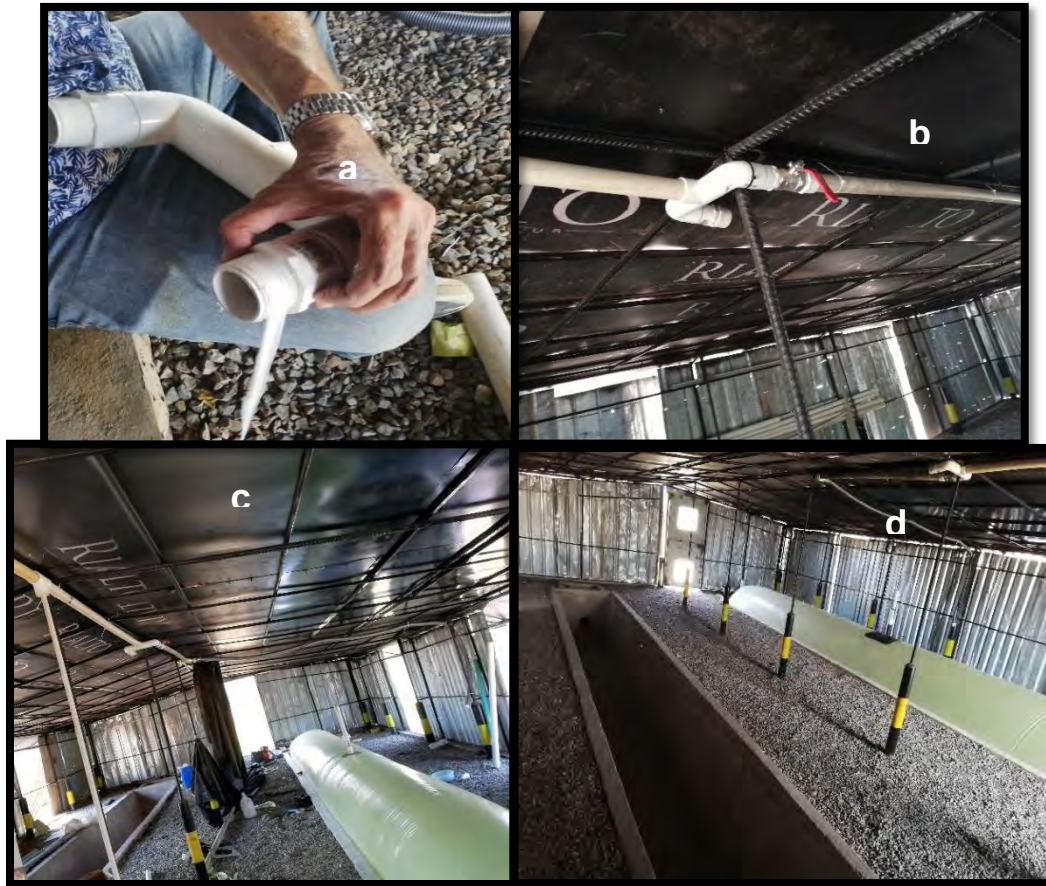


Imagen 44. Derivación en T, en la conducción del gas.
Fuente: Autores

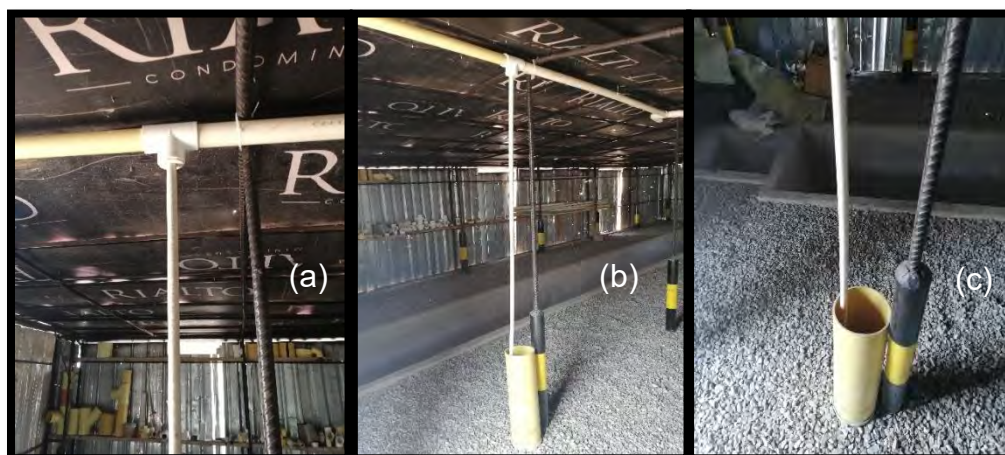


Imagen 45. Válvula de alivio de presión.
Fuente: Autores



Imagen 46. Trampa de agua..
Fuente: Autores

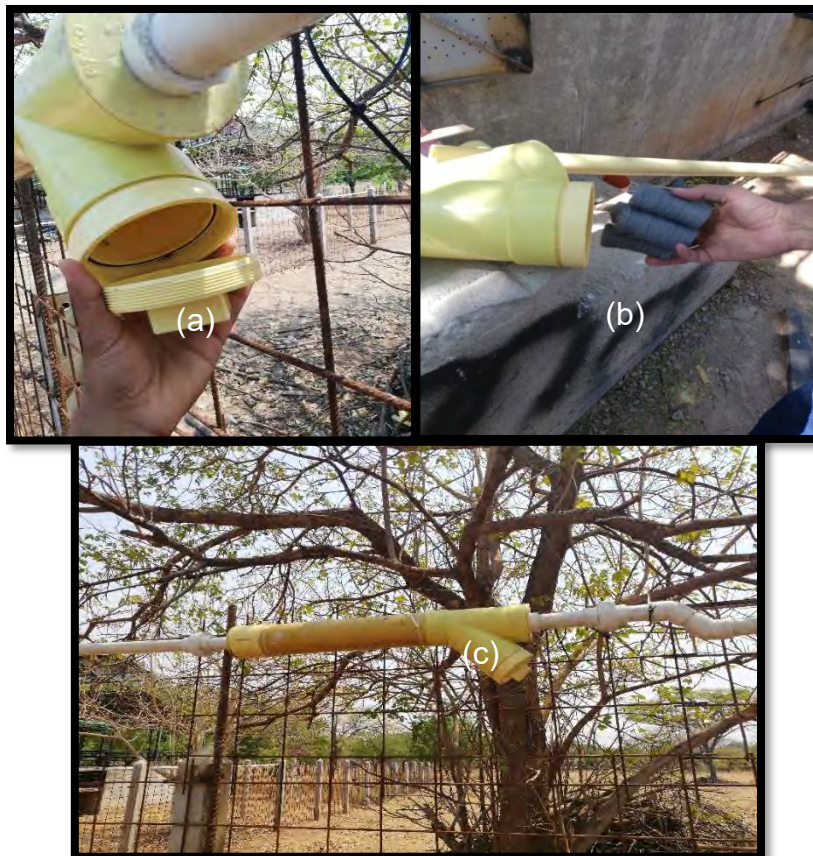


Imagen 47. Filtro de Ácido Sulhídrico.
Fuente: Autores



Imagen 48. Conducción del gas.
Fuente: Autores

9.7. Anexo 7. Puesta en marcha del biodigestor



Imagen 49. Recolección de las excretas.
Fuente: Autores



Imagen 50. Dilución del estiércol

Fuente: Autor



Imagen 51. Filtros en el tanque estercolero y en el tanque de distribución.

Fuente: Autores



Imagen 52. Tanque estercolero
Fuente: Autores



Imagen 53. Adición de agua para diluir el estiércol.
Fuente: Autores.



Imagen 54. Dilución del Estiércol.
Fuente: Autores.



Imagen 55. Remoción de material suspendido en el estercolero
Fuente: Autores



Imagen 56. Tanque de distribución.
Fuente. Autores



Imagen 57. Sistema de entrada y salida al biodigestor
Fuentes: Autores

9.8. Anexo 8. Demostracion de la eficiencia de los subproductos



Imagen 58. Toma de muestra en el Afluyente

Fuente: Autores



Imagen 59. Muestras del Afluente.
Fuente: Autores



Imagen 60. Tomada muestra en el Efluente
Fuente: Autores



Imagen 61. Muestras del Afluente.

Fuente: Autores

Imagen 62. Refrigeración de muestras para entrega en laboratorio.



Fuente: Autores

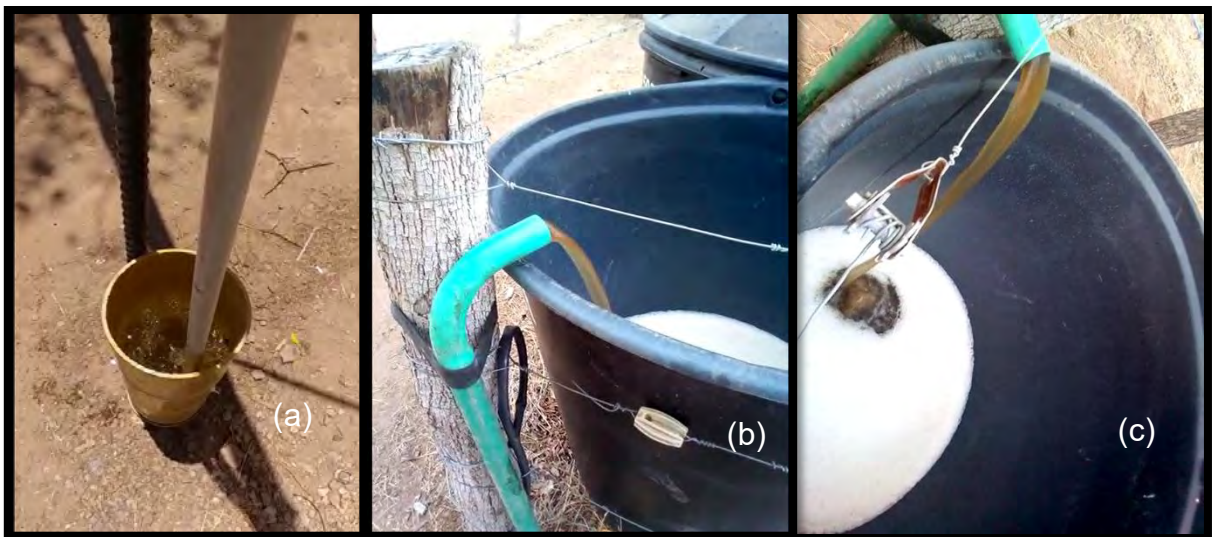


Imagen 63. Evidencias de la producción de Gas y del Biofertilizante.

Fuente: Autores

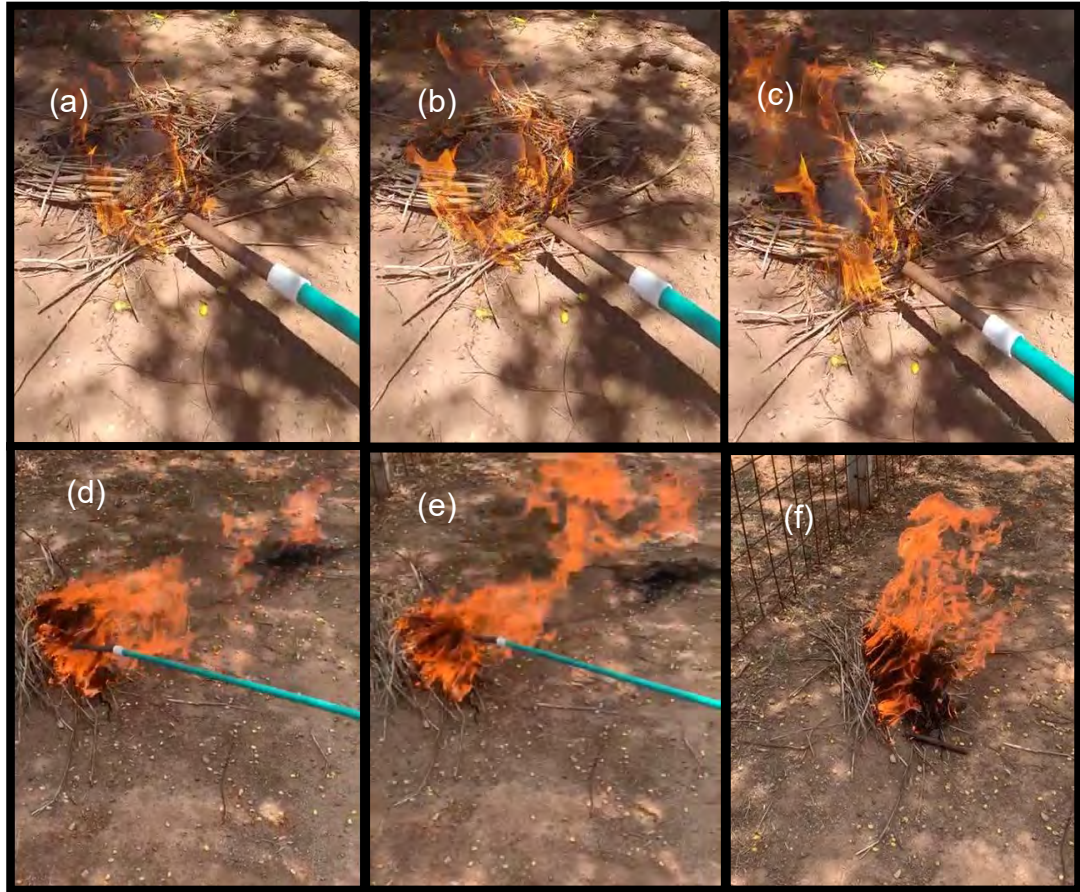


Imagen 64. Prueba de combustión del biogás
Fuente: Autores



Imagen 65. Toma de temperatura en el Afluente.

Fuente: Autores



Imagen 66. Resultado de la temperatura en el Afluente

Fuente: Autores



Imagen 67. Toma de Temperatura en el Efluente.

Fuente: Autores



Imagen 68. Resultado de temperatura en el Efluente.

Fuente: Autores

9.9. Anexo 9. Base referencial sobre biodigestores.

Tabla 49. Base referencial sobre biodigestores, biogas y energia.

BASE REFERENCIAL SOBRE BIODIGESTORES				
Tema	Título	Autor	Año	Lugar
Manuales de Biodigestores	Biodigestores familiares: guía de diseño y manual de instalación.	Martí Herrero, Jaime.	2008-actualizado o 2015	La Paz, Bolivia.
	Manual de diseño y de difusión de biodigestores familiares, con enfoque en biodigestores tubulares.	Astrid Forget.	2011	Lima, Perú.
	Biodigestores tubulares, guía de diseño y manual de instalación.	Jaime Martin Herrero.	2019	Ecuador.
Diseño de Biodigestores	Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas.	José Antonio Guardado Chacón	2007	La Habana, Cuba.
	Diseño de un biodigestor para la producción de biogás generado por las	Lara	2016	Chimborazo Ecuador.

	excretas de ganado vacuno, en el criadero jersey chugllin.			
	Diseño de un biodigestor para la producción de biogás generado por las excretas de ganado vacuno, en el criadero "Jersey Chugllin".	Lara Guilcapi	2016	Riobamba, Ecuador.
Energia	Energías renovables y eficiencia energética, Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.	Schallenberg, Piernavieja, Hernández, Unamunzag, García, Díaz, Cabrera, Martel, Pardilla y Subiela	2008	Canarias
	Viabilidad Económica de la Utilización de Biogás para la Conversión en Energía Eléctrica.	Cervi, Maura S. T. y Bueno	2011	Brasil.
	Para detener el cambio climático, se deben sustituir los combustibles fósiles	Reve	2013	Colombia

	por energías renovables.			
	Energía renovable para un desarrollo rural sostenible: posibles sinergias significativas, pero en su mayoría no materializadas en la práctica. Tribunal de cuentas europeo.	Unión europea	2018	Luxemburgo
	Energía obtenida a partir de biomasa. Universidad Complutense de Madrid.	Emilio Cerdá	2018	España.
Biogas	Implementación De Un Sistema Para Generar Electricidad A Partir De Biogás En La Finca Pecuaria Integrada De Earth. Universidad EARTH. Las Mercedes de Guácimo, Limón	J. E. Coto, J. J. Maldonado, R. Botero1, J. V. Murillo	2007	Costa Rica.
	Generación, caracterización y uso del biogás, producto de la digestión anaerobia	Villanueva Hernández, Nájera Aguilar, Gómez Ramos, Hernández Lárraga, Velasco Ortíz	2011	México

	de las excretas de ganado bovino, LACANDONIA			
	Aprovechamiento de biogás proveniente del abono de ganado vacuno en un establo ubicado en Ixtapaluca estado de México. Escuela superior de ingeniería y arquitectura u. Z.	Doroteo Otlica	2012	México.
	Producción potencial de biogás empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato. Escuela de Ingeniería civil, mecánica e industrial, Universidad De La Salle Bajío.	Martínez Lozano	2015	México.
	Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico. Banco	Blanco, Santalla, Córdoba y Levy	2017	

	interamericano de desarrollo.			
VIDEOS				
TEMA	LINK			
Construcción del biodigestor	https://www.youtube.com/watch?v=QbQIc-csNvw https://www.youtube.com/watch?v=nWu1APrnkjo			
Biogas	https://www.youtube.com/watch?v=TmQfezMUavY			
Biodigestor en porcinas	https://www.youtube.com/watch?v=kbMLUwc-me4 https://www.youtube.com/watch?v=a1C0BOnG_H8 https://www.youtube.com/watch?v=YqBg4YKNCrI			
Tipos de Biodigestores	https://www.youtube.com/watch?v=qnau04At-xg			
Documental energía	https://www.youtube.com/watch?v=Yv7IJUxdqbc			
Ejemplos de experiencias con los Biodigestores	https://www.youtube.com/watch?v=8daURXyJO4 https://www.youtube.com/watch?v=1gmNnYbVLVs https://www.youtube.com/watch?v=AVOPpav-2e0			
ASOCIACION PORCICOLA DE COLOMBIA	https://www.youtube.com/watch?v=kWHc5-oi8-c https://www.youtube.com/watch?v=AXiNfPAud4c https://www.youtube.com/watch?v=BDEKa4G4IOo			


Fuente: Autores

9.10. Anexo 10. Resultados de laboratorio

Anexo 10.1. Resultados del Efluente.



Nancy Flórez García S.A.S
Confiable a toda prueba
Nº: 824 005 588-0



IDEAM
INSTITUTO VENEZOLANO
DE INVESTIGACIÓN
Y ESTUDIOS AMBIENTALES

COD: RO-104 Ver: 08 del 17 de Agosto de 2018

CERTIFICADO DE ANALISIS
Nº 35419

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

EMPRESA : DINA PAOLA MONTEALEGRE ROSADO	NIT : 1064116515
DIRECCIÓN : CALLE 29 # 19 - 54 PRIMERO DE MAYO APTD 101 INTERNO	CIUDAD : VALLEDUPAR
CONTACTO : DINA PAOLA MONTEALEGRE ROSADO	TELÉFONO : 3017064089
CARGO : PARTICULAR	

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

NOMBRE : AGUA RESIDUAL NO DOMÉSTICA	HORA MUESTRA : 10:15
LUGAR DE MUESTREO : LA ARCADIA	MUESTREO : 2020/09/29
PUNTO DE MUESTREO : EFLUENTE LA ARCADIA	RECEPCIÓN : 2020/09/29
TIPO DE MUESTRA : SIMPLE	INICIO ENSAYOS : 2020/09/29
PLAN DE MUESTREO : N.S	FINAL ENSAYOS : 2020/10/15
PRÓC. DE MUESTREO : N.S	INFORME : 2020/10/17

CODIGO : 200960410
LOTE : N.A
REGISTRO INVIMA : N.A

Fisicoquímico					
ANÁLISIS	MÉTODO - TÉCNICA	LCM	FECHA ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) mg O ₂ /L (A)	SM 5210 B / EPA 360.3 - Incubación 5 días	2,00	2020/09/29	450,00	612
Nitrógeno Total Kjeldahl mg N/L (A)	SM 4500-Norg.C / SM 4500-NH3 B,C - Volumétrico	2,00	2020/10/16	Análisis y Reporte	161
pH (21,2 °C) U de pH	SM 4500-H+ B - Electrométrico	-	2020/09/29	6,00 a 9,00	7,10
Sólidos Disueltos mg/L (A)	SM 2540 C - Gravimétrico	5,00	2020/10/13	N.R	1380
Temperatura °C	SM 2550 B - Electrométrico	-	2020/09/29	N.R	21,2

Especificación: RESOLUCIÓN 0611 DEL 2011 ART 9 (GANADERIA DE PORCINOS - CRIA) - (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE)


NOTA :
Muestra tomada y traída al laboratorio por el cliente.
La muestra no cumple con el parámetro de la especificación para DBO.

N.A: No Aplica N.S: No Suministrado N.R: Parametro no requerido por la especificación
(A): Acreditado (S): Subcontratado (LCM): Limite de cuantificación del método

Todo resultado del laboratorio está respaldado por una marca que verifica su autenticidad.
Resultado no controlado una vez entregado al cliente.
El resultado aplica únicamente a la muestra recibida y analizada.
No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.
Cuando se coloque la sigla N.S en la Fecha de Análisis, indica que el Laboratorio Subcontratado no la ha suministrado en el certificado de análisis entregado.
Para los ensayos microbiológicos y DBO, la fecha de análisis corresponde a la fecha de inicio de los mismos. La fecha de finalización cumple en cada caso los tiempos establecidos en el método.


Laboratorio Acreditado por el IDEAM según Resolución Nº 0398 de 02 de mayo 2019 * por la cual se renueva y se extiende la acreditación al LABORATORIO AMBIENTAL Y DE ALIMENTOS NANCY FLOREZ GARCÍA de la SOCIEDAD LABORATORIOS NANCY FLOREZ GARCIA SAS., para producir información cuantitativa, física, química y biótica para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales competentes y de carácter oficial, relacionada con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables.

APROBO




KARINA CAMPO
TP: 301.7064089
Coordinador Técnico de Laboratorio
Fin de Informe

Anexo 10.2. Resultados del Afluente.



Nancy Flórez García S.A.S
Confiables a toda prueba
NIT: 824.005.588-0



IDEAM
INSTITUTO DE METEOROLOGÍA Y ESTADÍSTICAS AMBIENTALES

COD: RD-104 Ver: 08 del 17 de Agosto de 2018

CERTIFICADO DE ANALISIS
N° 35418

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

EMPRESA : DINA PAOLA MONTEALEGRE ROSADO
DIRECCIÓN : CALLE 29 #19 - 54 PRIMERO DE MAYO APTO 101 INTERNO
CONTACTO : DINA PAOLA MONTEALEGRE ROSADO
CARGO : PARTICULAR

NIT : 1064116515
CIUDAD : VALLEDUPAR
TELÉFONO : 3017064089

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

NOMBRE : AGUA RESIDUAL NO DOMESTICA
LUGAR DE MUESTREO : LA ARCADIA
PUNTO DE MUESTREO : AFLUENTE LA ARCADIA
TIPO DE MUESTRA : SIMPLE
PLAN DE MUESTREO : N.S
PROC. DE MUESTREO : N.S

CODIGO : 200960409
LOTE : N.A
REGISTRO INVIMA : N.A

Fisicoquímico					
ANÁLISIS	MÉTODO - TÉCNICA	LCM	FECHA ANÁLISIS	RESULTADO	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) mg O ₂ /L (A)	SM 5210 B / EPA 360.3 - Incubación 5 días	2,00	2020/09/29	238	
Nitrógeno Total Kjeldahl mg N/L (A)	SM 4500-Nitrg C / SM 4500-NH3 B,C - Volumétrico	2,00	2020/10/16	332	
pH (21,2 °C) U de pH	SM 4500-H+ B - Electrométrico		2020/09/29	7,06	
Sólidos Disueltos mg/L (A)	SM 2540 C - Gravimétrica	3,00	2020/10/13	930	
Temperatura °C	SM 2550 B - Electrométrico		2020/09/29	21,2	

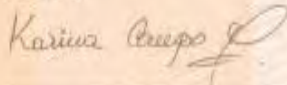
NOTA :
Muestra tomada y traída al laboratorio por el cliente.

N.A: No Aplica N.S: No Suministrado
(A): Acreditado (S): Subcontratado (LCM): Límite de cuantificación del método

Todo resultado del laboratorio está respaldado por una marca que verifica su autenticidad.
Resultado no controlado una vez entregado al cliente.
El resultado aplica únicamente a la muestra recibida y analizada.
No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.
Cuando se coloque la sigla N.S en la Fecha de Análisis, indica que el Laboratorio Subcontratado no ha suministrado en el certificado de análisis entregado.
Para los ensayos microbiológicos y DBO, la fecha de análisis corresponde a la fecha de inicio de los mismos. La fecha de finalización cumplen en cada caso los tiempos establecidos en el método.

Laboratorio Acreditado por el IDEAM según Resolución N° 0398 de 02 de mayo 2019 * por la cual se renueva y se extiende la acreditación al LABORATORIO AMBIENTAL Y DE ALIMENTOS NANCY FLOREZ GARCÍA de la SOCIEDAD LABORATORIOS NANCY FLOREZ GARCÍA SAS., para producir información cuantitativa, física, química y biológica para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales competentes y de carácter oficial, relacionada con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables.

APROBO



KARINA CAMPO
C.P. 2889
Coordinador Técnico de Laboratorio

Fin de Informe

9.11. Anexo 11. Certificación de prácticas laborales y carta de satisfacción

**ORBE AGROPECUARIA S.A.S.**
NIT: 900 419 436-2

CERTIFICA:

Que los Señores Jose David Luquez Maestre, identificado con C.C. N° 1'065,829.522 y Dina Paola Montealegre Rosado, identificada con la C.C. N° 1'064,116.515, desarrollaron sus **Prácticas Universitarias** como opción de grado para la carrera Ingeniería Ambiental y Sanitaria del Departamento de Ingeniería y Tecnológicas mediante convenio establecido con la UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR, teniendo como objetivo específico diseñar y construir un biodigestor anaerobio para la generación de energía eléctrica a partir de materia orgánica producida por las excretas de bovinos, porcinos y ovinos en la Finca La Arcadia, de propiedad de la empresa Orbe Agropecuaria SAS.

Además, se plantearon otros objetivos específicos como:

- Caracterizar la carga orgánica proveniente del estiércol de los porcinos, los ovinos y los bovinos en la Finca la Arcadia.
- Determinar las condiciones técnico-operativas necesarias para el diseño óptimo del biodigestor.
- Realizar la construcción y puesta en marcha del biodigestor.
- Evaluar el comportamiento y la eficiencia del biodigestor y sus subproductos.

Durante el desarrollo de la práctica los estudiantes mostraron responsabilidad, cumplimiento y honestidad en el desarrollo de sus actividades diarias.

A la fecha el biodigestor anaerobio para la generación de energía eléctrica a partir de materia orgánica producida por las excretas de bovinos, porcinos y ovinos se encuentra en estado activo ya que el proyecto fue ejecutado según lo planeado y se encuentra funcionando correctamente.

Se expide esta certificación a solicitud del interesado el día 26 de octubre de 2020.

Cordialmente,


CARLOS ENRIQUE OROZCO DAZA,
REP. LEGAL ORBE AGROPECUARIA S.A.S.


JAIME JOSE OROZCO O.,
DIRECTOR DE PROYECTOS AGROPECUARIOS

Finca 1746, 0-4103-01 Calle 19da. Centro de Atención
Atención al Cliente: 0994 3145000 - Bogotá - Calle 141-0607
Bogotá - Colombia
www.orbeagropecuaria.com.co
Bogotá - Colombia