



CONSTRUCCIÓN DE BIODIGESTOR PARA ESTIMACIÓN DE POTENCIAL
ENERGÉTICO A PARTIR DE BOVINAZA. FINCA “LAS DELICIAS”, VEREDA
SANTA BÁRBARA, ÍQUIRA-HUILA.

María Manuela Cedeño Peña

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 14-October-2019.

CONSTRUCCIÓN DE BIODIGESTOR PARA ESTIMACIÓN DE POTENCIAL
ENERGÉTICO A PARTIR DE BOVINAZA. FINCA “LAS DELICIAS”, VEREDA
SANTA BÁRBARA, ÍQUIRA-HUILA.

María Manuela Cedeño Peña

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):
José Alfonso Avellaneda Cusarí

Línea de Investigación:
Gestión Integral Sustentable
Área de aplicación:
Energías

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2019

Acta de sustentación

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

A mis padres...este trabajo es el reflejo del sacrificio, amor y apoyo incondicional que me ha permitido crecer profesionalmente.

Agradecimientos

Finalmente quiero agradecer la Universidad El Bosque, por la formación profesional que me brindó para contribuir a la sustentabilidad ambiental de nuestro país, así mismo, agradezco inmensamente a mi director de grado, José Alfonso Avellaneda Cusarúa por su aporte, dedicación y orientación para sacar adelante este proyecto de investigación.

TABLA DE CONTENIDO

1.	Listado de Tablas	10
2.	Listado de Figuras.....	10
3.	Resumen	12
4.	Abstract.....	12
5.	Introducción.....	13
6.	Planteamiento del problema	14
7.	Justificación	14
8.	Objetivos.....	15
8.1	Objetivo general	15
8.2	Objetivos específicos.....	15
9.	Marco de referencia	16
9.1	Antecedentes.....	16
9.2	Marco Conceptual	18
9.3	Marco Teórico	20
9.4	Marco Normativo	21
9.5	Marco referencial biogeográfico	24
9.6	Marco institucional.....	26
10.	Metodología.....	28
11.	Desarrollo de la investigación y resultados	31
11.1	Etapa 1: Preparación.....	31
11.2	Etapa 2: Análisis.....	35
11.3	Etapa 3: Implementación	38
11.4	Etapa 4: Producción de biogás.....	43
11.5	Estimación de potencial energético como energía eléctrica.....	47
12.	Cronograma	48
13.	Presupuesto	50
14.	Aspectos Éticos.....	52
15.	Análisis y discusión de resultados	52
15.1	Resultados por objetivos.....	52

15.2	Análisis de resultados:	56
15.3	Utilidad de las esponjillas para captación de ácido sulfhídrico (H ₂ S):.....	57
15.4	Costo-beneficio.....	57
15.5	Resultados por variables ambientales.....	58
16.	Conclusiones.....	61
17.	Recomendaciones	62
18.	Anexo:.....	62
19.	Glosario de términos.....	63
20.	Bibliografía	64

1. Listado de Tablas

<i>Tabla 1. Institución o empresa y su participación en el proyecto.</i>	26
<i>Tabla 2. Diseño metodológico del proyecto.</i>	28
<i>Tabla 3. Variables ambientales de referencia en ese estudio.</i>	29
<i>Tabla 4. Técnicas e instrumentos utilizados en la presente investigación.</i>	29
<i>Tabla 5: Utilidad de los biodigestores.....</i>	31
<i>Tabla 6. Instrumentos y técnicas para el aforo de bovinaza.</i>	33
<i>Tabla 7. Aforo de la bovinaza en el corral de ordeño.</i>	34
<i>Tabla 8. Etapas de la instalación en la obra civil.</i>	40
<i>Tabla 9. Trampa de gases del sistema biodigestor.</i>	42
<i>Tabla 10. Medición de presión de gas en el sistema.</i>	45
<i>Tabla 11. Cronograma llevado a cabo en el proyecto.</i>	48
<i>Tabla 12. Presupuesto llevado a cabo en el proyecto.</i>	51
<i>Tabla 13. Resultados del proyecto según los objetivos.</i>	52
<i>Tabla 14. Resultados por variables ambientales.</i>	58

2. Listado de Figuras

<i>Figura 1. Ordeño mecanizado finca Las Delicias. Elaboración propia.</i>	25
<i>Figura 2. Ordeño mecanizado finca Las Delicias. Elaboración propia.</i>	25
<i>Figura 3. Ordeño mecanizado finca Las Delicias. Elaboración propia.</i>	25
<i>Figura 4. Finca Las Delicias. Elaboración propia.</i>	25
<i>Figura 5. Ubicación finca Las Delicias en territorio del municipio de Íquira. Elaboración en Google Earth.....</i>	26
<i>Figura 6. Metodología en diagrama de flujo.....</i>	30

<i>Figura 7. Uso de pala en la recolección de bovinaza. Elaboración propia.</i>	33
<i>Figura 8. Uso de pala y balde en la recolección de bovinaza. Elaboración propia.</i>	33
<i>Figura 9. Pesa de bovinaza por gravimetría. Elaboración propia.</i>	33
<i>Figura 10. Diseño del biodigestor.</i>	36
<i>Figura 11. Diseño tanque de fermentación con dimensiones en planta y corte.</i>	37
<i>Figura 12. Diseño de tanque biodigestor con dimensiones en planta y corte.</i>	37
<i>Figura 13. Terreno dispuesto para realizar la implementación del biodigestor. Elaboración propia.</i>	38
<i>Figura 14. Excavación en el terreno. Elaboración propia.</i>	38
<i>Figura 15. Nivelación del terreno excavado. Elaboración propia.</i>	38
<i>Figura 16. Instalación de refuerzos. Elaboración propia.</i>	39
<i>Figura 17. Vertido de concreto. Elaboración propia.</i>	39
<i>Figura 18. Mampostería de la obra. Elaboración propia.</i>	39
<i>Figura 19. Fundición de columnas. Elaboración propia.</i>	40
<i>Figura 20. Instalación de tubos conductores y construcción de tanques afluente y efluente. Elaboración propia.</i>	40
<i>Figura 21. Obra civil culminada y con viga aérea. Elaboración propia.</i>	40
<i>Figura 22. Se acomoda la geomembrana a lo largo del pozo biodigestor. Elaboración propia.</i>	40
<i>Figura 23. Se acomodan las mangas de la geomembrana en los tubos de la obra civil y se aseguran con material de neumático. Elaboración propia.</i>	40
<i>Figura 24. Una vez terminada la instalación, se procede a llenar la geomembrana con aire del exterior por medio de un soplador. Elaboración propia.</i>	41
<i>Figura 25. Por último se inicia el llenado con agua hasta que el nivel se encuentre por encima de los dos tubos conductores (afluente y efluente). Elaboración propia.</i>	41
<i>Figura 26. Diseño de trampa de gases del sistema biodigestor.</i>	42
<i>Figura 27. Trampa de gases hecha con esponjillas de aluminio y acero. Elaboración propia.</i>	42
<i>Figura 28. Instalación de la trampa de gases en el sistema de válvulas. Elaboración propia.</i>	42
<i>Figura 29. Seguro roscado de la trampa de gases. Elaboración propia.</i>	43
<i>Figura 30. Trampa de gases instalada con sistema de válvulas, válvula de seguridad o sello hidráulico (regulador de presión). Elaboración propia.</i>	43
<i>Figura 31. Conexión de geomembrana biodigestora al sistema de trampa de gases, por medio de manguera flex. Elaboración propia.</i>	43
<i>Figura 32. Red de conducción de biogás hacia el corral, con pendiente para retornar gas metano condensado. Elaboración propia.</i>	43
<i>Figura 33. Registro fotográfico de manómetro a las 6:00 a.m. Elaboración propia.</i>	45
<i>Figura 34. Registro fotográfico de geomembrana a las 6:00 a.m. Elaboración propia.</i>	45
<i>Figura 35. Registro fotográfico de manómetro a la 1:00 p.m. Elaboración propia.</i>	45
<i>Figura 36. Registro fotográfico de geomembrana a la 1:00 p.m. Elaboración propia.</i>	45
<i>Figura 37. Registro fotográfico de manómetro a las 6:00 p.m. Elaboración propia.</i>	46
<i>Figura 38. Registro fotográfico de la geomembrana a las 6:00 p.m. Elaboración propia.</i>	46

3. *Resumen*

El trabajo que aquí se presenta constituye los resultados de la investigación construcción de biodigestor para estimación de potencial energético a partir de bovinaza. Finca “las delicias”, vereda santa bárbara, Íquira-Huila, que tuvo como objetivo evidenciar la utilidad de la bovinaza, residuo de la producción pecuaria, para generación de energía eléctrica, en una unidad productiva de mediana escala. Con esta investigación se encontró que en un hato ganadero la bovinaza, además representa un insumo que puede contribuir a disminuir los costos de la producción y mejorar la calidad de vida, tanto desde el punto de vista ecológico al eliminar un residuo orgánico, como desde el punto de vista social, al mejorar la calidad de vida y de forma integral para la mejora del ambiente en la zona rural, donde esta actividad es la más importante.

Palabras clave: biodegradación, bovinaza, generación energética, gases de efecto invernadero
Metanogénesis.

4. *Abstract*

The work presented here constitutes the results of the biodigestor construction research to estimate energy potential from bovinaza, “Las Delicias” farm, Santa Barbara village, Íquira-Huila, which aimed to demonstrate the usefulness of the bovinaza, livestock production waste, for electric power generation, in a medium-scale productive unit. With this research it was found that in a cattle herd the bovinaza, also represents an input that can contribute to lower production costs and improve the quality of life, both from the ecological point of view by eliminating an organic waste, as desired social point of view, by improving the quality of life and comprehensively for the improvement of the environment in the rural area, where this activity is the most important.

Key words: biodegradation, bovinaza, energetic generation, greenhouse gases, methanogenesis.

5. *Introducción*

La siguiente investigación tiene como objetivo principal la implementación de un biodigestor, utilizando bovinaza y a partir de su funcionamiento, evaluar el potencial energético.

La estimación de potencial energético se hizo teniendo en cuenta las siguientes variables: la radiación solar, temperatura ambiente, cantidad de bovinaza producida diariamente y volumen de agua requerido para el correcto funcionamiento del biodigestor.

El diseño y la construcción del biodigestor, se hizo teniendo en cuenta el cumplimiento de los estándares necesarios preservar la vida útil de la geomembrana biodigestora, la cual es la encargada de propiciar el ambiente idóneo para poder llevar a cabo la metanogénesis en un medio anaerobio.

A partir de su instalación y estabilización del ambiente propio para la generación de biogás se realizaron las estimaciones del potencial energético que puede alcanzar el sistema de generación de biogás.

Este proyecto constituye un aporte a la sustentabilidad ambiental y económica a partir del aprovechamiento de la bovinaza, para la generación de biogás por medio de los gases de efecto invernadero que produce la ganadería.

6. *Planteamiento del problema*

La inadecuada disposición final de desechos, producto de las heces fecales bovinas, en la finca Las Delicias, ubicada en la vereda Santa Bárbara, municipio de Íquira, departamento del Huila, afecta la principal vía de acceso de las fincas aledañas en la comunidad, generando dificultades en su uso, afectando la calidad de vida de los transeúntes y de la población vecina, originando residuos sólidos y líquidos que propician problemas sanitarios, como la generación de vectores por acumulación, olores ofensivos y contaminación de cuerpos hídricos por escorrentía, por lo tanto se ha decidido desarrollar el proyecto “Implementación de biodigestor para producción de energía eléctrica a partir de bovinaza” en dicha zona.

Teniendo en cuenta lo ya mencionado, se ha establecido la pregunta de investigación de la siguiente manera: ¿Cómo contribuye el uso de biodigestores en la generación de biogás como insumo energético a partir de la bovinaza, para la sostenibilidad ambiental en medianas ganaderías bovinas?

7. *Justificación*

El saneamiento en una explotación agropecuaria, tipo finca ganadera comprende el manejo sanitario del agua potable, las aguas residuales y bovinaza, los residuos sólidos y el comportamiento higiénico que reduce los riesgos para la salud y previene la contaminación. Teniendo en cuenta esto, se encuentra como una solución la utilización de tratamientos anaerobios como biodigestores para degradación de materia orgánica como la bovinaza y de esta manera satisfacer la necesidad de saneamiento en la zona y utilizar el resultado de biogás para generar iluminación, energía calórica para consumo doméstico y producción de abono para los potreros de pastoreo y jardinería.

El proyecto brinda una solución al saneamiento de bovinaza, la cual es uno de los factores que obstaculizan la principal vía de acceso que utilizan los habitantes de las fincas colindantes, para transitar por el mismo y que así puedan llevar su producción de leche a su respectivo destino. De esta misma manera, se utiliza la bovinaza recogida en la lechería para producir biogás por medio de un biodigestor, mediante el proceso de metanogénesis y que puede ser utilizado como insumo para generar energía eléctrica que será aprovechada en la producción de leche con ordeño mecanizado o energía calórica para consumo doméstico.

8. *Objetivos*

8.1 *Objetivo general*

Implementar un biodigestor y evaluar su potencial para la generación de energía eléctrica a partir de heces bovinas en la finca Las Delicias, municipio de Íquira.

8.2 *Objetivos específicos*

- Evaluar la factibilidad del biodigestor considerando la materia prima disponible y las variables requeridas para su adecuada operación.
- Diseñar el biodigestor según las características del terreno y de las heces bovinas.
- Ejecución del biodigestor y evaluación del potencial para la obtención de energía eléctrica a partir de los productos de metanogénesis de las heces fecales bovinas.

9. Marco de referencia

9.1 Antecedentes.

- *MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE DOS BIODIGESTORES ANAEROBIOS CON RESIDUOS ORGANICOS GENERADOS EN LA CENTRAL DE MERCADO “PLAZA KENNEDY” EN BOGOTA.*

Los biodigestores tienen como función acelerar el proceso de digestión de la materia orgánica biodegradable a corto plazo, especialmente de desechos de alimentos, la cual representa más del 50% de los residuos sólidos; de esta forma se obtiene biogás de manera rápida y controlada, separa y controla los lixiviados generados, permite la recuperación posterior (fuera del biodigestor) de los desechos, libres de materia orgánica inestable, por medio de procesos posteriores de reciclaje, separar los residuos que no se biodegraden en el proceso de digestión anaerobia: plástico, caucho, papel, cartón y metales entre otros. Los materiales que no se puedan recuperar se depositan en el relleno sanitario, y así los lixiviados se almacenan en depósitos apropiados para su posterior tratamiento y disposición final.

En Bogotá D.C hay 36 plazas de mercado y estas son una fuente principal de residuos, de estas se obtienen una alta participación del componente verduras (mayor al 50%), le siguen las frutas (promedio del 14%). Teniendo en cuenta lo anterior se logra deducir que las plazas de mercado son una fuente principal productora de residuos tanto sólidos como líquidos y la falta de una adecuada gestión para el tratamiento y disposición de los residuos generados es una de las grandes fallas que tienen las plazas de mercado actualmente.

“De la misma forma, en CORABASTOS los sectores de verduras, frutas y hortalizas son los mayores generadores de residuos, más del 80% comprendiendo vegetales, papel y madera. En el sector de granos y procesados los residuos corresponden a empaques.” (Bogotá, Díaz, & Ramos, 2009)

Con base a la problemática actual respecto a la producción de Residuos Sólidos descrita y a la propuesta de manejo alternativo para la recuperación de Residuos sólidos se realizó la ejecución del montaje y puesta en marcha de dos biodigestores con residuos orgánicos generados en la central de mercado “plaza de mercado de Kennedy” , del cual se tiene como propósito el uso y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, para así lograr el aprovechamiento de residuos sólidos en las plazas de mercado y minimizar la disposición de estos en el relleno sanitario. (Bogotá, Díaz, & Ramos, 2009)

- *ESTUDIO Y DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA APLICACIÓN EN PEQUEÑOS HATOS GANADEROS Y LECHEROS.*

En Chile los recursos económicos se han concentrado en la inversión de zonas urbanas ya que es donde se encuentran la mayoría de habitantes del país, las zonas rurales es solo el 14,5% del

total, Sin embargo la zona rural en el sur del país representa porcentajes importantes del total de la población chilena. En el enfoque de electrificación se ha observado que en las zonas urbanas se cumple en un 100% la prestación del servicio, lo cual ha motivado la creación de campañas o programas que promuevan la electrificación rural.

Una alternativa de solución al problema de la falta de servicio de electrificación es la autogeneración. Esto se propone en áreas lejanas a los transmisores eléctricos (como muchas zonas rurales), en las cuales los costos e impedimentos técnicos dificultan la prestación de un sistema domiciliario común con el resto del país. En la actualidad existen variadas alternativas para la autogeneración a pequeña escala, tales como:

- Molinos de aprovechamiento de energía eólica.
- Celdas fotovoltaicas para aprovechamiento de energía solar.
- Utilización de biomasa.

Debido a lo ocurrido en Chile, los habitantes han intentado aprovechar una de las principales actividades económicas desarrolladas en el país, la crianza de bovinos para engorda y el aprovechamiento de la leche y la carne. Los desechos generados por los animales en esta actividad son las heces (materia fecal) que a su vez es la materia prima para poder llevar a cabo su objetivo, ya sea biogás o energía eléctrica.

El biogás es un producto de la metanogénesis, donde participan ciertas bacterias que trabajan en la descomposición de tejidos orgánicos en ambientes húmedos y carentes de oxígeno. A su vez, durante el proceso de descomposición, algunos compuestos orgánicos son transformados a minerales y pueden ser usados como fertilizantes para los cultivos.

La producción de biogás depende, principalmente, de la materia prima, de la temperatura y del tiempo de descomposición. Consiste en la descomposición anaeróbica, donde también se puede obtener etanol, metanol y gas metano. (Pérez J. , 2010)

- **CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN DIGESTOR ANAEROBIO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS DE ALIMENTOS Y PODA A ESCALA BANCO.**

Para el año 2015, en Colombia se dispuso diariamente de 31.000 toneladas de residuos sólidos en 1.098 municipios, de los cuales un 85% están yendo a los rellenos sanitarios. De esta cifra, aproximadamente 280 toneladas están siendo dispuestas en Manizales. Así, el 10% de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) generados como residuos sólidos orgánicos o de alimentos podrían ser aprovechados. Teniendo en cuenta lo anterior, este trabajo describe la evaluación y construcción de un biodigestor a escala banco para la producción de energía eléctrica o biogás a partir del aprovechamiento de residuos de alimentos y material de poda.

Para la operación del biodigestor se realizan tres arranques con una mezcla entre residuos de alimentos y material de poda, para optimizar el diseño, durante el tercer arranque se hizo seguimiento a la biodigestión y codigestión de residuos orgánicos con la misma mezcla para incrementar la producción de biogás. Hubo control de parámetros como pH, temperatura, ácidos grasos, producción de biogás, entre otros.

Finalmente, se evaluó para la tercera corrida el rendimiento de biogás por unidad de sólidos volátiles (al final de la etapa de arranque - 32 días) para un volumen de reactor y una carga orgánica seleccionada de la bibliografía y de estudios del potencial bioquímico de metano. Los lodos de un reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor), provenientes del relleno sanitario La Esmeralda – Manizales, fueron utilizados como inóculo. Se encontró que el rendimiento en la producción de biogás está sujeto a una mezcla adecuada de sustrato - cosustrato (200 gramos de residuo de poda y 200 gramos de residuos de alimentos) y condiciones específicas de operación, así como una buena relación inóculo – sustrato (I/S). La carga del biodigestor se mantuvo en todas las corridas con una relación inóculo – sustrato de 6 (RIS). En la tercera corrida se obtuvo un rendimiento en la producción de biogás de 216,08 L CH₄ / Kg Sólidos Volátiles. (Pacheco, 2016)

- VIABILIDAD ECONÓMICA DE LA UTILIZACIÓN DE BIOGÁS PARA LA CONVERSIÓN EN ENERGÍA ELÉCTRICA.

Se ha determinado la viabilidad económica para la conversión del biogás en electricidad, a partir del aprovechamiento de desechos de una porcícola. El biodigestor analizado es un modelo tubular continuo, con zanja para agua en albañilería y un contenedor cerrado, hermético e impermeable, donde se deposita diariamente las bovinaza de 2300 cerdos. La inversión inicial para implementación fue estimado en aproximadamente R\$ 51.537 y los costos anuales del sistema fueron de R\$ 5.700 con mantenimiento, R\$ 4.400 con depreciación y R\$ 1.370 con los intereses. Se encontró que un consumo medio de 28 kW-hora-1 es el consumo mínimo que debe tener el sistema para ser económicamente factible. (Cervi, Esperancini , & Bueno, 2011)

9.2 *Marco Conceptual*

El presente trabajo tiene como aspecto conceptual la sostenibilidad ambiental de una finca ganadera como actividad económica de origen muy antiguo que consiste en el manejo y explotación de animales domesticables con fines de producción, para su aprovechamiento (ganadería, industria láctea, avicultura, porcicultura). En cambio, el manejo de animales pertenecientes a especies silvestres (no domésticas) en cautiverio o en semicautiverio se conoce con el nombre de zootecnia.

Dependiendo de la especie ganadera, se pueden obtener diversos productos derivados, tales como la carne, la leche, los huevos, los cueros, la lana y la miel, entre otros. La ciencia encargada del estudio de la ganadería es la zootecnia y los profesionales encargados directamente del desarrollo de la producción animal son los ganaderos, ayudados por los zootecnistas y los ingenieros de producción animal, en estrecha colaboración con los médicos veterinarios que son los encargados de la prevención y control de las enfermedades de los animales.

La ganadería está relacionada con la agricultura, ya que en una granja ambas pueden estar relacionadas. En estos casos el ganado aporta el estiércol, que es utilizado como abono, y los cultivos aportan el alimento para los animales. (Zohary, Tchernov, & Kolska Horwitz, 1998)

Uno de los aspectos más críticos en la producción ganadera, es el manejo de las bovinaza o que para el caso de las fincas ganaderas bovinas, se conoce como bovinaza. Estudios recientes han

demostrado que este desecho puede ser aprovechado energéticamente mediante procesos de *metanogénesis* para la producción de metano mediado por microorganismos anaerobios del dominio de Archaea comúnmente llamados metanógenos. El metano se produce por tres vías principales:

- 1) Reducción del dióxido de carbono.
- 2) Fermentación del acetato.
- 3) Dismutación de metanol o metilaminas.

“Las tres vías tienen en común la desmetilación de metil-coenzima M a metano y la reducción del heterodisulfuro de la coenzima M y la coenzima B catalizada por metil-coenzima M y heterodisulfuro reductasas. Las investigaciones de la bioquímica de las vías han revelado nuevas enzimas con requisitos de metales y cofactores que han introducido nuevos principios de la bioquímica.” (Lessner, 2009)

Lo anaerobio es un neologismo al que se le dio forma en la segunda mitad del siglo XIX dentro del mundo de la microbiología y de la bioquímica. Es fruto de la suma de tres componentes:

- El prefijo “an-”, que se utiliza para indicar negación.
- El término “aero”, que puede traducirse como “aire”.
- El sustantivo “bios”, que es sinónimo de “vida”.” (Pérez & Merino, 2015)

Se denomina anaerobio al organismo que subsiste en un ambiente sin presencia de oxígeno. Los seres que, en cambio, sí requieren de oxígeno para vivir, reciben el nombre de aerobios. (Pérez & Merino, 2015)

La generación de biogás por procesos anaeróbicos a partir de la bovinaza, en la actualidad se considera dentro del campo de las denominadas *energías alternativas* o aquellas fuentes de energía que no implican la quema de combustibles fósiles (carbón, gas, petróleo), energías nucleares o incluso hidroeléctricas.

Los combustibles fósiles fueron la fuente de energía empleada durante la revolución industrial, pero en la actualidad presentan fundamentalmente problemas: son recursos no renovables, es decir, son recursos finitos y se prevé el agotamiento de las reservas —especialmente de petróleo. Por otra parte, la quema de estos combustibles libera a la atmósfera grandes cantidades de CO₂, el cual se conoce por ser la causa principal del calentamiento global. Por estos motivos, se estudian distintas alternativas para sustituir la quema de combustibles fósiles. Las energías alternativas se dividen en dos grandes grupos:

- Fuentes de energía renovables (eólica, solar, biomasa, etc.)
- Energía nuclear.

(Dominguez, 2008)

El biogás se obtiene a partir de la metanogénesis, en otras palabras, es la digestión anaeróbica de los materiales orgánicos. Este bioenergético es una mezcla de dióxido de carbono y metano. El metano es utilizado como combustible, presenta un valor calorífico de 23MJ/kg y posee un gran potencial de calentamiento 25 veces mayor al dióxido de carbono (CO₂).

El biogás puede sustituir los combustibles fósiles, con él se puede cocinar, calentar y generar energía eléctrica. Al igual que el gas natural, el biogás permite generar electricidad a partir de motores de combustión interna conectados a un generador. (Tapia, 2015)

“Con un metro cúbico de biogás se puede:

- Generar 6 horas de luz, equivalente a un bombillo de 60 watts.
- Poner a funcionar un refrigerador de 1m³ de capacidad durante 1 hora.
- Hacer funcionar una incubadora de 1m³ de capacidad durante 30 minutos.
- Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas.” (Tapia, 2015)

9.3 Marco Teórico

Para el fundamento de este marco teórico se revisaron artículos científicos de varios países de América Latina y a continuación se presentan algunos que tienen relevancia para la investigación llevada a cabo en este trabajo.

- *BIODIGESTORES: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO.*

En este artículo se intenta explicar los grandes beneficios económicos y ecológicos a partir de la generación de biogás (gas metano) por medio de la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas; así como la construcción de la planta generadora (biodigestor), y su ubicación de acuerdo con la disposición de la materia prima y las necesidades rurales de electrificación; así como la sustitución del combustible tradicional que es la leña por el gas.

En el capítulo uno se explica la definición y composición del biogás, sus antecedentes a través de la historia, sus especificaciones de generación; así como el proceso de conversión de la biomasa en energía.

En el capítulo dos se analizan los diferentes tipos de biodigestores, el proceso de construcción y las partes que lo conforman.

En el capítulo tres explican el principio de operación del digestor, las aplicaciones y beneficios que ofrece la generación y utilización del biogás, tales como: su uso para cocinar y su aplicación en la generación de: iluminación, calefacción y como reemplazo de la gasolina en motores de combustión interna. (Coroña, 2007)

- *LA DIGESTIÓN ANAEROBIA. ASPECTOS TEÓRICOS. PARTE I.*

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una sedimentación conocida como "lodo" que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. La materia prima usada en este tratamiento puede ser:

“Cualquier biomasa residual que posea un alto contenido en humedad, como restos de comida, restos de hojas y hierbas al limpiar un jardín o un huerto, residuos ganaderos, lodos de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas y aguas residuales domésticas e industriales. El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (50 a 70 %) y dióxido de carbono (30 a 50 %), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), cuya composición depende tanto de la materia prima como del proceso en sí.” (Lorenzo & Obaya, 2005)

La cantidad de gas producido puede ser variable, aunque normalmente se encuentra alrededor de los 350 L/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70 %. (Lorenzo & Obaya, 2005)

- *PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOGÁS PROCEDENTE DE VERTEDEROS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.*

Los combustibles fósiles constituyen el recurso energético más común actualmente, sin embargo, su dependencia en el desarrollo económico y su uso desmesurado se ha convertido en una problemática, debido a su manera de explotación, escasez y a la contaminación ambiental que produce su utilización.

Lo anterior, ha llevado a la humanidad a optar por opciones de fuentes renovables que suplementen de igual manera la necesidad energética y que a su vez, garanticen un desarrollo sostenible. Además del problema de contaminación ambiental que ocasionan los combustibles fósiles, se suma la problemática de la producción descontrolada de residuos sólidos urbanos, que crece que debido a la economía de consumismo y a los desarrollos tecnológicos creando la necesidad de gestionarlos, controladamente, además del aprovechamiento posterior a su producción.

En este sentido, mediante la alternativa del vertedero controlado se mitiga el problema transformando la fracción orgánica de dichos residuos, mediante metanogénesis, lo cual es un proceso de fermentación anaerobia, en un subproducto (biogás) que, energéticamente, es aprovechable, compuesto, principalmente, de metano y dióxido de carbono.

Debido al poder calorífico del biogás es posible su utilización por medio de la combustión, dependiendo su captación, quemándolo y transformándolo en energía eléctrica mediante motores de combustión interna, sustituyendo la explotación, quema y residuos de los combustibles fósiles. (Pérez M. F., 2006)

9.4 Marco Normativo

- *LEY 9 /1979:*

Donde se dictaminan disposiciones reglamentarias y legales para lograr la sanidad de todo el territorio nacional, para la conservación y preservación del ambiente, para así asegurar las condiciones de sanidad y de bienestar para la calidad de vida humana y la mejora de la salud en todos sus estamentos.

- *CONSTITUCIÓN DEL 91:*

La carta política Colombiana tiene un alto contenido en materia ambiental y desarrollo sostenible, por lo cual la Corte Constitucional indicó que en ella se encontraba una verdadera constitución ecológica del mismo rango de las constituciones económica, social y cultural. Dentro de los aspectos ambientales más relevantes incluidos en el articulado de la constitución de 1991, encontramos los siguientes:

1. La atención del saneamiento ambiental como un servicio público a cargo del Estado, lo cual garantiza su organización, dirección y reglamentación.

2. La garantía de que la propiedad privada y los demás derechos adquiridos, deban tener un carácter de función social lo cual implica obligaciones, entre ellas la función ecológica lo que quiere decir que no se puede abusar de su explotación en contra de la preservación del medio ambiente y los recursos naturales
3. La garantía que los bienes de uso público, entre los que se encuentran los parques naturales, sean inalienables, imprescriptibles e inembargables, lo cual asegura la protección y conservación de estas áreas.
4. El hecho que se le dé a la educación, el carácter de derecho y servicio público con una función social, buscando formar al colombiano, entre otras cosas, hacia el respecto y la protección del ambiente.
5. El derecho que tienen las personas de gozar de un ambiente sano, garantizando mediante la ley, la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Adicionalmente el deber que tiene el Estado en proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines. El derecho a disfrutar y a vivir en un ambiente sano es considerado como un derecho humano básico, y en opinión de algunos, prerrequisito y fundamento para el ejercicio de otros derechos humanos, económicos y políticos.
6. El hecho que el Estado sea el encargado de planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, a fin de garantizar su desarrollo sostenible, conservación, restauración o sustitución, además de prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponiendo las sanciones legales y exigiendo la reparación de los daños causados.
7. La prohibición para la fabricación, importación, posesión y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, así como la introducción al territorio nacional de residuos nucleares y desechos tóxicos.
8. La protección de la integridad del espacio público y su destinación al uso común, el cual prevalece sobre el interés particular, en este sentido hay que tener en cuenta que dicho espacio, es el medio ambiente de las ciudades y los ciudadanos.
9. La regulación mediante la Ley, de las acciones populares para la protección de los derechos e intereses colectivos, relacionados entre otras cosas con el ambiente.
10. También se instauran unos deberes a cargo del ciudadano, destacándose la protección de los recursos culturales y naturales del país y la conservación de un ambiente sano.
11. El hecho que el Estado promueva la internacionalización de las relaciones políticas, económicas, sociales y ecológicas sobre bases de equidad, reciprocidad y conveniencia nacional.
12. Se garantiza el control fiscal y la defensa de los recursos naturales y el ambiente a través del concurso de organismos de control del Estado.
13. Se asigna a los entes territoriales, competencias específicas en materia de administración de los recursos naturales y el ambiente.
14. La dirección general de la economía a cargo del Estado el cual intervendrá, por mandato de la ley, en la explotación de los recursos naturales, en el uso del suelo, en la producción, distribución,

utilización y consumo de los bienes y en los servicios públicos y privados, para racionalizar la economía con el fin de conseguir el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, la distribución equitativa de las oportunidades y los beneficios del desarrollo y la preservación de un ambiente sano.

15. La determinación, mediante leyes, de las condiciones para la explotación de los recursos naturales no renovables así como los derechos de las entidades territoriales sobre los mismos.

En 1993, se da un segundo gran paso con la expedición de la Ley 99, mediante la cual se crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se conforma el Ministerio del Medio Ambiente como su ente rector, cuyo gran objetivo ha sido darle una jerarquía al sector ambiental en términos de lo participativo, sistemático, descentralizado, multiétnico y pluricultural.

Al día de hoy, existen numerosas leyes, decretos y resoluciones que han profundizado en materia ambiental cada uno de los componentes del extenso espectro de la gestión ambiental colombiana y que amplían el campo de acción del SINA generando cada vez más la necesidad de que los procesos productivos del país y la población en general se adapten y adopten una conciencia ambiental que permitirá encontrar el equilibrio entre producción, desarrollo y ambiente.

Dada la transformación biofísica, social, económica y política del país, luego de 18 años de creación del SINA, es conveniente iniciar un proceso de revisión y ajuste estructural e institucional, de cara al modelo de desarrollo que se viene imponiendo y a las nuevas condiciones generadas por el cambio climático. (Molina, 2011)

- LEY 99 / 1993:

A través de esta norma se crea el Ministerio de Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental -SINA- y se dictan otras disposiciones.

En el Título I, la norma se refiere a los principios que debe seguir la Política Ambiental colombiana.

A través del Título II, se crea el Ministerio del Medio Ambiente como un organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables. El Ministerio debe definir las políticas y regulaciones a las que se deben sujetar la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación.

Así mismo, el Ministerio debe formular la política nacional ambiental y de recursos naturales renovables para que se garantice el derecho de todas las personas a gozar de un medio ambiente sano y se proteja el patrimonio natural y la soberanía de la Nación. De igual forma, el Ministerio debe coordinar el SINA para asegurar la adopción y ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos respectivos.

Por otro lado, se define Desarrollo Sostenible como el que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.

Así mismo, el Ministerio debe formular la política nacional ambiental y de recursos naturales renovables para que se garantice el derecho de todas las personas a gozar de un medio ambiente sano y se proteja el patrimonio natural y la soberanía de la Nación. De igual forma, el Ministerio debe coordinar el SINA para asegurar la adopción y ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos respectivos.

Por otro lado, se define Desarrollo Sostenible como el que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades. (Villalobos, 2016)

- **DECRETO LEY 2811 / 1974:**

Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, Fundado en el principio de que el ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los pueblos, este Código tiene por objeto:

1. Lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad que aseguren el desarrollo armónico del hombre y de dichos recursos, la disponibilidad permanente de estos y la máxima participación social, para beneficio de la salud y el bienestar de los presentes y futuros habitantes del territorio nacional.
2. Prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación de los recursos naturales no renovables sobre los demás recursos.
3. Regular la conducta humana, individual o colectiva y la actividad de la administración pública, respecto del ambiente y de los recursos naturales renovables y las relaciones que surgen del aprovechamiento y conservación de tales recursos y de ambiente. (MinAmbiente, 1974)

- **RESOLUCIÓN 2341 DE AGOSTO DE 2007:**

Por el cual se reglamentan las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado bovino y bufalino destinado al sacrificio para el consumo humano.

Tiene por objeto establecer los requisitos sanitarios que deben cumplir los predios/granjas de producción primaria dedicada a la producción de bovinos y bufalinos/porcinos destinada para el consumo humano, con el fin de proteger la vida, la salud humana y el ambiente. (ICA, 2007)

- **Ley 1715 del 2015:**

Por la cual se legaliza el desarrollo de energías no convencionales, más conocidas como energías alternativas, de carácter limpio y amigable con el medio ambiente por parte de particulares y se fomenta la investigación, desarrollo e inversión, en el ámbito de generación y utilización de energía eléctrica, a partir de fuentes alternativas.

9.5 Marco referencial biogeográfico

La finca Las Delicias, se encuentra ubicada en la vereda Santa Bárbara del municipio de Íquira, el cual está localizado en la parte occidental del departamento del Huila sobre las estribaciones del volcán nevado del Huila. Predomina en su topografía la característica montañosa, la cual alterna

con valles, mesetas, colinas y pequeños cañones. El clima constituye el conjunto de condiciones de la atmósfera que caracteriza el estado o situación del tiempo atmosférico y su evolución en un lugar dado. El Municipio cuenta con diversos pisos térmicos: Clima Cálido: comprende 55 Km² y temperaturas entre 20 y 25°C. Clima Medio: Comprende 220 Km² con temperaturas entre 18 y 20°C. Clima Frío: Comprende 254 Km² con temperaturas entre 10 y 12°C. Clima de Páramo: Comprende 3 Km² con temperaturas inferiores a 5°C. La precipitación anual promedio es de 1.600 mm, en promedio El riesgo volcánico es bajo. (Alcaldía Municipal de Íquira en Huila, 2018)

Limita al norte con el municipio de Teruel, al sur con el municipio de Tesalia, al oriente con los municipios de Teruel y Yaguará y al occidente con Nátaga y el departamento del Cauca. (Alcaldía Municipal de Íquira en Huila, 2018)

Dentro del departamento del Huila, hay cerca de 300 predios con producción ganadera lechera, lo cual nos permite medir el impacto que tiene esta nueva tecnología de biodigestores, el potencial de la misma producción de gas, biofertilizante y energía eléctrica (Fedegán, 2014).

El proyecto se va a realizar en la vereda Santa Bárbara, en la finca Las Delicias situada a 7 minutos (en vehículo) de la zona urbana del municipio hacia el oriente. Cuenta con 83 Ha aproximadamente, es una finca ganadera lechera con una producción de 2,600 litros/semana y 40 cabezas de ganado, aproximadamente, en el ordeño.



Figura 1. Ordeño mecanizado finca Las Delicias. Elaboración propia.



Figura 2. Ordeño mecanizado finca Las Delicias. Elaboración propia.

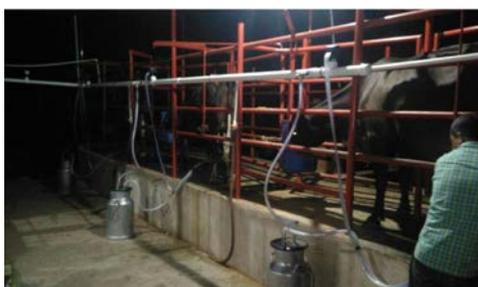


Figura 3. Ordeño mecanizado finca Las Delicias. Elaboración propia.



Figura 4. Finca Las Delicias. Elaboración propia.



Figura 5. Ubicación finca Las Delicias en territorio del municipio de Íquira. Elaboración en Google Earth.

9.6 Marco institucional

Para el marco institucional de este trabajo, se consideran las instituciones que tiene competencia sobre el medio ambiente y otras instituciones que están relacionadas con la actividad ganadera y las financiadoras del presente proyecto.

Tabla 1. Institución o empresa y su participación en el proyecto.

INSTITUCIÓN	PARTICIPACIÓN
Ministerio de Medio Ambiente	Rige la normativa ambiental a nivel nacional.
Corporación Autónoma del Alto Magdalena.	Máxima autoridad ambiental en el área departamental del Huila, que tiene por objeto la ejecución de políticas, planes, programas y proyectos en pro del medio ambiente y recursos naturales

	renovables, así como su administración, aprovechamiento, manejo y cumplimiento legal.
Alcaldía Municipal de Íquira en Huila	La finca Las Delicias, se encuentra ubicada dentro del territorio municipal de Íquira, gracias a esto, la Alcaldía Municipal hizo préstamo de la maquinaria perteneciente al Municipio, para poder agilizar ciertos procedimientos, como lo fue la excavación de los hoyos con retroexcavadora.
Finca Las Delicias	Todo el procedimiento del biodigestor (desde el aforo de bovinaza, obra civil e instalación) fue llevado a cabo dentro de la Finca Las Delicias, ya que es donde se presenta la problemática ya mencionada y también tiene los requerimientos para poder llevar a cabo el proyecto.
Karpar. Carpas & Parasoles	Empresa encargada de prestar el servicio de la elaboración de la membrana biodigestora.
Tornicentro	Empresa que llevó a cabo la financiación de todos los elementos requeridos en el proyecto (Mano de obra, elementos de obra civil, elementos de biodigestor)
Guayas Tornicentro	Empresa que llevó a cabo la financiación de los viáticos de la autora del proyecto.

10. Metodología

La presente investigación tiene un **enfoque metodológico cuantitativo**, ya que el proyecto es netamente secuencial y probatorio, además la recolección de los datos se fundamenta en la medición y análisis de los procedimientos, así mismo se pretende obtener resultados medibles en la investigación, para la demostración matemática del mismo. Lo anterior se concreta en el proyecto a partir de que éste se realiza en cuatro etapas que incluyen desde la preparación del mismo hasta la operación, por lo tanto, va más allá de consideraciones teóricas porque, conduce a un proyecto que se puede considerar como proyecto piloto para medianas fincas ganaderas, en cuanto a aplicación de tecnología limpia en los procesos de manejo transformación y aprovechamiento de uno de los desechos de mayor presencia en este tipo de actividades económicas como es la bovinaza. La siguiente tabla de diseño metodológico (Tabla 2) presenta el detalle de las etapas del proyecto que se corresponden además con la secuencia de los objetivos específicos definidos para la investigación.

Tabla 2. Diseño metodológico del proyecto.

Etapa 1: Preparación	Etapa 2: Análisis	Etapa 3: Implementación	Etapa 4: Operación
Objetivo específico 1:	Objetivo específico 2:	Objetivo específico 3:	
Evaluar la factibilidad del biodigestor considerando la materia prima disponible y las variables requeridas para su adecuada operación.	Diseñar el biodigestor según las características del terreno y de las heces bovinas.	Ejecución del biodigestor y evaluación del potencial para la obtención de energía eléctrica a partir de los productos de metanogénesis de las heces fecales bovinas.	
ALCANCE			
En la primera etapa del proyecto se considera un alcance descriptivo , debido a la medición y recolección de información de manera independiente sobre las variables necesarias.	En la segunda etapa del proyecto se considera un alcance correlacional , debido a la relación de variables necesarias aplicadas en el proyecto para realizar un diseño óptimo en el biodigestor.	En la tercera y cuarta etapa se considera un alcance descriptivo ya que se mide o recolecta la información de los resultados, por medio de variables independientes, sin relacionarlas entre sí.	

Variables ambientales en esta investigación.

Teniendo en cuenta que esta investigación es de carácter ambiental, buscando el mejoramiento en la sostenibilidad de un sistema productivo ganadero en la Finca Las Delicias, vereda Santa Bárbara, ubicados en el municipio de Íquira en el departamento del Huila, se tuvieron en cuenta las siguientes variables, económicas, ecológicas, sociales y culturales, durante el desarrollo del mismo, que están desarrolladas directamente con la implementación del proyecto, como parte del sistema productivo ganadero.

Tabla 3. *Variables ambientales de referencia en ese estudio.*

Variable	Aspecto Ambiental	Indicador
Ecológicas	Producción de residuos contaminantes (bovinaza).	Volumen generado diario (Kg)
	Consumo de agua en lavado del establo	Volumen utilizado diario (L)
Económicos	Disposición inadecuada de bovinaza.	Costo - beneficio: no utilización de biomasa.- generación de energía.
	Utilización de bovinaza para generación de energía.	Ahorro de energía en la faena de ordeño.
Sociales	Generación de olores ofensivos.	Presencia de vectores de enfermedades.
	Generación de empleo.	Número de jornales generados durante la construcción y operación.
Cultural	No uso del camino veredal para disposición de desechos.	Mejoramiento del camino principal en forma permanente.

Técnicas e instrumentos utilizados en la investigación

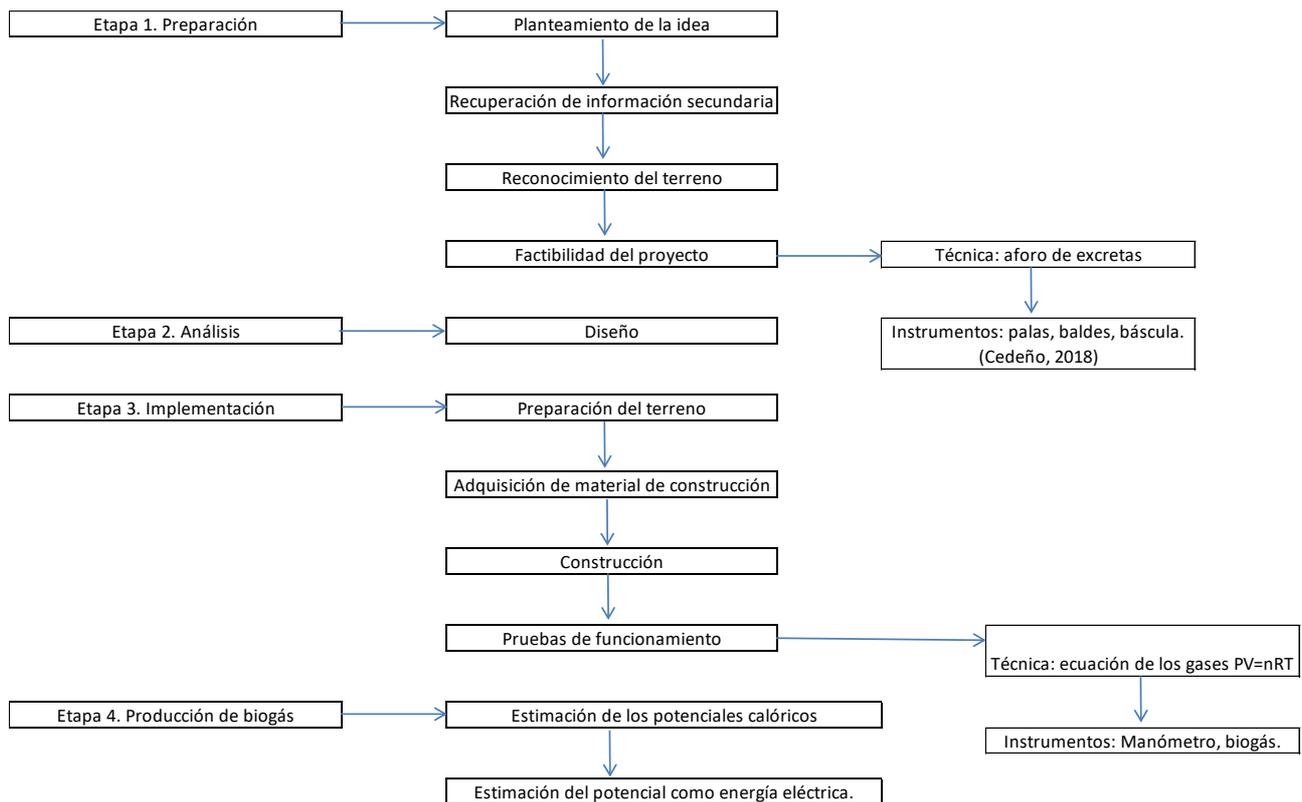
Teniendo en cuenta que esta investigación es de carácter cuantitativo se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos para facilitar su realización.

Tabla 4. *Técnicas e instrumentos utilizados en la presente investigación.*

Etapas	Técnica	Instrumento
Etapa 1. Preparación	Reconocimiento de campo.	Mapa de relieve e hidrográfico.
	Análisis en la búsqueda de la información.	Bases de datos de la biblioteca virtual de la Universidad El Bosque.
	Aforo de excretas.	Báscula, baldes y palas.
Etapa 2. Análisis	Diseño por computador.	AutoCad.
Etapa 3. Implementación	Construcción de obra civil.	Retroexcavadora, materiales y herramientas para mampostería, fundición de columnas, placas y vigas.

<i>Etapas</i>	<i>Técnica</i>	<i>Instrumento</i>
	Instalación de la geomembrana y de las conexiones para flujos de bovinaza y biogás.	Geomembrana, tuberías y complementos para conducción de biogás.
Etapa 4. Producción de biogás	Medición de biogás generado y cálculo de potenciales de generación de volumen con base en la ecuación de los gases: $PV=nRT$ y estimación del potencial de energía eléctrica con base en ecuaciones definidas de equivalencia con respecto a la biomasa utilizada y biogás generado.	Manómetro, Computador.

Figura 6. Metodología en diagrama de flujo.



11. Desarrollo de la investigación y resultados

11.1 Etapa 1: Preparación.

Para llevar a cabo la primera etapa, se realizó una exhaustiva búsqueda de documentos relacionado a los biodigestores, teniendo en cuenta qué utilidad tenían, por ejemplo: generación de energía eléctrica, pilas de combustible, aditivo para gas natural, síntesis de otros compuestos, hornos deshidratadores (secadores de granos), motores de combustión interna, alimentación para equipos de cogeneración, producción de hidrógeno, gas natural para cocinar, entre otros usos; qué material utilizaban para ser alimentados (gallinaza, bovinaza o bovinaza porcinas, residuos de cocina no cocidos, etc.) y así mismo mirar el potencial que tiene cada una de estas bovinaza en el proceso de la metanogénesis, cuál es más eficiente produciendo energía y en cuánto tiempo. Se tuvieron en cuenta las variables para tener un excelente proceso de metanogénesis, por ejemplo: cantidad de bovinaza, pH, temperatura, humedad de las bovinaza, tiempo de retención hidráulica y carga orgánica volumétrica.

Tabla 5: Utilidad de los biodigestores.

Documento	Contenido General
Biodigestores y generación de energía eléctrica.	“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).” (Agustina, 2014)
Biodigestores y gas natural para cocinar.	“El biogás es un gas combustible que se origina de la degradación o digestión anaeróbica (tratada en el apartado 1.2), y se compone principalmente de metano (CH ₄) y dióxido de carbono (CO ₂), además de otros gases como el hidrógeno (H ₂) y el sulfuro de hidrógeno (H ₂ S). El porcentaje (en volumen) de metano contenido en el biogás puede variar desde mínimo de 55% o 60% hasta un máximo de alrededor 80%, por lo que su poder calorífico inferior, dependiente de la cantidad de metano, puede variar de 4700 a 5500 kcal /m ³ o de 5 a 7 kWh/m ³ . Este rango varía en la literatura técnica, algunos autores por ejemplo consideran el biogás con un contenido de metano entre 50% y 70%. De esta manera, si se considera un biogás con un contenido estándar de 50% en metano, su poder calorífico será de 21 MJ/Nm ³ , su densidad de 1.22 kg/Nm ³ y tendrá una masa similar a la del aire (1.29 kg/Nm ³)”. (Palacios, 2016)
Biodigestores y pilas de combustible.	“En el año 2006, se identificaron 36 instalaciones de pilas de combustibles alimentadas con biogás con una generación global de

	<p>potencia eléctrica superior a 8 MW, algunas de las cuales ya no están operativas. La inmensa mayoría son pilas de combustible de ácido fosfórico (PAFC) alimentadas con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de depuradoras de aguas residuales. EE.UU y Japón son los países que cuentan con un mayor número de ellas, existiendo en ambos una legislación muy estricta en materia medioambiental.</p> <p>La utilización de pilas de combustible de carbonatos fundidos conlleva la ventaja adicional de que el CO₂ del biogás se puede utilizar como alimentación del cátodo, de modo que, a la salida del ánodo, el combustible se oxida completamente con oxígeno del aire y la corriente de CO₂ resultante se introduce en el cátodo para formar cationes carbonato. Asimismo, las pilas de combustible de alta temperatura son más tolerantes a las impurezas, así, por ejemplo, determinadas SOFC permiten utilizar biogás con elevado contenido de amonio (procedente de residuos agrícolas y ganaderos) sometiéndolo tan solo a un tratamiento previo de desulfuración, mientras que en otros tipos de pilas de combustible el amonio es un potente agente de envenenamiento (PEMFC, PAFC)". (Pérez M. Cuestas M, 2008)</p>
<p>Biodigestores y cogeneración eléctrica.</p>	<p>“La cogeneración ofrece una alternativa para el auto-abasto de energía eléctrica y térmica, disminuyendo los costos energéticos, aumentando la calidad de la energía y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero al medio ambiente. Un sistema de cogeneración puede ofrecer, además de la energía eléctrica, agua caliente, agua helada y/o vapor de acuerdo a las necesidades del cliente. Esto se logra, por lo general, mediante la combustión de gas natural. Sin embargo, también se puede utilizar biogás como combustible, aprovechando de esta forma, biomasa residual para obtener energía”. (TESPOWER, 2019)</p>

Por último se realizó la búsqueda de la equivalencia que tiene 1m³ de biogás respecto a otras fuentes de energía, esto con el fin de saber cuánto puede llegar a producir el biodigestor en energía eléctrica y así mismo tener una idea de cuántos kilovatios/hora de energía eléctrica equivale esto para ser utilizado en el proceso de ordeno mecanizado.

Para el reconocimiento del terreno, se hizo una visita al lugar dónde se va a llevar a cabo el proyecto y con esto se tuvo en cuenta colocar a consideración el mejor lugar para la instalación del biodigestor, dependiendo de las pendientes del terreno para que las bovinaza lleguen por gravedad al lugar destinado para el biodigestor y que no sea un obstáculo para el camino real, ya que es uno de los problemas que se quiere solucionar con el proyecto.

Para la factibilidad del proyecto se tuvo en cuenta la cantidad de bovinaza producida diariamente dentro del corral durante las horas establecidas para realizar el respectivo ordeño en la finca. Para llevar a cabo el aforo de estos materiales, se utilizaron las siguientes herramientas, equipos y la técnica de gravimetría:

Tabla 6. Instrumentos y técnicas para el aforo de bovinaza.

Instrumento	Técnica	Resultado
Palas	El uso de palas fue necesario para poder trasladar y levantar las bovinaza del corral, de esta manera se pudo juntar las bovinaza en los respectivos baldes.	El almacenamiento de la materia prima en las cantidades necesarias (Kg) para la experiencia.
Baldes	Los baldes se usaron para poder llenarlos con las bovinaza que se recogían en el corral y así poder pesarlos con mayor practicidad.	Transporte de la materia prima desde el origen hasta la zona de pesaje.
Báscula de colgar	En la báscula se colgaron los baldes llenos de bovinaza y así saber cuánto pesa cada carga de bovinaza en el balde, esta técnica es conocida como <i>gravimetría</i> .	El peso definitivo utilizado en la experiencia (Kg).



Figura 7. Uso de pala en la recolección de bovinaza. Elaboración propia.

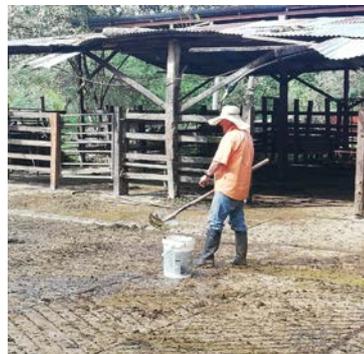


Figura 8. Uso de pala y balde en la recolección de bovinaza. Elaboración propia.



Figura 9. Pesa de bovinaza por gravimetría. Elaboración propia.

Este procedimiento se realizó cuatro veces en días aleatorios para poder sacar un promedio de la cantidad de bovinaza que puedan salir diariamente del corral, a continuación se presentan los resultados de las bovinaza pesadas:

Tabla 7. Aforo de la bovinaza en el corral de ordeño.

Aforo 1	127 kg
Aforo 2	141 kg
Aforo 3	120 kg
Aforo 4	119 kg

$$\text{Promedio de bovinaza} = \frac{\text{Cantidad de bovinaza (Kg) / día}}{\text{Número de días}} \quad \text{Ecu. 1}$$

$$\text{Promedio de bovinaza: } \frac{127 \text{ kg} + 141 \text{ kg} + 120 \text{ kg} + 119 \text{ kg}}{4 \text{ días}}$$

$$\text{Promedio de bovinaza: } 126.75 \text{ kg/día}$$

Teniendo en cuenta el promedio diario de las bovinaza dentro del corral, se estima la cantidad (Kg) de biomasa por cabeza de ganado/día, debido a que estas pueden aumentar o disminuir con esta frecuencia.

$$\text{Producción por cabeza de ganado: } \frac{\text{Promedio de bovinaza diaria}}{\text{Número de cabezas de ganado dentro del ordeño}} \quad \text{Ecu. 2}$$

$$\text{Producción por cabeza de ganado: } \frac{126.75 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{55 \text{ cabezas de } \frac{\text{ganado}}{\text{día}}}$$

$$\text{Producción por cabeza de ganado} = 2.30 \frac{\text{kg}}{\text{cabeza de ganado}}$$

Luego se hicieron los respectivos cálculos para conocer la cantidad de agua necesaria durante el proceso, tomando el valor 126.75 kg/día de bovinaza y respetando la relación 1:4¹, por cada parte de excreta, se necesitan cuatro partes de agua, para poder optimizar la necesaria fermentación.

$$\text{Agua necesaria} = 126.75 \text{ kg de excretas} \times 4$$

$$\text{Agua necesaria} = 507 \frac{\text{kg de agua}}{\text{día}}$$

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Masa de la bovinaza}}{\text{Densidad del agua}} \quad \text{Ecu. 3}$$

¹ Dato suministrado por el señor Aníbal Pacheco, experto en biodigestores, a partir de bovinaza.

$$\text{Volumen de agua} = \frac{507 \frac{\text{Kg agua}}{\text{día}}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{Volumen de agua por día} = 0.507 \text{ m}^3/\text{día}$$

Teniendo en cuenta volúmenes de agua necesarios, la cantidad de bovinaza obtenidas, el tiempo de retención de la mezcla entre agua y bovinaza, se realiza el **diseño del biodigestor** cumpliendo con todos los requerimientos, características y necesidades del terreno y la producción. (Ver figura 10)

11.2 Etapa 2: Análisis.

Como ya se había mencionado anteriormente, este proyecto es cuantitativo, por ende es completamente secuencial, para esta etapa se tuvo en cuenta los cálculos que se realizaron en la etapa 1, donde se calculó el promedio de la bovinaza producida diariamente, la producción que puede tener cada cabeza de ganado al día dentro del ordeño, y el volumen de agua necesaria para la cantidad de bovinaza producida diariamente, respetando la relación 1:4.

Diseño de obra civil para biodigestor.

Figura 10. Diseño del biodigestor.

Tanque de fermentación

Biodigestor

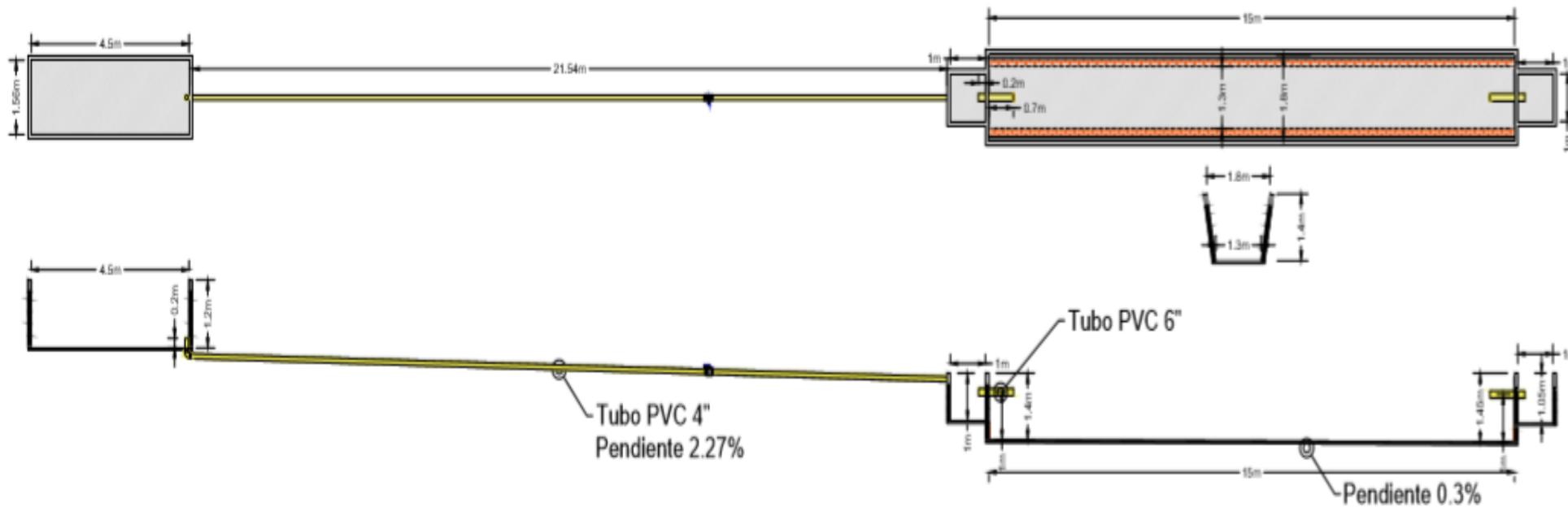


Figura 11. Diseño tanque de fermentación con dimensiones en planta y corte.

Tanque de fermentación

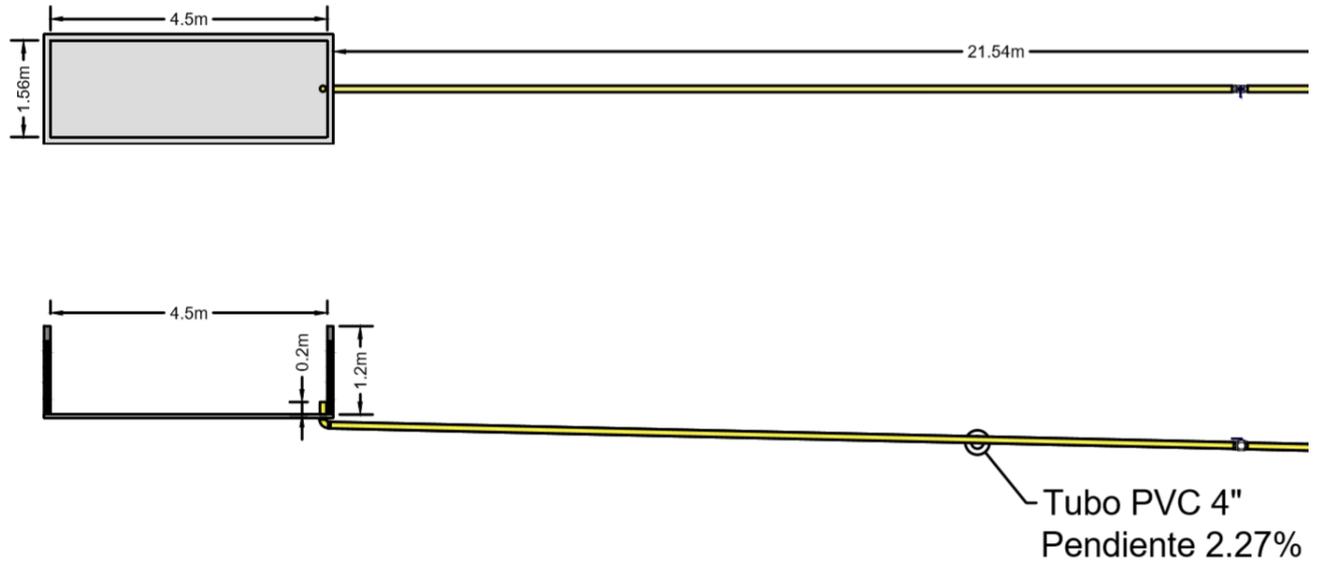
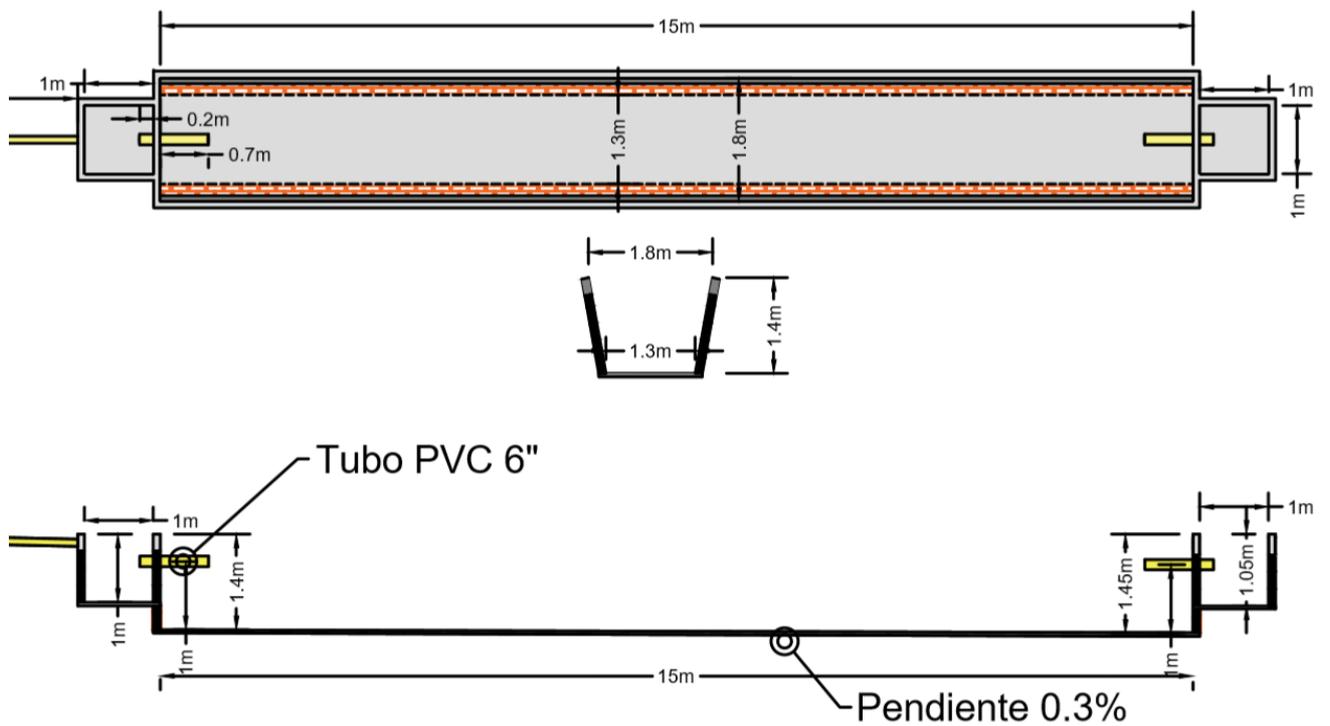


Figura 12. Diseño de tanque biodigestor con dimensiones en planta y corte.

Biodigestor



11.3 Etapa 3: Implementación

Para realizar la implementación, previamente se escoge el lugar propicio para poder realizar la obra civil, para esto se deben tener en cuenta las siguientes variables, como son la *pendiente del terreno*, la *orientación con respecto al sol*, de tal manera que la geomembrana reciba la mayor cantidad de sol posible horizontalmente durante todo el día, facilitando de esta forma procesos de mayor regularidad en generación de biogás, y *tipo de terreno* evitando que sea muy rocoso para realizar una mejor excavación.



Figura 13. Terreno dispuesto para realizar la implementación del biodigestor. Elaboración propia.



Figura 14. Excavación en el terreno. Elaboración propia.

Ya seleccionado el terreno (Figura 13) se procede a realizar la excavación, teniendo en cuenta el diseño realizado según el terreno y la cantidad de bovinaza diaria; en este caso se realiza una excavación (Figura 14) de 1.50 m para tener entre 10 cm y 5 cm de más y que al llevar a cabo la nivelación del terreno (Figura 15) con material de grava no se vea afectada la profundidad necesaria según el diseño; se llevó a cabo con maquinaria retroexcavadora para agilizar el proceso de construcción, también teniendo en cuenta la extensa área que se tuvo que excavar.



Figura 15. Nivelación del terreno excavado. Elaboración propia.

Después de tener el terreno nivelado se procede a realizar un ajuste de estos para verificar que las pendientes necesarias para la evacuación del sistema hayan quedado de la manera correcta, y luego se dispone a realizar la estructura de la obra iniciando por la colocación de los refuerzos (Figura 16) para darle mayor estabilidad y duración, para esto se utilizaron varillas de acero de 9 mm y flejes de ¼” x 8” x 18”. Este proceso se llevó al tiempo con el tanque de fermentación, ya que tiene los mismos pasos de construcción de la fosa del biodigestor. Luego de tener instalado el refuerzo se procede a verter el concreto (Figura 17) para fundir placa y viga, de esta manera no se deja la geomembrana en contacto con el suelo directamente, con esto se garantiza la durabilidad de la membrana y se evita cualquier fuga por una perforación no deseada en la misma.



Figura 16. Instalación de refuerzos.
Elaboración propia.

Al tener el suelo ya cementado se procede al inicio de la mampostería, la cual consiste en colocar ladrillos en filas o como sea requerido para el tipo de obra que se esté realizando, para esta obra se requirió hacer la mampostería en filas hasta dar la forma de un muro (Figura 18).

Después de finalizar la mampostería de los costados se procede a realizar la mampostería de las puntas dónde van instalados un tubo PVC de 6” en cada pared. Es necesaria la instalación de los tubos, ya que por estos se va a permitir el ingreso y la salida de las bovinaza a la geomembrana del biodigestor, simultáneamente se va realizando la mampostería de los tanques de afluente y efluente (Figura 19).



Figura 17. Vertido de concreto.
Elaboración propia.

Una vez la mampostería terminada, se sigue con la fundición de columnas (**figura 20**), esto con el fin de darle mayor soporte y estabilidad a las paredes de la obra civil.

A continuación se funde la viga aérea (**figura 21**), se instalan refuerzos de acero y por último se funde el concreto; la finalidad de la fundición aérea es para confinar los muros y darle mayor estabilidad a las paredes de la obra civil.

Figura 18. Mampostería de la obra.
Elaboración propia.



Figura 19. Fundición de columnas. Elaboración propia.



Figura 20. Instalación de tubos conductores y construcción de tanques afluente y efluente. Elaboración propia.

Figura 21. Obra civil culminada y con viga aérea. Elaboración propia.

Tabla 8. Etapas de la instalación en la obra civil.

Instalación de la geomembrana en la obra civil.	
	
<p>Figura 22. Se acomoda la geomembrana a lo largo del pozo biodigestor. Elaboración propia.</p>	<p>Figura 23. Se acomodan las mangas de la geomembrana en los tubos de la obra civil y se aseguran con material de neumático. Elaboración propia.</p>

	
<p>Figura 24. Una vez terminada la instalación, se procede a llenar la geomembrana con aire del exterior por medio de un soplador. <i>Elaboración propia.</i></p>	<p>Figura 25. Por último se inicia el llenado con agua hasta que el nivel se encuentre por encima de los dos tubos conductores (afluente y efluente). <i>Elaboración propia.</i></p>

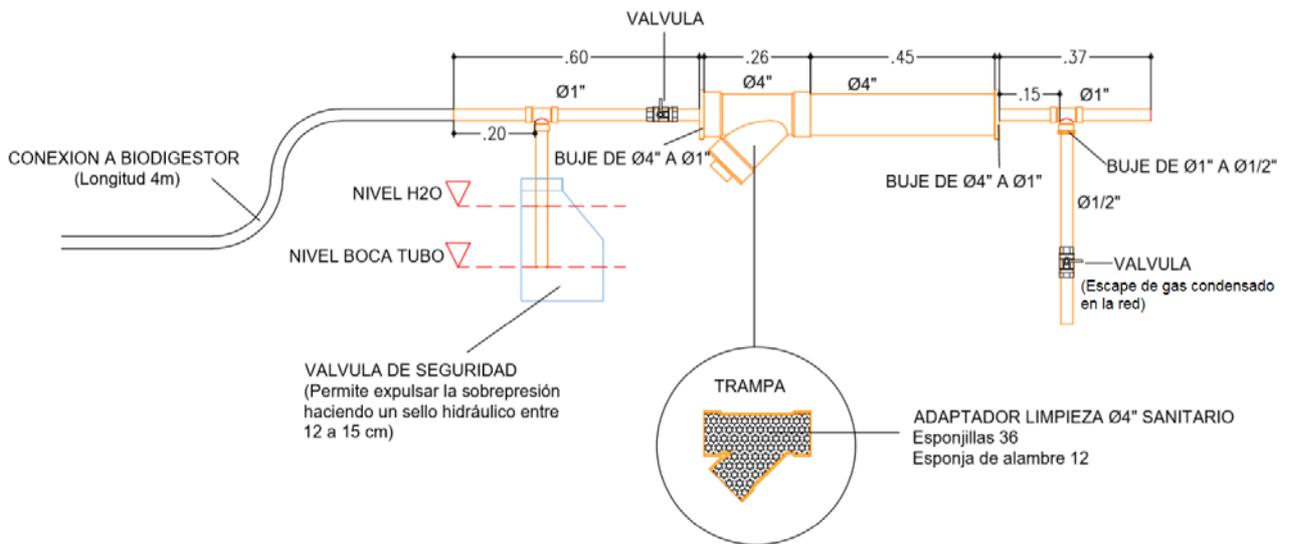
Diseño de trampa de gases para biodigestor.

Para realizar la trampa de gases, se inicia con el sistema de válvulas, ensamblando las partes de tubería PVC, como los bujes, válvulas, tubo sanitario de 4", tubo sanitario de 1", T's y una Y de 4". Luego se procede a insertar la esponjillas en alambre galvanizado (Figura 27), una vez insertadas todas, con el alambre se hace una especie de manija para facilitar el manejo de las mismas, esto es lo que se conoce como la trampa de gases, ya que al pasar los gases por ahí, se inicia la reacción del ácido sulfhídrico y amonio con el hierro de las esponjillas, dejando como resultado el gas mas importante, metano, que queda limpio de contaminación ácida, una vez terminada la inserción de las esponjillas en el alambre, se hace su instalación en el sistema de válvulas (Figura 28) y se aseguran con una tapa roscada y sellada con aceite de motor para evitar fugas de gases (Figura 29).

Una vez realizado esto, se continuó con la instalación del sistema de válvulas y añadiendo la válvula de seguridad (Figura 30), la importancia de esta es evitar que por sobrepresión en el sistema se afecte la geomembrana generando ligeras fugas en la misma. Ya terminado, se conecta el sistema de válvulas con la geomembrana por medio de 4 metros de manguera flex (Figura 31).

Al tener todo ya conectado, se procedió a realizar la red de conducción del gas hacia el corral (Figura 32), para la cual se utilizaron 68 metros de manguera de polietileno original, la importancia de esta manguera consiste en que en sus paredes no contienen poros, por ende nos da la seguridad de no tener fugas en su recorrido hacia el punto del ordeño.

Figura 26. Diseño de trampa de gases del sistema biodigestor.



Fuente: Cedeño, 2019

Tabla 9. Trampa de gases del sistema biodigestor.

<i>Válvulas de la trampa de gases e instalación</i>	
	
<p>Figura 27. Trampa de gases hecha con esponjillas de aluminio y acero. <i>Elaboración propia.</i></p>	<p>Figura 28. Instalación de la trampa de gases en el sistema de válvulas. <i>Elaboración propia.</i></p>



Figura 29. Seguro roscado de la trampa de gases. Elaboración propia.



Figura 30. Trampa de gases instalada con sistema de válvulas, válvula de seguridad o sello hidráulico (regulador de presión). Elaboración propia.



Figura 31. Conexión de geomembrana biodigestora al sistema de trampa de gases, por medio de manguera flex. Elaboración propia.



Figura 32. Red de conducción de biogás hacia el corral, con pendiente para retornar gas metano condensado. Elaboración propia.

De esta manera se culminó la implementación del biodigestor en sus diferentes etapas y actividades, dando paso a realizar las descargas de bovinaza desde el tanque de fermentación al sistema biodigestor, es importante tener en cuenta que la bovinaza debe tener un tiempo de retención de 48 a 72 horas, para que se pueda fermentar la materia orgánica que contiene y de mayor producción de biogás sin colmatar el sistema biodigestor, aquí se refleja la importancia de la construcción del tanque de fermentación.

11.4 Etapa 4: Producción de biogás.

Para lograr hallar la producción de biogás en el sistema del biodigestor se inician los diferentes cálculos como, el volumen de la geomembrana, el volumen de gas producido, los kmoles producidos y finalmente se aplica la Ley de Gases Ideales, según su respectiva fórmula.

Inicialmente se halla el volumen del biodigestor con la siguiente fórmula:

$$Vc = \pi r^2 h. \text{ Ecu 4}$$

Donde:

V_c = Volumen de un cilindro

r = Radio del cilindro

h = Altura del cilindro

Y se desarrolla de la siguiente forma:

$$V_c = \pi \times (1m^2) \times 15m$$

$$V_c = 47.1238 m^3$$

Para continuar se necesita hallar los kilomoles del gas y así calcular la presión según la Ley de Gases Ideales.

$$1m^3 CH_4 = 158.43 kg/m^3$$

(Asociación ibérica de gas natural para la movilidad)

Se tiene en cuenta que la capacidad de la geomembrana equivale a $47 m^3$, de los cuales el 70% son bovinaza y el 30% es la producción del gas, por lo tanto:

$$100\% = 47m^3$$

$$30\% = X$$

$$X = 14 m^3$$

Se multiplica la cantidad de gas producido en m^3 por la densidad del gas para hallar los kg de CH_4 producidos:

$$14m^3 \times 158.43 kg/m^3$$
$$= 2218.02 kg CH_4$$

$$1 \text{ mol de } CH_4 = 16 \text{ g}$$

$$16 \text{ g} \div 1000$$

$$= 0.016 Kg$$

Teniendo estos datos se procede a hallar los kmoles del gas producido en los $14m^3$:

$$0.016 \text{ kmoles} \times 2218.02 \text{ kg } CH_4$$

$$X = 35.488 \text{ Kmoles } CH_4$$

Iniciando la producción de biogás en la geomembrana, se realiza la instalación de un manómetro, posterior a la trampa de gases ácidos con el fin de no perjudicar la integridad de este equipo medidor. La estimación de biogás a partir de los datos suministrados por el manómetro en unidades de kg/cm^3 se hace a partir de la ley de los gases ideales que corresponde a la siguiente ecuación:

$$PV = nRT \text{ Ecu.5}$$

Donde:

P=Presión
 V=volumen
 n= moles del gas
 R= constante de gases
 T= temperatura

$$R=8.205746 \times 10^{-5} \text{ m}^3 * \text{atm} / \text{Kg} / ^\circ\text{C} * \text{mol} \quad (\text{Armijo, 2005})$$

En la medición de presión del gas por medio del manómetro, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 10. Medición de presión de gas en el sistema.

Presión de gas					
Hora	Temperatura Ambiente	Presión ($\frac{kg}{cm^3}$)	Presión (psi)	Manómetro	Regístro fotográfico de la geomembrana
6:00 a.m	17°C	<0.5	<0.02	 <p>Figura 33. Registro fotográfico de manómetro a las 6:00 a.m. Elaboración propia.</p>	 <p>Figura 34. Registro fotográfico de geomembrana a las 6:00 a.m. Elaboración propia.</p>
1:00 p.m	31°C	0.18	2.25	 <p>Figura 35. Registro fotográfico de manómetro a la 1:00 p.m. Elaboración propia.</p>	 <p>Figura 36. Registro fotográfico de geomembrana a la 1:00 p.m. Elaboración propia.</p>

6:00 p.m	27°C	0.1	1.55	 <p>Figura 37. Registro fotográfico de manómetro a las 6:00 p.m. Elaboración propia.</p>	 <p>Figura 38. Registro fotográfico de la geomembrana a las 6:00 p.m. Elaboración propia.</p>
----------	------	-----	------	--	--

Teniendo los resultados de la presión del gas producido en el sistema, se procede a despejar la ecuación de Ley de Gases Ideales para hallar el volumen del gas producido y así se reemplazan los valores obtenidos en la fórmula despejada:

$$V = \frac{nRT}{P} \text{ Ecu. 6}$$

- Hora: 6:00 a.m
A esta hora debido a que hay una disminución de la radiación solar, y por lo tanto, disminución de la temperatura en el ambiente, la oferta de calor disminuye durante la noche, la producción de gas es muy poca o nula, esto da como resultado que la presión no puede ser detectada por el manómetro, por lo tanto, no se logra calcular el volumen del gas.
- Hora: 1:00 p.m
Conversión de presión del manómetro en psi a atm.

$$\begin{aligned} 1 \text{ psi} &= 0.068 \text{ atm} \\ 2.25 \text{ psi} &= 0.15 \text{ atm} \end{aligned}$$

Reemplazo de valores en la fórmula para hallar el volumen de gas.

$$V = \frac{35.488 \text{ Kmoles } CH_4 \times 8.205746 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{atm} / \text{Kg} / ^\circ\text{C} \cdot \text{mol} \times 31^\circ\text{C}}{0.15 \text{ atm}}$$

$$V = 0.602 \text{ m}^3$$

La temperatura ambiente de 31°C es estable dentro de las 10:00 a.m hasta las 4:00 p.m, para un total de 6 horas de exposición de la geomembrana a esta temperatura.

- Hora: 6:00 p.m

Conversión de presión de manómetro en psi a atm.

$$\begin{aligned} 1 \text{ psi} &= 0.068 \text{ atm} \\ 1.55 \text{ psi} &= 0.11 \text{ atm} \end{aligned}$$

Reemplazo de valores en la fórmula para hallar el volumen de gas.

$$V = \frac{35.488 \text{ Kmoles } CH_4 \times 8.205746 \times 10^{-5} \text{ m}^3 * \text{atm} / \text{Kg} / ^\circ C * \text{mol} \times 27^\circ C}{0.11 \text{ atm}}$$

$$V = 0.715 \text{ m}^3$$

La temperatura ambiente de 27°C es estable dentro de las 4:00 p.m hasta las 7:00 p.m, para un total de 3 horas de exposición de la geomembrana a esta temperatura.

Se promedian estos valores para poder estimar la potencialidad que se puede obtener en un día.

$$V_{promedio} = \frac{0.602 \text{ m}^3 + 0.715 \text{ m}^3}{2}$$

$$V_{promedio} = 0.658 \text{ m}^3$$

La producción de biogás fue de **0.658 m³/día** sobre los cuales se estimará el potencial de energía eléctrica que puede ser generado en la unida productiva analizada: Finca Ganadera Las Delicias, vereda Santa Bárbara, municipio Íquira en el Departamento del Huila.

11.5 Estimación de potencial energético como energía eléctrica.

Una vez hallado el promedio de gas al día, el cual fue de 0.658 m³/día, se hace la conversión de cuántos kWh puede producir la cantidad de volumen obtenido.

$$1 \text{ m}^3 = 10.55 \text{ kWh (Kofman, 2010)}$$

$$0.658 \text{ m}^3 = 6,94 \text{ kWh}$$

El valor de los kWh se multiplica por la cantidad de horas que recibe radiación solar (9 horas continuas) y también en donde se encuentra estable la temperatura ambiente, ya que dentro de estas horas se logró tomar la presión del gas en el sistema.

$$\begin{aligned} &6,94kWh \times 9 \text{ horas/día} \\ &= 62,46 kWh/día \end{aligned}$$

El potencial energético como energía eléctrica que pudiera ser producido en la unidad productiva analizada es de **62,46 kWh/día**, para lo cual contribuyeron las siguientes variables, biomasa producida, radiación solar, temperatura ambiente y presión de gas en el biodigestor.

12. Cronograma

Para desarrollar el proyecto y el cronograma, se tuvo en cuenta cada una de las fases programadas y su encadenamiento para obtener los resultados del mismo.

Dentro del cronograma se aprecia que el tiempo entre la segunda semana de octubre periodo 2018-2 y la cuarta semana de julio del periodo 2019-2, no se ejecutaron actividades debido a requerimientos de culminación de materias dentro del programa académico de Ingeniería Ambiental.

Tal como se puede apreciar en el cronograma en cada fase se relacionan los participantes, el costo de actividad y el resultado específico de ellas, de acuerdo con los objetivos trazados.

Tabla 11. Cronograma llevado a cabo en el proyecto.

Objetivos específicos	Etapas	Fases	2018-2												2019-2												Participantes	Costo de la actividad	Resultado			
			Agosto			Septiembre			Octubre			Julio			Agosto			Septiembre			Octubre											
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4						
Objetivo específico 1: Evaluar la factibilidad del biodigestor considerando la materia prima disponible y las variables requeridas para su adecuada operación.	Preparación	Planteamiento de la idea																												Autora del proyecto	N/A	Obtención de información acerca del funcionamiento y potencial de los biodigestores, cantidad de excretas producidas diariamente en el lugar del desarrollo del proyecto y medición del volumen de agua necesaria según la relación 1:4.
		Revisión bibliográfica																												Autora del proyecto	N/A	
		Reconocimiento de terreno																												Autora del proyecto	N/A	
Objetivo específico 2: Diseñar el biodigestor según las características del terreno y de las heces bovinas.	Análisis	Factibilidad del diseño																												Autora del proyecto	N/A	Realización del diseño de obra civil, que cumpla con las variables necesarias, como la cantidad de bovinaza producida diariamente en el proceso de ordeño.
		Diseño																												Tornicentro, asesor, autora del proyecto.	N/A	
Objetivo específico 3: Ejecución del biodigestor y evaluación del potencial para la obtención de energía eléctrica a partir de los productos de metanogénesis de las heces fecales bovinas.	Implementación y producción de biogás.	Preparación del terreno																												Alcaldía municipal, obreros, autora del proyecto, Tornicentro.	\$ 250.000	Culminación de la obra civil, la instalación de la geomembrana en la misma e instalación de la trampa de gases del biodigestor.
		Adquisición de materiales																												Tornicentro y autora del proyecto.	\$ 4.660.000,00	
		Construcción																												Tornicentro, obreros y autora del proyecto.	\$ 4.800.000	
		Instalación de geomembrana																												Obreros, asesor y autora del proyecto.	\$ 3.201.050	
		Instalación de trampa de gases.																												Asesor y autora del proyecto.		
		Pruebas de funcionamiento																												Autora del proyecto	N/A	
		Cálculo de potencial																												Autora del proyecto.	N/A	
		Total																												\$ 12.911.050		

	Realizado
	En proceso
	Incumplido
N/A	No Aplica

13. Presupuesto

El presupuesto se distribuyó de la siguiente manera, manejando los diferentes rubros como lo son: los materiales de obra civil, biodigestor, materiales para la trampa de gases, personal necesario en la obra civil, personal necesario en la instalación de la geomembrana y el profesional a cargo, autora del proyecto:

Tabla 12. Presupuesto llevado a cabo en el proyecto.

Rubros	Precio	Unidades	Total
Materiales de obra civil			
Varilla de 9mm x 6m	\$ 10.000	90	\$ 900.000
Flejes de 1/4	\$ 630	550	\$ 346.500
Tuvo PVC tráfico pesado de 6"	\$ 65.000	2,40 m	\$ 32.500
Tuvo PVC tráfico pesado de 4"x 6m	\$ 60.000	15	\$ 900.000
Codos PVC de 4"	\$ 5.000	6	\$ 30.000
Soldador de PVC 1/4	\$ 41.500	1	\$ 41.500
Limpiador de PVC 1/8	\$ 11.000	1	\$ 11.000
Uniones de 4"	\$ 3.300	20	\$ 66.000
Alambre negro	\$ 4.500	15 kg	\$ 67.500
Llave de paso plástica de 4"	\$ 80.000	1	\$ 80.000
Ladrillos	\$ 900	1000	\$ 900.000
Bultos de cemento	\$ 21.000	35	\$ 735.000
Material de grava y playa	\$ 300.000	12 m ³	\$ 550.000
Materiales de biodigestor			
Bolsa biodigesora de geomembrana	\$ 2.250.000	1	\$ 2.250.000
Materiales para la trampa de gases			
Tubo sanitario de 4" x 1m	\$ 6.500	1	\$ 6.500
Ye sanitaria de 4"	\$ 11.500	1	\$ 11.500
Unión sanitaria 4"	\$ 3.300	1	\$ 3.300
Buje sanitario de presión 2"x 1"	\$ 4.200	2	\$ 8.400
Buje sanitario de presión 1"x 1/2"	\$ 550	3	\$ 1.650
Te de presión de 1"	\$ 1.200	2	\$ 2.400
Adaptador limpieza sanitario 4"	\$ 9.500	1	\$ 9.500
Válvula bola PVC lisa 1"	\$ 4.500	1	\$ 4.500
Válvula bola PVC 1/2"	\$ 2.500	2	\$ 5.000
Soldadura de PVC 1/16 Gl	\$ 13.500	1	\$ 13.500
Tubo PVC de presión 1"	\$ 2.200	2	\$ 4.400
Tubo PVC de presión de 1/2"	\$ 1.200	2	\$ 2.400
Rollo manguera de polietileno 1" x 100m	\$ 72.000	1	\$ 72.000
Manguera flex 1 1/4" x 4m	\$ 6.500	4m	\$ 26.000
Personal			
Maestro de obra/ 1 mes	\$ 2.800.000	1	\$ 2.800.000
Obreros/ 1 mes	\$ 1.000.000	2	\$ 2.000.000
Asesor de biodigestores	\$ 780.000	1	\$ 780.000
Personal de excavación con maquinaria/hora	\$ 62.500	4	\$ 250.000
Profesional			
Estudiante aspirante al título / 2 mes	\$ 1.400.000	1	\$ 1.400.000
TOTAL			\$ 14.311.050

14. Aspectos Éticos

El desarrollo del trabajo, todas las actividades y los materiales obtenidos fueron costeados por Tornicentro, empresa del cual es propietario el dueño de la Finca Las Delicias, utilizada como objeto de estudio.

Dado que como producto del proyecto realizado se mejoró el camino veredal como servidumbre pública, esta situación repercutió en la calidad de vida de los usuarios de dicha servidumbre.

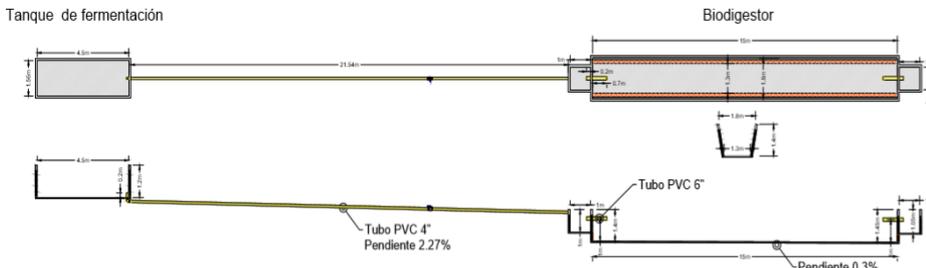
15. Análisis y discusión de resultados

El análisis se hará a partir de los objetivos específicos y el cumplimiento del objetivo general.

15.1 Resultados por objetivos.

Tabla 13. Resultados del proyecto según los objetivos.

Objetivo específico 1.	Resultados
<p>Evaluar la factibilidad del biodigestor considerando la materia prima disponible y las variables requeridas para su adecuada operación.</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> $\text{Promedio de bovinaza} = \frac{\text{Cantidad de bovinaza (Kg) / día}}{\text{Número de días}} \quad \text{Ecu. 1}$ </div> $\text{Promedio de bovinaza: } \frac{127 \text{ kg} + 141 \text{ kg} + 120 \text{ kg} + 119 \text{ kg}}{4 \text{ días}}$ $\text{Promedio de bovinaza: } 126.75 \text{ kg/día}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> $\text{Producción por cabeza de ganado: } \frac{\text{Promedio de bovinaza diaria}}{\text{Número de cabezas de ganado dentro del ordeño}} \quad \text{Ecu. 2}$ </div> $\text{Producción por cabeza de ganado: } \frac{126.75 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{55 \text{ cabezas de ganado} \frac{\text{ganado}}{\text{día}}}$ $\text{Producción por cabeza de ganado} = 2.30 \frac{\text{kg}}{\text{cabeza de ganado}}$ <p>Estimación de agua necesaria para la carga de bovinaza.</p>

	<p style="text-align: center;">$Agua\ necesaria = 126.75\ kg\ de\ excretas \times 4$</p> <p style="text-align: center;">$Agua\ necesaria = 507\ \frac{kg\ de\ agua}{día}$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $Volumen = \frac{Masa\ de\ la\ bovinaza}{Densidad\ del\ agua} \text{ Ecu. 3}$ </div> <p style="text-align: center;">$Volumen\ de\ agua = \frac{507\ \frac{Kg\ agua}{día}}{1000\ \frac{kg}{m^3}}$</p> <p style="text-align: center;">$Volumen\ de\ agua\ por\ día = 0.507\ m^3/día$</p>	
<u>Objetivo específico 2.</u>	<u>Resultados</u>	
<p>Diseñar el biodigestor según las características del terreno y de las heces bovinas.</p>	<p style="text-align: center;">Diseño del biodigestor.</p> 	
<u>Objetivo específico 3.</u>	<u>Resultados de la obra civil e instalación de geomembrana</u>	
	<u>Actividad</u>	<u>Resultado</u>
<p>Ejecución del biodigestor y evaluación del potencial para la obtención de energía eléctrica a partir de los productos de metanogénesis de las heces fecales bovinas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Preparación de terreno. - Adquisición de material. - Construcción. - Pruebas de funcionamiento. - Estimación de potencial. 	<ul style="list-style-type: none"> - Excavación y peniplanación del terreno. - Inicio de la obra civil. - Obra civil culminada y lista para la instalación del sistema biodigestor. - Observación de funcionamiento del biodigestor en la etapa de estabilización. - Cálculo de potencial como energía eléctrica.
	<u>Resultados de la estimación de potencial como energía eléctrica</u>	

Inicialmente se halla el volumen del biodigestor con la siguiente fórmula:

$$V_c = \pi r^2 h. \text{ Ecu 4}$$

Donde:

Vc= Volumen de un cilindro

r= Radio del cilindro

h= Altura del cilindro

Y se desarrolla de la siguiente forma:

$$V_c = \pi \times (1m^2) \times 15m$$

$$V_c = 47.1238 m^3$$

Para continuar se necesita hallar los kilomoles del gas y así calcular la presión según la Ley de Gases Ideales.

$$1m^3 CH_4 = 158.43 kg/m^3$$

(Asociación ibérica de gas natural para la movilidad)

Se tiene en cuenta que la capacidad de la geomembrana equivale a 47 m³, de los cuales el 70% son bovinaza y el 30% es la producción del gas, por ende:

$$\begin{aligned} 100\% &= 47m^3 \\ 30\% &= X \end{aligned}$$

$$X = 14 m^3$$

Se multiplica la cantidad de gas producido en m³ x la densidad del gas para hallar los kg de CH₄ producidos:

$$\begin{aligned} 14m^3 \times 158.43 kg/m^3 \\ = 2218.02 kg CH_4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ mol de } CH_4 &= 16 \text{ g} \\ 16 \text{ g} \div 1000 \\ &= 0.016 Kg \end{aligned}$$

Teniendo estos datos se procede a hallar los kmoles del gas producido en los 14m³:

$$0.016 \text{ kmoles} \times 2218.02 \text{ kg } CH_4$$

$$X = 35.488 \text{ Kmoles } CH_4$$

Iniciando la producción de biogás en la geomembrana, se realiza la instalación de un manómetro, posterior a la trampa de gases ácidos con el fin de no perjudicar la integridad de este equipo medidor. La estimación de biogás a partir de los datos suministrados por el manómetro en unidades de kg/cm³ se hace a partir de la ley de los gases ideales que corresponden a la siguiente ecuación:

$$PV = nRT \text{ Ecu.5}$$

Donde:

P=Presión

V=volumen

n= moles del gas

R= constante de gases

T= temperatura

$$R = 8.205746 \times 10^{-5} m^3 * atm / Kg / ^\circ C * mol \text{ (Armijo, 2005)}$$

Teniendo los resultados de la presión del gas producido en el sistema, se procede a despejar la ecuación de Ley de Gases Ideales para hallar el volumen del gas producido y así se reemplazan los valores obtenidos en la fórmula despejada:

$$V = \frac{nRT}{P} \text{ Ecu. 6}$$

- Hora: 6:00 a.m

A esta hora debido a que hay un receso de obtención de calor durante la noche, la producción de gas es muy poca o nula, esto da como resultado que la presión no puede ser detectada por el manómetro, por ende, no se logra calcular el volumen del gas.

- Hora: 1:00 p.m

Conversión de presión del manómetro en psi a atm.

$$\begin{aligned} 1 \text{ psi} &= 0.068 \text{ atm} \\ 2.25 \text{ psi} &= 0.15 \text{ atm} \end{aligned}$$

Reemplazo de valores en la fórmula para hallar el volumen de gas.

$$V = \frac{35.488 \text{ Kmoles } CH_4 \times 8.205746 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{atm} / \text{Kg}/^\circ\text{C} \cdot \text{mol} \times 31^\circ\text{C}}{0.15 \text{ atm}}$$

$$V = 0.602 \text{ m}^3$$

La temperatura ambiente de 31°C es estable dentro de las 10:00 a.m hasta las 4:00 p.m, para un total de 6 horas de exposición de la geomembrana a esta temperatura.

- Hora: 6:00 p.m

Conversión de presión de manómetro en psi a atm.

$$\begin{aligned} 1 \text{ psi} &= 0.068 \text{ atm} \\ 1.55 \text{ psi} &= 0.11 \text{ atm} \end{aligned}$$

Reemplazo de valores en la fórmula para hallar el volumen de gas.

$$V = \frac{35.488 \text{ Kmoles } CH_4 \times 8.205746 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{atm} / \text{Kg}/^\circ\text{C} \cdot \text{mol} \times 27^\circ\text{C}}{0.11 \text{ atm}}$$

$$V = 0.715 \text{ m}^3$$

La temperatura ambiente de 27°C es estable dentro de las 4:00 p.m hasta las 7:00 p.m, para un total de 3 horas de exposición de la geomembrana a esta temperatura.

Se promedian estos valores para poder estimar la potencialidad que se puede obtener en un día.

$$V_{\text{promedio}} = \frac{0.602 \text{ m}^3 + 0.715 \text{ m}^3}{2}$$

$$V_{\text{promedio}} = 0.658 \text{ m}^3$$

	<p>Una vez hallado el promedio de gas al día, el cual fue de 0.658 m³/día, se hace la conversión de cuántos kWh puede producir la cantidad de volumen obtenido.</p> $1 \text{ m}^3 = 10.55 \text{ kWh (Kofinan, 2010)}$ $0.658 \text{ m}^3 = 6.94 \text{ kWh}$ <p>El valor de los kWh se multiplica por la cantidad de horas que recibe radiación solar (9 horas continuas) y también en donde se encuentra estable la temperatura ambiente, ya que dentro de estas horas se logró tomar la presión del gas en el sistema.</p> $6.94 \text{ kWh} \times 9 \text{ horas/día}$ $= 62.46 \text{ kWh/día}$ <p>El potencial energético como energía eléctrica que pudiera ser producido en la unidad productiva analizada es de 62,46 kWh/día, para lo cual contribuyeron las siguientes variables, biomasa producida, radiación solar, temperatura ambiente y presión de gas en el biodigestor.</p>
--	---

15.2 Análisis de resultados:

- Objetivo específico 1:

Se analizaron las variables, generación de biomasa, cantidad de cabezas de ganado generadoras, cantidad de agua necesaria, respetando la relación 1:4 recomendada por el asesor técnico y se demostró que en la finca bovina lechera analizada, existen las condiciones para generar energía eléctrica a partir de la bovinaza.

- Objetivo específico 2:

Realizado los cálculos de magnitud de biodigestor, se analizaron espacios para su ubicación, se seleccionó el área más adecuada y se estableció el sitio para su construcción en las cercanías del establo, factor este que permitió definir las variables de calidad, cantidad y características que permitieron el diseño detallado del biodigestor.

- Objetivo específico 3:

Una vez diseñado el biodigestor, como se muestra en la figura 11, fue necesario iniciar la adquisición de los materiales necesarios para su construcción y realizar las adecuaciones del terreno, para lo cual se consideraron aspectos ambientales en cuanto a remoción de los materiales de suelo y estériles, con el fin de causar el mínimo impacto ambiental, ya realizado lo anterior se procedió al montaje del biodigestor y las conexiones necesarias para garantizar los flujos de materia y energía que garantiza la conducción del biogás producido para la utilización, energía eléctrica. Cada uno de los aspectos contemplados se detalla en los cálculos y resultados obtenidos en la tabla 12.

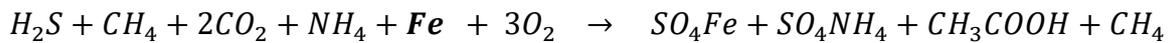
15.3 Utilidad de las esponjillas para captación de ácido sulfhídrico (H₂S):

El funcionamiento de la trampa de gases es gracias a las reacciones químicas que se presentan dentro de ella con las esponjillas y el gas producido en el biodigestor, como se muestra en las siguientes reacciones:

La ecuación química de material orgánico: Donde en la reacción actúan bacterias anaerobias.



Reacción con la trampa de gases:



El ácido sulfhídrico reacciona con el hierro y se convierte en sulfitos, por lo tanto, las esponjillas de hierro se oxidan en el proceso y de esta manera se purifica el gas, obteniendo CH₄.

15.4 Costo-beneficio.

Se presenta un análisis costo-beneficio teniendo en cuenta el costo de los kWh requeridos en la finca según el recibo de energía. (anexo1), el cual es pagado bimensualmente con tarifas de estrato 3.

$$\begin{aligned} 527 kWh &= \$231.330 \\ 1 kWh &= \$439 \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta el precio de 1 kWh se hace la relación de lo obtenido en la finca a partir del biogás, donde se produce 62,46 kW/día.

$$\begin{aligned} 62,46 \frac{kWh}{día} \times 60 \text{ días} \\ = 3747.6 kWh \end{aligned}$$

Una vez obtenido la cantidad de kWh en 60 días se multiplica por el precio cobrado por cada kWh, obteniendo de esta forma la producción bimensual en costos monetarios.

$$\begin{aligned} 3747.6 kWh \times \$439 \\ = \$1'645.196 \end{aligned}$$

Teniendo la producción monetaria bimensual se divide para hallar la cantidad monetaria mensual y así conocer el tiempo de recuperación de la inversión total del proyecto y el costo-beneficio:

$$\frac{\$1'645.196}{2 \text{ mes}} = \$822.598 /mes$$

Según el análisis costo beneficio un proyecto de inversión será rentable cuando al relación costo-beneficio sea mayor que la unidad (ya que los beneficios, serán mayores que los costos de inversión) en nuestro caso, se comienza a obtener beneficio a partir del mes 17, según la aplicación de la ecuación relación costo-beneficio: (Arturo, 2019)

$$B/C = \frac{VAI}{VAC} \text{ Ecu. 7}$$

Dónde:

B/C= relación costo-beneficio

VAI= valor actual de los ingresos netos o beneficios netos.

VAC= valor actual de los costos de inversión o costos totales.

$$B/C = \frac{\$822.598}{mes} \times 17,4 \text{ meses}}{\$14'311.050} = 1$$

De acuerdo a lo anterior resulta ser rentable a partir 17.4 meses.

Es un corto tiempo de recuperación de la inversión, teniendo en cuenta que también puede ser apto para usarse el biogás en cocción de alimentos, con la cantidad de gas obtenido y al mismo tiempo ser usado para el ordeño mecanizado y las funciones de la casa como los bombillos o televisores. También se demuestra que además de ser un proyecto completamente viable, la potencialidad que tiene la bovinaza al ser apta para ser tratada por medio de biodigestores, con un método diferente al establecido para el estiércol de la porcícola, siendo añadido el tanque de fermentación para que así no se colmate el sistema y su producción de gas sea efectiva.

Con el proyecto se logró, además de la producción de gas, bioabono resultante de la salida del biodigestor en el efluente, el cual hasta ahora ha sido aprovechado siendo dispuesto en algunos potreros aledaños, obteniendo como resultado un excelente crecimiento en los pastos y reverdecimiento en los mismos, dejando por fuera cualquier afectación negativa en los pastos producto de veranos prolongados en la región.

15.5 Resultados por variables ambientales.

Resultados por variables ambientales ecológicas, económicas, sociales y culturales, se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 14. Resultados por variables ambientales.

Variable	Aspecto ambiental	Resultados	Indicador
Ecológica	Producción de residuos contaminantes (bovinaza)	Utilización de los residuos generados como materia prima para la producción de biogás por medio del biodigestor.	Volumen generado diario: 126.75 Kg/día
	Consumo de agua en el	Estimación del consumo de	Volumen utilizado

Variable	Aspecto ambiental	Resultados	Indicador
	lavado del establo. Según la ley de ahorro y uso eficiente del agua. (ley 373/1997)	agua utilizado, para cumplir con la relación 1:4 necesaria y también disminuyendo los tiempos de lavado en el establo.	diario (L): 507 L/día
Económicos	Disposición inadecuada de bovinaza.	Utilización de la biomasa como materia prima para producción de biogás y generación de energía eléctrica.	Eliminación de la disposición inadecuada de la bovinaza en kg: 126.75 Kg/día
	Utilización de bovinaza para generación de energía.	Utilización de la energía eléctrica producida con biogás para realizar el respectivo ordeño mecanizado, de esta manera tener una producción sustentable.	Potencial de generación en Kwh.
Sociales	Generación de olores ofensivos. (Según Decreto 948/1995)	Eliminación de olores ofensivos por mala disposición final de bovinaza.	Disminución de vectores de enfermedades.
	Generación de empleo	Generación de empleo por 4 semanas de construcción de obra civil y permanente para la respectiva operación del biodigestor.	Número de jornales generados durante la construcción operación y asesoría especializada: -54 jornales en construcción. -1 jornal de trabajo permanente. -1 Técnico por dos días. -1 Estudiante de ingeniería ambiental por dos meses
Cultural	No uso de camino veredal para disposición de desechos.	Recuperación y buen estado del camino principal veredal para su correcto uso.	Mejoramiento del camino principal de forma permanente. Eliminación del 100% de exposición de desechos en el

Variable	Aspecto ambiental	Resultados	Indicador
			camino veredal.

16. Conclusiones

Para el objetivo específico 1, según la producción de bovinaza se encontró que existe suficiente material para adelantar el proyecto de generación de energía eléctrica, a partir de biogás, producto del sistema de biodigestor.

Para el objetivo específico 2, se propuso un diseño tipo de biodigestor para que en fincas ganaderas lecheras, pueda ser utilizado en la generación de biogás para producción de energía eléctrica como insumo en la actividad de ordeño mecanizado.

Para el objetivo específico 3, se implementó el diseño realizado de biodigestor, generando biogás como combustible alimentador del sistema de ordeño mecanizado.

Como producto del cumplimiento de los objetivos específicos se dio cumplimiento al objetivo general planteado en esta investigación.

Los residuos generados por una cría de ganado en el manejo semiestabulado que pueden ser recuperables en los establos, constituyen un recurso de gran importancia para satisfacer gastos energéticos durante la faena de ordeño diario que tradicionalmente es alimentada con energía proveniente de combustibles como el ACPM o energía de la red.

Las energías de la red y el ACPM están asociados a generación de cantidades importantes de gases de efecto invernadero, por lo cual, la generación de energía por biodegradación de bovinaza resulta ser, además de una energía de menor impacto ambiental, debido a que la biodegradación de bovinaza y su utilización para generar energía eléctrica, es un proceso de destrucción de metano, que elimina la producción de un gas de efecto invernadero de alto impacto.

La generación de energía eléctrica por los procesos señalados, puede ser utilizada para beneficio de unidades productivas ganaderas, tanto en las demandas de energía por la faena de ordeño, como para usos domésticos.

Este tipo de tecnología puede ser aplicada con costo-beneficio favorable, debido a su eficiencia y bajos costos.

La utilización de bovinaza para generación de energía eléctrica por procesos de biodegradación, contribuye a mejorar las condiciones ecológicas de las zonas de influencia del proyecto en ganaderos, ya que elimina o disminuye un insumo contaminante como es la bovinaza, que al ser arrastrada por escorrentía, puede afectar el recurso hídrico.

Producto de la biodegradación de la bovinaza es la generación de biocompost que es un insumo altamente beneficioso para la fertilización de los pastos, con beneficios netos para la producción pecuaria.

La realización de este proyecto de grado, me permitió desenvolverme completamente como ingeniera ambiental, desde el trabajo de campo que se realizó con la obra civil y las mediciones, hasta los cálculos realizados para lograr llegar al resultado necesario y así presentarlos en mi proyecto de grado.

17. Recomendaciones

El desarrollo metodológico planteado en esta investigación puede ser utilizado en la construcción de una cartilla ilustrativa para los medianos ganaderos sobre los beneficios de la bovinaza como fuente energética en las unidades productivas pecuarias, que para el caso del Huila cubre un universo de 300 distribuidas en los municipios ganaderos, según los datos de Fedegán. (Fedegán, 2014)

Para la implementación del sistema propuesto: biodigestor para generación de energía eléctrica a partir de bovinaza, se requiere la adquisición de materiales de la mejor calidad, que garantice el sellamiento del sistema y los equipos para la purificación del gas y conducciones hasta el motor generador de energía eléctrica.

18. Anexo:

Anexo 1:

ElectroHuila
NIT. 891.180.001-1

SU CÓDIGO DE CUENTA NUEVA
237447815

Para cualquier consulta y pedido de facturas
www.electrohuila.com.co 11 241 98 001

FACTURA DE VENTA No. 53074614

Documento equivalente según artículo 17 Decreto 1009/97

FECHAS DE LECTURAS: 02/AGO/2019 a 01/OCT/2019

FECHA DE VENCIMIENTO: 24/OCT/2019

TOTAL A PAGAR \$ 231.330

INFORMACIÓN CLIENTE

Cliente: HERNANDO CEFERO, Int. C.C. 115869
Dirección: VDA SANTA BARBARA, Ruta 3150700141
Municipio: IQUIRA, Cód. 025
Categoría Servicio: Residencial, Estrato 2

INFORMACIÓN TÉCNICA

Nivel Tensión: 1 Secundario, Carga 2910090
Carga Contratada: 0, Nombre: T11337
Grupo: 4, Atraves: 0

INFORMACIÓN CONSUMO

Contador	Marca	T.E.	T.M.	Dis	Let. Actual	Let. Ant.	Factor	Consumo (kwh)
8205997	KRI	A	S		27718	27191	1	527

Promedio Cuenta: 433, Consumo Año Anterior: 648, Consumo Actual: 648

ULTIMOS CONSUMOS

Mes	Consumo	Código Transformador
JUL	285	025
AGO	472	025
SEP	270	025
OCT	527	025

ULTIMO PAGO

Fecha: 15/09/2019, Valor \$: 4700

LIQUIDACIÓN CONSUMO PERIODO

Consumo (kwh)	Tarifa \$/kwh	Valor \$	Consumo (kwh)	Tarifa \$/kwh	Valor Total \$
130	570,071	74.109	133,5	570,071	76.105
130	584,067	75.929	133,5	584,067	77.973

Valor Total Energía del Periodo: \$ 384.116
Valor (Subsidio/Contribución %): - 497
Valor Total Energía Facturado: \$ 231.329

DETALLE DE CUENTA

CONCEPTO	VALORES	OTROS CARGOS	VALOR
Consumo Periodo	\$ 231.329	IMPUESTOS	\$ 0
Ajuste Decena	\$ 0	VALOR ELECTROHUILA	\$ 231.330

TOTAL A PAGAR \$ 231.330

ELECTRODOMESTICOS FINANCIACIONES

CONCEPTO	CAPITAL	TOTAL CONCEPTO	SALDO	FINANCIACION	COSTO PER	TOTAL PER	SALDO
FOE: Consumo kWh		Valor \$	No Factura				

COSTO UNITARIO DE PRESTACION DEL SERVICIO

Gen.	213.7832	Tar.	32.6984	Prom.	39.7278	Difus.	174.4661
Rm.	14.1091	Cost.	85.5018	2.Valor	526.0		

Obs.: 0: Toda ex-lijada.

CREVALORES

SALDO	CAPITAL	INT. CORRIENTE	INT. MORA

ElectroHuila Código de Cuenta: 237447815
NIT. 891.180.001-1 Período: SEP-2019 Fecha de Vencimiento: 24/OCT/2019
Suspensión a partir de: 24/OCT/2019

Valor Total a Pagar: **\$ 231.330**

19. Glosario de términos

Bovinaza:

Se denomina bovinaza a las excretas de ganado, que pueden ser utilizadas para fertilización de suelos, ya sea para jardinería, cultivos o pastos con fines pecuarios, en esta investigación fue la materia prima utilizada para el funcionamiento del biodigestor.

Bioenergía:

La bioenergía es un tipo de energía renovable que se produce a partir del aprovechamiento de la materia orgánica formada en algún proceso biológico, generalmente de las sustancias que constituyen los seres vivos o sus restos y residuos. (RBA AMBIENTAL)

Biodegradación:

La biodegradación es la disolución química de los materiales por bacterias u otros medios biológicos.

El término se utiliza normalmente en relación con la ecología, gestión de residuos, ambiente y comúnmente asociados con productos que son capaces de descomponerse nuevamente dentro de los elementos naturales. (Agustín, 2011)

Procesos anaeróbicos:

Es la descomposición de manera efectiva sin la presencia de oxígeno. Se puede llegar a producir metano, descomponer materiales orgánicos en situaciones que llevan a la fermentación. (Chuck, 2018)

20. Bibliografía

- Agustín. (11 de 05 de 2011). *ECOLOGIAHOY*. Recuperado el 14 de 10 de 2019, de <https://www.ecologiahooy.com/biodegradacion>
- Agustina, V. R. (2014). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. *ScienceDirect*, 436.
- Alcaldía Municipal de Íquira en Huila. (23 de Marzo de 2018). *Alcaldía Municipal de Íquira en Huila*. Obtenido de <http://www.iquira-huila.gov.co/municipio/geografia>
- Armijo, J. (2005). FLUJO DE FLUIDOS COMPRESIBLES A TRAVÉS DE TUBOS DE SECCIÓN TRANSVERSAL CONSTANTE: ALGORITMOS DE CÁLCULO PARA GASES IDEALES. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 40-48.
- Arturo, R. (14 de 09 de 2019). *Crece negocios*. Recuperado el 14 de 10 de 2019, de <https://www.crecenegocios.com/analisis-costo-beneficio/>
- Asociación ibérica de gas natural para la movilidad. (s.f.). Recuperado el 11 de Octubre de 2019
- Bogotá, J., Díaz, S., & Ramos, P. (2009). *MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE DOS BIODIGESTORES ANAEROBIOS CON RESIDUOS ORGANICOS GENERADOS EN LA CENTRAL DE MERCADO "PLAZA KENNEDY" EN BOGOTA*. Bogotá: Universidad Manuela Beltrán.
- Cedeño, D. (Julio de 2018). *Comunicación personal*. Íquira, Huila, Colombia.
- Cervi, R. G., Esperancini, M., & Bueno, O. (2011). *Viabilidad Económica de la Utilización de Biogás para la Conversión en Energía Eléctrica*. Sao Paulo: Scielo.
- Coroña, I. (2007). *Biodigestores*. Hidalgo: Universidad Autónoma de Hidalgo.
- Chuck, R. (1 de 02 de 2018). *Geniolandia*. Recuperado el 14 de 10 de 2019, de <https://www.geniolandia.com/13154157/cual-es-el-proceso-anaerobico>
- Dominguez, J. (2008). *Energías Alternativas*. Madrid: EQUIPO SIRIUS.
- Fedegán. (2014). *Ganadería regional visión 2014-2018*. Neiva: Fedegán.
- ICA. (2007). *ICA*. Obtenido de <https://www.ica.gov.co/getdoc/016f3c96-a458-4fa6-ae96-41d18b2221f5/Requisitos-Sanitarios-y-de-Inocuidad-en-la-Producc.aspx>
- Kofman, P. D. (2010). *Units, conversion factors and formulae for wood for energy*. Dublin, Council for Forest Research and Development . COFORD.
- Lessner, D. J. (Diciembre de 2009). *Methanogenesis Biochemistry*. Obtenido de <http://www.els.net> [doi: 10.1002/9780470015902.a0000573.pub2]
- Lorenzo, Y., & Obaya, C. (2005). *LA DIGESTIÓN ANAEROBIA. ASPECTOS TEÓRICOS. PARTE I*. Habana: Instituto Cubanos de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
- MinAmbiente. (18 de Diciembre de 1974). *MinAmbiente*. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Dcreto_2811_de_1974.pdf
- Molina, A. (27 de Mayo de 2011). La Constitución del 91 y sus garantías ambientales. *La Constitución del 91 y sus garantías ambientales*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Pacheco, S. (2016). *CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN DIGESTOR ANAEROBIO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS DE ALIMENTOS Y PODA A ESCALA BANCO*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Palacios, W. A. (2016). DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL ESTIÉRCOL DE GANADO. *Repositorio institucional Pihrua*, 229.
- Pérez M. Cuestas M, J. N. (2008). UTILIZACIÓN DE BIOGÁS EN PILAS DE COMBUSTIBLE. *CIEMAT*, 68.

- Pérez, J. (2010). *ESTUDIO Y DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA APLICACION EN PEQUEÑOS GANADEROS Y LECHEROS*. Santiago de Chile : Universidad de Chile.
- Pérez, J., & Merino, M. (2015). Obtenido de Definición.DE: <https://definicion.de/anaerobio/>
- Pérez, M. F. (2006). *PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOGÁS PROCEDENTE DE VERTEDEROS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS*. GUATEMALA: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA .
- RBA AMBIENTAL. (s.f.). *RBA AMBIENTAL*. Recuperado el 14 de 10 de 2019, de <http://www.rba-ambiental.com.ar/bioenergia/que-es-la-bioenergia/>
- Tapia, A. (2015). *Vix*. Obtenido de <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/4505/que-es-el-biogas>
- TESPOWER. (24 de Septiembre de 2019). *TESPOWER*. Recuperado el 28 de Octubre de 2019, de <https://tespower.com.mx/2019/09/24/cogeneracion-por-biogas/>
- Villalobos, C. (8 de Febrero de 2016). Resumen de la Ley 99 de 1993: Ley General Ambiental de Colombia.
- Zohary, D., Tchernov, E., & Kolska Horwitz, L. (1998). The role of unconscious selection in the domestication of sheep and goats. *Journal of Zoology*, 245.