



**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE
APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE EXCRETAS DE BOVINO EN LA
HACIENDA LOS NARANJOS, TAMBO - CAUCA.**

David Santiago Díaz Guío
Laura Melissa Salazar Cerón

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 16 de octubre del 2019

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE
APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE EXCRETAS DE BOVINO EN LA
HACIENDA LOS NARANJOS, TAMBO - CAUCA.**

David Santiago Díaz Guío
Laura Melissa Salazar Cerón

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

Director
Carlos Eduardo Quintero Murillo

Línea de Investigación:
Ingeniería Sustentable

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

Año 2019



UNIVERSIDAD
EL BOSQUE

Vigilada Mineducación

SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

ACTA No: 1132

El día **29 OCT 2019**, en las instalaciones de la Universidad El Bosque, se desarrolló la sustentación del trabajo de grado titulado **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE EXCRETAS DE BOVINO EN LA HACIENDA LOS NARANJOS, TAMBO - CAUCA**, escrito por **DAVID SANTIAGO DÍAZ GUIO, C.C. 1016089892** y **LAURA MELISSA SALAZAR CERÓN, C.C. 1015465647**, bajo la dirección de **CARLOS EDUARDO QUINTERO MURILLO, C.C. 3182262**, como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental. El trabajo fue evaluado por los jurados **CAREL ELIZABETH CARVAJAL ARIAS, C.C. 1032411403** y **DIANA XIMENA VANEGAS BELTRÁN, C.C. 38601639**, quienes deliberaron y concluyeron que cumple con los criterios de calidad, por lo que se determina que el trabajo es **Aprobado**.

En constancia, se firma en Bogotá, D.C., **29 OCT 2019**

KENNETH OCHOA VARGAS
Director
Programa de Ingeniería Ambiental



GERMÁN AGUDELO ASCENCIO
Secretario Académico
Facultad de Ingeniería



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.

Agradecimientos

A nuestros padres que estuvieron acompañándonos en este proceso de aprendizaje y crecimiento. A nuestro director de grado Carlos Eduardo Quintero Murillo por todo el tiempo dedicado y los consejos ofrecidos durante el desarrollo de la misma. A Víctor Zúñiga y a la Hacienda Los Naranjos por permitirnos realizar esta investigación y brindarnos siempre atención en cuanto a la información requerida y por supuesto a la Universidad el Bosque que nos brindó los espacios necesarios para la elaboración de la investigación así como también nuestra formación como ingenieros.

Contenido

1. Introducción.....	5
2. Planteamiento del problema	6
3. Justificación.....	8
4. OBJETIVO GENERAL	10
5. Marco De Referencia.....	11
5.1. Antecedentes (Estado Del Arte).....	11
Nivel regional.....	12
5.2. Marco Conceptual	14
5.3. Marco Teórico	21
5.4. Marco Normativo	23
5.5. Marco Geográfico	26
5.6. Marco Institucional	28
5.7. Marco Metodológico	30
6. PLAN DE TRABAJO	38
7. Aspectos Éticos.....	40
8. Resultados Análisis Y Discusión De Resultados	41
8.1. Objetivo específico uno: Realizar un diagnóstico del estado actual de la Hacienda Los Naranjos para establecer criterios de diseño.	41
8.2. Objetivo específico dos: Evaluar alternativas de biodigestores que se ajusten a las características de la zona de estudio para identificar el que se adecue a las condiciones bajo estudio.	52
8.3. Objetivo específico tres: Elaborar un modelo a escala de dimensionamiento y costo del biodigestor seleccionado.	56
9. Conclusiones.....	69
10. Recomendaciones	70
11. Bibliografía	71
12. Anexos	76
12.1. Anexo 1. Árbol de Problemas.....	76
12.2. Anexo 2. Entrevistas.....	77

Listado de Tablas

Tabla 1. Relación de parámetros de un digestor.	16
Tabla 2. Rangos de temperatura para la digestión.	17
Tabla 3. Composición química del Biogás.	18
Tabla 4. Composición del biol.	19
Tabla 5. Descripción de las normas legales vigentes relacionadas con energías renovables y la producción de biogás	23
Tabla 6. Matriz de variables, técnicas e instrumentos para el desarrollo del primer objetivo según dimensiones.	31
Tabla 7. Matriz de variables según su respectiva dimensión para el desarrollo del objetivo tres planteado.	33
Tabla 8. Parámetros establecidos para las dimensiones del biodigestor tubular.	35
Tabla 9. Resumen de técnicas e instrumentos y análisis de información por objetivo.	37
Tabla 10. Cronograma de Actividades para el proyecto Estudio de factibilidad para el diseño de un biodigestor de aprovechamiento sostenible de excretas de bovino en la Hacienda los Naranjos, Tambo - Cauca.	38
Tabla 11. Presupuesto para el desarrollo del proyecto.	39
Tabla 12. Características principales de las razas de bovino presentes en la Hacienda.	43
Tabla 13. Producción diaria de estiércol para cada tipo de animal.	44
Tabla 14. Cálculo teórico de la generación de estiércol para cada una de las razas de ganado bovino presentes en la Hacienda.	45
Tabla 15. Cantidad de agua empleada en la limpieza de los establos.	47
Tabla 16. Matriz de alternativas para la evaluación de diferentes diseños de reactores.	52
Tabla 17. Criterios de evaluación para la matriz de alternativas.	52
Tabla 18. Características principales de los diferentes modelos evaluados en la matriz de alternativas.	55
Tabla 19. Tiempo de retención según temperatura.	59
Tabla 20. Tabla resumen de los cálculos para el Biodigestor de acuerdo a los datos obtenidos según la literatura y los datos obtenidos en Campo.	61
Tabla 21. Parámetros establecidos para las dimensiones del biodigestor tubular.	62
Tabla 22. Presupuesto de los materiales para la construcción del biodigestor.	65
Tabla 23. Flujo de caja actual para la Hacienda Lechera los Naranjos.	67
Tabla 24. Flujo de caja para el primer año de funcionamiento la Hacienda Lechera los Naranjos.	68
Tabla 25. Análisis económico del proyecto.	68

Listado de Figuras

Figura 1. Fases de fermentación anaerobia.....	16
Figura 2. Localización del municipio de El Tambo-Cauca.	26
Figura 3. Hacienda Lechera los Naranjos.	27
Figura 4. Enfriador de leche utilizado en la Hacienda.....	41
Figura 5. Ollas que funcionan a gas para calentar el agua con el fin de pringar los equipos que son utilizados para el proceso de extracción de leche y conservación.....	42
Figura 6. Diagrama de flujo del ciclo de vida de las excretas de bovino en la Hacienda Los Naranjos.	46
Figura 7. Tanque estercolero de 5000 litros.	47
Figura 8. Potrero con área irrigada con el agua del tanque y área no irrigada.	48
Figura 9. Diagrama de flujo de las actividades productivas desarrolladas en la Hacienda Lechera los Naranjos.....	49
Figura 10. Línea de tiempo del total de fincas bovinas y el número de bovinos registrados en el departamento del Cauca y en el Municipio de El Tambo.	50
Figura 11. Manejo y Estado actual de la Hacienda Lechera los Naranjos.....	56
Figura 12. Manejo y Estado actual de la Hacienda Lechera los Naranjos.....	57
Figura 13. Mapa vías de acceso Hacienda Los Naranjos.	58
Figura 14. Mapa vías de acceso Hacienda Los Naranjos.	59
Figura 15. Vista frontal al ducto de carga del biodigestor.....	63
Figura 16. Vista lateral del biodigestor.....	64

Resumen

En la Hacienda Lechera los Naranjos localizada en el Tambo - Cauca, no existe un aprovechamiento de los residuos de la biomasa (excretas de bovino) producto de sus actividades ganaderas como un insumo energético y de fertilización para satisfacer las necesidades energéticas, por otro lado, los costos de mantenimiento de la misma son elevados. Hoy en día la difusión de energías limpias en el país aún es un tema incipiente por lo que con este proyecto se busca realizar un estudio de factibilidad de un biodigestor de aprovechamiento de excretas de bovino a fin de producir biogás y biol de acuerdo a algunos indicadores ecológicos, sociales y económicos para un aprovechamiento sostenible de la Hacienda. El análisis de factibilidad se llevó a cabo mediante un diagnóstico de la Hacienda la cual tiene una producción de 600 L/día de leche y cuenta con 48 cabezas de ganado. Posteriormente se procedió a evaluar alternativas de biodigestores que se ajusten a las características de la zona de estudio por medio de una matriz de alternativas en la que se determinó que el modelo que mejor se ajusta a las condiciones de la zona es el Modelo Tubular. Por último, se procedió a determinar los parámetros de diseño y dimensionamiento del biodigestor finalizando con un estudio de mercado. Se encontró que esta propuesta proyecta una gran viabilidad, debido a que los tiempos de recuperación de la inversión son muy bajos y además las estrategias planteadas contribuyen a propiciar elementos claves en el manejo de un sistema productivo.

Palabras Clave: Biogás, Biol, Análisis de Factibilidad, diseño, biodigestor y excretas bovinas.

Abstract

In Hacienda Lechera los Naranjos located in Tambo - Cauca, don't exist an exploitation of biomass residues (bovine excreta) product of their livestock activities as an energy input and fertilization to meet energy needs, on the other hand Maintenance costs are high. Nowadays, the diffusion of clean energies in the country is still an incipient issue, so this project seeks to carry out a feasibility study of a bio digester for the use of bovine excreta in order to produce biogas and biol according to some indicators ecological, social and economic for a sustainable use of the Treasury. The feasibility analysis was carried out through a diagnosis of the Treasury, which has a production of 600 L / day of milk and has 48 head of cattle. Subsequently, bio digester alternatives were evaluated that fit the characteristics of the study area through a matrix of alternatives in which it was determined that the model that best fits the conditions of the area is the Tubular Model. Finally, we proceeded to determine the design and sizing parameters of the digester ending with a market study. It was found that this proposal projects a great viability, because the times of recovery of the investment are very low and in addition, the strategies proposed contribute to propitiate key elements in the management of a productive system.

Keywords: Biogas, Biol, Feasibility Analysis, design, biodigester and bovine excreta.

1. Introducción

La ganadería es la principal actividad económica dentro del sector agropecuario en Colombia (FEDEGÁN, 2018). De acuerdo con los datos del Censo Agropecuario año 2019, Colombia cuenta con una población bovina que está constituida por aproximadamente 27'234.027 animales (Instituto Colombiano Agropecuario, 2019), lo cual trae consigo una serie de impactos negativos al ambiente. Uno de los impactos que sobresale es la generación de estiércol, que impacta principalmente a los recursos aire, suelo y agua. La calidad del aire se ve afectada debido a que en cada deposición bovina se generan gases de efecto invernadero (GEI) como el amoníaco, metano y óxido nitroso, siendo el metano el gas que más genera afectación, debido a que es 23 veces más potente que el CO₂ (Pinos, y otros, 2012). Por otro lado, en algunas zonas rurales donde se desarrollan actividades agropecuarias se presentan deficiencias en el suministro energético, puesto que no cuentan con conexión al sistema interconectado de energía o no se garantiza un flujo constante.

“El alto costo financiero y ambiental asociado al empleo de combustibles fósiles, junto con las limitaciones propias de la red de interconexión eléctrica colombiana, han incentivado paulatinamente la utilización de energías alternativas en diferentes sectores productivos del país, especialmente en el sector rural en donde se reúnen tanto las necesidades insatisfechas frente al suministro energético como el potencial para la generación de energía a partir de fuentes renovables” (Mantilla, Duque, & Galeano, 2007). Así mismo, el uso de energías renovables puede contribuir a mejorar la calidad de vida de la población rural y contribuir al desarrollo económico del sector.

Partiendo de lo anterior, una de las energías que mejor se adecua a las condiciones de este sector es la proveniente de la energía de la biomasa producida a partir de la descomposición de residuos orgánicos. En este sentido, los residuos producto de la ganadería pueden ser incorporados en procesos de producción de biogás y de abonos agrícolas, los cuales generan un beneficio a las estructuras ecológicas debido a que reducen la contaminación a causa de emisiones por quema de combustibles fósiles y la degradación de los suelos que han sido afectados por la utilización de abonos químicos.

El empleo de biodigestores para el aprovechamiento del estiércol de ganado garantiza una alta tasa de generación de biogás, el cual es ideal para usos domésticos y agroindustriales. Adicionalmente, este gas puede ser convertido por medio de generadores en energía eléctrica y con ello disminuir los costos por el suministro y a su vez se garantiza un servicio eléctrico sin interrupciones. Por otro lado, otro de los beneficios de los biodigestores es la generación de un sustrato orgánico (Biol) el cual puede ser empleado en procesos de fertilización y su vez permite con ello disminuir los costos por concepto de compras de fertilizantes de síntesis química.

Este proyecto tuvo como fin realizar un estudio de factibilidad del diseño de un biodigestor de aprovechamiento de excretas de bovino a fin de producir biogás de acuerdo a algunos indicadores ecológicos, sociales y económicos para un aprovechamiento sostenible en la Hacienda los Naranjos. Esto se realizó por medio de un diagnóstico del estado actual de la Hacienda donde se analizaron diferentes tipos de variables. Posteriormente se realizó un análisis de alternativas para determinar el tipo de biodigestor que más se adecuó a las condiciones de la zona y por último se realizaron todos los diseños concernientes al prototipo seleccionado.

2. Planteamiento del problema

Para la elaboración del planteamiento del problema se abordó desde un contexto general, particular y específico o problema central. En el contexto general se identificó la problemática del aumento y expansión de la llamada ganadería de revolución verde, la cual ocasionó una industrialización del sector agropecuario en el territorio Nacional. Como contexto particular se identificó la inadecuada planeación para el sector ganadero en el marco de la ganadería sostenible en Colombia, ocasionando elevados niveles de contaminación a los recursos aire, suelo y agua provocados principalmente por la inadecuada disposición de las excretas bovinas. Por último, el problema central identificado es que no existe un aprovechamiento o manejo de las excretas (residuos de biomasa) producto de la ganadería en la Hacienda Los Naranjos, Tambo - Cauca. De acuerdo a lo anterior a continuación se desarrollará a detalle los diferentes contextos analizados de la problemática, así como también la relación que presentan cada uno de ellos.

El crecimiento poblacional y desarrollo económico vivenciado después de la segunda guerra mundial generó en la década de los cincuenta la llamada revolución verde, la cual tuvo como finalidad generar altas tasas de productividad agrícola sobre la base de una producción extensiva de gran escala y el uso de alta tecnología (Cecon, 2008). Lo anterior llevó a que en zonas tropicales y subtropicales de América Latina las actividades ganaderas generaran una expansión de zonas de pastizales a costa de áreas de bosque y selvas (García & León, 2018). En Colombia este fenómeno produjo que la ganadería ocupara un área de 38 millones de hectáreas, a partir de una capacidad de carga de 0,6 cabezas/Ha, esta cifra ubica a la ganadería como una producción extensiva (Mora, Ríos, Ramos, & Almario, 2017). Esto nos lleva a determinar que la planificación del territorio no se ha llevado a cabo de manera adecuada para un uso eficiente del suelo, ocasionando con esto que la ganadería extensiva se encuentre como una de las principales actividades del agro colombiano.

Los sistemas de explotación y producción pecuaria que a lo largo de la historia han sido más representativos son los correspondientes a prácticas extensivas tradicionales y de pastoreo extensivo mejorado, los cuales ocupan el 90% del total de los tipos de prácticas empleadas en este sector agrícola (Mahecha, Gallego, & Peláez, 2002). De igual forma la ganadería extensiva contribuye a la degradación de la estructura ecológica del territorio, debido a que afecta los recursos suelo, clima, agua, aire y paisaje. Los anteriores se pueden ver evidenciados, ya que esta actividad constituye una de las principales fuentes de contaminación terrestre al verter nutrientes, materia orgánica y microorganismos patógenos a ríos, lagos y aguas costeras, adicionalmente los bovinos mediante sus excretas emiten gases con efecto directo sobre el cambio climático (Carrillo & Celis, 2017). Según (Pinos, García, Rendón, González, & Tristán, 2012) estos residuos producen gases que en su mayoría son metano (60 %), bióxido de carbono (39 %), y trazas (0.2 %). A su vez, las excretas representan el 80% de las emisiones agrícolas de CH₄ y alrededor de 35-40% del total de CH₄ de origen antropogénico (Pérez, 2008). Por otro lado, la continua descarga de estiércol sobre el suelo genera una sobrecarga de nutrientes en el suelo ocasionando su infiltración por escurrimiento y lixiviación en aguas superficiales y subterráneas. El agua es afectada a través de los escurrimientos e inundaciones y percolación profunda en las granjas, e indirectamente por escorrentías y flujos superficiales desde zonas de pastoreo y tierras de cultivo.

En el marco del contexto anterior, en el Municipio del Tambo - Cauca, la ganadería extensiva ha venido afectando la calidad de los suelos y del recurso hídrico puesto que no se realiza

ningún tipo de manejo sostenible a estos sistemas. Específicamente hablando, en la Hacienda Lechera los Naranjos se hace uso de la ganadería extensiva como sistema productivo y no se le está dando ningún tipo de manejo al estiércol de los bovinos puesto que solo se queda en los potreros o en el establo, por otro lado, las pocas excretas que se alcanzan a recoger en el establo no son tratadas como un abono, sino que son consideradas como residuos. El mal manejo contribuye a la emisión de gases ofensivos a la atmósfera y se producen aguas con huella gris debido al alto contenido orgánico de las mismas. Básicamente en la Hacienda no se realiza un aprovechamiento de los residuos de la biomasa y no utilizan tecnologías sostenibles que aprovechen este tipo de energía como lo es la implementación de un biodigestor para satisfacer las necesidades energéticas y de fertilización en la Hacienda.

3. Justificación

Este proyecto se realizará con el fin de elaborar una propuesta de diseño de un biodigestor para contribuir a la disminución de los gastos energéticos y a su vez, brindar un manejo sostenible adecuado a las excretas generadas por las actividades ganaderas en la Hacienda los Naranjos en el municipio El Tambo - Cauca, para lo cual se realizará un análisis de factibilidad para implementar un reactor de aprovechamiento de excretas de bovino a fin de producir biogás y biol de acuerdo a algunos indicadores ecológicos, sociales y económicos para un aprovechamiento sostenible.

Actualmente en la Hacienda no existe un aprovechamiento de los residuos de la biomasa como un insumo energético, lo cual se percibe como un desconocimiento del uso de tecnologías limpias para el desarrollo del sector rural. En este sentido, la implementación del reactor permitirá ayudar a mitigar la contaminación ambiental que se está generando pues convierte en residuos útiles las excretas de los bovinos contribuyendo a reducir la contaminación del suelo, de las fuentes de agua, la pureza del aire y del bosque. Dichas excretas contienen microorganismos patógenos, larvas, huevos, pupas de invertebrados que de una u otra manera podrían convertirse en plagas y enfermedades para las plantas cultivadas (Sommantico, 2019).

Desde el punto de vista ecológico la implementación del reactor trae consigo beneficios como la reducción de emisiones de gas metano puesto que “al combustionares el biogás, el metano se transforma en CO₂ y agua reduciendo de esta manera la cantidad de gas metano producto de la ganadería; el uso de biogás desplaza el uso de otros combustibles como la leña o como el gas natural o licuado de petróleo, lo que reduce la deforestación y el uso de combustibles fósiles (Herrero J. , 2019). También hay una disminución de malos olores entre el 90 y 95%, se produce un ahorro energético, disminución en la proliferación de vectores y la reducción a la contaminación del suelo por nitritos y nitratos. Mediante la digestión por bacterias anaeróbicas se destruyen microorganismos, huevos de parásitos y semillas de maleza contenidos en las excretas frescas, quedando el fertilizante natural libre de tales gérmenes y plantas indeseables (Acuña, 2015). De igual forma, el biogás obtenido se podrá utilizar para la estufa en la vivienda y el funcionamiento de las calderas con las cuales se calienta el agua empleada para la higienización de los equipos de ordeño y refrigeración de la leche. Po otro lado, “el reciclaje de nutrientes producto del uso del biol, reduce o elimina el uso de agroquímicos en procesos que requieren combustibles fósiles como materia prima, como fuente de energía. El biodigestor permite entonces que el producto reduzca la huella de carbono asociada al consumo energético y fertilización de cultivos” (Herrero J. , 2019).

Por otra parte, desde el enfoque social este proyecto quiere mejorar la calidad de vida de las personas que habitan la hacienda mediante un suministro continuo de gas contribuyendo al desarrollo sostenible del sector rural. Igualmente se busca que esta tecnología sirva de modelo y sea implementada y replicada en el territorio por medio de organizaciones comunitarias campesinas y de esta manera incentivar el progreso de la región y del país.

Desde el punto de vista económico, el biogás generado permitirá la independencia energética de la Hacienda gracias a la implementación y uso de energías limpias reduciendo así los costos de mantenimiento de la misma. Se producirá biol o biofertilizante de alta calidad el cual se utilizará para nutrir el pasto de alimentación del ganado y para la comercialización en las fincas

aledañas como fertilizante en los cultivos favoreciendo de esta manera la asimilación de nutrientes digeribles en las plantas.

4. OBJETIVO GENERAL

Formular un estudio de factibilidad de un biodigestor de aprovechamiento de excretas de bovino a fin de producir biogás de acuerdo a algunos indicadores ecológicos, sociales y económicos, para un aprovechamiento sostenible de la Hacienda los Naranjos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico del estado actual de la Hacienda Los Naranjos para establecer criterios de diseño.
- Evaluar alternativas de biodigestores que se ajusten a las características de la zona de estudio para identificar el que se adecue a las condiciones bajo estudio.
- Elaborar un modelo a escala de dimensionamiento y costo del biodigestor seleccionado.

5. Marco De Referencia

5.1. Antecedentes (Estado Del Arte)

Introducción

Para la construcción del estado del arte del proyecto de investigación se procedió a realizar una búsqueda sistemática en diferentes fuentes de información, permitiendo destacar 5 trabajos a nivel global, regional y local de los cuales se tuvo en cuenta los que presentaban mayor relación con la temática trabajada. Una vez identificados los trabajos se procedió a realizar un resumen analítico de la investigación en el que se identificaron criterios de análisis, extracción de información, relevancia y relación con el proyecto a trabajar. Se recopilaron trabajos de países como China quien es líder en el manejo de esta tecnología, trabajos de la Red de biodigestores de Latinoamérica y el Caribe y a nivel Nacional de Caldas y del jardín Botánico de Bogotá.

Nivel global

El uso de biodigestores en la producción de energías limpias se hace cada vez más común en zonas rurales de países en vía de desarrollo, debido a que, en estas zonas, la materia prima (estiércol, residuos orgánicos) que se utiliza es abundante (Fonseca & Murcia, 2018). A nivel internacional el biogás es una nueva oportunidad de negocio para la obtención de energía eléctrica y calor a partir de la biomasa y una solución al problema de los desperdicios orgánicos de establecimientos agrícolas e industriales que puede contribuir significativamente al crecimiento energético del país (Tobares, 2012).

Actualmente, China es el país que lidera este tipo de investigación puesto que es acreditado por tener el mayor programa de biogás en el mundo, con más de 20 millones de plantas. Le sigue India con 4.3 millones. En tercer lugar, Alemania con más de 7,000 plantas; y los Estados Unidos con más de 2,000 (Venegas, Raj, & Pinto, 2019). En este sentido, y tomando como referencia a China, el primer caso estudio analizado fue una investigación titulada *Residuos de la cría de ganado y aves de corral y su evaluación potencial de la energía del biogás en la China rural*, en donde se evaluó la potencialidad del biogás y la reducción de las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la utilización de desechos de animales. En primer lugar, se estimaron los impactos de la ganadería y avicultura y se evaluó la relación entre la contaminación ambiental y el crecimiento económico mediante la curva ambiental de Kuznets. Como resultado se obtuvo que el sistema de energía del biogás rural debe tomarse de manera significativa como una estrategia para adoptar la crisis energética nacional comercial para proteger el medio ambiente y mitigar el cambio climático global en el que se implementan plantas de biogás en hogares rurales mediante el cumplimiento de las políticas existentes sobre digestores de biogás a nivel provincial y central (Fei, Shengkui, Huilu, & Dewei, 2016).

Nivel regional

Desde los años 80s la Red de biodigestores para Latinoamérica y el Caribe (RedBioLAC) ha venido llevando una misión estratégica y sostenible para la implementación de tecnologías de biogás principalmente en poblaciones de bajos recursos y vulnerables. Esta red está compuesta por organizaciones no gubernamentales (ONG) las cuales promueven el intercambio de conocimiento en diferentes países. Como reto se encuentra el desarrollo del sector de los biodigestores en Latinoamérica con proyección sostenible mediante tecnologías adecuadas a escalas apropiadas (Red, 2019). En este sentido, a continuación, se mencionan dos de los casos de éxito más relevantes para el proyecto que se han venido desarrollando:

El primer caso de éxito es de México, específicamente hablando en las comunidades Mayas de Yucatán quienes viven en condiciones de alta marginación y con problemáticas socio económico que ponen en riesgo a la población. Tienen un alto índice de enfermedades pulmonares y estomacales, debido a la contaminación del aire por humo de leña en cocinas y contaminación por excretas. En 2012 el Instituto Internacional de Recursos Renovables A.C - IIRRI México inició un programa de biogás en estas comunidades, se han instalado 265 biodigestores, beneficiando a más de 2000 personas. Se logró reemplazar el 97% del uso de leña en los hogares por el uso de biogás proveniente de biodigestores y se evidenció un incremento en el rendimiento de los cultivos por el uso del Biol Actualmente el programa tiene como objetivo expandir su capacidad e instalar 600 reactores (Herrero & Donoso, 2016).

El segundo caso de éxito es en Nicaragua quienes son pioneros en américa latina en desarrollar un Programa Nacional de Biogás de acuerdo a un estudio de factibilidad realizado en el que se identificó un potencial técnico de 55.000 sistemas. A finales de 2017 se llegó a la instalación de 1200 biodigestores. En este caso de éxito se resalta el desarrollo de procesos de obtención de créditos de carbono por reducciones de emisiones, la difusión de la tecnología de los biodigestores en el país, superando el desconocimiento previo permitiendo hacer la tecnología interesante para los medianos productores agropecuarios que, además, tienen mayor capacidad de pago y de acceso a crédito. Otro aporte ha sido el desarrollo de todo un nuevo mercado, enfocado a los usos productivos del biogás proveniente de biodigestores mucho más grandes como sistemas alimentados de biogás como ordeñadoras mecánicas, enfriamiento de leche, cortadoras de pasto, molinos, calderas, generadores eléctricos, bombas de agua, etc. (Herrero & Donoso, 2016).

Nivel Nacional

En el contexto nacional la implementación de biodigestores ha obtenido muy buena acogida en los últimos años, debido a que se han podido observar un buen número de casos y experiencias exitosas. El primer caso analizado es el que se desarrolló en el municipio de Rio sucio en el departamento de Caldas, donde por medio de la Asociación de Productores Indígenas y Campesinos que durante más de 20 años ha trabajado en el fortalecimiento de su organización agroambiental, logrando que la instauración de sistemas sostenibles productivos en el sector

agropecuario. Lo anterior ha permitido que la comunidad cuente con más de 250 biodigestores instalados, provocando con ello una apropiación del conocimiento técnico por parte de los participantes comunitarios (Martí,, y otros, 2016).

Por otro lado, se evidencio que El Jardín Botánico De Bogotá (JBB) diseñó y construyó un biodigestor bajo un Sistema de Mecanización Seca, la cual consiste en crear un proceso de generación de biogás sin la necesidad de verter fluidos para contribuir a la descomposición de la materia orgánica, gracias a que se emplea un sistema de recirculación de lixiviados para optimizar al máximo el biol producido en la cámara del biodigestor. Debido a la capacidad del biodigestor se logra producir 5 kW eléctricos que sirven para abastecer y suplir la demanda energética del JBB (MOBIUS, 2017).

Finalmente, la implementación de sistemas de digestión anaerobia para el aprovechamiento de los residuos generados en las comunidades rurales principalmente se ha podido llevar a cabo a gran escala gracias a las diferentes organizaciones existentes en los países las cuales trascienden fronteras; estas permiten el intercambio de información de tecnologías sustentables y de esta manera poder realizar réplicas no solo en las comunidades aledañas sino también a diferentes regiones y países permitiendo establecer esta tecnología como una estrategia nacional para proteger el ambiente.

5.2. Marco Conceptual

Energía de la Biomasa

López (2011) señala que la energía de la biomasa es una de las energías renovables que puede considerarse inagotable puesto que engloba materia vegetal, y derivados como los residuos forestales y agrícolas así como también la materia orgánica contenida en los residuos industriales, domésticos y urbanos. La energía química producida de estos materiales es producida por la transformación energética de la radiación solar que es liberada por medio de la combustión directa. La energía de la biomasa seleccionada para trabajar en este proyecto es la del estiércol bovino.

Estiércol Bovino

El estiércol bovino es una manifestación de esta energía, son sustancias orgánicas cuya descomposición depende del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos. Se estima que para un total de 13 bovinos se genera una producción de 127 kg estiércol/día (Varnero, 2011). Una de las tecnologías con potencial de aprovechamiento para este tipo de energía son los biodigestores.

Biodigestor

Los biodigestores son dispositivos que se utilizan para transformar las excretas en energía. En palabras más técnicas, un biodigestor es un contenedor cerrado hermético e impermeable, dentro del cual se deposita el material orgánico (excremento de ganado). En determinada mezcla con agua, para que a través de la fermentación con bacterias anaeróbicas se produzca biogás y biol; disminuyendo el potencial contaminante de los excrementos, la atracción de insectos, la generación de gérmenes y los olores (Sistemabiobolsa, 2016). Actualmente existen varios tipos de biodigestores.

Tipos de biodigestores

Los tipos de biodigestores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización. Los más sencillos son clasificados como digestores discontinuos o de cargas por lotes y los más complejos se caracterizan por poseer dispositivos que permiten alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación. Según Varnero (2011) en el manual de biogás de la organización de las Naciones Unidas resulta conveniente clasificarlos según su modo de operación con relación a su alimentación o carga en los siguientes tipos:

a) *Continuos*: Cuando la alimentación del digestor es un proceso ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al afluente, con producciones de biogás, uniformes en el tiempo. Son utilizados principalmente para el tratamiento de aguas negras. Corresponde a plantas de gran capacidad, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación, así como para su control. Dado que se genera una gran cantidad de biogás (Varnero, 2011).

b) *Semi continuos*: Cuando la primera carga que se introduce al digestor consta de una gran cantidad de materias primas. Posteriormente, se agregan volúmenes de nuevas cargas de materias primas, calculados en función del tiempo de retención hidráulico (TRH) y del volumen

total del digestor. Se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad del afluente que se incorporó. Este proceso es usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el digestor Indiano y Chino (Varnero, 2011).

c) *Discontinuos o régimen estacionario*: Los digestores se cargan con las materias primas en una sola carga o lote. Después de un cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae a un bajo nivel, se vacían los digestores por completo y se alimentan de nuevo dando inicio a un nuevo proceso de fermentación. Esto se conoce también como digestores Batch o Batelada (Varnero, 2011).

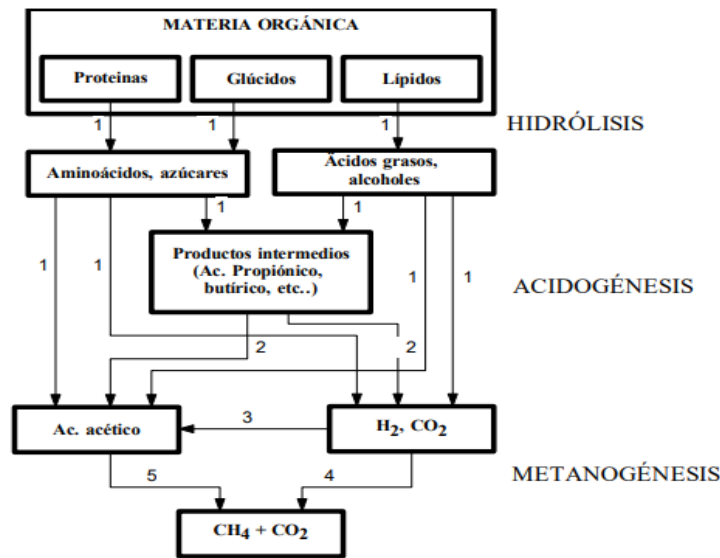
Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es el principio básico de funcionamiento de un biodigestor. Este es un proceso biológico en ausencia de oxígeno en el que la materia orgánica se transforma por acción de microorganismos en biogás y bioabono; en él se implica la realización de una serie de reacciones bioquímicas donde participan microorganismos, de los cuales una parte son oxidados completamente por el carbono formando anhídrido carbónico, mientras otra es reducida en alto grado para formar metano. Según Olaya & González (2009) este proceso se desarrolla en cuatro etapas que se describen a continuación:

- *Hidrólisis*: En esta etapa, los substratos complejos (celulosa, proteína, lípidos) son hidrolizados en compuestos solubles (azúcares, aminoácidos y grasas) por la acción de enzimas extracelulares de las bacterias (Olaya & González , 2009).
- *Acidogénesis*: En esta etapa, los compuestos solubles son fermentados a ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico), alcoholes hidrógeno y CO₂. Esta etapa se conoce también como fermentativa (Olaya & González , 2009).
- *Acetanogénesis*: Esta etapa ocurre cuando las bacterias acetogénicas oxidan el ácido propiónico y el butírico hasta acético e hidrógeno, que son los verdaderos substratos metano génicos (Olaya & González , 2009).
- *Metano génesis*: En esta etapa, los últimos compuestos son tomados dentro de las células bacteriales metano génicas convirtiéndolos en metano y excretando fuera de la célula (Olaya & González , 2009).

En la siguiente figura se pueden apreciar las fases de la digestión anaerobia y las poblaciones en cada una de las fases anteriormente descritas:

Figura 1. Fases de fermentación anaerobia.



1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metano génicas hidrogenófilas; 5) Bacterias metano génicas acetoclásticas

Fuente: Flotats, Campos, & Palatsi (2001)

Factores que ejercen mayor influencia sobre el desempeño de un sistema anaerobio

Es importante tener en cuenta los factores que ejercen mayor influencia sobre el desempeño de un sistema anaerobio. (Bolivar & Ramírez , 2012) Describen las condiciones de funcionamiento del sistema las cuales se relacionan directamente con parámetros fisicoquímicos. En la siguiente tabla se muestran los factores que ejercen mayor influencia sobre el desempeño de un sistema anaerobio donde se relacionan algunos parámetros de control y funcionamiento en la digestión anaerobia.

En la tabla se relacionan algunos parámetros de control y funcionamiento en la digestión anaerobia.

Tabla 1. Relación de parámetros de un digestor.

Parámetro	Rango Óptimo
Temperatura (°C)	30 – 35
pH	6,8 - 7,5
Relación C/N	20 – 30
Tiempo de Retención (Días)	10 – 25
Relación agua/sólidos	6 – 10

Fuente: Bolivar & Ramírez (2012)

A continuación, se detalla cada uno de los factores que influyen directamente con la digestión anaerobio.

Temperatura

La temperatura de operación del digestor, es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de la digestión. Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden desestabilizar el proceso. Por ello, para garantizar una temperatura homogénea en el digestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura (Varnero, 2011).

Salamanca (2009) señala que existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos: psicrófilos (por debajo de 25°C), mesófilos (entre 25 y 45°C) y termófilos (entre 45 y 65°C), siendo la velocidad máxima específica de crecimiento mayor, conforme aumenta el rango de temperatura. Dentro de cada rango de temperatura, existe un intervalo para el cual dicho parámetro se hace máximo, determinando así la temperatura de trabajo óptima en cada uno de los rangos posibles de operación. (Ver tabla 2)

Tabla 2. Rangos de temperatura para la digestión.

Materiales	Temperatura	Duración aproximada
Psicrófilos	< 25 °C	30 - 60 días
Mesófilos	25 °C - 45 °C	20 – 25 días
Termófilos	> 45 °C	10 – 15 días

Fuente: Salamanca (2009)

pH

Este parámetro determina la inhibición o toxicidad de las bacterias metanos génicos. Un adecuado funcionamiento se presentará con un pH en el biodigestor entre 6.5 y 7.5.

Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del pH a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano y, por tanto, tiene menores cualidades energéticas. Debido a que el metano génesis se considera la etapa limitante del proceso, es necesario mantener el pH del sistema cercano a la neutralidad (Rodríguez & García, 2014).

Tipo de materia prima

Según Bolivar & Ramírez (2012). Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a la biomasa vegetal, excrementos animales y humanos, aguas residuales, y restos de cosechas. El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno, sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

En lo pertinente a estiércoles animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos. Más adelante se describirán las principales características del estiércol tanto porcino como bovino.

Relación C/N

Según Varnero (2011). En términos generales, se considera que una relación C/N óptima que debe tener el material “fresco o crudo” que se utilice para iniciar la digestión anaeróbica, es de 30 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno, es decir, $C/N = 30/1$. Por lo tanto, cuando no se tiene un residuo con una relación C/N inicial apropiada, es necesario realizar mezclas de materias en las proporciones adecuadas para obtener la relación C/N óptimas.

Tiempo de Retención (Días)

El tiempo de retención hidráulico (TRH) es el tiempo de permanencia de la biomasa en el interior del digester hasta su descarga. El TRH para digestores de carga continua coincide con el tiempo de permanencia de la biomasa en el interior del digester. En sistemas de digestión continua y semicontinua el tiempo de retención (TRH) se define de la división entre el volumen del digester y el volumen de la carga diaria (Salamanca, 2009).

Biogás

En este orden de ideas, los productos que se obtienen de la digestión anaerobio son el biogás y el biol.

Según (Varnero, 2011) en el manual de biogás de la Organización de las Naciones Unidas afirma: El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. “El biogás, se origina en el proceso de fermentación o digestión anaerobia, es decir en ausencia del oxígeno, a través de la putrefacción de la parte orgánica de los residuos que vienen hacer las excretas de ganado” (Chonlon & Ronald, 2016) En la tabla 3 se puede apreciar la composición química del biogás.

Tabla 3. Composición química del Biogás.

Componente	Fórmula	Porcentaje %
Metano	CH ₄	40 - 70
Dióxido de Carbono	CO ₂	30 - 60
Hidrógeno	H ₂	0.1
Nitrógeno	N ₂	0.5
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxígeno	O ₂	0.1
Sulfuro de Hidrógeno	H ₂ S	0.1

Fuente: Fonseca & Murcia (2018)

Biol

Por su parte el Biol es un producto biológico a base de microorganismos cuya actividad fisiológica permite promover el crecimiento de las plantas, con lo cual es posible reducir el uso de agroquímicos, así como la contaminación generada por los mismos, cuando el inóculo se aplica en partes específicas de la planta o en el agua de riego (Fonseca & Murcia, 2018). Los componentes del Biol a partir del estiércol bovino se muestran en la siguiente tabla

Tabla 4. Composición del Biol

Componente	Cantidad
Materia Seca	4.18%
Nitrógeno total	2.63 g/Kg
NH ₄	1.27 g/Kg
Fósforo	0.43 g/Kg
Potasio	2.66 g/Kg
Calcio	1.05 g/Kg
Magnesio	0.38 g/Kg

Fuente: Fonseca & Murcia (2018)

Estudio de Factibilidad

Finalmente, para llevar a cabo la propuesta de diseño del biodigestor, fue necesario realizar un análisis de factibilidad el cual se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señalados para lo cual se deben tener en cuenta los siguientes temas:

Estudio de mercado, Aspectos técnicos, Aspectos administrativos, Aspectos Institucionales, Aspectos financieros, Evaluación socioeconómica y Resumen del estudio (Rojas, 2004).

Un estudio de factibilidad de brindar la oportunidad de que se pueda tener una base técnica para saber si es conveniente y posible (factible), en otras palabras es aquel instrumento que me permite determinar lo bueno y lo malo de un proyecto y en qué condiciones se debe desarrollar para que el resultado sea el más óptimo (Castañeda & Macías, 2016).

Estudio de Mercado

En el estudio de mercado se analiza la oferta y demanda de los precios del proyecto. Así mismo, según Orjuela & Sandoval (2002) muchos costos de operación pueden pronosticarse simulando

la situación futura y especificando las políticas y procedimientos que se utilizarán como estrategia comercial, mediante el conocimiento de los siguientes aspectos:

- El consumidor y las demandas del mercado y del proyecto, actuales y proyectadas.
- La competencia y las ofertas del mercado y del proyecto, actuales y proyectadas.
- Comercialización del producto o servicio del proyecto.

Técnico y Operativo

Este estudio se realiza para analizar y proponer diferentes alternativas de proyecto para producir el bien que se desea, verificando la factibilidad técnica de cada una de las alternativas. A partir del mismo se determinarán los costos de inversión requeridos, y los costos de operación que intervienen en el flujo de caja que se realiza en el estudio económico-financiero. Este incluye: tamaño del proyecto, localización (Orjuela & Sandoval, 2002).

Económico

Por lo general este elemento es el más importante y se refiere a los recursos económicos y financieros que se necesitan para llevar a cabo el proyecto como: necesidades totales de capital; requerimiento total de activos, modalidad y fuentes de financiamiento, amortización de la deuda, inversión anual durante la vida del proyecto, depreciación y amortización de la inversión. Estructura de costo con financiamiento, Flujo de caja con financiamiento, Ingresos totales anuales, Índices de evaluación del proyecto: Se puede escoger uno o varios entre Valor Presente Neto, Tasa Interna de Retorno, Período de Recuperación del Capital, Relación Costo-Beneficio (Castañeda & Macías, 2016).

Después de realizado este análisis se procede a plantear los diseños correspondientes al biodigestor que más se adecuan a las condiciones de la vereda.

5.3. Marco Teórico

Para la elaboración del marco teórico se emplearon tres grandes temas que a criterio de los autores fueron los más adecuados e indicados para permitir una mejor comprensión del presente trabajo. Desde un contexto global, se determinó como teoría el concepto de las energías renovables, luego se escala a una teoría más específica de esta rama como la que se define en la Energía proveniente de la Biomasa, con la finalidad de poder aterrizar en el campo de los Biodigestores y como estos se acomodan a las condiciones de lugares con potenciales de aprovechamiento de excretas bovinas.

En este contexto, las dinámicas humanas como lo son el crecimiento poblacional, la expansión urbana y tecnológica, provocan un alza en la demanda energética, por lo cual gobiernos y entes privados se ven en la necesidad de potencializar y aumentar la oferta. Sin embargo, muchas veces las formas convencionales de suministro no son las suficientes para cubrir todo el requerimiento, además este tipo de suministro provoca muchos impactos medioambientales en la generación energética, generando sobre costos finales (Cortés, 2017).

Partiendo de lo expuesto anteriormente las energías de renovables o también llamadas no convencionales han desarrollado un papel estratégico para la seguridad energética de los países desarrollados y en vía de desarrollo. Este tipo de energías se obtienen de fuentes naturales, que son virtualmente inagotables, unas porque su cantidad es inmensa y otras por que se producen o se generan a causa de procesos naturales (Jordán, 2013). Las principales fuentes de energía renovable son la provenientes de del sol, la eólica, de biomasa, geotérmica, hidráulica y la generada por el mar. Estas energías han sido implementadas a lo largo del globo, ocasionando con ello que la capacidad de generación de energía renovable registre cada año un aumento en su uso, tal como sucedió en el 2017, donde aumentó la capacidad total en casi un 9% en comparación con 2016. En general, las energías renovables representaron aproximadamente el 70% de las adiciones netas a la capacidad de energía global en 2017 (REN21, 2018).

Colombia es un país con diversas fuentes de energía disponibles, ya sea de tipo convencional o no convencional, así mismo el territorio tiene un alto potencial en fuentes de energía renovable. El país tiene virtualmente todo tipo de fuentes de energía renovable (solar, eólica, biomasa, pequeñas centrales eléctricas, geotérmicas, etc.). Sin embargo, algunos de los principales inconvenientes de explotación de estas energías están relacionados a la disponibilidad geográfica del recurso generador, de igual forma la variabilidad climática incide en el suministro de energético (García, Corredor, Calderón, & Gómez, 2013). Por lo que se hace necesario implementar instrumentos de generación energética sostenibles que permitan generar un mayor aumento en la cobertura de suministro y adaptabilidad de las condiciones meteorológicas de las diferentes zonas del territorio, sin embargo, esta cobertura debe estar sujeta a iguales o mejores beneficios a menor costo y de forma más amigable con el planeta (Cortés, 2017).

De acuerdo a todo lo anterior, una de las energías renovables que se ha implementado en este territorio es la proveniente de la generada a partir del biogás. Vale anotar que una de las fuentes

de energía más importante en desarrollo de la historia ha sido la proveniente de la biomasa, la cual permite producir cerca del 9% de la energía final de consumo (UPME, 2017) . Este biogás se produce gracias a la mezcla de diferentes gases producidos por la descomposición anaerobia de la materia y puede ser empleado en diferentes aplicaciones que van desde usos domésticos hasta en el empleo en sistemas industriales. Así mismo con los avances en tecnologías de biogás para usos de combustible y de energía, se ha abierto la posibilidad de poder suplir la cobertura de las zonas no interconectadas del país (ZNI) que cuyo porcentaje asciende al 66% del territorio nacional (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2016).

Uno de los instrumentos para la producción de biogás es por medio de la tecnología de biodigestores, los cuales ha tenido una buena participación en el sector rural. Sin embargo, en Colombia el uso de biodigestores a escala rural se ha venido desarrollando lentamente, dado el escaso apoyo institucional que se ha dado a este tipo de proyectos, aunque la aplicación de esta tecnología en zonas andinas y algunas demostraciones a nivel doméstico han fomentado el crecimiento del sector en los últimos años (Acosta & Pasqualino, 2019). Los biodigestores se han vuelto un gran aliado del sector agropecuario, debido a que producen biogás y un líquido que es un excelente fertilizante, adicionalmente este biogás por medio de la aplicación de la cogeneración puede contribuir a la generación de energía eléctrica.

5.4. Marco Normativo

A continuación, se presenta el listado de normas legales vigentes relacionadas con energías renovables y producción de biogás, donde se seleccionaron las que tienen mayor relevancia con el proyecto. Dentro de lo que se puede apreciar en la tabla 5, en los últimos cinco años se ha evidenciado un incremento con los incentivos económicos y requerimientos técnicos necesarios que deben cumplir los interesados en implementar y certificar fuentes de generación de energía no convencionales como la proveniente de los biodigestores.

Tabla 5. Descripción de las normas legales vigentes relacionadas con energías renovables y la producción de biogás

Entidad	Norma legal	Propósito
Congreso de la República	Ley 697 de 2001	Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.
Ministerio de minas y energías	Decreto 3683 de 2003	Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una Comisión Intersectorial. Se reglamenta el uso racional y eficiente de la energía, de tal manera que se tenga la mayor eficiencia energética para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad del mercado energético colombiano, la protección al consumidor y la promoción de fuentes no convencionales de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.
Ministerio de Minas y Energías	Decreto 2501 de 2007	Por medio del cual se dictan disposiciones para promover prácticas con fines de uso racional y eficiente de energía eléctrica.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Decreto 3930 de 2010	Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.

Entidad	Norma legal	Propósito
ICONTEC	GTC 213 de 2011	Guía de sostenibilidad en las etapas de producción y procesamiento de biomasa en la cadena de biocombustibles en Colombia.
ICONTEC	NTC 5167	Productos para la Industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores del suelo.
Congreso de la República	Ley 1715 de 2014	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.
Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 1076 de 2015	Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 1283 de 2016	Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables - FNCR y gestión eficiente de la energía para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, y 14 de la ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones.
Ministerio de Hacienda y Crédito público	Decreto 2205 de 2017	Establece el derecho de las personas jurídicas a descontar de su impuesto sobre la renta el veinticinco por ciento (25%) de las inversiones en control, conservación y mejoramiento del medio ambiente que hayan realizado en el respectivo año gravable.
Organización Internacional de Normalización	ISO 20675 de 2018	Biogás: producción, acondicionamiento, mejoramiento y utilización de biogás. Términos, definiciones y esquema de clasificación.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a el listado de normas en mención se resalta que Colombia presenta una normatividad muy rica en lo que concierne a el uso racional y eficiente de la energía y también a incentivar el uso de energías renovables en el país, sin embargo, en lo concerniente a la

energía de la biomasa se queda un poco corta todavía debido a que este tipo de energía aún sigue siendo incipiente en el territorio.

5.5. Marco Geográfico

El municipio de El Tambo está localizado en el departamento de Cauca; la cabecera municipal del municipio se encuentra a 33 Km de distancia de la capital del departamento, así mismo esta se encuentra ubicada a los 2°27'15'' de latitud Norte y a 76°40'04'' de longitud Oeste (Tambo C. A., 2019).

El municipio cuenta con una extensión territorial de 2.840,05 Km² (284.005 Ha) y una altura promedio de 1.745 metros sobre el nivel del mar, cuenta con una temperatura media de 18°C con valores máximos de 32°C y mínimos de 5°C y una humedad relativa alta de 80% (Tambo C. A., 2019).

El municipio en su zona noroccidental contiene la zona de los bosques naturales que pertenecen al Parque Nacional Natural Munchique con una extensión de 45.000 Ha., el cual posee uno de los mayores índices de diversidad de especies de flora y fauna, muchas de ellas endémicas y alberga diversas especies en peligro de extinción, así mismo, posee una gran riqueza hídrica evidente en más de 40 cascadas, 30 quebradas y ríos pertenecientes a las cuencas hidrográficas del río Patía y el río Micay. Los bosques de niebla y selvas cálidas cumplen vitales funciones de regulación climática, hídrica y de espacio de vida para múltiples especies, muchas de ellas que solo viven en este lugar del planeta; esta importante reserva ecológica está seriamente amenazada especialmente por problemas de ocupación de familias campesinas que viven de la ganadería extensiva en suelos de ladera, cultivos y siembra de coca que alcanzan un número aproximado de 350 familias (Secretaría del Concejo Municipal de el Tambo Cauca, 2016 - 2019).

Del mismo modo, también sufre los efectos del deterioro ambiental por el uso inadecuado de los recursos y las inadecuadas prácticas agrícolas, pecuarias, mineras, cultivos ilícitos entre otros. En este sentido también se resalta que la alta intervención de la zona protectora de las fuentes hídricas, la pérdida de ecosistemas estratégicos como humedales y pequeñas corrientes de agua y la falta de proyectos de mayor alcance para de aislamiento de nacimientos de agua, están afectando notablemente la calidad del recurso agua destinado al consumo humano (Secretaría del Concejo Municipal de el Tambo Cauca, 2016 - 2019).

Figura 2. Localización del municipio de El Tambo-Cauca.



Fuente: Alcaldía de El Tambo - Cauca (2019)

La población del municipio según área de residencia se distribuye en un 37,9% (11749 habitantes) en el área rural y el 62,1% (19272 habitantes) en el área urbana. Lo anterior evidencia que un porcentaje alto de la población se encuentra concentrada en la zona Urbana. (Buitrago & Barbosa, 2016).

La vocación económica del municipio es eminentemente agrícola, siendo consecuente con la distribución poblacional entre rural (93%) y urbana (7%). Su economía está sustentada por la producción cafetera intercalada con plátano, caña panelera, maíz, fríjol, lulo, chontaduro, yuca entre otros (Buitrago & Barbosa, 2016).

Por otro lado, de acuerdo con el censo agropecuario del municipio de El Tambo la población de reses en este municipio es de 14.200 cabezas de ganado bovino, de los cuales 47,18% son machos y el 52,82% restantes hembras. De la población total de bovinos, el 65,49% de las reses tienen menos de dos (2) años y el porcentaje restante son potencialmente para el sacrificio y comercialización de carne. Los precios al productor de la carne, resultan ser relativamente más estables que los del consumidor. Como base para la actividad ganadera, en el Municipio de El Tambo existen unas 81.200 hectáreas sembradas con pastos, de las cuales el 92,36% son praderas tradicionales, un 3,7% (3.000 has) son pastos sembrados en praderas mejoradas y el porcentaje restante (3,94%) es pasto de corte (Alcaldía de El Tambo - Cauca, 2019).

La Hacienda Lechera los Naranjos se localiza en la vereda Guayaquil al sur occidente del municipio el Tambo, cuenta con una extensión de 21.000 plazas y de 21 hectáreas (ha) productivas. En la Hacienda se desarrollan actividades ganaderas dirigidas a la producción de leche y queso.

En la siguiente imagen se muestra la Hacienda lechera, a mano izquierda se puede observar el establo y la zona en donde ordeñan el ganado.

Figura 3. Hacienda Lechera los Naranjos.



Fuente: Archivo personal de David Díaz (2019)

5.6. Marco Institucional

Corporación para el Desarrollo del Cauca – CORPOCAUCA

La Corporación para el Desarrollo del Cauca “CORPOCAUCA” es una entidad sin ánimo de lucro que se rige por las normas del derecho privado. Fundada por empresarios del Cauca y Valle en 1982, sus objetivos y filosofía se resumen en el Artículo Tercero de los estatutos: “La Corporación tendrá por objeto: Fomentar, patrocinar, ejecutar y orientar, todo lo concerniente a programas, empresas y proyectos, especialmente relacionados con el desarrollo agro-industrial, agrícola, ganadero, minero, de ingeniería, construcciones, urbanismo, vivienda, de educación y capacitación, de conservación del medio ambiente y comercialización en general” (CORPOCAUCA, 2019).

CORPOCAUCA presenta una estructura organizativa matricial. Se encuentra regida por una Junta Directiva que delega la representación legal en cabeza del Director Ejecutivo. Existe la figura de Revisoría Fiscal para la auditoría de las operaciones de la Corporación. Las acciones de la institución se desarrollan en las áreas de Formulación, Consultoría, Interventoría y Gerencia de Proyectos, Programas o Estrategias (CORPOCAUCA, 2019).

GOBERNACIÓN DEL CAUCA

El Departamento del Cauca es una entidad territorial que pertenece al nivel intermedio de la división político-administrativa territorial del Estado, que goza de autonomía para la Gestión de sus intereses, la que se manifiesta en términos de ejercer el gobierno, planificar el desarrollo social y económico, promover el bienestar de la comunidad, fomentar el desarrollo integral de sus municipios y demás entidades territoriales de su jurisdicción, mediante el ejercicio de sus funciones administrativas de coordinación complementariedad, concurrencia, subsidiaridad e intermediación, dentro del marco de la Constitución y las leyes (Gobernación , 2019)

Sus principales funciones son: generar prácticas que incrementen y fortalezcan la gobernabilidad, contribuyendo adicionalmente a la construcción de una cultura democrática por la vía de la integridad y la transparencia en el desempeño de la función administrativa del estado, Garantizar los recursos necesarios para el logro de una gestión administrativa eficiente, garantizar la sostenibilidad financiera. Apoyar los procesos de modernización que coadyuven a la administración eficiente de los recursos humanos, financieros, tecnológicos y logísticos e implantar un Sistema Integrado de Gestión (Gobernación , 2019).

Red Latinoamericana y del Caribe de Biodigestores - RED BIOCOL

Red Biocol es una red que busca contribuir al desarrollo sostenible de la sociedad colombiana mediante la promoción del aprovechamiento energético de residuos orgánicos con acciones de articulación, gestión del conocimiento e Incidencia socio política y ambiental en los territorios. Su misión es contribuir a la soberanía energética y alimentaria del país por medio del acceso y uso sostenible de las tecnologías a partir de la biomasa (Red Latinoamericana y del Caribe de biodigestores, 2019)

Participan en calidad de miembro las organizaciones sin ánimo de lucro, como fundaciones, universidades, centros de investigación, asociaciones, grupos de bases y otras ONG. También participan en esta calidad organización privadas cuyas líneas de trabajo y principios tengan afinidad y sean consistentes con los objetivos de la red (Red Latinoamericana y del Caribe de biodigestores, 2019).

5.7. Marco Metodológico

La metodología planteada se elaboró de tal manera que pudiera responder al problema planteado y por consiguiente a los objetivos elaborados para el proyecto de estudio de factibilidad para el aprovechamiento de excretas bovinas mediante el diseño de un biodigestor.

En este sentido, el proyecto presenta un enfoque mixto puesto que se consideran enfoques de tipo cuantitativo y cualitativo. Sampieri (2014) refiere que la investigación mixta tiene bondades como una perspectiva más amplia y profunda, mejor exploración y explotación de datos e implica recolección, análisis e integración de los datos cuantitativos y cualitativos presentes en esta investigación. El alcance del proyecto es de tipo descriptivo y correlacionar debido a que se analizan diferentes tipos de variables desde las dimensiones ecológica, social y económica mediante un diagnóstico de la Hacienda desarrollado en el primer objetivo, un análisis de alternativas desarrollado en el segundo objetivo y posteriormente se establecen todos los parámetros de diseño, planos y un estudio de mercado para el dimensionamiento del biodigestor desarrollado en el tercer objetivo. La unidad de análisis es el biodigestor puesto que el fin del proyecto es la factibilidad del diseño del mismo. Así mismo, en este proyecto se recurrió a tres informantes para realizar una serie de entrevistas en la Hacienda, a los profesionales que se encontraban allí y a los propietarios de unidades de análisis (fincas) cercanas.

Fue necesario detallar la metodología por objetivos específicos debido a que cada uno de los objetivos planteados analiza diferentes tipos de variables y enfoques. A continuación, se detallada la metodología por objetivo.

Para el desarrollo del primer objetivo en el que se contempla realizar un diagnóstico del estado actual de la Hacienda los Naranjos se desarrolló teniendo en cuenta la siguiente matriz de variables en donde se describen teniendo en cuenta las tres dimensiones ya mencionadas, aspectos de cada variable, el indicador o descriptor correspondiente y por último las técnicas e instrumentos utilizados para poder responder al objetivo planteado se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Matriz de variables, técnicas e instrumentos para el desarrollo del primer objetivo según dimensiones.

Diagnostico					
Dimensión	Variable	Aspecto	Indicador Descriptor	Técnica	Instrumento
Ecológica	Energía requerida en el proceso productivo	Consumo Energético	kw	Análisis de consumo del recibo	Recibo
		Consumo de Gas	m ³ m	Análisis de consumo del recibo	Recibo
	Estiércol Bovino	Oferta	Kg de estiércol	Cálculos Matemáticas, entrevista	Fórmulas matemáticas y guión
		Manejo	Ciclo de vida	Observación directa, entrevista, Analisis del ciclo de vida	Bitácora de campo y guión de entrevista
		Agua residual del lavado del establo con M.O.	m ³ agua/ Época de seca m ³ agua/ Época húmeda	Observación directa	Bitácora de campo y guión de entrevista
Social	Asistencia Técnica	Profesionales en la zona	Tipo de profesionales	Reconocimiento de la zona	Entrevista
		Tecnología local	Tipo de fuentes de energía	Reconocimiento de la zona	Bitácora de campo
	Unidades Productivas (Fincas)	Actividades productivas en la Hacienda	Tipo de actividad	Observación directa y análisis de la entrevista	Entrevista
		Fincas de Ganadería en la zona	Número de unidades productivas ganaderas /Total de unidades productivas existentes	Análisis documental, observación directa, entrevista	Bitácora y guión de entrevista
		Organizaciones comunitarias campesinas	Formales e informales	Número de organizaciones	Entrevista
Económica	Costo Energético	Costo en Kw x Total de Kw consumidos	COP	Cálculos matemáticos	Recibo

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la variable de energía requerida en el proceso fue necesario utilizar la fórmula de densidad para calcular el volumen del gas propano en m³ que utilizan mensualmente en la Hacienda.

$$D = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

D = Densidad

m = Masa

V = Volumen de la sustancia

En cuanto al desarrollo del segundo objetivo, este tiene un enfoque de tipo cualitativo puesto que se realizó un análisis de alternativas de cuatro diferentes tipos de diseños de biodigestores que pueden ser implementados en la Hacienda los Naranjos teniendo en cuenta las dimensiones ecológica, social y económica. El instrumento empleado fue por medio de una matriz de alternativas. En la siguiente matriz se muestran las diferentes variables utilizadas para evaluar los diferentes diseños de reactores:

Tabla 7. Matriz de alternativas para la evaluación de diferentes diseños de reactores.

Matriz de Alternativas para la evaluación de diferentes diseños de reactores												
Alternativas de Diseño	Social			Ecológico				Económico			Puntaje	Evaluación
	Asistencia Técnica	Replica en organizaciones campesinas	Riesgos a la salud	Sustrato	Eficiencia (Temperatura y tiempo de digestión)	Consumo de Agua	Cantidad de Biol	Calidad del Biol	Ahorro Energético	Costo		
Modelo Chino												
Modelo Indiano												
Biodigestor Tubular												
Digestor Batch (discontinuo o régimen estacionario)												

Fuente: Elaboración propia.

La matriz se califica teniendo en cuenta los criterios que se muestran en la siguiente tabla, donde tres xxx significa que para las variables establecidas el modelo de biodigestor evaluado es óptimo. Dos xx que el modelo evaluado es medianamente óptimo y por último una x significa que este modelo para la variable a evaluar es el menos óptimo.

Tabla 8. Criterios de evaluación para la matriz de alternativas.

xxx	Óptimo
xx	Mediana mente Óptimo
x	Menos Optimo

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al desarrollo del tercer objetivo este tuvo un enfoque mixto. En primer lugar, se procedió a realizar todos los parámetros de diseño para el planteamiento del diseño, posteriormente se realizó un estudio de mercado y por último se dimensionó y realizó un plano con las dimensiones del mismo.

Tabla 7. Matriz de variables según su respectiva dimensión para el desarrollo del objetivo tres planteado.

Matriz Tercer Objetivo					
Dimensión	Variable	Aspecto	Indicador Descriptor	Técnica	Instrumento
Ecológico	Técnicas de diseño	Aspecto técnico	Medidas del biosigstor	Cálculos matemáticos	Fórmulas matemáticas
Económico	Costos	Costos de instalación	Precio \$	Revisión bibliografica	Bases de datos
		Costos de mantenimiento	Precio \$	Revisión bibliografica	Bases de datos
	Eficiencia /costo de oportunidad	Proyeccion de ahorro	Precio \$	Calculos	Ecuaciones diferenciales

Fuente: Elaboración propia.

Para los parámetros de diseño se tuvo en cuenta la información suministrada por los manuales de Martí (2015) y Forget (2011) de diseño de biodigestores tubulares, así como también todas las diferentes variables específicas del lugar que influyen en su diseño y se realizó de la siguiente manera:

- Se determinó la ubicación del biodigestor mediante un mapa elaborado en el programa ArcGIS teniendo en cuenta:
 - Distancia del biodigestor a la vía principal.
 - Distancia de la vía principal al casco urbano.
 - Punto fácil de acceso.
- Se determinó la temperatura y el tiempo de retención del sustrato en el biodigestor mediante la elaboración de un mapa de temperaturas y teniendo en cuenta referentes bibliográficos en donde se realizó una interpolación para determinar el valor de la temperatura con la siguiente fórmula.

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- y = valor del tiempo de retención ideal para el caso estudio
- x = valor de la temperatura del caso estudio
- y_0 = valor del tiempo de retención para ambiente
- x_0 = Valor de la temperatura inferior

- Se determinó la cantidad de estiércol disponible teniendo en cuenta las diferentes razas de bovino con las que se cuenta en la Hacienda, así como también la rotación realizada al ganado.
- Mezcla y cantidad de la carga diaria de entrada.
- Volumen total del biodigestor: se tuvo en cuenta la siguiente fórmula:

$$V_T = V_L + V_G \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

V_T = Volumen del Biodigestor

V_L = Volumen líquido del biodigestor

V_G = Volumen gaseoso del biodigestor

6. Volumen Líquido del biodigestor

$$V_L = \text{Carga Diaria} \times \text{Tiempo de Retención} \quad \text{Ecuación 4}$$

7. Volumen del gas:

$$V_G = \frac{V_L}{3} \quad \text{Ecuación 5}$$

8. Producción de Biogás:

Para estimar la producción de biogás se debe tener en cuenta la cantidad de estiércol introducido en el biodigestor; está se determinó de la siguiente manera:

$$P_{Bg} = f_{pGen} \times SV \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

P_{Bg} = Producción diaria de biogás en el biodigestor en m^3

f_{pGen} = Factor general de producción de biogás

$$SV = 0,77 \times ST \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

SV = Sólidos volátiles

ST = Sólidos Totales

Se reemplaza la ecuación (2) en (1) así:

$$P_{Bg} = f_{pGen} \times 0,77 \times ST \quad \text{Ecuación 8}$$

Ahora bien, se debe tener en cuenta que hay un 17% de sólidos totales en el estiércol fresco, por lo que este porcentaje se relaciona directamente con el peso de estiércol introducido diariamente en el biodigestor. El peso se denota M_{es} en kilogramos obteniendo de esta manera la siguiente ecuación:

$$P_{Bg} = f_{pGen} \times 0,77 \times 0,17 \times ST$$

$$P_{Bg} = f_{pGen} \times 0,131 \times ST \quad \text{Ecuación 9}$$

Reemplazando el factor general de producción de biogás se obtiene la siguiente ecuación:

$$P_{Bg} = 0,131 \times 0,27 \times M_{es}$$

$$P_{Bg} = 0,0353 \times M_{es} \quad \text{Ecuación 10}$$

9. En cuanto a las dimensiones y el material del biodigestor se tuvo en cuenta las siguientes ecuaciones:

Se debe tener en cuenta que como el biodigestor es hecho de plástico tubular el material a utilizar es el polietileno tubular el cual debe pedirse al fabricante de 300 micrómetros de grosor y de color negro. Este se vende en rollos de 50 metros, con un ancho de rollo que varía normalmente entre 1, 1.25, 1.50, 1.75 y 2 metros. Este ancho de rollo equivale a la mitad de la circunferencia total del plástico.

El ancho del radio determina el radio y el diámetro del biodigestor, para determinar estos parámetros se tuvo en cuenta la siguiente tabla en la que se encuentran las medidas más comunes para los rollos de este tipo de biodigestor:

Tabla 8. Parámetros establecidos para las dimensiones del biodigestor tubular.

Ancho de Rollo (m)	Perímetro de la Circunferencia (m)	Radio (m)	Diámetro (m)	Sección Eficaz (m ³)	Longitud del Biodigestor (m)
1	2	0,32	0,64	0,32	$V_T/0,32$
1,25	2,5	0,40	0,80	0,50	$V_T/0,50$
1,50	3	0,48	0,95	0,72	$V_T/0,72$
1,75	3,5	0,56	1.11	0,97	$V_T/0,97$
2	4	0,64	1.27	1,27	$V_T/1,27$

Fuente: Martí (2015)

Cada una de las medidas de la tabla fue calculada de la siguiente manera utilizando las siguientes fórmulas establecidas según el manual:

- Perímetro de la circunferencia:

$$C = 2A_R \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

C = Circunferencia de la manga de plástico

A_R = Ancho del rollo

- Radio:

$$C = 2\pi r$$

$$r = \frac{C}{2\pi} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

r = Radio

π = 3,14

- Diámetro:

$$D = 2r \quad \text{Ecuación 13}$$

- Sección Eficaz:

$$S = \pi r^2 \quad \text{Ecuación 14}$$

- Longitud del Biodigestor:

Conociendo el volumen del biodigestor y la sección eficaz se procede a calcular la longitud del biodigestor con la siguiente ecuación;

$$V_T = S \times L$$

$$L = \frac{V_T}{\pi r^2} \quad \text{Ecuación 15}$$

- 10.** Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor: Existe una relación óptima entre la longitud y el diámetro del reactor dada de la siguiente manera:

$$\frac{L}{D} = \text{entre 5 y 10}$$

El rango óptimo es de 7, se escoge el que más se acerca a este parámetro, este se calculó para cada ancho de rollo y de esta manera se determinó el más óptimo. Por otro lado se propone que el biodigestor sea de doble capa para dar mayor solidez.

- 11.** De acuerdo a las dimensiones calculadas anteriormente, se procedió a calcular las dimensiones de la zanja; la longitud de la zanja se determinó por la longitud del biodigestor. Según (Poggio, 2007) en ancho en la parte superior de la zanja es igual al diámetro de la bolsa del biodigestor.

El ancho en la parte inferior de la zanja debe ser el 80% del ancho superior. La profundidad debe ser el 90% del diámetro de la bolsa.

Por otro lado, se realizó un estudio de mercado en donde se tuvo en cuenta materiales y los costos que implican la construcción del biodigestor y también se tuvo en cuenta el tiempo de retorno de la inversión del mismo.

La siguiente tabla muestra en resumen la matriz del marco metodológico acerca de las técnicas e instrumentos, así como también el análisis de la información por objetivos.

Tabla 9. Resumen de técnicas e instrumentos y análisis de información por objetivo.

Matriz resumen marco metodológico					
Objetivo General	Objetivos Específicos	Actividades	Técnicas	Instrumentos	Resultado Esperado
Formular un estudio de factibilidad de un biodigestor de aprovechamiento de excretas de bovino a fin de producir biogás de acuerdo a algunos indicadores ecológicos, sociales y económicos, para un aprovechamiento sostenible en la Hacienda los Naranjos.	Realizar un diagnóstico del estado actual de la Hacienda Los Naranjos para establecer criterios de diseño.	Revisión bibliográfica Determinación de tipos de biodigestores Tipos de biodigestores Variables del biodigestor Búsqueda de referentes regionales Visita de Campo Entrevistas dirigidas a los propietarios, administradores y unidades productivas adyacentes al caso estudio Biomasa producida por res Promedio de Consumos de energía en la Hacienda	Análisis del consumo del recibo	Recibo	Establecer los parámetros de diseño y las variables que influyen directa o indirectamente para la implementación del biodigestor por medio de un reconocimiento de tallado de la Hacienda
			Cálculos matemáticos	Fórmulas matemáticas	
			Entrevista	Guión	
			Observación directa	Bitácora de campo	
			Análisis del ciclo de vida	Bitácora de campo	
			Reconocimiento en la zona	Entrevista (guión)	
	Evaluar alternativas de biodigestores que se ajusten a las características de la zona de estudio para identificar el que se adecue a las condiciones bajo estudio.	Ejecución y búsqueda bibliográfica Visita Técnica al Jardín Botánico Estructuración de los resultados Selección del modelo de biodigestor más apropiado para el caso estudio partiendo de la evaluación de alternativas Elaboración de la tabla del resumen de la metodología	Revisión Bibliográfica	Bases de datos	Seleccionar el modelo de biodigestor que se ajuste mejor a las características de la zona de estudio de acuerdo a los parámetros evaluados en el mismo.
			Reconocimiento en la zona	Observación directa	
			Análisis de la matriz de alternativas	Matriz de alternativas	
	Elaborar un modelo a escala de dimensionamiento y costo del biodigestor seleccionado.	Visita de Campo Estandarización de parámetros de diseño de acuerdo a las condiciones del caso estudio Desarrollo de cálculos para el diseño Elaboración de mapas en el programa QGIS Elaboración del dimensionamiento en el programa AutoCAD Desarrollo del estudio de mercado	Cálculos matemáticos	Fórmulas matemáticas	Dimensionar el biodigestor seleccionado junto con el estudio de mercado correspondiente del mismo donde se especifiquen el costo de oportunidad y el ahorro energético.
			Reconocimiento en la zona	Entrevista	
			Programa QGIS	Ejecución del programa	
Programa AutoCAD					
Revisión bibliográfica			Bases de datos		

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para la presentación de los resultados se presentan abordando la dimensión ecológica, social y económica para cada uno de los objetivos planteados y teniendo en cuenta cada una de las variables establecidas para así dar paso a la argumentación y al análisis de los mismos.

12.1 Presupuesto

Tabla 11. Presupuesto para el desarrollo del proyecto.

Rubros	Fuentes				Total
	Colciencias	Universidad El Bosque		Total U. El Bosque	
		Desembolso nuevo	Desembolso normal		
1. Personal científico	0	0	4,261,887	4,261,887	4,261,887
2. Equipos	Compra	0	0	0	0
	Uso	0	0	3,400,000	3,400,000
3. Materiales e insumos	0	0	60,000	60,000	60,000
4. Bibliografía	0	0	0	0	0
5. Software	0	0	0	0	0
6. Viajes	0	0	680,000	680,000	680,000
7. Salidas de campo	0	0	21,600	21,600	21,600
8. Servicios técnicos	0	0	0	0	0
9. Eventos académicos	0	0	0	0	0
10. Mantenimiento		0	0	0	0
11. Publicaciones	0	0	0	0	0
12. Seguimiento y evaluación (3% del total solicitado)	0	0	0	0	0
13. Gastos de operación (7% del total solicitado)	0	0	0	0	0
11. Otros	0	0	200,000	200,000	200,000
Totales	0	0	8,623,487	8,623,487	8,623,487

Fuente: Elaboración propia.

7. Aspectos Éticos

Este proyecto es una investigación sin riesgo debido a que según la Resolución 8430 del 4 de octubre de 1993 del Ministerio de Salud la cual ofrece las condiciones mínimas y los aspectos formales para el desarrollo de las investigaciones; establece en el artículo 11 que una investigación sin riesgo es aquella en la que se emplean técnicas y métodos de investigación documental retrospectivos y aquellos en los que no se realiza ninguna intervención o modificación intencionada de las variables biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociales de los individuos que participan en el estudio.

Se realizó un “Estudio de factibilidad del diseño de un biodigestor de aprovechamiento de excretas de bovino a fin de producir biogás de acuerdo a algunos indicadores ecológicos, sociales y económicos para un aprovechamiento sostenible de la Hacienda los Naranjos” la necesidad de contemplar este tipo de aspectos no es evidente pues no se realizará ningún tipo de experimentación con animales, así mismo la investigación no trabajará con humanos si no que se centrará básicamente en el diseño de un biodigestor, en las excretas de los bovinos como materia prima para el mismo, la energía producida y la capacidad del biodigestor a implementar, costos de instalación y mantenimiento, eficiencia del reactor, la asistencia técnica con la que se cuenta y por último la proyección de ahorro que se traduce en el costo de oportunidad. Se resalta que para el desarrollo de la investigación se diseñó y aplicó un consentimiento informado (Anexo 2) a manera de entrevista para los participantes del estudio.

8. Resultados Análisis Y Discusión De Resultados

8.1. Objetivo específico uno: Realizar un diagnóstico del estado actual de la Hacienda Los Naranjos para establecer criterios de diseño.

- **Dimensión Ecológica:**

Variable Energía requerida en el proceso productivo:

En esta variable se analizó el consumo energético y el consumo de gas en la Hacienda los naranjos. En cuanto al consumo energético, la Hacienda utiliza energía eléctrica local (Luz local) como fuente de suministro de energía. La empresa encargada del servicio eléctrico es la Compañía Energética de Occidente S.A.S ESP y el estrato socioeconómico es 1. Posteriormente se analizó el consumo del recibo; se encontró que actualmente la Hacienda tiene un consumo energético de 428 Kwh de acuerdo al promedio registrado de los últimos 6 meses, este valor es registrado por el medidor de marca ISKRA número 6948769 ISKRA. Esta energía es la consumida por la máquina de ordeño, un enfriador para la leche que se encuentra en el establo (ver figura 4) el cual se emplean durante aproximadamente 14 horas al día, los electrodomésticos que se encuentran en la vivienda y las cercas eléctricas con las que cuenta la Hacienda. Así mismo se resalta que la Hacienda no cuenta con un suministro de energía constante puesto que se presentan interrupciones cada 1 a 2 horas al día.

Figura 4. Enfriador de leche utilizado en la Hacienda.



Fuente: Archivo personal (2019)

Por otro lado, dentro del establo se encuentran un total de dos ollas que funcionan a gas para calentar el agua que pringa los equipos que son utilizados en el proceso de extracción de leche y conservación (Ver figura 5). La Hacienda se encuentra dentro de una zona que no cuenta con conexión al sistema de distribución del suministro de gas natural domiciliario, por lo que

utilizan un promedio de 24 cilindros de gas propano al año cada uno de 40 lb. Al mes utilizan dos cilindros y medio es decir que mensualmente están utilizando 100 lb de gas propano. Para realizar la conversión de este valor en metros cúbicos se tuvo en cuenta la densidad y la masa del gas con la ecuación 1.

$$V = \frac{100 \text{ lb}}{0,11599 \text{ lb/ft}^3} = 862,143 \text{ ft}^3 \approx 24,41 \text{ m}^3$$

De esta manera se estimó que mensualmente en la Hacienda consumen un total de 24,41 m³ de gas propano para la calefacción de la estufa de gas en el establo y en la vivienda. De acuerdo a lo anterior, se observó que la hacienda requiere que se garantice el suministro constante de energía eléctrica y térmica con la finalidad de poder realizar sus actividades económicas sin problema alguno, de igual forma se identificó que en ocasiones cuando se acaba el cilindro de gas es muy dispendioso trasladarse hasta las cabeceras municipales con tal de adquirir las pipetas de gas debido a que en ciertos momentos el sendero se encuentra muy deteriorado impidiendo el paso y haciendo de este una actividad dispendiosa generando de esta manera aumentos y con ello en los gastos referentes al consumo de energía.

Figura 5. Ollas que funcionan a gas para calentar el agua con el fin de pringar los equipos que son utilizados para el proceso de extracción de leche y conservación.



Fuente: Archivo personal (2019)

Variable estiércol bovino:

La siguiente variable a estudio fue el estiércol Bovino, en primer lugar, es importante resaltar que la producción diaria de leche en la Hacienda es de 600 L/días provenientes de 48 cabezas de ganado donde se distinguen 4 clases de ganado especializados en la producción de leche. En la siguiente tabla se muestran las razas y características principales de cada uno (Ver tabla 13):

Tabla 12. Características principales de las razas de bovino presentes en la Hacienda.

Raza de Bovino	Características Principales	Figura
Raza Holstein o vaca frisona	Es la raza más pesada de leche, las hembras con un peso promedio de 650 Kilos y los machos 1,000 kg. Sobresaliente producción de leche con promedio de 7,899 Lt. / lactancia de 305 días, con 3.6% de grasa.	
Raza Jerhol	Resultado del cruce de las razas Jersey y Holstein. Es un ganado que generalmente sale muy bueno en ubres, es muy fértil lo que lo hace excepcional para trabajar las hembras como receptoras de embriones.	
Raza Jersey	Se caracterizan por poseer un pelaje de color variado. Produce leche con alto contenido de mantequilla y proteína. Producen leche de alta calidad con un consumo de 20 a 30 % menos alimento por kg de leche producida que las razas lecheras más grandes.	
Raza Girolando	Es un cruce entre las razas Holstein y Gyr. Tiene una productividad media de 3.500 kg por lactancia ajustada a 305 días, aunque la duración media de esta es de 280 días.	

Fuente: Elaboración propia con referencia en: (Jaramillo, 2016)

Ahora bien, en cuanto a los aspectos descritos para la variable, se analizó la oferta, manejo y el agua residual del lavado del establo con contenido de materia orgánica. Para realizar el análisis de la oferta, se tuvo en cuenta la información suministrada por los manuales de Martí (2015) y Forget (2011) de diseño de biodigestores tubulares y también se tuvo en cuenta la información recolectada en campo. A continuación, se explicará el procedimiento realizado para el cálculo de la generación de estiércol en la Hacienda.

Para comenzar se determinó la cantidad de bovinos de cada especie teniendo en cuenta si eran adultos o terneros para posteriormente calcular el peso promedio. Se resalta que también es importante aclarar si el ganado es pastoreado o tabulado puesto que esto determina la cantidad de estiércol que se puede recolectar para aprovechamiento. En la siguiente tabla (Ver tabla 14) se muestra la producción diaria de estiércol bovino la cual es de 8 kg por cada 100 kg de peso del animal.

Tabla 13. Producción diaria de estiércol para cada tipo de animal.

Ganado	Kg de estiércol fresco producido por cada 100 kg de peso del animal
Cerdo	4
Bovino	8
Carpino	4
Conejos	3
Equino	7
Humano adulto	0,4 kg por adulto
Humano Niño	0,2 kg por niño

Fuente: Martí (2015)

Prosiguiendo con lo mencionado, se diagnosticó que en la Hacienda se realiza pastoreo del ganado; el pastoreo del ganado se realiza por rotación en los 35 potreros con los que cuenta la Hacienda, cada vez que salen de ordeño, se manejan un promedio de 20 m² por animal en cada potrero que tienen. Los bovinos rotan de potrero en potrero cada cierto periodo de tiempo, con el fin de controlar el deterioro desordenado de las praderas. De acuerdo a esta información y según Martí (2015) solo se puede recoger el 25% del estiércol generado si se realiza pastoreo. Sin embargo, este porcentaje no fue el utilizado debido a que actualmente solo se están recogiendo las excretas depositadas por los animales en los establos de ordeño en donde permaneces 3 horas diarias aproximadamente correspondientes al 12,5% de la producción de estiércol.

Para calcular esta cantidad se realizó la siguiente tabla (ver tabla 15) en la que luego de determinar el peso según la especie, se determinó la cantidad de estiércol generado diariamente y posteriormente se determinó la cantidad de estiércol para aprovechamiento. De esta manera se estableció que la cantidad total teórica de estiércol para aprovechamiento es de 217,4 Kg/d.

Tabla 14. Cálculo teórico de la generación de estiércol para cada una de las razas de ganado bovino presentes en la Hacienda.

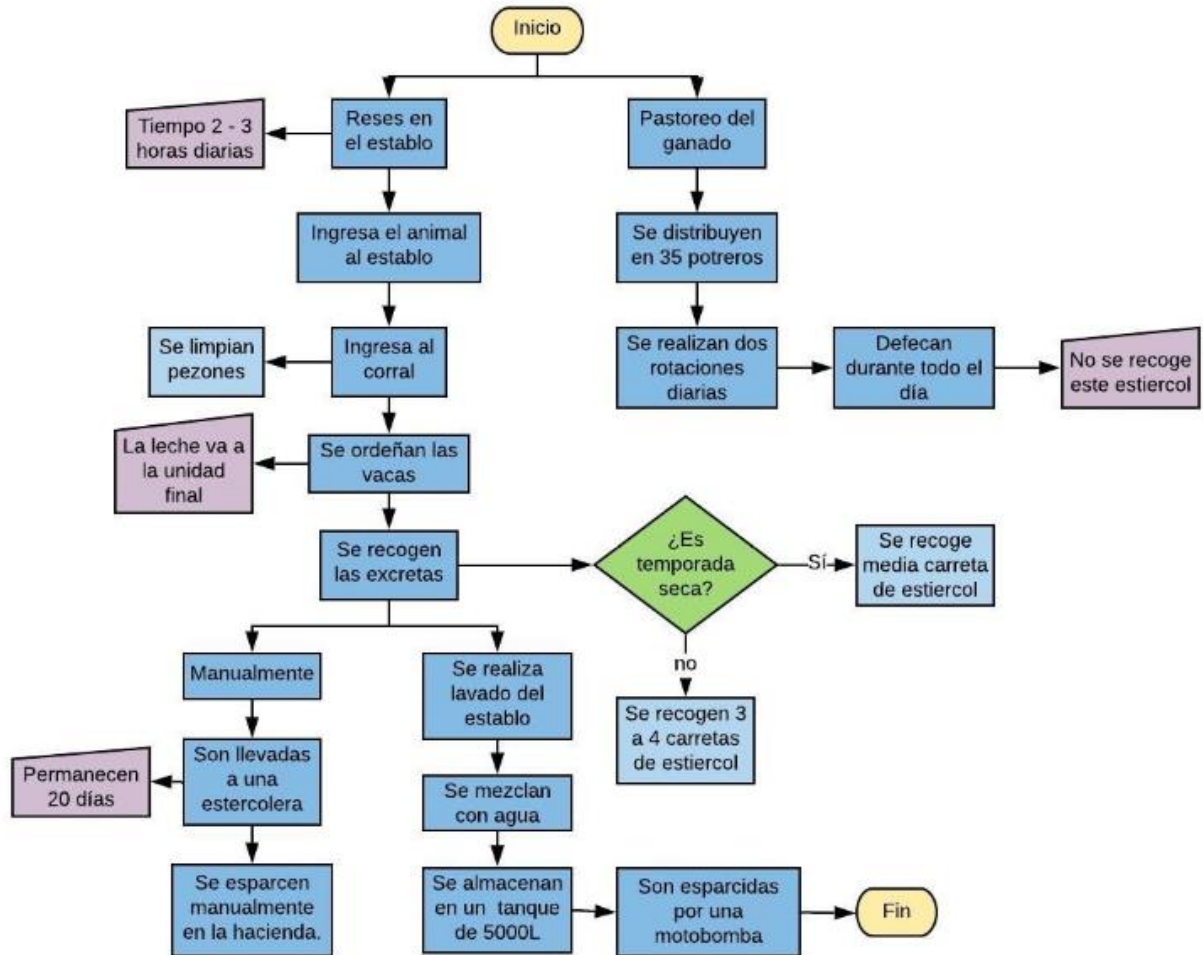
Calculo Generación de estiércol							
Raza	Número de animales		Peso Promedio (Kg)		Peso por cada especie (Kg)	Cantidad de estiércol diario (Kg/día)	Cantidad de estiércol para aprovechamiento (Kg/día)
	Hembras Adultas	Terneros	Hembras Adultas	Terneros			
Raza Holstein	25	3	460	230	12190	975,2	121,9
Raza Jerhol	10	-	490	-	4900	392	49
Raza Jersey	4	-	450	-	1800	144	18
Raza Girolando	5	1	520	250	2850	228	28,5
TOTAL					21740	1739,2	217,4

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, según la información recolectada en campo, se encontró que la cantidad de estiércol para aprovechamiento es de 90 Kg/día. Esta se determinó de acuerdo a la información suministrada por Víctor Javier Burbano quien es el veterinario y administrador de la Hacienda. En la que manifestó que diariamente se recoge media carretada de estiércol en época de verano y en invierno se recogen 3 a 4 carretadas. Las excretas son llevadas a un compostero y posteriormente se distribuyen y se dispersan en los lotes.

El siguiente aspecto a analizar fue el manejo que se le da a las excretas en la Hacienda. Para esto se realizó el siguiente diagrama de flujo (ver figura 6) en donde se explica el ciclo de vida del estiércol, el cual se divide en dos momentos; cuando las reses están en el establo y cuando están en pastoreo.

Figura 6. Diagrama de flujo del ciclo de vida de las excretas de bovino en la Hacienda Los Naranjos.



Fuente: Elaboración propia.

El último aspecto analizado en la dimensión ecológica es el agua residual empleada en el lavado del establo, la cual contiene altos contenidos de materia orgánica producto de las heces bovinas. El agua residual va a un tanque de 5000 litros de reserva que luego van a un tanque estercolero. En época de invierno el agua permanece en el tanque 5 días y en época de verano permanece 20 días. Es decir que en época húmeda se recoge 1m³/día y en época seca se recoge 0,25 m³/día de agua residual con materia orgánica del establo (Ver figura 7).

En la tabla 16 se describe la cantidad de agua empleada en la limpieza de los establos, diaria, mensual y anual junto con el promedio para la época de invierno y época de verano.

Tabla 15. Cantidad de agua empleada en la limpieza de los establos.

	Época Invierno	Época Verano	Promedio
Día	1m ³ /día	0,25 m ³ /día	0,625 m ³
Mes	30 m ³ /mes	7,5 m ³ /mes	18,75 m ³
Anual	180 m ³ /anual	45 m ³ /anual	112,5 m ³

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Tanque estercolero de 5000 litros.



Fuente: Elaboración propia.

Partiendo de la información obtenida en esta variable, se determinó que el manejo de la excreta es un aspecto negativo dentro de las actividades desarrolladas, debido a que solo se ven estos excrementos como residuos y no como un insumo potencial de aprovechamiento para la generación de otros bienes o servicios. Aunque en el establo se recogen las aguas negras del lavado del mismo, estas no tienen un impacto representativo en el manejo de los residuos, ya que cuando se llena el tanque de captación, simplemente se dispersan con ayuda de una motobomba en un radio de 20 metros cuadrados adyacentes al tanque. Lo anterior permite una fertilización únicamente en la zona descrita, sin embargo, no contribuye a ningún otro beneficio desde las dimensiones analizadas. En la figura 8 se observa el área que es irrigada con el agua con alta carga orgánica (excretas) provenientes del establo; en la imagen se puede observar la diferencia en la calidad del pasto, ya que, en la zona intervenida por este tipo de aguas, la pradera presenta un mejor crecimiento (parte derecha de la figura), mientras que el área no irrigada presenta una tasa inferior de crecimiento (parte izquierda de la figura). De acuerdo con lo anterior, se observó que las excretas tienen alto potencial de aprovechamiento como fertilizante y pueden contribuir de esta manera al sostenimiento de las praderas de la hacienda.

Figura 8. Potrero con área irrigada con el agua del tanque y área no irrigada.



Fuente: Elaboración propia

- **Dimensión Social:**

Variable Asistencia Técnica

De acuerdo a la información recolectada en campo, a través de la entrevista se identificó que las haciendas de la zona tienen personal que cuenta con diferentes niveles educativos, los cuales van desde educación básica primaria, secundaria, educación técnica, tecnológica y profesional. Las personas que cuentan con un nivel técnico o superior son aquellas que por lo regular dan soporte o asistencia técnica a las fincas de la zona desde campos de la agronomía, veterinaria y la administración. En la vereda Guayaquil se encontró que existe un centro de investigación, el cual se llama Estación Experimental El Tambo y pertenece al centro de investigaciones de café - CENICAFÉ, donde frecuentan profesionales que pueden brindar asistencia técnica a la comunidad, así mismo dentro de la visita a campo se logró averiguar sobre la historia de la hacienda y se encontró que en años anteriores han contado con la colaboración de técnicos y tecnólogos practicantes del Centro Nacional de Aprendizaje - SENA, que han venido realizando sus pasantías en la hacienda y en fincas de la zona.

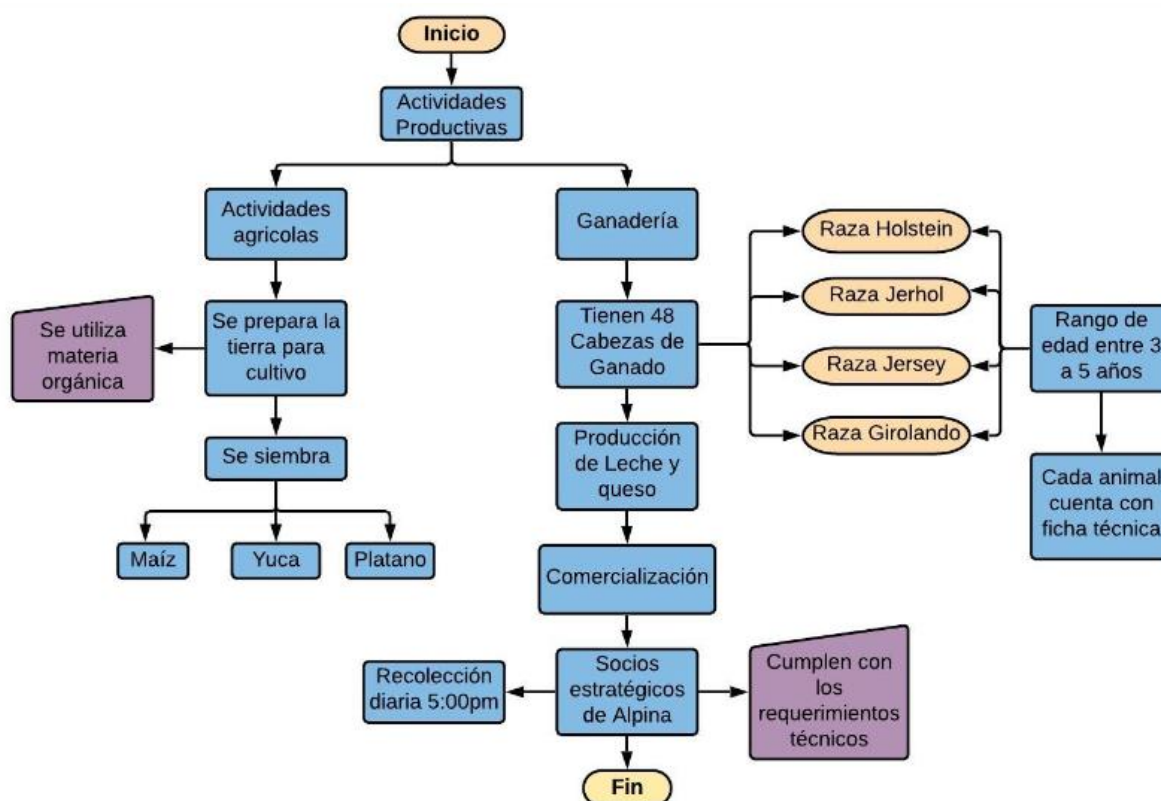
En cuanto a tecnologías energéticas locales se encontró que en la zona solo se cuenta con red de distribución de energía eléctrica y como se mencionó antes presenta deficiencias en el servicio puesto que se presentan interrupciones a lo largo del día. Por otro lado, en la zona no se cuenta con instalaciones de red de gas domiciliario y tampoco se ha propuesto su implementación. Se puede decir entonces que en el área los tipos de fuente de energía son escasos y no se encuentran en las mejores condiciones de distribución. La implementación de energías sostenibles para el desarrollo rural sostenible como la proveniente de la biomasa, y la energía solar, entre otras, no ha sido muy difundido en la región por lo que este tipo de energías es todavía incipiente.

Variable Unidades Productivas (Fincas)

Las actividades productivas en la finca se centran principalmente en la ganadería y agricultura. Como ya se ha mencionado, las actividades lecheras son la principal fuente de ingreso puesto que las cuatro razas de ganado tienen alta vocación en la producción láctea. Además, la calidad de producción es muy buena, lo cual ha permitido que uno de los principales clientes sea la empresa Alpina, quien a su vez ha permitido crecer y fortalecer las instalaciones y el producto final de la hacienda a través de asistencia técnica y capacitación. Cada animal tiene su identificación y tienen una carpeta para alimento y producción. Hay un total de 48 cabezas de ganado entre ellos 4 novillas (Ver figura 9). El rango de edad de los animales es de 3 a 5 años con una duración promedio de 8 años de vida. Tienen cultivos de maíz, naranjos, yuca, plátano y café localizados en la parte baja de la Hacienda. La preparación de la tierra para cultivo se realiza únicamente con materia orgánica y fertilizantes químicos.

En el siguiente esquema se muestran las actividades productivas realizadas en la Hacienda y su potencial de comercialización.

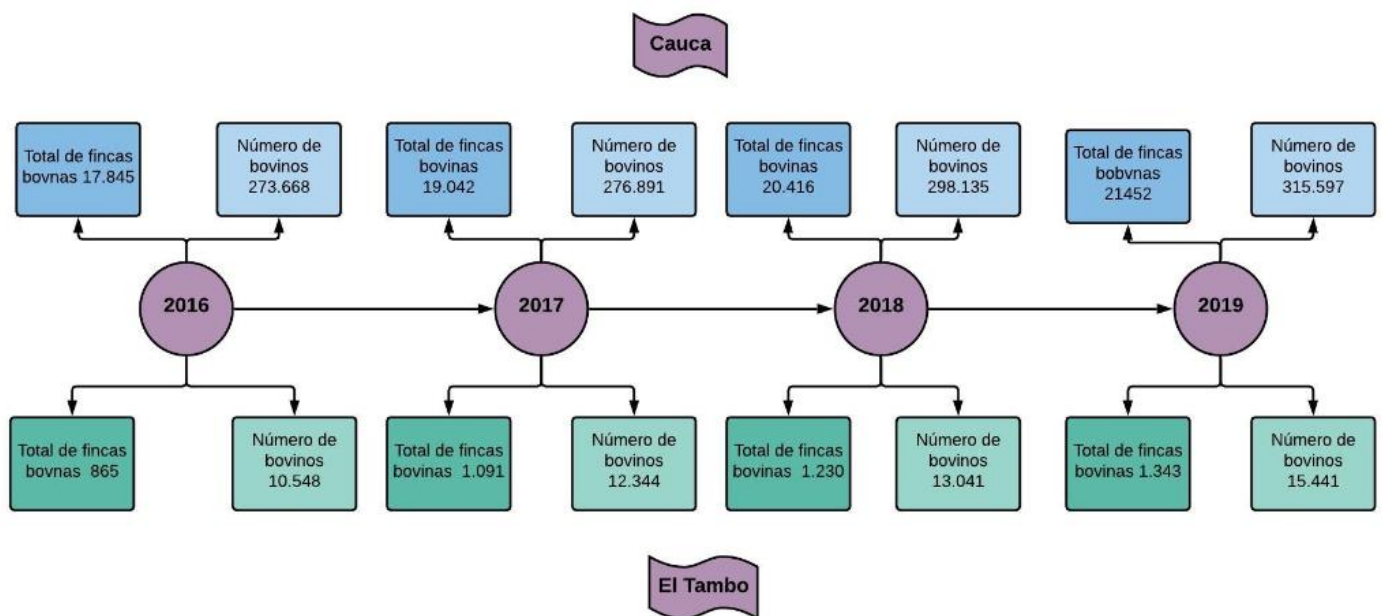
Figura 9. Diagrama de flujo de las actividades productivas desarrolladas en la Hacienda Lechera los Naranjos.



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las Fincas de Ganadería en la zona se tuvo en cuenta la información suministrada por el Instituto Colombiano Agropecuario específicamente de los últimos cuatro censos bovinos realizados en los períodos comprendidos desde el 2016 al 2019, de donde se pudo determinar tanto el número de bovinos como de fincas ganaderas en el municipio del Tambo y en el departamento del Cauca (Figura 10). De acuerdo con la información previamente mencionada se encontró que en el transcurso de los últimos cuatros años, la ganadería en el municipio del Tambo ha presenciado un crecimiento del 55,26 % en presencia de fincas o haciendas con animales bovinos, de igual forma el número de animales bovinos en el municipio ha presentado un aumento en un 46,38 % en el mismo lapso de tiempo; este último dato tiene una equivalencia de 4.893 animales más respecto al 2016. Por otro lado, también se pudo concretar que, a diferencia del municipio del Tambo, el departamento del Cauca no ha presentado la misma tasa de crecimiento, ya que el número de bovinos en el departamento solo creció un 15,32 % y el número de fincas o haciendas ganaderas solo presentó un aumento de 20,21%. En razón de lo expuesto se puede establecer que tanto el departamento del Cauca como el Municipio del Tambo han venido presentando un crecimiento en el sector ganadero, además con los datos relacionados del municipio del Tambo se definió que el municipio ha aumentado de manera muy significativa el uso del suelo para actividades pecuarias (Instituto Colombiano Agropecuario, 2019)

Figura 10. Línea de tiempo del total de fincas bovinas y el número de bovinos registrados en el departamento del Cauca y en el Municipio de El Tambo.



Fuente: Instituto Colombiano Agropecuario (2019)

Variable Organizaciones comunitarias campesinas

Las organizaciones campesinas comunitarias de índole formal en el Tambo encontradas fueron: el Comité Departamental de Cafeteros del Cauca, debido al alto potencial que tiene el Cauca para producir cafés de alta calidad y debido a su oferta ambiental en el que muchas familias se han venido beneficiando y se muestra un futuro de bienestar para el caficultor con la implementación de prácticas sostenibles.

Otra de las organizaciones presente es ASPROLESO, Empresa comunitaria que genera desarrollo en zonas con población susceptible al desplazamiento por el conflicto social y armado en el Cauca, la cual contribuye al mejoramiento del proceso productivo de generación de ingresos de las comunidades rurales a través de la formación, transferencia de tecnología y adopción de prácticas que mejoren los procesos y generen valor agregado y de esta manera favorecer la comercialización de la leche (ASPROLESO, 2019).

Los dueños de la Hacienda se encuentran vinculados a el Comité de ganaderos del Cauca el cual realiza tareas de promoción, defensa y mantenimiento de la actividad ganadera con el apoyo de la Federación Nacional de Ganaderos - FEDEGAN.

Por otro lado, se evidencia el desarrollo de iniciativas en la zona como el proyecto para incrementar la competitividad de la cadena productiva láctea en catorce municipios del Cauca entre ellos el Tambo. En este tipo de iniciativas se busca contribuir a la consolidación del conglomerado ganadero caucano y la promoción del sector lácteo sostenible.

- **Dimensión Económica:**

Variable Costo Energético

Para el desarrollo de esta variable se tuvo en cuenta la información suministrada por la factura del servicio de energía eléctrica de la Hacienda. El costo energético por cada KWH es de \$586,78 para el mes de septiembre se registra un consumo de 435 KWH. El total a pagar es entonces de \$255.249 pesos. Se realizó un promedio de consumo de energía para los últimos 6 meses el cual determinó un valor de 428 KWH, con un promedio de pago de \$251.120. Es decir que anualmente gastan un promedio de \$2'394.000.

Por otro lado, en cuanto al gasto generado por la compra de los cilindros de gas propano de 40 lb, cada cilindro se compra por \$70.000 pesos, mensualmente consumen dos cilindro y medio por lo que gastan \$175.000 mensual y anualmente el gasto es de \$2'100.000.

8.2. Objetivo específico dos: Evaluar alternativas de biodigestores que se ajusten a las características de la zona de estudio para identificar el que se adecue a las condiciones bajo estudio.

Para determinar el tipo de diseño que mejor se adecua a las condiciones de la zona se realizó un análisis de alternativas por medio de una matriz de alternativas. En esta se analizaron criterios de índole social, ecológico y económico. En la dimensión social se analizaron las variables de: asistencia técnica, réplica en organizaciones campesinas y riesgos a la salud. En la dimensión ecológica se analizaron las variables de sustrato, eficiencia en términos de temperatura y tiempo de digestión, el consumo de agua, la cantidad de biol y la calidad del biol. En la dimensión económica se analizaron las variables de ahorro energético, costo y eficiencia en términos de costo oportunidad.

A continuación, se muestran los resultados de esta matriz en donde el modelo de biodigestor que alcanzó el puntaje más alto fue el modelo tubular con un puntaje de 28 y se calificó como el modelo más óptimo con respecto a los otros modelos de biodigestores, vale la pena resaltar que los modelos evaluados en la matriz corresponden a los principales digestores utilizados en el medio rural (Ver tabla 16).

Tabla 16. Matriz de alternativas para la evaluación de diferentes diseños de reactores.

Matriz de Alternativas para la evaluación de diferentes diseños de reactores													
Alternativas de Diseño	Social			Sustrato	Ecológico				Económico			Puntaje	Evaluación
	Asistencia Técnica	Replica en organizaciones campesinas	Riesgos a la salud		Eficiencia (Temperatura y tiempo de digestión)	Consumo de Agua	Cantidad de Biol	Calidad del Biol	Ahorro Energético	Costo	Eficiencia/ Costo de Oportunidad		
Modelo Chino	x	xx	xx	x	xx	xxx	xxx	xxx	xx	x	xxx	23	Menos optimo
Modelo Indiano	xx	xx	xx	xxx	xxx	xx	xx	xx	xx	xx	xxx	26	Medianamente óptimo
Biodigestor Tubular	xxx	xx	xx	xxx	xxx	xx	xx	xxx	xxx	xxx	xx	28	Más optimo
Digestor Batch (discontinuo o régimen estacionario)	xxx	xx	xx	xx	xxx	xxx	xxx	xx	xx	x	xx	25	Medianamente óptimo

Fuente: Elaboración propia.

La matriz se calificó teniendo en cuenta los criterios que se muestran en la siguiente tabla, donde tres xxx significa que para las variables establecidas el modelo de biodigestor evaluado es óptimo. Dos xx que el modelo evaluado es medianamente óptimo y por último una x significa que este modelo para la variable a evaluar es el menos óptimo (Ver tabla 17).

Tabla 17. Criterios de evaluación para la matriz de alternativas.

xxx	Óptimo
xx	Mediana mente Óptimo
x	Menos Optimo

Fuente: Elaboración propia.

Modelo chino:

El primer reactor evaluado fue el **modelo chino** el cual está formado por un tanque cilindro con el techo y piso en forma de domo.

La asistencia técnica para este reactor es una de las más dispendiosas debido a que la construcción es compleja y debe ser supervisada por personal capacitado. Por otro lado, el transporte de materiales requiere igualmente mano de obra calificada por el volumen de los materiales. La siguiente variable a analizar fue la capacidad de réplica en organizaciones campesinas, aquí se encontró que por el momento no hay experiencia formal previa consolidada en Sudamérica, además esta tecnología aún es muy incipiente en la región. En cuanto a los riesgos a la salud este al estar enterrado no ocupa espacio en la finca y no necesita de un sistema de protección por lo que las probabilidades de sufrir un accidente son pocas.

El sustrato para este digester generalmente son los residuos orgánicos y la excreta humana. La eficiencia en términos del tiempo de digestión es de 30 a 60 días por lo que el tiempo de retención es de 45 a 90 días. Este reactor utiliza poca agua en la carga con una equivalencia 1:1 en comparación con los biodigestores tubulares. Se caracteriza por ser producir una excelente producción en cuanto a la calidad del biol sin embargo es poco eficiente para generar biogás generando entre 0,1 a 0,4 m³ de biogás / m³ de digester (Varnero, 2011).

Su vida útil es de 20 años al ser construido en ladrillo y cemento. En cuanto a costos este es uno de los más demandantes debido básicamente a los materiales que utiliza. Por otro lado, después de construido requiere de un mantenimiento constante debido a que la parte hecha de acero es susceptible de corrosión y por la pintura del tambor (Arrieta, 2016).

Modelo Indiano:

El siguiente reactor a analizar fue el **modelo Indiano**, estos digestores en general son enterrados y verticales. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de retención y producen una cantidad diaria constante de biogás.

La asistencia técnica para este reactor también es dispendiosa pero no tanto como el modelo chino. Se debe realizar mantenimiento periódico a la campana puesto que la cúpula flotante debe ser protegida de la corrosión. Presenta mayor complejidad en cuanto a su construcción y mantenimiento por lo que requiere de personal experto. En cuanto al funcionamiento, el gasómetro que posee está integrado al sistema, en la parte superior del pozo flota una campana donde se almacena el gas. De esta forma, la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de alrededor de 30 cm de columna de agua. Con esta campana se logra, una presión constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta.

Generalmente el sustrato utilizado es estiércol de animal o humano. La eficiencia del biodigestor en términos del tiempo de retención es de 30 a 60 días. La temperatura de fermentación al interior del digester es baja a pesar de que se encuentra bajo el suelo. La cantidad de biogás es relativamente buena generada entre 0,3 a 0,6 m³ de biogás / m³ del digester.

El costo de construcción del digester es alto debido a la construcción de la campana, tiene problemas como la oxidación de la bóveda. El costo es elevado por lo que ha limitado a muchos

usuarios el optar por este diseño. Este biodigestor tiene una vida útil de 15 años en los casos más favorables.

Modelo Tubular:

El tercer reactor a analizar fue el **modelo Tubular**, es la tecnología más conocida en América Latina. Los materiales de construcción son fáciles de transportar, la instalación es sencilla y se realiza en un día después de cavada la zanja y además es apropiado en sitios de nivel freático alto. Para la construcción y mantenimiento no requiere de mano de obra capacitada y el mantenimiento se realiza de forma rápida y sencilla tanto así que cualquier productor está en la capacidad de instalarlo, sin necesidad de un asesoramiento técnico directo y con el uso de herramientas comunes. Por lo anterior, esta tecnología es la más conocida en América Latina por lo que hace que sea sencillo la capacidad de réplica en organizaciones campesinas permitiendo la capacitación del modelo de campesino a campesino.

El sustrato más utilizado es el estiércol, el tiempo de retención es de 30 a 60 días, presenta facilidad en alcanzar mayores temperaturas de digestión. Este biodigestor se caracteriza por tener un consumo de agua moderado puesto que tiene una relación de entrada de 1:3 aumentando de esta manera el volumen del biodigestor respecto a requerimientos de agua. La producción de biogás es de 0.8 - 1.0 m³ de biogás/ m³ digester por lo que alcanza menores presiones de biogás.

Son de instalación rápida (1 o 2 días) después de cavar la zanja, en cuanto a la asistencia técnica no requiere de mucha puesto que cualquier productor capacitado puede ser instalador de biodigestores tubulares. El coste de transporte de los materiales es bajo por ser de piezas pequeñas ligeras y por estar prefabricado. Se pueden hacer a cualquier tamaño, tienen una vida útil de 15 años, contienen una geo membrana de PVC muy fácil de reparar, y una geo membrana de polietileno muy dura y resistente. Presenta desventajas como: utiliza más agua en la carga y alcanzan menores presiones de biogás (Herrero, 2019).

Digestor Batch:

El último reactor analizado fue el **Digestor Batch**, donde este tipo consiste en una batería de tanques o depósitos herméticos con una salida de gas conectada con un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. El objetivo de disponer de más un digestor es tener siempre uno de ellos en carga o en descarga, mientras el resto se encuentra en producción de biogás. La alimentación o carga del digestor con la materia prima, sólida, seca, se realiza por lotes y la carga de los residuos estabilizados se efectúa una vez que ha finalizado la producción de biogás (FAO, 2011).

En la siguiente tabla se sintetiza la información mencionada anteriormente para las alternativas de diseño de biodigestores:

Tabla 18. Características principales de los diferentes modelos evaluados en la matriz de alternativas.

Alternativas de Diseño	Sistema de Digestión	Sustratos	Tiempo de Retención (días)	Producción de biogás (m³ biogás/ m³ digestor)
Modelo Chino	Batch y de mezcla	Residuos Orgánicos, excretas humanas	45 - 90	0.1 - 0.4
Modelo Indiano	Desplazamiento vertical	Estiércol	30 - 60	0.4 - 0.6
Modelo Tubular	Desplazamiento Horizontal	Horizontal, diferentes secciones, cúpula fila	30 - 60	0.8 - 1.0
Digestor Batch	Batch	Cilindro Vertical, tanque de gas flotante	120	0.5 - 1.0

Fuente: Calderón & Piratova (2017)

De acuerdo con la información tratada con anterioridad, se estableció que el modelo de biodigestor que mejor se acogía a las condiciones bajo estudio de la Hacienda Los Naranjos, es el de tipo tubular, debido a que este modelo y de acuerdo al análisis realizado fue el que mejor viabilidad obtuvo frente a los otros modelos. Una de las ventajas de la adopción de este tipo de reactor, es que permite una alta generación de biol por el tipo de cargue que se le debe realizar, generando con ello que sea posible dejar de utilizar fertilizantes de síntesis química.

De igual forma, los costos de implementación y mantenimiento según la teoría son inferiores; permitiendo que la réplica de estos modelos en fincas aledañas a lugares con biodigestores tubulares tenga mayor facilidad réplica y prosperen sin mayores dificultades.

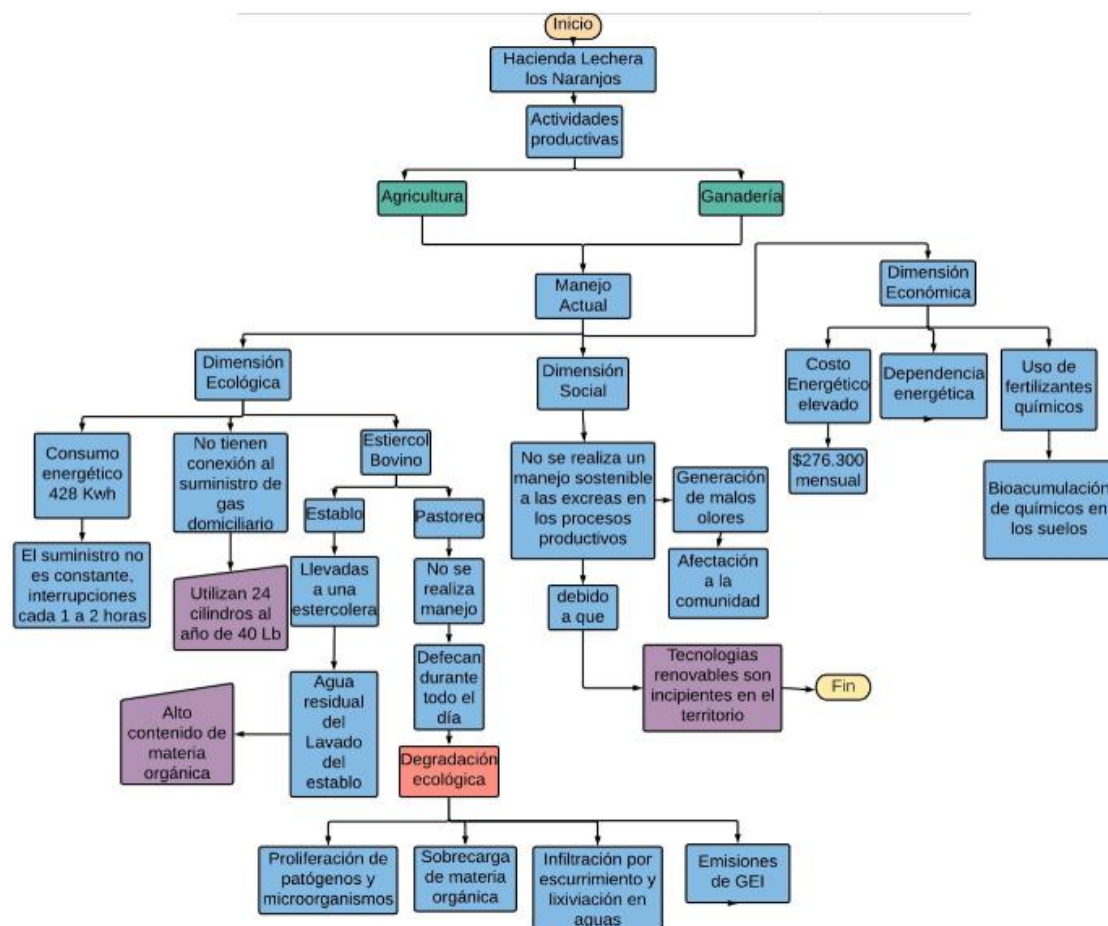
8.3. **Objetivo específico tres:** Elaborar un modelo a escala de dimensionamiento y costo del biodigestor seleccionado.

- Dimensión Ecológica:

Variable Técnicas de Diseño

Para llevar a cabo la realización de este objetivo en principio fue necesario realizar un diagnóstico del estado actual de la Hacienda desarrollado en el primer objetivo. Se realizó un diagrama resumen en el que se describen las principales actividades productivas que se realizan (Ganadería y agricultura) y cómo estas contribuyen a la contaminación ambiental por la no implementación de prácticas sostenibles como lo es el uso de energías renovables. El siguiente esquema (Ver figura 11) detalla el manejo actual desde la dimensión ecológica, económica y social. Se resalta principalmente la parte relacionada con el manejo que se le da al ganado y la degradación ecológica que estas actividades ganaderas ocasionan en el territorio.

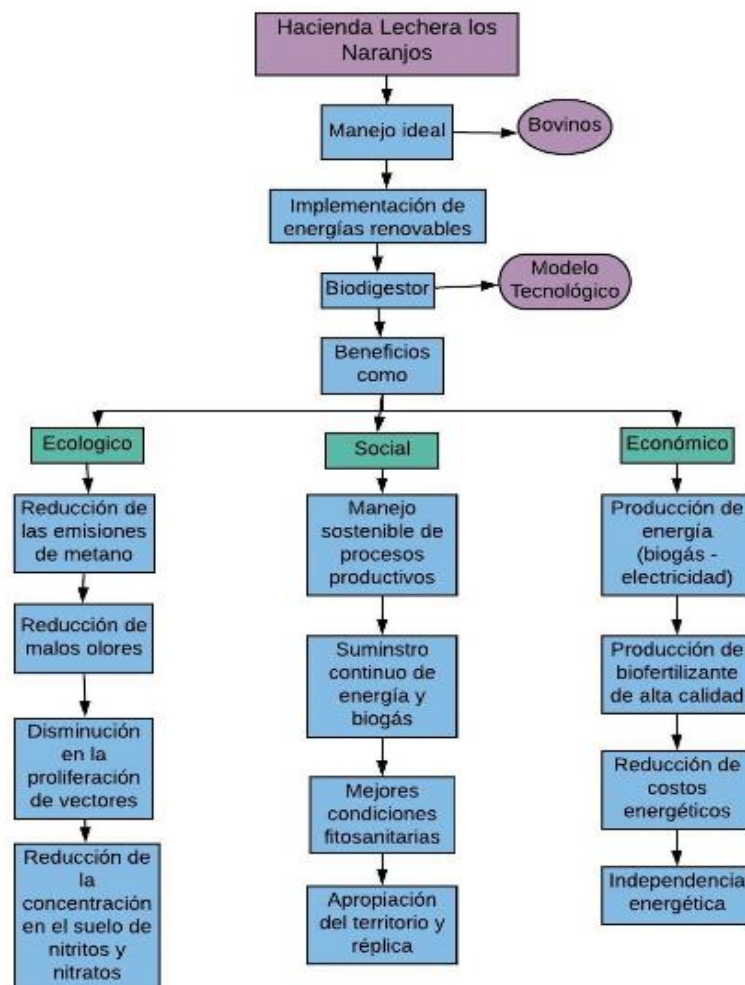
Figura 11. Manejo y Estado actual de la Hacienda Lechera los Naranjos.



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al diagnóstico del estado actual realizado, en donde se identificó que la actividad que más está contribuyendo a la contaminación ambiental en la finca es la ganadería; se planteó como solución la implementación de un biodigestor como alternativa para utilizar los residuos de la ganadería que no estaban recibiendo ningún tipo de manejo ni tampoco se les estaba realizando una disposición final adecuada. Con el biodigestor se le estaría dando un manejo sostenible debido a que se estaría aprovechando las excretas puesto que pasarían de ser residuos a ser convertidos en insumos de generación energética en forma de biogás y fertilizante. De esta manera se reducirían las emisiones de metano, se reducirían los malos olores, disminuiría la proliferación de vectores, se tendría un suministro energético constante sin interrupciones y disminuirían los costos energéticos. En el siguiente esquema (Ver figura 12) se puede observar a detalle el manejo ideal para la Hacienda Lechera los Naranjos desde las perspectivas social, económica y ecológica.

Figura 12. Manejo y Estado actual de la Hacienda Lechera los Naranjos.



Fuente: Elaboración propia.

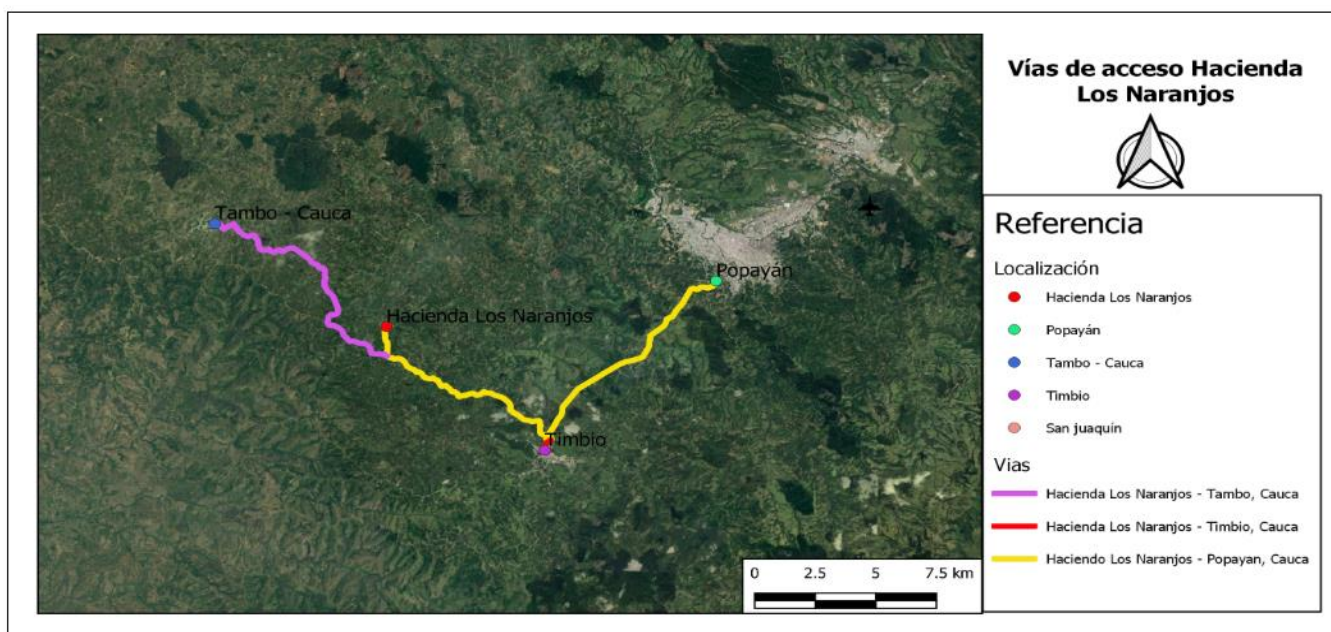
Para iniciar con el dimensionamiento y los parámetros de diseño del biodigestor y como ya se explicó en la metodología se procedió a calcularlos de la siguiente manera:

1. Se seleccionó la ubicación del biodigestor:

Para esto se realizó un mapa de vías de acceso para poder identificar la localización de la Hacienda con respecto a los centros poblados y de esta manera dar una idea del transporte de materiales para la construcción del biodigestor (Ver figura 13).

- La distancia del biodigestor a la vía principal es de: 50m
- La distancia de la vía principal al casco urbano más cercano (Tambo) es de: 13km

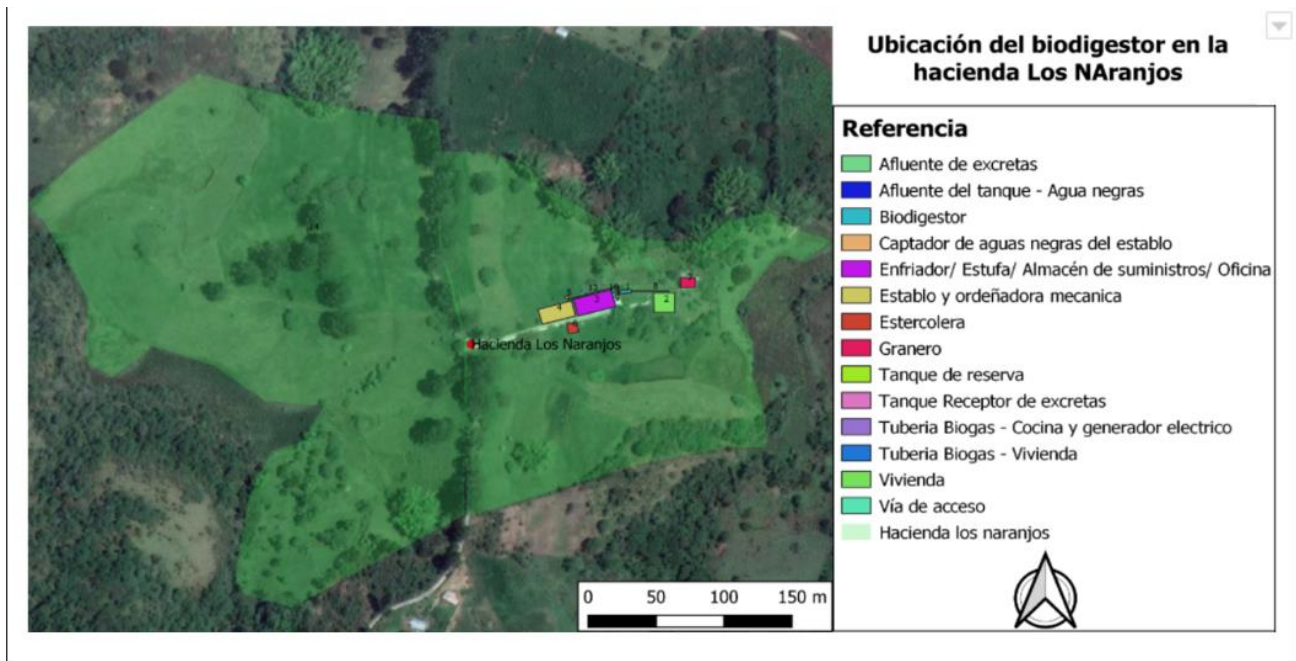
Figura 13. Mapa vías de acceso Hacienda Los Naranjos.



Fuente: Elaboración propia.

En segundo lugar, se escogió la ubicación del biodigestor dentro de la Hacienda. Esta se realizó teniendo en cuenta que es un punto fácil de acceso a la vía principal, se encuentra en cercanía con la porqueriza del establo (estercolero) y al tanque receptor de excretas, se encuentra a una distancia relativamente lejos de la vivienda, se encuentra en paralelo con el establo. En el siguiente mapa de la Hacienda los Naranjos (Figura 14) se puede observar a detalle los diferentes componentes tenidos en cuenta, así como también la ubicación del biodigestor que se resalta en un color azul ubicado al lado del tanque receptor de excretas.

Figura 14. Mapa vías de acceso Hacienda Los Naranjos.



Fuente: Elaboración propia.

Para iniciar con el dimensionamiento y los parámetros de diseño del biodigestor y como ya se explicó en la metodología se procedió a calcularlos de la siguiente manera:

1. Ubicación del biodigestor:
 La distancia del biodigestor a la vía principal es de:
 La distancia de la vía principal al casco urbano es de:
 Es un punto fácil de acceso debido a que se encuentra en cercanía a la porqueriza del establo porque está relativamente lejos de la vivienda y se encuentra en cercanía con el establo.
2. Para determinar la temperatura y el tiempo de retención se realizó una interpolación en la que se tuvo en cuenta los valores suministrados para la temperatura media de la zona la cual es de 18°C. La interpolación se realizó teniendo en cuenta los valores suministrados por Martí (2015) en la siguiente tabla:

Tabla 19. Tiempo de retención según temperatura.

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

Fuente: Martí (2015)

Se utilizó entonces la fórmula para interpolación que se muestra a continuación:

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0) \quad \text{Ecuación 2}$$

$$y = 60 + \frac{18 - 10}{20 - 10} (30 - 60)$$

$$y = 36$$

De esta manera se concluye que el valor para el tiempo de retención en el biodigestor es de 36 días.

3. Como se mencionó en el desarrollo del primer objetivo el cálculo de la cantidad de estiércol para aprovechamiento se realizó teniendo en cuenta los valores teóricos y los valores registrados en campo (Ver figura 13). Para continuar con el diseño y dimensionamiento del biodigestor se seleccionaron los valores obtenidos en campo debido a que se tuvo un acercamiento real a la cantidad de estiércol generado diariamente. De acuerdo a la información suministrada por Víctor Javier Burbano quien es el veterinario y administrador de la Hacienda en la que manifestó que diariamente se recoge media carretada de estiércol en época de verano y en invierno se recogen 3 a 4 carretadas. Las excretas son llevadas a un compostero y posteriormente se distribuyen y se dispersan en los lotes. Es decir que diariamente se recogen 90 Kg/día de estiércol para aprovechamiento.
4. La carga de mezcla diaria de entrada para un biodigestor tubular debe estar en una proporción de 1:3 una parte de estiércol y tres partes de agua. Se debe garantizar una buena dilución de la mezcla para que el biodigestor sea de tipo continuo y no se atasque la materia fecal en su interior. En este sentido para una carga diaria de estiércol de 90 Kg/día la carga de la mezcla diaria de entrada es de 360 Litros.
5. El volumen total del biodigestor se calculó de la siguiente manera:

En primer lugar, se procedió a calcular el volumen líquido del biodigestor:

$$V_L = \text{Carga Diaria} \times \text{Tiempo de Retención}$$

$$V_L = 360 \text{ L} \times 36 \text{ días}$$

$$V_L = 12960 \text{ Litros}$$

En segundo lugar, se procedió a calcular el volumen de gas dentro del biodigestor así:

$$V_G = \frac{V_L}{3}$$

$$V_G = \frac{12960 \text{ Litros}}{3}$$

$$V_G = 4320 \text{ Litros}$$

Con estos datos ya se puede calcular el volumen total del biodigestor el cual es de 17,28 m³

$$V_T = V_L + V_G$$

$$V_T = 12960 \text{ Litros} + 4320 \text{ Litros}$$

$$V_T = 17280 \text{ Litros} \cong 17,28 \text{ m}^3$$

6. Se procedió entonces a calcular la generación de biogás teniendo en cuenta la cantidad de estiércol introducido en el biodigestor, en la metodología se detalla el paso a paso que se realizó para llegar a la ecuación 9 para calcular la producción de biogás; a continuación, el cálculo realizado:

$$ST = \text{Carga diaria} \times 0,17$$

$$ST = 90 \text{ kg} \times 0,17$$

$$ST = \frac{15,3 \text{ Kg}}{V_L}$$

$$ST = \frac{15,3 \text{ Kg}}{12,96 \text{ m}^3} = 1,18 \text{ kg/m}^3$$

$$SV = 0,77 \times ST$$

$$SV = 0,77 \times 1,18 \text{ kg/m}^3$$

$$SV = 0,9086 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{Bg} = 0,27 \times 0,9086 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{Bg} = 0,24 \text{ m}^3 \text{ biogás} \times V_L = 3,17 \text{ m}^3$$

De esta manera se obtiene que la producción diaria de biogás es de $3,17 \text{ m}^3$ y la producción mensual es de $95,31 \text{ m}^3$.

En la tabla 20 se muestra el resumen de los cálculos realizados hasta este apartado. Vale la pena resaltar que para este trabajo se desarrollaron los cálculos concernientes a los obtenidos teóricamente y también los obtenidos en campo, sin embargo, como ya se ha mencionado los cálculos de dimensionamiento del biodigestor se trabajaron con los valores obtenidos en campo.

Tabla 20. Tabla resumen de los cálculos para el Biodigestor de acuerdo a los datos obtenidos según la literatura y los datos obtenidos en Campo.

	Temperatura (°C)	Tiempo de Retención Biogás (días)	Tiempo de Retención Biol (días)	Carga diaria de estiércol (Kg/día)	Carga diaria mezcla (Litros)	Volumen Líquido (litros)	Volumen del gas (Litros)	Volumen Total (m3)	Producción de biogás diaria (metros^3)	Producción de biogás mes (metros^3)	Producción de biol diaria (Litros)
Calculo teórico	18	36	45	217,4	869,6	31305,6	10435,2	41,74	7,67422	230,2266	652,2
Calculo práctico	18	36	45	90	360	12960	4320	17,28	3,177	95,31	270

Fuente: Elaboración propia.

7. Como se explicó en la metodología, existen diferentes anchos de rollo en el mercado que varían entre 1, 1.25, 1.50, 1.75 y 2 metros. El ancho de rollo equivale a la mitad de la circunferencia total del plástico. De acuerdo a este ancho de rollo se determina el radio y el diámetro del biodigestor.

El ancho de rollo escogido para el biodigestor fue de 2,5 m debido a que el valor obtenido en la relación óptima se encuentra dentro del rango y además es el que más se acerca a 7. Para determinar estos parámetros se tuvo en cuenta la siguiente tabla (Ver figura 21) en la que se encuentran las medidas más comunes para los rollos de este tipo de biodigestor:

Tabla 21. *Parámetros establecidos para las dimensiones del biodigestor tubular.*

Ancho de rollo (m)	Circunferencia (m)	Radio (m)	Diámetro (m)	Sección Eficaz (m ²)	Longitud (m)	Relación óptima
1	2	0,32	0,64	0,32	131,1	205,77
1,25	2,5	0,40	0,80	0,50	83,9	105,36
1,5	3	0,48	0,96	0,72	58,3	60,97
1,75	3,5	0,56	1,11	0,98	42,8	38,40
2	4	0,64	1,27	1,27	13,6	10,65
2,5	5	0,80	1,59	1,99	8,7	5,46

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se realizarán los cálculos correspondientes al ancho de rollo escogido:

- Perímetro de la circunferencia:

$$C = 2A_R \quad (10)$$

$$C = 2(2,5m) = 5 m$$

- Radio:

$$C = 2\pi r \quad (11)$$

$$r = \frac{C}{2\pi}$$

$$r = \frac{5 m}{2\pi} = 0,80 m$$

- Diámetro:

$$D = 2r \quad (12)$$

$$D = 2 (0,80 m) = 1,59 m$$

- Sección Eficaz:

$$S = \pi r^2 \quad (13)$$

$$S = \pi(0,80 m)^2 = 1,99 m^2$$

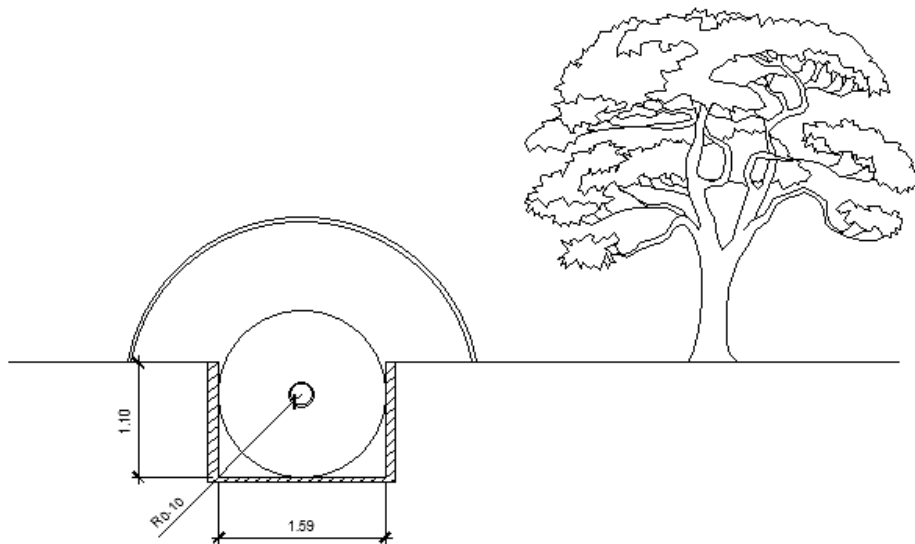
- Longitud del Biodigestor:

$$L = \frac{V_T}{\pi r^2} \quad (14)$$

$$L = \frac{17,28 \text{ m}^3}{\pi(1,99\text{m})^2} = 8,7 \text{ m}$$

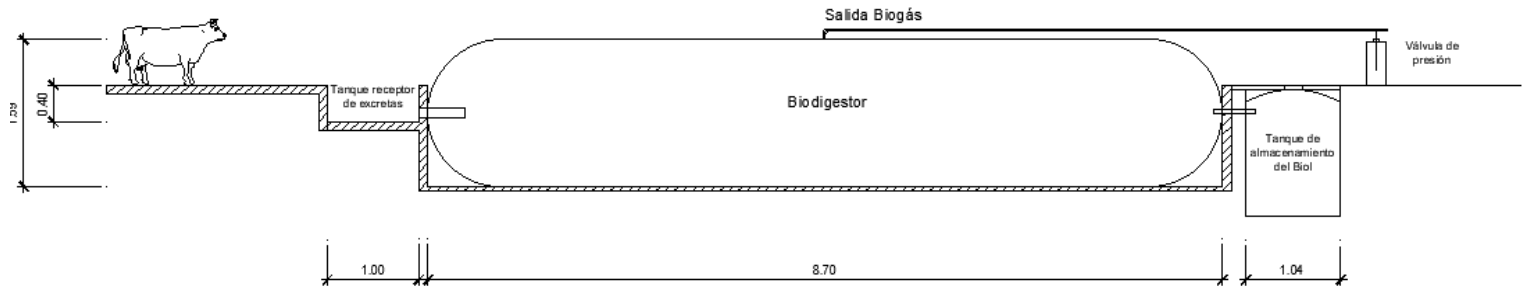
De acuerdo a los cálculos de las dimensiones del biodigestor desarrolladas previamente, se prosiguió con la realización de un modelamiento del biodigestor en el programa AUTOCAD, con el fin de obtener unos planos y con ello aterrizar gráficamente toda la propuesta establecida en el desarrollo de este objetivo número tres. De acuerdo con las Figuras 15 y 16 se estableció que este reactor de volumen $17,28 \text{ m}^3$ requiere de un área de aproximadamente 20 m^2 , ya que a causa de instalaciones complementarias al biodigestor se requiere una mayor área para disponer el tanque receptor de excretas y el tanque de salida y almacenamiento de biol. De acuerdo a lo anterior se determinó que este sistema de aprovechamiento de excretas ocupa un área representativa, sin embargo, en la zona donde se plantea la construcción no vislumbra mucha significancia, debido a que se cuenta con el espacio suficiente para su instalación. Adicionalmente, se confirmó que este tipo de biodigestores requieren una mayor área para su construcción frente a otros tipos de reactores.

Figura 15. Vista frontal al ducto de carga del biodigestor.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Vista lateral del biodigestor.



Fuente: Elaboración propia.

- Dimensión Económica

Variable costos

Para estimar el costo del biodigestor en primer lugar se realizó el presupuesto donde se incluyeron todos los materiales con sus respectivos valores inherentes y necesarios para la construcción del biodigestor. Para la asignación de cada valor se realizó la cotización de cada ítem con las mismas especificaciones técnicas en mínimo tres establecimientos y portales virtuales, para que con ellos se pudiera ponderar el promedio del costo y con ello poder discriminar en la tabla 13, el valor más cercano a la realidad del mercado. Posterior a la discriminación de los materiales totales, se obtuvo que el costo total para la construcción del modelo de biodigestor tubular es de **\$1.753.563 COP.**

En la siguiente tabla (Ver tabla 22) se especifica el presupuesto para los materiales a utilizar en la construcción del biodigestor se detalla la unidad de medida, el valor unitario, el número de unidades y el valor total; vale la pena aclarar que también se tuvo en cuenta el valor del IVA.

Tabla 22. Presupuesto de los materiales para la construcción del biodigestor.

Presupuestos materiales						
Parte del sistema	Ítem	Descripción	Unidad de medida	Valor Unitario (COP)	Número de Unidades	Valor Total (COP)
Reactor	1	Geo membrana biodigestor (Polietileno de alta densidad Calibre 6mm) con filtro UV con ancho de rollo de 2,5 m	metro	\$10.500	20	\$210.000
	2	Tubo PVC afluyente de excretas 4"	metro	\$30.333	1	\$30.333
	3	Tubo PVC efluente de Biol 3"	metro	\$9.999	3	\$29.997
	4	Liga o caucho para tubos afluentes y efluentes de ancho de 10 cm	metro	\$8.300	1	\$8.300
	5	Arandela metálica 1/2" para salida de biogás	Unidad	\$700	2	\$1.400
	6	Arandela de hule 1/2" para salida de biogás	Unidad	\$800	2	\$1.600
	7	Adaptador PVC macho 1/2" para salida de biogás	Unidad	\$2.150	1	\$2.150
	8	Reductor para acople de adaptador hembra 1/2"	Unidad	\$2.100	1	\$2.100
	9	Adaptador PVC hembra 1/2"	Unidad	\$250	1	\$250
Techo del biodigestor	10	Polietileno reciclado de alta densidad con filtro UV y ancho de rollo de 3	metro	\$5.700	15	\$85.500
	11	Tubo Conduit 1/2" PVC para estructura (3 metros de largo)	Unidad	\$2.289	17	\$38.913
	12	Soldadura PVC 1/32 de galón	Frasco	\$12.900	1	\$12.900
Tanque receptor de	13	Bulto de cemento (50 kg)	Bulto	\$21.500	1	\$21.500

excretas 0,5 (m³)	14	Arena para concreto (arena de peña 40 kg)	Bulto	\$10.900	1	\$10.900
	15	Ladrillo	Unidad	\$890	40	\$35.600
Válvula de seguridad para compensar la presión del biogás	16	Tee PVC 1/2"	Unidad	\$600	2	\$1.200
	17	Frasco de un litro para válvula de seguridad	Unidad	\$2.000	1	\$2.000
	18	Válvula de paso (registro)	Unidad	\$21.990	1	\$21.990
	19	Tubo Conduit 1/2" PVC para estructura (3 metros de largo)	Unidad	\$2.289	1	\$2.289
Filtro ácido sulfhídrico	20	Teflón Profesional 1/2 pulg x 15 mts	Unidad	\$7.900	2	\$15.800
	21	Cilindro PVC mayor a 2" de diámetro y 10 cm de largo con entrada entrada y salida para 1/2"	Unidad	\$32.000	1	\$32.000
	22	Válvula de paso (registro)	Unidad	\$21.990	1	\$21.990
	23	Teflón Profesional 1/2 pulg x 15 mts	Unidad	\$7.900	1	\$7.900
Conexión de gas	24	Viruta de hierro	Kilogramo	\$3.200	4	\$12.800
	25	Manguera para gas (3/8)"	metro	\$4.300	50	\$215.000
	26	Tee PVC 1/2"	Unidad	\$600	2	\$1.200
	27	Válvula de paso (registro) vivienda	Unidad	\$21.990	1	\$21.990
	28	Válvula de paso (registro) establo	Unidad	\$21.990	1	\$21.990
	29	Manguera Acoplada Regulador x1,5m	Unidad	\$23.990	1	\$23.990
Reservorio de Biogás	30	Conexión Acople Conector Hembra Bronce 1/2 X 3/8	Unidad	\$7.000	3	\$21.000
	31	Geomembrana biodigestor (Polietileno de alta densidad Calibre 6mm) con filtro UV con ancho de rollo de 2,5 m	metro	\$10.500	3	\$31.500
	32	Liga o caucho para tubos afluentes y	metro	\$8.300	1	\$8.300

		efluentes de ancho de 10 cm				
	33	Válvula de paso (registro)	Unidad	\$21.990	1	\$21.990
Reservorio de Biol	34	Tanque de almacenamiento biol 2000 litros	Unidad	\$457.191	1	\$457.191
Otros gastos	35	Acarreo Popayán - Hacienda	Trayecto	\$120.000	1	\$120.000
	36	Mano de obra por (2) dos operarios	Día de trabajo	\$100.000	2	\$200.000
Subtotal sin I.V.A						\$1.420.386
I.V.A						\$333.177
Total						\$1.753.563

Fuente: Elaboración propia.

Después de haber obtenido el valor total del proyecto se prosiguió a realizar el flujo de caja actual en la Hacienda Los Naranjos (*Tabla 23*), donde se realizó una proyección a un año de los costos de funcionamiento del biodigestor en la hacienda partiendo de los datos del diagnóstico realizado en el primer objetivo. De acuerdo a los promedios de servicios públicos e insumos empleados en el proceso de fertilización se encontró que la hacienda anualmente gasta \$11.059.388 COP en los elementos previamente nombrados.

Tabla 23. Flujo de caja actual para la Hacienda Lechera los Naranjos.

Flujo de caja actual en la Hacienda Los Naranjos													
Concepto	Mes												Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Servicio de energía	\$251.120	\$251.120	\$251.120	\$251.120	\$251.120	\$251.120	\$251.120	\$251.120	\$251.120	\$251.120	\$251.120	\$251.120	\$3.013.440
servicio de agua	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$225.948
Suministro de gas	\$175.000	\$175.000	\$175.000	\$175.000	\$175.000	\$175.000	\$175.000	\$175.000	\$175.000	\$175.000	\$175.000	\$175.000	\$2.100.000
Insumos de fertilización	\$476.667	\$476.667	\$476.667	\$476.667	\$476.667	\$476.667	\$476.667	\$476.667	\$476.667	\$476.667	\$476.667	\$476.667	\$5.720.000
													\$11.059.388

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los elementos discriminados en la Tabla 23, se elaboró una tabla con el flujo de caja del primer año de implementación funcionamiento del biodigestor, con el fin de determinar los ahorros que se generarían con la puesta en marcha del reactor. De acuerdo a los resultados de la figura 24 se determinó que los gastos de la hacienda disminuirían en un 64,20% equivalente a \$7.100.877 COP, ya que los gastos generados por la compra de fertilizantes y pipetas de gas disminuyen drásticamente a partir del segundo mes de funcionamiento.

Tabla 24. Flujo de caja para el primer año de funcionamiento la Hacienda Lechera los Naranjos.

Flujo de caja primer año de funcionamiento													
Concepto	Mes												Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Servicio de energía	\$251.120	\$224.752	\$224.752	\$224.752	\$224.752	\$224.752	\$224.752	\$224.752	\$224.752	\$224.752	\$224.752	\$224.752	\$2.723.396
servicio de agua	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$18.829	\$225.948
Suministro de gas	\$175.000	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$175.000
Insumos de fertilización	\$476.667	\$238.333	\$119.167	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$834.167
													\$3.958.511

Fuente: Elaboración propia.

Por último, de acuerdo con las anteriores dos tablas se determinó que mensualmente la Hacienda podría llegar a generar un ahorro de \$591.740 COP mensualmente. Partiendo del valor de ahorros mensuales y de la inversión en la implementación del proyecto, se obtuvo que la tasa de retorno arrojó un valor de 2,9558; al aproximar este valor a 3 se refleja que el costo de inversión se recuperará en los tres primeros meses de funcionamiento del reactor, significando que el proyecto es viable por tener un tiempo de retorno relativamente corto. En la siguiente tabla se muestra el resumen del análisis económico donde se muestra la tasa de retorno, la inversión y los ahorros mensuales que se generarían en la Hacienda con la implementación del biodigestor (Ver tabla 25).

Tabla 25. Análisis económico del proyecto.

Análisis económico	
Tasa de retorno	2,9558
Inversión	\$1.749.063
Ahorros mensuales	\$591.740

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se propone que el biogás generado sea utilizado para la estufa de la vivienda y para calentar las ollas para la limpieza del equipo de ordeño y almacenamiento de leche y de esta manera disminuir los costos de operación y contribuir a un manejo sostenible de la vivienda.

9. Conclusiones

- Se logró desarrollar el estudio de factibilidad de un biodigestor de aprovechamiento de excretas de bovino a fin de producir biogás para un aprovechamiento sostenible de la Hacienda los Naranjos, en donde se determinó que el modelo que mejor se adecua a las condiciones bajo estudio es el Modelo Tubular debido a que requiere poca asistencia técnica, los costos de instalación y diseño son bajos, tiene buena producción de biogás y biol y es adecuado para convertir los residuos bovinos en un insumo para la generación de bienes y servicios.
- De acuerdo al diagnóstico realizado en la Hacienda los Naranjos se logró determinar que la necesidad más grande identificada es la de darle un manejo eficiente a las excretas de bovino con el fin de optimizar aspectos de los procesos productivos. Se confirmó que la implementación de un biodigestor podrá satisfacer las necesidades presentes ya que este dispositivo garantiza un suministro constante de gas y biofertilizante.
- Partiendo del análisis económico realizado en este documento, se encontró que esta propuesta proyecta una gran viabilidad, debido a que los tiempos de recuperación de la inversión son muy bajos; de acuerdo a las proyecciones realizadas, la inversión se recupera en aproximadamente 3 meses. Así mismo, este proyecto resulta factible ya que en la zona de estudio frecuenta personal calificado, que pueden apoyar en la asistencia técnica, generando que, ante cualquier eventualidad, el proyecto pueda disponer de un soporte adecuado, factor que es indispensable para que este tipo de proyectos puedan perdurar en el tiempo.
- El análisis realizado a la información recopilada durante la elaboración de este trabajo de grado sirvió para determinar que en el Municipio de El Tambo no se ha generado iniciativas para la implementación de energías no convencionales como fuente de abastecimiento. Sin embargo, se pudo vislumbrar un alto potencial de replicar este tipo de tecnologías de generación energética a partir de biodigestores, ya que el municipio ha presentado un crecimiento en el número de fincas con vocación ganadera, lo cual presenta una oportunidad de generar una viabilidad para aprovechar el estiércol bovino como un insumo de generación de energía y de biofertilizante.
- Finalmente, durante la formulación de este proyecto se logró aplicar diferentes áreas del conocimiento adquiridas durante el transcurso de la carrera, en donde a partir de una problemática central se puede llegar a proponer diferentes soluciones que contribuyen a mejorar un sistema productivo mediante la implementación de alternativas de producción más limpia contribuyendo de esta manera al desarrollo sostenible. De igual forma, este proyecto nos brindó la posibilidad de replicar esta idea a manera de negocio en el sector rural e igualmente contribuir al desarrollo del mismo.

10. Recomendaciones

- Para realizar un mejor aprovechamiento de las excretas bovinas, se recomienda recoger diariamente estos residuos que son depositados en los potreros de rotación con la finalidad de disminuir los impactos a los recursos suelo, agua y aire y así mismo permitir el aumento en la generación de biogás y biofertilizante.
- Otro elemento que se debe tener en cuenta para optimizar el aprovechamiento del biogás es el de adquirir un generador eléctrico a base de gas para así poder utilizar el biogás generado a manera de energía eléctrica para la Hacienda.
- Se recomienda que los materiales para la construcción sean adquiridos en los centros urbanos debido a la gran oferta de suministro encontrada, y a la facilidad de conseguir precios justos.
- Se recomienda tener en cuenta y realizar un comparativo de la información obtenida en campo con la información suministrada por fuentes de información debido a que, dependiendo de la zona de estudio de implementar del reactor, las condiciones pueden variar como lo fue en el caso estudio.
- Para los centros productivos se recomienda que a la hora de adaptar este tipo de tecnologías en fincas se tenga en cuenta las condiciones técnicas, ambientales, sociales y económicas para de esta manera implementar el mejor diseño que se adecue y por consiguiente el dimensionamiento del mismo.
- A medida que se vayan replicando los casos de éxito sobre la puesta en marcha de biodigestores, los dueños de estos reactores se vinculen o creen asociaciones para compartir y generar un mayor conocimiento acerca del diseño, construcción y manejo de este tipo de tecnologías.

11. Bibliografía

- Acosta, P., & Pasqualino, J. (13 de Mayo de 2019). *Potencial de Uso de Biogás en Colombia*. Obtenido de TEKNOS, 14(2), 27–33.: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6382641.pdf>
- Acuña, J. (2015). Diseño e implementación de un biodigestor para el tratamiento de excretas de ganado bovino Cadet - Tumbaco 2015. *Universidad Central de Ecuador. Facultad de Ciencias agrícolas*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6441/3/T-UCE-0004-18.pdf>
- Arrieta, W. (2016). Diseño de un Biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado. *Universidad de Piura*.
- ASPROLESO. (23 de Septiembre de 2019). *Empresa Comunitaria que genera Desarrollo en zonas con población susceptible al desplazamiento por el conflicto social y armado en el Cauca*. (F. S. Colombia, Editor) Obtenido de Buenas Prácticas: <http://www.redeamerica.org/detalleBuenasPracticas/ArtMID/2578/ArticleID/191/ASPROLESO-Empresa-Comunitaria-que-genera-Desarrollo-en-zonas-con-poblaci243n-susceptible-al-desplazamiento-por-el-conflicto-social-y-armado-en-el-Cauca>
- Bolívar, H., & Ramírez, E. (2012). *Propuesta para el Diseño de un Biodigestor para el Aprovechamiento de la Materia Orgánica generada en los frigoríficos de Bogotá*. Universidad Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería, Bogotá - Colombia.
- Buitrago, & Barbosa. (2016). Censo agropecuario del Municipio el Tambo.
- Calderón, A., & Piratova, D. (2017). *Propuesta para reactivar y mejorar el sistema biodigestor del parque "Mundo Aventura"*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Carrillo, K., & Celis, J. (2017). *Evaluación del Impacto ambiental generado por las prácticas ganaderas en la finca San José de Matepantano - Yopal Casanare*. Bogotá D. C.: Universidad de la Salle. Obtenido de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/21746/41101109_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- CARRILLO, K., & CELIS, J. (2017). *EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR LAS PRÁCTICAS GANADERAS EN LA FINCA SAN JOSÉ DE MATADEPANTANO - YOPAL CASANARE*. BOGOTÁ D. C.: UNIVERSIDAD DE LA SALLE. Obtenido de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/21746/41101109_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castañeda, J., & Macías, A. (2016). *Guía Metodológica para la elaboración de un estudio de factibilidad. Estudio de caso: Fabricación y venta de barras de cereal*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C.
- Cauca, A. d. (2019). Alcaldía de El Tambo - Cauca. Obtenido de https://web.archive.org/web/20160214194648/http://www.eltambo-cauca.gov.co/informacion_general.shtml
- Cauca, C. d. (24 de Abril de 2019). *Cauca, Territorio de Paz*. Obtenido de <http://www.cauca.gov.co/>

- Ceccon, E. (2008). *La revolución verde tragedia en dos actos*. Obtenido de Redalyc, 1(91), 21-29.: <http://www.redalyc.org/pdf/644/64411463004.pdf>
- Chonlon, V., & Ronald, E. (2016). *Estudio de Factibilidad de producir biogás con residuos orgánicos ganaderos para satisfacer la demanda energética, Caserío El Tambo, Motupe*. Motupe.
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2016). *Resolución 240 de 2016*. Bogotá D, C.: Comisión de Regulación de Energía y Gas. Obtenido de [apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/dafe4d4fc83940e2052580bf005b67d0/\\$FILE/Creg240-2016.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/dafe4d4fc83940e2052580bf005b67d0/$FILE/Creg240-2016.pdf)
- CORPOCAUCA. (14 de Marzo de 2019). *Corporación para el Desarrollo del Cauca*. Obtenido de <https://www.corpocauca.com/>
- Cortés, S. (2017). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. *Ciencias Estratégicas*, 25(38), 375-390. Obtenido de <https://revistas.upb.edu.co/index.php/cienciasestrategicas/article/viewFile/8012/7305>
- FEDEGÁN. (13 de Agosto de 2018). *Ganadería Colombiana hoja de ruta 2018 - 2022*. Obtenido de Bogotá D.C.: FEDEGÁN.: http://static.fedegan.org.co.s3.amazonaws.com/publicaciones/Hoja_de_ruta_Fedegan.pdf
- Fei, L., Shengkui, C., Huilu, Y., & Dewei, Y. (2016). Residuos de la cría de ganado y aves de corral y su evaluación potencial de la energía del biogás en la China rural. *Diario de Producción más limpia*, Volumen 126, Páginas 451-460.
- Flotats, X., Campos, E., & Palatsi, X. (2001). *Digestión anaerobia de purines de cerdo y co-digestión con*. Universidad de Lleida, Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Rovira Roure 177, E-25198 Lleida: Porci; Monografías de actualidad, 65, pp 51-65.
- Fonseca, L., & Murcia, P. (2018). Diseño e implementación de un biodigestor tubular de flujo continuo con un sistema de monitoreo en la Hacienda Trinidad (El Rosal Cundinamarca). *Universidad el Bosque*, Bogotá D.C.
- Forget, A. (2011). Manual de diseño y de difusión de biodigestores familiares, con enfoque en biodigestores tubulares. Lima.
- García, H., Corredor, A., Calderón, L., & Gómez, M. (2013). *Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia*. Bogotá D, C.: FEDESARROLLO. Obtenido de https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/331/Repor_Octubre_2013_Garcia_et_al.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- García, R., & León, J. (2018). *Norte- Sur Diálogos de Frontera*. Obtenido de Tijuana: El Colegio De La Frontera.: http://www.actbistas.org/wp-content/uploads/2019/02/TB-Libro-Norte-sur_Dialogos-de-frontera-2018.pdf#page=103
- Gobernación, C. (28 de Abril de 2019). *Cauca, Territorio de Paz*. Obtenido de <http://www.cauca.gov.co/>
- Herrero, J. (2019). Experiencias Latino Americanas en la implementación de estrategias para democratizar los biodigestores entre pequeños y medianos productores agropecuariosv. *Aportes a Ecuador. Climate Technology Centre and Network (CTCN)-UNFCCC*.

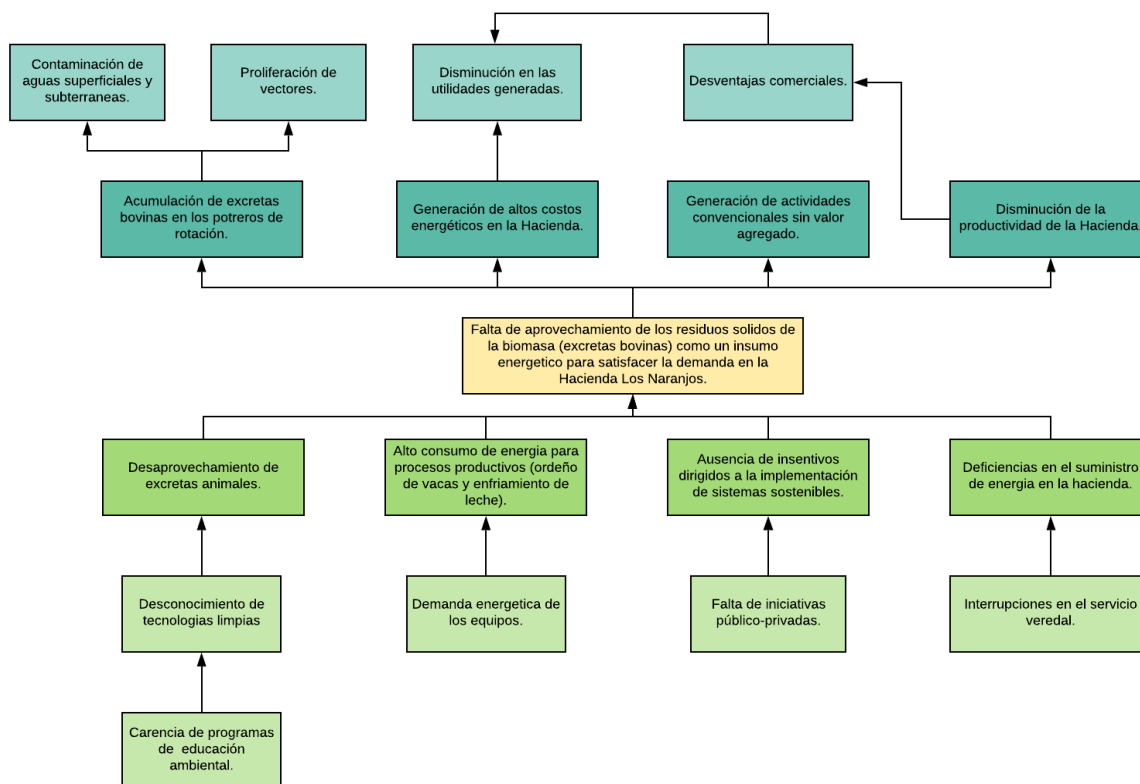
- Obtenido de https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/del_1.2_biodigestores_latinoamerica.pdf
- Herrero, J., & Donoso, M. (2016). Oportunidades para el desarrollo de un sector sostenible de biodigestores en pequeña y mediana escala en Lac. *Red de Biodigestores para Latinoamérica y el Caribe Red Biolac.*, Chile.
- ICA. (25 de Septiembre de 2019). *Instituto Colombiano Agropecuario*. Obtenido de Censo Pecuario Nacional - 2016: <https://www.ica.gov.co/getdoc/8232c0e5-be97-42bd-b07b-9cdbfb07fcac/censos-2008.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario*. (9 de Septiembre de 2019). Obtenido de Censo Pecuario Nacional: <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>
- Jaramillo, J. (2016). *Plan de Negocio para la comercialización de carne y leche, con un sistema silvopastoril en el municipio de Apía Risaralda*. Obtenido de Universidad Tecnológica de Pereira.
- Jordán, J. (2013). *ENERGÍAS RENOVABLES Lo que Hay que saber*. Madrid, España: Parainfo. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=yKh2AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR14&dq=energ%C3%ADas+alternativas&ots=FQHDwaQywU&sig=F4K7P2MKGq_bNULjNM8kjK4nxzI#v=onepage&q=energ%C3%ADas%20alternativas&f=false
- López, G. (2011). *Producción de biogás a partir de RSU Determinación de la cantidad, calidad y tiempo*. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Mahecha, L., Gallego, L., & Peláez, F. (2002). *Situación actual de la ganadería de carne en Colombia*. Obtenido de Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 15(2), 213-225: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3242901>
- Mantilla, J., Duque, C., & Galeano, C. (2007). *Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000300015
- Martí, J. (2015). Biodigestores Familiares, Guía de diseño y manual de instalación. biodigestor de polietileno tubular de bajo costo para trópico, valle y altiplano. *Programa de desarrollo agropecuario*.
- Martí, J., Pino, M., Gallo, L., Pedraza, G., Rodríguez, L., & Viquez, J. (2016). Oportunidades para el desarrollo de un sector sostenible de biodigestores de pequeña y mediana escala en lac. *Impresos Socias*. .
- MOBIUS. (2017). Manual de operación sistema de metanización seca Jardín Botánico de Bogotá. Cali, Colombia .
- Mora, M., Ríos, L., Ramos, L., & Almario, J. (2017). *Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia*. Obtenido de Livestock impact on the ground in Colombia.
- Olaya, Y., & González, L. (2009). *Fundamentos para el diseño de Biodigestores*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.
- Orjuela, S., & Sandoval, P. (2002). *Guía del estudio de mercado para la evaluación de Proyectos*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Santiago de Chile.

- Pérez, R. (2008). *El lado oscuro de la ganadería Problemas del desarrollo*. 39(154), 217-227. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362008000300011&lng=es&nrm=iso
- Pinos, J., García, J., Peña, L., Rendón, J., González, C., & Tristán, F. (2012). *Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por sistemas ganaderos de algunos países de América*. Obtenido de *Agrociencia*, 46, 359-370.
- Pinos, J., García, J., Rendón, J., González, C., & Tristán, F. (2012). *Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América*. *Agrociencia*, 46, 359-370.
- Poggio, D. (2007). *Diseño y construcción de dos biodigestores anaeróbicos en el altiplano Andino Peruano*. Universidad Politécnica de Catalunya Barcelona Tech, Lima - Perú.
- Red, B. (14 de Marzo de 2019). *Red Colombiana de Energía de la Biomasa*. Obtenido de <http://www.redbiocol.org/>
- Red, B. (16 de Mayo de 2019). *Red Latinoamericana y del Caribe de biodigestores*. Obtenido de <http://www.redbiocol.org/>
- REN21. (2018). *RENEWABLES 2018 GLOBAL STATUS REPORT*. París: REN21. Obtenido de <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/08/Full-Report-2018.pdf>
- Rodríguez, L., & García, A. (2014). *Validación Técnica para la producción de Biogas a partir de la fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos - FORSU*. Bogotá D.C.: Universidad EAN Facultad de Postgrados.
- Rojas, J. (2004). *Estudio de factibilidad para la creación de establecimientos prestadores de servicios de telefonía e internet en Bogotá, en los barrios Centenario, Santa Isabel y Alamos Norte*. Pontificia Universidad Javeriana., Bogotá D.C.
- Salamanca, J. (2009). *Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Biodigestor a Escala Piloto*. Universidad San Francisco de Quito., Quito - Ecuador.
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta edición ed.). (S. D. McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, Ed.)
- Sistemabiobolsa. (2016). *Manual de Usuario Uso y Mantenimiento del Biodigestor*. No hay Desechos solo Recursos: México .
- Sommantico, S. (28 de Enero de 2019). *Los beneficios de tener biodigestores en los establecimientos productivos*. Obtenido de Infocampo: <https://www.infocampo.com.ar/los-beneficios-de-tener-biodigestores-en-los-establecimientos-productivos/>
- Tambo, C. A. (2019). <http://www.eltambo-cauca.gov.co/>.
- Tambo, P. d. (2016 - 2019). Secretaria del Concejo Municipal de el Tambo Cauca.
- Tobares, L. (2012). La importancia y el futuro del biogás en Argentina. . *Congreso Latinoamericano y del Caribe de Refinación*, Buenos Aires.
- UPME. (2017). *Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia*. Bogotá D, C.: UPME. Obtenido de <https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/ATLAS%20POTENCIAL%20ENERGETICO%20BIOMASA%20RESIDUAL%20COL.%20UPME.pdf>
- Varnero, M. (2011). *Manual de Biogas. Santiago de Chile*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Venegas, J., Raj, D., & Pinto, R. (2019). Biogás, la energía renovable para. *Análisis Económico*. XXXIV(85), 169-187.

12. Anexos

12.1. Anexo 1. Árbol de problemas



12.2. Anexo 2. Entrevistas

ENTREVISTA - DIAGNÓSTICO

Fecha: ___/___/___

Nombre del Entrevistado: _____

Objetivo:

Determinar el manejo que se le está dando actualmente a las excretas de bovino mediante el análisis del ciclo de vida del mismo con la finalidad de recopilar información para la construcción del *Estudio de factibilidad para el diseño de un biodigestor de aprovechamiento de excretas de bovino en la Hacienda Los Naranjos*

PREGUNTAS:

1. ¿Cuáles son las actividades productivas que realizan en la Hacienda? (además de la producción de leche y queso)
2. Describir las actividades que realizan diariamente con el ganado para la producción de leche y queso.
3. ¿Cuánto tiempo permanecen las reses en el establo?
4. En el establo, ¿Se le da algún manejo a las excretas? ¿Como?
5. ¿Qué hacen con el agua residual del establo?
6. ¿Cómo realizan el pastoreo del ganado en los lotes?
7. ¿Le dan algún manejo al ganado en los lotes de pastoreo? ¿Cual?
8. ¿Tienen algún registro de los animales en la finca? (Cantidad, especies, razas, edad aproximada de los animales, PESO)
9. ¿Qué hacen con el suero de la leche de la vaca?
10. Describir el uso que se le da al agua durante todas las actividades productivas de la Hacienda.

Consentimiento Informado

Acepto participar voluntariamente en esta investigación. He sido informado (a) de este estudio. Además, se me informa que toda la información recopilada en esta entrevista servirá para el proyecto de investigación y de esta manera se analizará para proponer el mejor diseño de biodigestor que se acomode a las necesidades de la Hacienda los Naranjos. Por lo que autorizo el tratamiento de la información recopilada para fines netamente académicos, también he sido informado que puedo hacer preguntas sobre el proyecto en cualquier momento, sin que esto acarree perjuicio alguno para mí.

Finalmente entiendo que puedo pedir información sobre los resultados de esta investigación cuando ésta haya concluido.

Firma

ENTREVISTA - UNIDADES PRODUCTIVAS

Fecha: ___/___/___

Nombre del Entrevistado: _____

Objetivo:

Determinar la actividad económica que realizan las unidades productivas aledañas a la zona del caso estudio en el Tambo- Cauca, con la finalidad de recopilar información para la construcción del *Estudio de factibilidad para el diseño de un biodigestor de aprovechamiento de excretas de bovino en la Hacienda Los Naranjos*

PREGUNTAS:

1. ¿Cuál es su principal actividad económica?
2. ¿En dónde se localiza su actividad productiva?
3. ¿Cuál es la vocación del suelo en la zona?
4. ¿A Quién van dirigidos sus servicios y/o productos?
5. ¿Pertenece a algún tipo de gremio?
6. ¿El suministro de electricidad es constante en su zona?
7. ¿El suministro de gas es constante en su zona?
8. ¿Qué opina de utilizar biofertilizantes y no fertilizantes químicos?
9. ¿Conoce unidades productivas que vendan insumos para la fertilización de unidades productivas?
10. ¿Conoce algo relacionado con los biodigestores?
11. ¿Conoce acerca de proyectos de biodigestores en la zona?
12. ¿Compraría biol si pudiera?
13. ¿Implementaría un biodigestor en su vivienda y/o unidad productiva si pudiera?
14. ¿Compraría biogás si pudiera? ¿por qué?
15. ¿Ve potencial en la implementación de biodigestores? ¿por qué?
16. ¿Conoce de unidades productivas de vocación ganadera en la zona?
17. ¿Conoce de unidades productivas avícolas en la zona?
18. ¿Conoce de unidades productivas agrícolas en la zona?

Consentimiento Informado

Acepto participar voluntariamente en esta investigación. He sido informado (a) de este estudio. Además, se me informa que toda la información recopilada en esta entrevista servirá para el proyecto de investigación y de esta manera se analizará para proponer el mejor diseño de biodigestor que se acomode a las necesidades de la Hacienda los Naranjos. Por lo que autorizo el tratamiento de la información recopilada para fines netamente académicos, también he sido informado que puedo hacer preguntas sobre el proyecto en cualquier momento, sin que esto acarree perjuicio alguno para mí.

Finalmente entiendo que puedo pedir información sobre los resultados de esta investigación cuando ésta haya concluido.

Firma

ENTREVISTA - ASISTENCIA TÉCNICA

Fecha: ___/___/___

Nombre del Entrevistado: _____

Objetivo:

Determinar el nivel de conocimiento para la instalación y mantenimiento del biodigestor en la Hacienda con la finalidad de recopilar información para la construcción del *Estudio de factibilidad para el diseño de un biodigestor de aprovechamiento de excretas de bovino en la Hacienda Los Naranjos*

PREGUNTAS:

1. ¿Cuál es el nivel educativo con el que cuenta?
2. ¿Tiene algún conocimiento sobre un biodigestor? ¿Cual?
3. ¿Estaría dispuesto a aprender lo necesario? ¿Por qué?
4. ¿conoce usted algún tipo de manejo para el aprovechamiento de excretas? ¿Cual? ¿Cómo adquirió ese conocimiento?
5. ¿Cree usted que la implementación de un biodigestor traería beneficios a la Hacienda? ¿Por qué?
6. ¿Estaría dispuesto a contratar a algún profesional para realizar mantenimiento al biodigestor en caso de ser necesario.
7. ¿Estaría dispuesto a negociar con otras Haciendas de la zona para obtener materia prima para el biodigestor?
8. ¿Según las necesidades de la Hacienda, la energía producida en el biodigestor sería más útil para usted si se utiliza como biogás o como electricidad?
9. ¿Conoce algo acerca de fuentes de energía no convencionales (alternativas)?
10. ¿Sabe que es la biomasa?
11. ¿Sabe cómo aprovechar la biomasa?

Consentimiento Informado

Acepto participar voluntariamente en esta investigación. He sido informado (a) de este estudio. Además, se me informa que toda la información recopilada en esta entrevista servirá para el proyecto de investigación y de esta manera se analizará para proponer el mejor diseño de biodigestor que se acomode a las necesidades de la Hacienda los Naranjos. Por lo que autorizo el tratamiento de la información recopilada para fines netamente académicos, también he sido informado que puedo hacer preguntas sobre el proyecto en cualquier momento, sin que esto acarree perjuicio alguno para mí.

Finalmente entiendo que puedo pedir información sobre los resultados de esta investigación cuando ésta haya concluido.

Firma
