

**CAPACIDAD ENERGETICA GENERADA POR EL ESTIERCOL DE CERDOS, COMO
ALTERNATIVA PARA EL PROCESO DE TRANSFORMACION DE PANELA.**

MARIA ISILDA CUARAN CUARAN

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO
“CIMAD”
MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE**

**CAPACIDAD ENERGETICA GENERADA POR EL ESTIERCOL DE CERDOS, COMO
ALTERNATIVA PARA EL PROCESO DE TRANSFORMACION DE- PANELA.**

MARIA ISILDA CUARAN CUARAN

Trabajo de grado para optar al título de magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

LINEA DE BIOSISTEMAS INTEGRADOS

Director de Línea: Dr. FREDY BETANCUR

Asesor: Dr. JORGE ARBOLEDA

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

“CIMAD”

MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE

MANIZALES, OCTUBRE DE 2017

Autorización de Publicación de Versión Electrónica de la Tesis

Nombre del autor:	_____
Dirección:	_____
Teléfono: _____	Correo electrónico: _____
Facultad:	_____
Programa Académico:	_____
Carrera:	_____
Título que opta:	_____
Asesor:	

A través de este medio autorizo a las Bibliotecas y el Sistema de Servicios de Información de la Universidad de Manizales a publicar la versión electrónica de esta tesis en sus bibliotecas virtuales y en los repositorios electrónicos con los cuales la Universidad firme convenios.

Inmediata

Después de 1 año

Después de 2 años

Firma del Alumno:
Email:
Teléfono fijo: Teléfono móvil

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo MARIA ISILDA CUARAN soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la Universidad de Manizales, Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo (CIMAD)

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar de todo corazón mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que me brindaron su colaboración, sus conocimientos, su ayuda incondicional y por sobre todo su amistad durante la realización de esta investigación. Este es el esfuerzo de un gran equipo de trabajo, a cada uno de ellos, Gracias.

A Dios, esa fuerza superior en quienes muchos no creen y se respeta, pero a ese ser que es omnipotente, quien me regalo a mí familia, quien me regala cada amanecer y por sobre todo quien me regala el entendimiento para realizar cada reto de vida.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION	17
2. ESTADO ACTUAL DEL ARTE O CONTEXTO DEL PROBLEMA	19
2.1. Una mirada de conjunto a la problemática	20
2.2. Planteamiento del problema	21
2.3. Historial de la problemática conducente a la investigación	21
2.4. Pregunta de investigación	22
3. JUSTIFICACION	23
4. OBJETIVOS	24
4.1. Objetivo general	24
4.2. Objetivos específicos	24
5. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	25
5.1. Antecedentes de la investigación	25
5.2. Bases Teóricas	27
5.2.1. Producción de biomasa en las actividades agropecuarias	27
5.2.2. Estiércol de Porcino	28
5.2.3. Tratamientos aplicables a los purines	29
5.2.4. El biogás	30
5.2.5. Componentes presentes en el biogás y sus efectos	31
5.2.6. Efectos del CO ₂ en el biogás	32
5.2.7. Los factores que afectan la composición de CO ₂ son:	32
5.2.8. N ₂ y O ₂ presentes en el biogás	33
5.2.9. Amoníaco presente en el biogás	33
5.2.10. Ácido Sulfhídrico presente en el biogás	33
5.2.11. Biodigestión	34
5.2.12. Reacciones biológicas (Digestión Anaeróbica)	35
5.2.13. Variables que influyen en el proceso.	36
5.2.14. Hidrólisis	38
5.2.15. Fase acetogénica	39
5.2.16. Fase metano génica	39

5.2.17.	Bacterias presentes en la etapa metanogénica	39
5.2.18.	Parámetros en la producción de biogás	40
5.2.19.	Temperatura	40
5.2.20.	Potencial de Hidrogeno (pH).....	42
5.2.21.	Potencial Redox	42
5.2.22.	Nutrientes (razón C/N/P)	43
5.2.23.	Desintegración	43
5.2.24.	Utilización de Biodigestores.....	43
5.2.25.	Tipos de biodigestores.....	44
5.3.	Bases Legales.....	46
6.	DISEÑO METODOLOGICO.....	48
6.1.	FASE UNO: Revisión de literatura para el establecimiento de las condiciones necesarias del biodigestor prototipo para la producción de biogás.	48
6.2.	FASE DOS: Diseño y recolección de la información	48
6.2.1.	Diseño y tipo de investigación	48
6.2.2.	Recolección de la información	48
6.2.3.	Unidad de Análisis–descripción.....	49
6.2.4.	Unidad de trabajo o muestra	49
6.2.5.	Variables con sus valores respectivos.....	50
6.2.6.	Observación.....	50
6.2.7.	Entrevista.....	51
6.3.	FASE TRES: análisis de la información.....	51
6.3.1.	Procesamiento de la información	51
6.4.	FASE CUATRO: Instalación biodigestor prototipo.....	51
7.	RESULTADOS Y DISCUSION	52
7.1.	FASE UNO: Revisión de literatura para el establecimiento de las condiciones necesarias del biodigestor prototipo para la producción de gas.....	52
7.2.	FASE DOS: Recolección de información.....	53
7.3.	FASE TRES: Análisis de la información.....	53
7.3.1.	Área de caña panelera sembrada y en producción. Cantidad total para proceso al mes	53
7.3.2.	Residuos generados mensualmente del proceso de molienda de la caña	55
7.3.3.	Tiempo de duración de una molienda y Número de moliendas semanales	55

7.3.4.	Cantidad de porcicultores	56
7.3.5.	Cantidad de cerdos establecidos y peso promedio.....	57
7.3.6.	Cantidad de estiércol diario producido	58
7.3.7.	Análisis referentes teóricos Vs. Información obtenida.	59
7.3.8.	Población involucrada	64
7.3.9.	Tipo de biodigestor a utilizar	65
7.3.10.	Biomasa a utilizar	65
7.3.11.	El biogás	65
7.3.12.	Cantidad de biogás requerido	66
7.4.	FASE CUATRO: Instalación del biodigestor prototipo.....	66
7.4.1.	Determinación capacidad volumétrica del biodigestor	66
7.4.2.	Instalación del biodigestor prototipo	68
7.4.3.	Logro de los objetivos	73
7.4.4.	Respuesta a la pregunta de investigación	73
7.4.5.	Producción del biogás–biodigestor prototipo.....	74
8.	CONCLUSIONES	83
9.	BIBLIOGRAFIA	85
10.	ANEXOS	90
10.1.	ANEXO UNO: Presupuesto	90
10.2.	ANEXO DOS: Encuesta.....	91
10.3.	ANEXO TRES: Registro Fotográfico	92

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen No. 1. Cultivo de caña – Asociación AGRILODS	53
Imagen No 2 Infraestructura (Planta de procesamiento) de AGRILODS	54
Imagen No 3 Panela para la comercialización	54
Imagen No 4 Bagacera – Trapiche Agrilods	55
Imagen No 5 Proceso de molienda de caña	56
Imagen No 6 Procesamiento de la panela en AGRILODS	56
Imagen No 7 Motobomba para la extracción de lixiviados	69
Imagen No 8 medidor cantidad de gas que sale	70
Imagen No 9 los tubulares para la biodigestión	71
Imagen No. 10 Granja porcina – lugar instalación biodigestor prototipo	92
Imagen No. 11 Cerdos Vereda Loro Dos – Valle del Guamuez	92
Imagen No. 12 Proceso instalación biodigestor prototipo	93

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura No. 1 Etapas de degradación de la biomasa	38
Figura No. 2 Tasa de crecimiento relativo de microorganismos	41
Figura No. 3. Variación de la producción de biogás en función del proceso de fermentación y la etapa de desintegración.	43
Figura No. 4. Área de caña sembrada y en producción	47
Figura No. 5. Número de porcicultores	57
Figura No. 6. Cantidad de cerdos establecidos y peso promedio (Kg)	58
Figura No. 7. Cuadro de triple entrada	59-62
Figura No 8. Media y desviación estándar para la producción de gas	78
Figura No. 9. Resultados de laboratorio análisis de lixiviados	80

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico No 1 Producción de gas según el modelo estudiado.	78
Gráfico No 2 Producción de gas según el modelo proyectado	79

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla No. 1. Cantidades de biomasa contenidas en el biodigestor.	25
Tabla No. 2. Máximas presiones del biogás	25
Tabla No. 3. Cuantificación de Residuos y Conversión de Biogás	27
Tabla No. 4. Composición química del biogás	28
Tabla No. 5. Consumo de biogás de los diferentes equipos	29
Tabla No. 6. Producción de estiércol y biogás en cada especie animal	29
Tabla No. 7. Producción de biogás y tamaño del biodigestor, según la cantidad de cerdos	29
Tabla No.8. Propiedades de una composición estándar de biogás	30
Tabla No.9. Componentes del biogás y su efecto en las propiedades	31
Tabla No. 10 Parámetros presentes en las etapas principales de degradación.	40
Tabla No. 11. Rango de Temperatura y Tiempos de fermentación anaeróbica	42
Tabla No. 12. Normas aplicadas a la investigación	47
Tabla No. 13. Variables, información obtenida y unidad de medida	50
Tabla No. 14. Variables 1, 2 y 3: Área sembrada y en producción de caña, y cantidad de caña procesada por molienda y mensualmente.	54
Tabla No. 15. Variables 4 y 5: Cantidad de bagazo y cachaza al mes	55
Tabla No. 16. Variables 6 y 7: Tiempo de duración por molienda y cantidad semanal	56
Tabla No. 17. Cantidad de porcicultores	56
Tabla No. 18. Variables 9 y 10: Cantidad de cerdos establecidos y peso promedio	57
Tabla No. 19. Variable 11: Cantidad de estiércol producido	58
Tabla No. 20. Cantidad de Biogás esperado	66
Tabla No. 21. Tiempo de retención y Materia prima	67
Tabla No. 22. Cantidad de cieno de fermentación	67
Tabla No. 23. Producción de biogás y tamaño del biodigestor/ cantidad de cerdos	68
Tabla No. 23. Producción diaria de biogás y tamaño de biodigestor	68
Tabla No. 24. Registro de temperatura, cantidad de energía y costo de operación utilizada en la producción de biogás en biodigestor prototipo	72
Tabla No. 25. Producción diaria de biogás, gastos de agua, estiércol y energía eléctrica	

en la operación del biodigestor	74
Tabla No. 26. Producción diaria de biogás, gastos de agua, estiércol en la operación del biodigestor modelo	75
Tabla No. 27. Producción diaria de biogás, gastos de agua, estiércol en la operación del biodigestor modelo y proyectado.	77

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo No. 1: Presupuesto	91
Anexo No. 3. Formato de encuesta	92
Anexo No. 3. Registro fotográfico	93

RESUMEN

Los pueblos deben tener una visión holística para generar un desarrollo que integren los saberes al beneficio de la humanidad. En este sentido, la presente investigación se enfoca en el uso apropiado de la biomasa como materia prima para la obtención de energía, particularmente generación de biogás, ya que el uso indiscriminado de los recursos no renovables está generando impactos negativos al medio ambiente. Para ayudar a disminuir los impactos, se pone en marcha la implementación de sistemas productivos rentables para la región amazónica, el cual consiste en instalar un sistema de producción panelera, donde se aproveche la biomasa vegetal y animal que se obtenga en los procesos de extracción del jugo de la caña panelera y, las granjas porcícolas en el municipio del Valle del Guamuez, departamento del Putumayo.

La zona que se escogió para realizar dicha investigación fue la vereda Loro Dos y demás comunidades aledañas. En esta zona se realizó la recolección de información primaria como: cantidad de familias, hectáreas de cultivo de caña, cantidad de cerdos y producción panelera. Una vez que se recolectó esta información se cuantifico y cualifico las variantes apropiadas para seleccionar el tipo de biorreactor idóneo que produzca biogás para utilizarlo como energía en el proceso de producción de panela.

El biorreactor seleccionado fue el de flujo continuo, ya que por sus cualidades de ser un sistema abierto permite el ingreso de materia, el idóneo para la producción semanal de biogás requerido para la cocción y la obtención de panela. Para la producción de 6,066 m³/semana de biogás y 1347.143 L/día de bioabono, se necesitó una temperatura interna promedio de 21.4 °C, un ingreso de agua de 1283.29 L/día y 189 kg/día de estiércol de cerdo, por último, el mantenimiento por parte de un funcionario que oscilo en los 21000 pesos día.

Con estos datos recolectados la viabilidad de implementar un sistema de producción de biogás para la producción panelera, es una manera rentable que tienen las familias que dependen de esta actividad.

Palabras claves: Biogás biomasa, extracción, proceso, transformación

ABSTRACT

The development of peoples must be from a holistic view, so that the knowledge is integrated to the benefit of humanity, in this sense the present research focuses on the use that can be given to biomass as a raw material that Allows the obtaining of energy and particularly the generation of biogas

With the purpose of preserving the environment and implementing productive systems that are profitable for the Amazon region, it is intended to install a system of panela production based on the use of plant and animal biomass; That is generated in the processes of the extraction of the juices of the cane panelera and the pig farms, of the municipality of the Valley of the Guamuéz, department of the Putumayo.

For this purpose a process of preliminary information collection was carried out between the residents of the village of Loro Dos and other nearby communities, it was processed and analyzed; With the objective of quantifying the quantities of cane bagasse and pig manure, which will be used in the production of biogas. The above, allowed to select the type of biodigestor prototype is required to install to do the analysis according to the climatic conditions of the area.

Key words: Biogas biomass, extraction, processing, transformation

1. INTRODUCCION

El desarrollo económico de una comunidad, debe buscar, no solo satisfacer las necesidades básicas sino también permitir su crecimiento de forma sostenible mediante el aprovechamiento de los recursos naturales y reutilizando los residuos aprovechables de las diferentes actividades productivas. Esto con el fin de generar la preservación de los ecosistemas tales como los del piedemonte amazónico, ya que por su gran diversidad biológica produce recursos imprescindibles para la existencia del hombre.

Un desarrollo económico para la región que genere bienestar social en las comunidades, es la implementación de actividades productivas enfocadas en el sector agrícola y pecuario, donde se destacan los sistemas silvopastoriles, cultivos de caña panelera, cacao, plátano, pimienta, ganadería bovina, porcina y las especies menores. Como resultado de estas actividades agropecuarias se genera una gran cantidad de subproductos de cosechas y desechos (materia fecal, hojas, tallos, etc.). Estos residuos orgánicos han tenido amplio estudio a través del tiempo para su utilización como biomasa, es decir como materia prima para la obtención de energía como la producción de biogás.

Con el fin de conservar el medio ambiente e implementar sistemas productivos que sean rentables para la región amazónica, se pretende instalar un sistema de producción de panela, en donde una de las fuentes de combustión para el proceso de transformación de las mieles se base en el aprovechamiento de la biomasa vegetal y animal que se genera en los procesos de la extracción de los jugos de la caña panelera y las de las granjas porcícolas, del municipio del Valle del Guamuez, departamento del Putumayo.

Por consiguiente, se realizaron una serie de encuestas a los habitantes de la vereda Loro Dos y demás comunidades aledañas, esto con el fin de recolectar información primaria, para realizar la cuantificación de biomasa vegetal y animal que producen diariamente estas actividades. Una vez que se recolectó esta información se cuantificó y cualificó las variantes apropiadas para seleccionar el tipo de biorreactor idóneo que produzca biogás para utilizarlo como energía en el proceso de producción de panela.

Con la implementación de un biodigestor de flujo continuo se busca satisfacer las necesidades energéticas del trapiche panelero y aprovechar los subproductos del proceso de la producción de la panela y de la porcicultura con un sistema óptimo de generación de energía, minimizando el impacto ambiental generado en ambos procesos.

2. ESTADO ACTUAL DEL ARTE O CONTEXTO DEL PROBLEMA

El departamento del Putumayo está ubicado al sur de Colombia, en la región amazónica, y tiene trece (13) Municipios: Mocoa (su capital), Villa Garzón, Sibundoy, Caicedo, Santiago, Guzmán, Orito, Colón, San Miguel, Puerto Asís, Valle del Guamuez, San Francisco y Puerto Leguízamo (Plan Departamental de Desarrollo 2012-2015). Uno de los municipios más representativos es el Valle del Guamuez, que tiene una población proyectada según el DANE (2005), para el año 2012 de 49.934 habitantes, con una densidad poblacional de 55.15 habitantes/km², ubicándolo en el segundo lugar (después de Puerto Asís) en el contexto departamental, con un equivalente del 15% de la población del Putumayo. De estos habitantes, 19.863 (39,8%) se ubican en la cabecera municipal y 30.071 (60.2%) en el resto del Municipio. Del total de población 25.694 (51.45%) son hombres y 24.240 (48.55%) son mujeres. El 88.5% (44.192) de la población es mestizo, el 9% es indígena (4.494) y 2.5% es afro descendiente (1.248) (Plan de Desarrollo Municipal Valle del Guamuéz. 2012).

En general, sus habitantes se dedican a la agricultura, ganadería y explotación petrolera. En la parte agrícola con cultivos de cacao, silvopastoril, caña, plátano, yuca, entre otros; en la parte pecuaria se destaca la ganadería extensiva y especies menores. En la parte minera se destaca la explotación petrolera. Según informe de la Oficina de las Naciones Unidas para la Droga y el Delito UNODC, para el año 2012, el cultivo de caña en el municipio del Valle del Guamuez registra un área cultivada de 115.73 Has. Las veredas más representativas son: Loro dos con el 24,65%, Bellavista con el 13,64% y las Vegas con el 7,83 %, sin embargo, esta producción solo abastece el 40% de la demanda de panela de una población de 49.934 habitantes, razón por la cual muchas entidades a nivel gubernamental y nacional han incentivando el cultivo de caña panelera para cubrir la demanda existente. Al aumentar las plantaciones del cultivo de caña, son mayores las cantidades de panela a procesar mensualmente.

Este trabajo investigativo estuvo enfocado en la línea de los biosistemas integrados como una solución alternativa a la utilización de leña en la generación de energía calórica para el procesamiento de la panela, mediante el aprovechamiento de la biomasa animal generada de la actividad pecuaria de la porcicultura y sometida al proceso de biodigestión para la generación de

biogás; propuesta práctica para atenuar los efectos del cambio climático, darle un aprovechamiento a la biomasa inutilizada, que actualmente se vierte a caños y fuentes hídricas ocasionando contaminación ambiental; y la implementación de tecnologías de producción más limpia como es la aplicación del sistema de biodigestores, siendo ésta una solución promisoría.

En el proceso agroindustrial de producción de panela, se requiere generar energía calórica para el funcionamiento de la hornilla lo cual permite la cocción del jugo de caña, punteo y finalmente el moldeado del producto. Actualmente para el funcionamiento de la hornilla se utiliza la leña proveniente de los bosques secundarios y de un huerto dendroenergético sembrado por la organización; sin embargo, la gran cantidad de panela que se procesa mensualmente genera la deforestación de grandes áreas de bosque para obtener producto maderable y ser utilizado como fuente de combustión.

Por lo anterior y considerando que el Putumayo es un departamento que pertenece a la Amazonía, donde el principal objetivo es conservar las áreas de bosque tropical húmedo y toda su biodiversidad, según la Ley 2da de 1959, se debe implementar un nuevo sistema de procesamiento de la panela que sea amigable y no genere impactos negativos en el medio ambiente. Pero de igual manera que dicha alternativa sea rentable para el productor.

2.1.Una mirada de conjunto a la problemática

Aspectos de interés para el planteamiento de la problemática que orienta esta investigación son el deficiente aprovechamiento de los subproductos resultantes del procesamiento de la panela como el bagazo y la cachaza que se generan en grandes cantidades por la frecuencia en la molienda y por otro lado encontramos la gran cantidad de estiércol procedente de las granjas de los porcicultores, estas debilidades concuerdan con los diagnósticos regionales planteados en los Planes de Desarrollo, del municipio de Valle del Guamuez.

De igual forma, encontramos que el gran deterioro ambiental es causado por la gran cantidad de bosques talados para la obtención de madera como fuente de energía calórica, generando el aumento de las tasas de deforestación, más de lo esperado para estos últimos diez años y concomitante a lo mencionado se encuentran los persistentes niveles de pobreza, el bajo nivel

educativo de la población en edad de trabajar; la ausencia de empresas generadoras de empleo y la falta de estrategias de inserción productiva para los jóvenes de la región.

El fortalecimiento del capital humano de las regiones, implica elevar su capacidad para entender y atender la vocación agroindustrial, turística y eco-ambiental del territorio que habita y así de esta manera evitar la migración del campo a la ciudad, la inclusión en los cultivos ilícitos y la vinculación a los grupos al margen de la ley.

2.2. Planteamiento del problema

La Asociación Agropecuaria e Industrial Loro Dos—AGRILODS, del municipio de Valle del Guamuez, es una organización campesina sin ánimo de lucro, que desarrolla la agricultura, a través del cultivo y procesamiento de la caña de azúcar y la porcicultura. Su propósito central es la promoción del auto sostenimiento a partir de su producción panelera, así como el fomento a su sustentabilidad económica en el largo plazo.

Por otra parte, una de las limitantes para esta asociación es la falta de asesoría en temas de producción de energías alternativas por profesionales idóneos en el tema. La falta de motivación en las comunidades, hacia el desarrollo sostenible está basado en la poca información que les llega, pese a estar en la era informática, esta falencia hace que una comunidad no rompa con el ciclo de una vida planteada de manera muy rústica, sin miras a agilizar procesos que favorezcan su progreso económico.

2.3. Historial de la problemática conducente a la investigación

La apuesta de integración se centra en la sostenibilidad de la producción a largo plazo que permita a las familias ser auto sostenibles con un incremento de su capacidad adquisitiva y así optar por una mejora de la calidad de vida a partir de una situación vivencial planteada en el campo, pero también en el aprovechamiento de aquellos nuevos conocimientos necesarios para cumplir con sus proyecciones como organizaciones.

Por otro lado, los documentos de investigación generados deben servir para introducir a las nuevas generaciones en la historia y procesos colectivos de sostenibilidad de la región, además deben convertirse en instrumentos de reconocimiento de las experiencias y saberes individuales y colectivos de la gente.

Compartir la información y los conocimientos, no sólo con los miembros de la asociación relacionadas con AGRILODS, sino también con todos aquellos que de alguna manera vienen trabajando en el mismo sector productivo para que en las comunidades se refleje el bienestar general.

2.4.Pregunta de investigación

¿Qué cantidad de biomasa se requiere para la producción de biogás que satisfaga las necesidades de combustión del proceso de panela?

3. JUSTIFICACION

Según el reporte del año pasado sobre la deforestación, Colombia está perdiendo 178597 hectáreas de bosques. El espectador (2017), cifra a la cual la asociación AGRILODS-municipio valle del Guamuez contribuye utilizando los bosques como fuente energética para realizar sus procesos de elaboración de panela. Referente a esto se planteó realizar la presente investigación con el fin de implementar un sistema de producción basado en la utilización de la biomasa animal que actualmente se genera, resultado de la actividad pecuaria para la generación de biogás y su aprovechamiento como alternativa energética para el proceso de elaboración de la panela.

La ejecución de este proyecto permite optimizar el ciclo productivo donde se aproveche de manera articulada todos los subproductos de cada actividad productiva: De esta forma, los excedentes de la caña como tallos, hojas, cogollos y la cachaza, se utilizan para la alimentación de los cerdos; éstos a su vez proveen la biomasa animal que es la materia prima para la generación del biogás que es utilizado en la combustión de la transformación de la panela y del bio-abono como fertilizante de los cultivos de caña panelera.

De otro lado, a nivel social y económico este tipo proyectos, fomentan el empleo agropecuario de los productores de caña y porcicultores, incentivando la producción y minimizando el riesgo de que regresen al cultivo ilícito que por tres décadas tuvieron y que ha sido el origen de la basta problemática ambiental, social y de orden público, que ha vivido esta región del departamento del Putumayo.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar la viabilidad de la implementación de un biodigestor como alternativa energética para el funcionamiento del trapiche panelero de la Asociación Agroindustrial Loro Dos –AGRILODS, del municipio del Valle del Guamuez.

4.2. Objetivos específicos

- Cuantificar la cantidad de biomasa animal y vegetal producida de las actividades de la porcicultura y la producción de panela.
- Determinar el tipo de biodigestor requerido, de acuerdo a la información obtenida, basado en la disponibilidad de biomasa, condiciones climáticas y requerimientos energéticos del trapiche panelero.
- Instalar un biodigestor prototipo de acuerdo a las referencias de otros sistemas de biodigestores ya implementados, con el objeto de hacer un análisis cualitativo y cuantitativo de la producción de biogás.

5. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

5.1. Antecedentes de la investigación

Fernández J. y Saavedra C (2007) realizaron una investigación titulada “Obtención de biogás a partir del bagazo de caña y estiércol” para la revista Científica Juvenil de la U.E. Liceo Bolivariano Libertador, del estado de Mérida - Venezuela, tuvo como objetivo general desarrollar tecnologías alternativas a bajo costo para la obtención de biogás a partir del bagazo de caña y estiércol. El estudio se enmarcó dentro de una investigación de campo, de tipo explicativo y experimental, la muestra se conformó por dos biodigestores a los que se les hizo un estudio de la presión ejercida por el biogás, las proporciones de aire, dióxido de carbono, la presión ejercida por el biogás producido, a través de la cromatografía gaseosa; el tiempo de retención de la materia orgánica y un análisis estadístico de los resultados. Los resultados obtenidos demostraron que el biodigestor construido fue eficiente, no solo en la producción de Biogás a partir del bagazo de caña y estiércol a temperatura ambiente, sino también en la producción de un bio-abono rico en nutrientes el cual puede ser utilizado como fertilizante natural en suelos de baja calidad y poca vegetación.

Tabla No. 1. *Cantidades de biomasa contenidas en el biodigestor.*

BIODIGESTOR	1	2
Estiércol	25%	50%
Bagazo	75%	50%

Se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla No. 2. *Máximas presiones del biogás*

Temperatura	Ambiente 1
Biodigestor	(25°C)
Biodigestor 1	65 mm
Biodigestor 2	80 mm

BDT 1: Temperatura Ambiente1 (25°C): 25% Estiércol / 75% Bagazo

BDT 2: Temperatura Ambiente1 (25°C): 50% estiércol / 50% Bagazo

En la tabla anterior, se pueden observar las máximas presiones de biogás registradas en un manómetro durante 42 días de duración del experimento donde la máxima presión se dio en un Biodigestor a temperatura ambiente (25°C); el cual se encontraba alimentado con 50% de Bagazo de Caña y 50% de Estiércol.

Adicionalmente, Gropelli y otros (s.f.), realizaron el proyecto de implementación de un biodigestor anaeróbico en la Comuna de Emilia (Provincia de Santa Fe, Argentina). El proyecto permitió tratar todos los residuos orgánicos de la escuela y el casco urbano de la localidad, con una población estudiantil de 100 estudiantes y una población estable de 800 habitantes. El biogás producido se utilizó como combustible alternativo, para distintos fines dentro de la misma escuela y el residuo orgánico estabilizado como mejorador de suelos en la chagra que el establecimiento educativo también posee “separación en origen”, alternativa que permite tener en bolsas separadas, por un lado, la materia orgánica (húmeda, que rápidamente fermenta) y por otro los elementos factibles de reciclar, como (papel, cartón, vidrio, plásticos, latas, trapos, etc.).

Se realizaron varias experiencias a escala de laboratorio, en un biodigestor para funcionamiento continuo, a una temperatura de 35°C (Valor óptimo para la flora anaeróbica mesofílica), originando resultados de conversión de materia orgánica en biogás, a distintas velocidades de carga que posibilitaron un funcionamiento estable.

Se resalta la importancia de tener en cuenta el porcentaje de agua contenido en los residuos orgánicos domiciliarios separados en origen, debido a que la digestión anaeróbica es una buena alternativa para llevar a cabo la estabilización de estos residuos. En consecuencia, una baja cantidad de residuos estabilizado se obtiene, del orden de los 100 kg de sólidos secos por cada tonelada materia orgánica fresca que ingresa al biodigestor.

Una vez realizada la valoración de los residuos disponibles en la escuela y en el casco urbano de la comuna, se obtuvo el siguiente balance, por lo que la producción de biogás factible de obtener se presenta a continuación:

Tabla No. 3. *Cuantificación de Residuos y Conversión de Biogás*

Tipo de residuo	Kg. Frescos por día	Kg. de sólidos secos por día	Kg. de sólidos volátiles por día	Producción diaria de biogás M3/día
Estiércol de cerdos (Escuela)	15	2,70	2,16	0,900

5.2. Bases Teóricas

5.2.1. Producción de biomasa en las actividades agropecuarias

El desarrollo de las actividades agropecuarias como la porcicultura y el cultivo de la caña panelera aportan los productos primarios que se utilizan directamente para su venta en el mercado como son la carne y la panela, sin embargo, quedan los subproductos (estiércol, cachaza, bagazo y hoja de caña) que no son utilizados actualmente como insumos de bajo costo.

Tolosa J. (2007), considera que la biomasa se utiliza para la generación de calor, frío, electricidad o transporte. Para facilitar su uso se transforma en biocombustible (biogás), sólido (pellets, astillas) y líquido (biodiesel o bioetanol). Además, es un combustible no fósil, neutro desde el punto de vista del ciclo de carbono (ciclo natural del carbono entre la tierra y el aire). Así mismo, Aniarte V. (2006), manifiesta que los subproductos tanto animales como vegetales resultantes de las actividades agropecuarias, a través de la energía solar son convertidos en materia orgánica, comúnmente denominada biomasa, la cual puede ser utilizada para producir biocombustibles como el bioetanol, biodiesel y el biogás.

Pérez J. (2010), manifiesta que cualquier sustrato puede ser utilizado como biomasa en cuanto contenga carbohidratos, proteínas, grasas, celulosa y hemicelulosa como componentes principales.

Para seleccionar la biomasa se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- Contenido de sustancias orgánicas debe ser el apropiado para el tipo de fermentación elegido.

- Valor nutricional de la sustancia orgánica se relaciona directamente con el potencial de formación de biogás, por ende, se busca que sea lo más alto posible.
- El substrato debe estar libre de agentes patógenos que puedan inhibir el proceso de fermentación.
- El contenido de sustancias perjudiciales o tóxicas debe ser controlado para permitir una tranquila evolución de la fermentación.
- Es importante que el resultado final del substrato (después de haber aprovechado la fermentación para generar biogás) sea un deshecho utilizable como, por ejemplo: fertilizante.

5.2.2. Estiércol de Porcino

Según Rodríguez D y Urbina A. (s.f), una tonelada de estiércol contiene: 250 kg de materia orgánica, 5 kg de nitrógeno, 2.5 kg de ácido fosfórico y 5 kg de potasa. Así mismo, presenta la siguiente composición química del biogás (ver tabla No. 4), las cantidades de consumo de biogás según los diferentes equipos (ver tabla No. 5), la cantidad de producción de estiércol de acuerdo a cada especie animal (ver tabla No. 6) y un cálculo de producción de biogás de acuerdo al número de cerdos disponibles:

Tabla No. 4. *Composición química del biogás*

Componentes	Porcentaje
Metano	60-70%
Gas carbónico	30 – 40%
Hidrógeno	0,5%
Nitrógeno	0,1 %
Oxígeno	0,1 %
Ácido Sulhídrico	0,1%

Tabla No. 5. *Consumo de biogás de los diferentes equipos*

Equipos	Consumo de biogás
Cocina (2 fuegos)	0.4 a 0,55 m3/hora
Lámpara de luz	0,12 a 0,15 m3/hora
Refrigeradora 9 pies	0,25 a 0,32 m3/hora

Tabla No. 6. *Producción de estiércol y biogás en cada especie animal*

Tipo de animal	Estiércol	Biogás/Kg
Vacas	6-10 kg/d	60 lts
Cerdos	2.25 kg/d	78 lts
Gallinas	0,18 kg/d	62 lts
Humanos	400 g/d	70 lts

Tabla No. 7. *Producción de biogás y tamaño del biodigestor, según la cantidad de cerdos*

Número de cerdos	Estañones de estiércol	Tamaño de digestor m3	Producción de biogás m3/día
15 – 25	0,25 – 0.5	5 – 10	2.7 – 4.5
25 – 40	0,75 – 1	10-15	4.5 – 7.3
40 – 85	1 – 1.5	15 – 30	7.3 – 10.5
85- 100	1,5 – 1,76	30 - 45	15,3 - 16,2

5.2.3. Tratamientos aplicables a los purines

Según Pérez J. (2010), los purines pueden considerarse de manera similar al agua residual doméstica, con una carga orgánica de 15 a 80 veces mayor, con generación de lodos, donde el tratamiento y eliminación de los residuos animales es más complejo por su naturaleza y por los grandes volúmenes que son generados.

Samani, Zohrab (2004) en el documento “Generación de energía y fertilizantes orgánicos a partir de residuos agrícolas”, considera que para el tratamiento de los purines es posible utilizar tanto los sistemas anaerobios como aerobios, sin embargo, según el aumento de la materia orgánica no

permite mantener las condiciones aeróbicas durante las épocas de invierno, lo que implica al menos seis a ocho semanas para estabilizar los sistemas aeróbicos, tiempo durante el cual la generación de olores es un problema significativo, que es casi imposible de eliminar. En este sentido la cantidad de producción de biogás es directamente proporcional a la cantidad de estiércol (Ver tabla No. 7)

Así mismo Zorg, afirma que el purín por si solo o mezclado con agua durante la limpieza de los alojamientos generalmente se encuentra con una concentración demasiado alta para ser descompuesto aeróbicamente en una estructura de tratamiento o almacenamiento de estiércol, debido a que el oxígeno no se puede disolver lo suficientemente rápido para soportar las bacterias aeróbicas. Por lo tanto, el estiércol se descompone secuencialmente en grupos de bacterias anaeróbicas.

5.2.4. El biogás

Fernández J. y Saavedra C (2007), conceptualizan el biogás como una mezcla de gases cuyos principales componentes son el metano (CH₄) y el dióxido de Carbono (CO₂) que se produce como resultado de la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire, por la acción de un grupo de microorganismos. Según Ward A. las propiedades del biogás son: (Ver Tabla No. 8).

Tabla No.8. *Propiedades de una composición estándar de biogás*

Composición	55-70% metano
	30-45% Dióxido de carbono
	Trazas de otros elementos
Energía contenida	6,0 – 6,5 Kwh./m ³
Equivalente en combustible	0,6 – 0,65 L petróleo/m ³ biogás
Límite te explosión	6- 12 % biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750 °C (según contenido de metano)
Presión crítica	75 89 bares
Temperatura Crítica	-82.5°C
Densidad normal	1,2 Kg./m ³
Olor	Huevos en mal estado

Masa molar	16,043 Kg./kmol
-------------------	-----------------

Pérez J. (2010), considera que el gas más conocido que posee metano es el biogás, existen muchas variantes de gas natural dependiendo de su lugar de origen y se diferencian en su composición química, en su razón de elementos químicos y por ende en sus propiedades.

5.2.5. Componentes presentes en el biogás y sus efectos

Según Pérez J. (2010), los componentes más comunes que se encuentran en el biogás son: vapor de agua, polvo, siloxenos. A continuación, en la Tabla No. 9 se muestra un resumen de los efectos del comportamiento del biogás.

Tabla No.9. *Componentes del biogás y su efecto en las propiedades*

		Baja el poder calorífico
CO2	25 – 50% vol	Incrementa el número de metano
		Causa corrosión
		Daña celdas alcalinas de combustible
H2S	0 – 0,5 % vol	Corrosión en equipos y piping
		Emisiones de SO2 después de los quemadores
		Emisión de H2S en combustión imperfecta
		Inhibición de catálisis
NH3	0 – 0,05 % vol	Emisión de Nox
		Daño en las celdas de combustibles
Vapor de agua	1 – 5 % vol	Corrosión en equipos y piping
		Daños de instrumentación por condensado
		Riesgo de congelar y bloquear tuberías y válvulas
Polvo		Bloquea las boquillas y celdas de combustibles
N2	0 – 5 % vol	Baja el poder calorífico
Siloxenos	0 – 50 [mg/m3]	Actúan como abrasivos, daño en motores.

Fuente: Biogás from waste and renewable, Dieter Deublein y Angélica Steinhauser, 2008 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

Según Fernández J. y Saavedra C (2007), el Biogás con su alto contenido de metano, es una fuente de energía que puede ser utilizado para cocinar, iluminar, operar máquinas agrícolas, bombear agua o generar corriente eléctrica.

5.2.6. Efectos del CO₂ en el biogás

De acuerdo a las consideraciones de Pérez, J. (2010), la presencia de CO₂ en el biogás se mide en la razón de CO₂/metano [% vol.] y puede ser controlada parcialmente debido a que es esencial en la formación de metano en el gas por lo que se busca no hacerlo desaparecer.

5.2.7. Los factores que afectan la composición de CO₂ son:

- La presencia de compuestos con largas cadenas de hidrocarburos por ejemplo compuestos con alto contenido en grasas ayudan a mejorar la calidad del gas cuidando de no afectar la acidez, la cantidad de átomos de Carbono presentes en el substrato se relaciona directamente con el porcentaje en volumen de metano presente en el biogás.
- Generalmente la descomposición anaeróbica de la biomasa mejora con el tiempo de exposición, cercano el final del tiempo de residencia el contenido de metano aumenta desproporcionadamente a medida que el contenido de CO₂ va desactivando el proceso de hidrólisis.
- El proceso de fermentación toma lugar de manera más rápida si el material en el reactor está distribuido homogéneamente.
- Un alto contenido de líquido en el reactor influye en una alta concentración de CO₂ disuelto en el agua, lo que disminuye el nivel del CO₂ presente en la fase gaseosa.
- A mayor temperatura de fermentación, disminuye la cantidad de CO₂ disuelto en el agua.
- Una alta presencia durante el proceso lleva a una mayor concentración de CO₂ presente en el agua, esto se puede aprovechar si se purga material con alto contenido de CO₂ disuelto en el agua (claramente una vez iniciado el proceso de proliferación bacteriana).

5.2.8. N₂ y O₂ presentes en el biogás

Según lo plantea Pérez J. (2010), el nitrógeno y el oxígeno presentes en el biogás se encuentran normalmente en proporción de 4:1 y usualmente se incorporan en las etapas de ventilación que tienen como objetivo eliminar el ácido sulfhídrico presente en el reactor, estos gases pueden entrar también normalmente en pequeñas cantidades si el sistema de tuberías no está perfectamente hermético.

5.2.9. Amoníaco presente en el biogás

Normalmente la concentración de amoníaco es baja (<0,1 mg/m³), cuando los substratos usados provienen del excremento de aves o algunos casos particulares de basura, la presencia de amoníaco se puede incrementar hasta no superar los 1.5 mg/m³ por sobre este límite existe riesgo para los quemadores inclusive para la vida de los motores utilizados.

5.2.10. Ácido Sulfhídrico presente en el biogás

Pérez J. (2010) conceptualiza que la cantidad de presente en los gases de escape depende principalmente del proceso utilizado para la obtención del biogás y del tipo de substrato involucrado, si no existe un paso de desulfurización, la concentración de puede exceder de 0.2% vol. Cuando el sustrato fermentado es viscoso el contenido de es menor que en el caso de un substrato líquido.

Un objetivo primordial es mantener el contenido de ácido sulfhídrico a los niveles más bajos posibles, porque aguas abajo la mayoría de los componentes sufren daños irreversibles debido al alto potencial de corrosión del H₂S, usualmente el biogás es desulfurizado aún mientras permanece en el reactor.

A través de un proceso de pre-desulfurización se puede ayudar a mantener un nivel inferior a 70 mg/m³ en planta que utilizan co-substratos o por debajo de 310 mg/m³ en planta que utilizan

excretas líquidas para la fermentación. A pesar de los esfuerzos, el H₂S siempre está presente en niveles altos.

Según Martínez R. y Otros (2008), el sulfuro de hidrógeno contenido en el biogás, junto a la humedad de éste, se convierte en ácido sulfúrico, el cual es nocivo para ciertos equipos como calentadores de agua, motores o refrigeradores. Por lo tanto, la reducción del sulfuro de hidrógeno se hace necesaria cuando el biogás presenta sobre 2% en volumen de este compuesto. Sin embargo, la desulfuración no es necesaria si el biogás contiene menos del 1% de este compuesto.

Pérez J. (2010), manifiesta que con el fin de eliminar el porcentaje de en el biogás se emplean sistemas de filtro con sustancias como cal viva o apagada, limadura de hierro o ciertos tipos de tierras conocidas como hematites parada o limonita, las cuales son ricas en sustancias ferrosas. Estas masas se regeneran al entrar en contacto con aire por lo que podrán ser usados nuevamente. La capacidad absorbente de esta masa depende de la cantidad de hierro que contengan. Una masa que contiene entre 5 al 10% de hidróxido de hierro puede absorber 15g de sulfuro por kilo sin ser regenerada, pudiendo remover hasta 150g de sulfuro al ser regenerada.

5.2.11. Biodigestión

Según Botero R. y Preston T. (1987), la biodigestión es la fermentación realizada por bacterias anaeróbicas sobre la materia orgánica, componente de un 80% de las excretas y posee las ventajas de:

- Proporcionar combustible (biogás) para suplir las principales necesidades energéticas rurales.
- Reducir la contaminación ambiental al convertir las excretas, que hacen proliferar microorganismos patógenos, larvas e insectos, en residuos útiles.
- Producir abono orgánico (bio-abono), con un contenido mineral similar al de las excretas frescas e igualmente útil para los suelos, los cultivos y para el desarrollo del fitoplancton utilizados por algunas especies acuáticas en su alimentación.

- Mediante la digestión por bacterias anaeróbicas se destruyen microorganismos, huevos de parásitos y semillas de malezas contenidos en las excretas frescas quedando el fertilizante residual libre de tales gérmenes y plantas indeseables.

5.2.12. Reacciones biológicas (Digestión Anaeróbica)

Según Fernández, J y Saavedra, C (2007), la descomposición anaerobia es uno de los pocos procesos naturales que no se había explotado plenamente sino hasta hace poco tiempo. Los chinos utilizan desde hace décadas “lagunas cubiertas” para suministrar combustible de metano a las comunidades. No obstante, el primer intento hecho para construir un biodigestor, con el fin de obtener metano a partir de desechos orgánicos, se cree que se produjo en la India, en el año de 1900. Durante la Segunda Guerra Mundial, la escasez de combustibles en Alemania condujo al desarrollo de plantas de metano en las zonas rurales, donde se utilizaba el gas para el funcionamiento de tractores. La idea se extendió por Europa Occidental; pero se apagó cuando volvió a disponerse de combustibles fósiles.

Kiely G. (1999), en el documento “Ingeniería Ambiental: Fundamentos, entornos, Tecnologías y sistemas de gestión”, considera que el proceso unitario de tratamiento de digestión anaerobia se emplea en todo el mundo para la depuración de aguas residuales y fangos procedentes de la industria, la agricultura y de origen urbano.

La FAO, considera que la digestión anaeróbica es un proceso biológico, completo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos de animales y vegetales, son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano, con trazas de otros elementos por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (e.g. H₂O₂). Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. En la digestión anaeróbica más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose solo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico.

En la digestión anaeróbica, los microorganismos metano génicos desempeñan la función de enzimas respiratorios y, junto con las bacterias no metano génicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. De esta forma, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás que abandona el sistema. Sin embargo, el biogás generado suele estar contaminado con diferentes componentes, que pueden complicar el manejo y aprovechamiento del mismo.

Por su parte, Pérez J. (2010), considera que la digestión anaeróbica es uno de los procesos más utilizados, para el tratamiento de purines, en el que la materia orgánica es transformada biológicamente, bajo condiciones anaeróbicas, en metano y dióxido de carbono. Además de esta corriente gaseosa, se produce también una suspensión acuosa de materiales sólidos (lodos), en los que se encuentran los componentes más difíciles de degradar, la mayor parte del nitrógeno y el fósforo y la totalidad de los elementos minerales (K, Ca, Mg, etc.). El gas producido puede ser recogido y utilizado como combustible. El fango final estabilizado, que se extrae no es putrescible y su contenido en organismos patógenos es nulo o muy bajo. Esta conversión biológica del sustrato complejo, en el que se encuentra materia orgánica en suspensión o disuelta, se realiza a través de una serie de reacciones bioquímicas que transcurren tanto consecutiva como simultáneamente. Este proceso biológico natural es realizado por grupos o comunidades de bacterias en recipientes cerrados (reactores), de acuerdo a lo manifestado por Botero R. y Preston T (1987) en el documento “Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas”.

Según Álvarez J. y Otros (s.f.), la digestión anaerobia es un proceso ampliamente conocido en la práctica, se posee en la actualidad una información muy limitada sobre su química y su microbiología. Sin embargo, se puede afirmar en líneas generales que la digestión anaerobia se desarrolla en tres etapas durante las cuáles la biomasa se descompone en moléculas más pequeñas para dar biogás como producto final, por la acción de diferentes tipos de bacterias.

5.2.13. Variables que influyen en el proceso.

- Temperatura: se encuentra un óptimo de funcionamiento alrededor de los 35 ° C

- Acidez: determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás, habiéndose encontrado que el valor óptimo de pH oscila entre 6,6 y 7,6
- Contenido en sólidos: se suele operar en mejores condiciones con menos de un 10% en sólidos, lo que explica que la biomasa más adecuada sea la de alto contenido en humedad.
- Nutrientes: para el crecimiento y la actividad de las bacterias, éstas tienen que disponer de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales
- Tóxicos: aparte del oxígeno, inhiben la digestión concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas.

Álvarez J. y Otros (s.f.), describen el producto principal de la digestión anaerobia: el biogás, como una mezcla gaseosa de metano (50 a 70%) y dióxido de carbono (30 a 50%), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), cuya composición depende tanto de la materia prima como del proceso en sí. La cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 l/kg de sólidos degradables, con un contenido de metano del 70%.

De acuerdo a lo considerado por Pérez J. (2010), generalmente después del digestor anaerobio se incorpora una laguna de almacenamiento, en la cual se acumula el afluente tratado en el biodigestor, el cual está compuesto por diversos productos orgánicos e inorgánicos y se puede utilizar para la fertilización de los suelos.

Pérez, J. (2010), referencia la fermentación metánica como un proceso complejo que se divide en $\frac{3}{4}$ etapas de degradación:

- Hidrólisis y acido génesis
- Acetogénesis
- Metanización

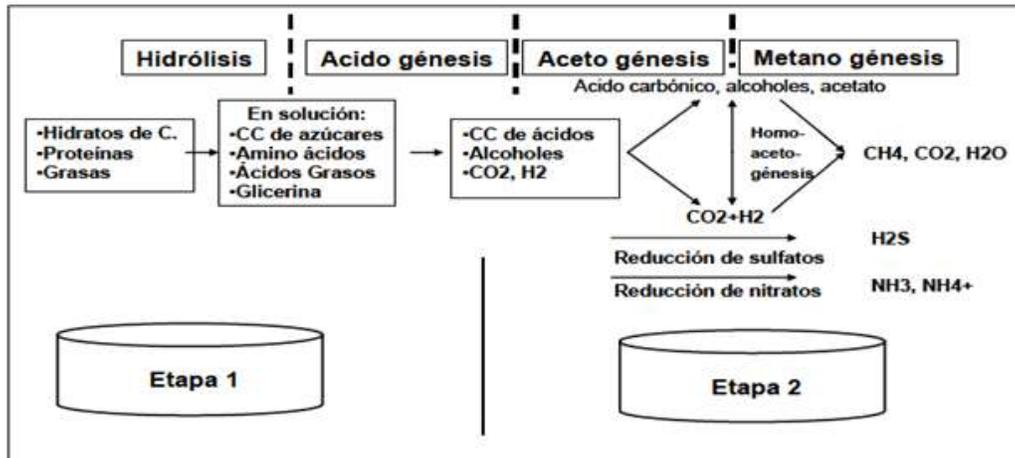


Figura No. 1: *Etapas de degradación de la biomasa*

Fuente: Pérez, J. (2010). “Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros”.

Universidad de Chile. Santiago de Chile.

5.2.14. Hidrólisis

Según planteamientos de Pérez, J. (2010), en esta etapa (hidrolítica) un amplio grupo de microorganismos indisolubles hidrolíticos como la celulosa, proteínas y grasas son fragmentados en monómeros por enzimas (hidrolasa), estas enzimas provienen exclusivamente de bacterias de metabolismo anaeróbico y actúan sobre los polímeros orgánicos u otros materiales complejos despolimerizándolos enzimáticamente en los correspondientes monómeros o fragmentos más sencillos.

Posteriormente estos compuestos experimentan un proceso de fermentación que origina diferentes ácidos orgánicos. Esta etapa resulta indispensable para lograr la ruptura de los biopolímeros complejos en polímeros solubles o monómeros, puesto que los microorganismos que realizan la depuración solamente son capaces de actuar sobre materia orgánica disuelta.

La hidrólisis de los carbohidratos toma lugar en algunas horas, para las proteínas el proceso toma algunos días y en el caso de la lignocelulosa el proceso es muy lento e incompleto. La sostenibilidad de esta etapa se basa en que la presencia de microorganismos anaeróbicos consume

el oxígeno disuelto en el agua y por ende bajan el potencial redox, lo que es la base para la proliferación de más microorganismos anaeróbicos.

La concentración intermedia de iones de hidrógeno afecta los productos de la fermentación, un ejemplo de degradación acidogénica (del Pirubato)

5.2.15. Fase acetogénica

Pérez, J. (2010), conceptualiza que los productos de la fase ácido génica sirven de sustrato para la formación de otras bacterias, las reacciones de esta etapa son endorgénicas (se necesita energía para la degradación de los productos de la ácido génesis). Las bacterias de esta etapa producen necesariamente H_2 y están en simbiosis constante con los organismos que producen metano. Los organismos metagénicos pueden sobrevivir solo a altos niveles de presión parcial de hidrógeno, si este nivel baja, el H_2 , CO_2 y acetato son producidos por bacterias acetogénicas en el caso contrario predomina la formación de ácido propiónico, butírico, valérico y etanol (entre otros).

5.2.16. Fase metano génica

La cuarta etapa, según Pérez J. (2010), comprende la formación de metano en condiciones estrictamente anaeróbicas, esta degradación es estrictamente energética y no cualquier microorganismo metano génico puede degradar cualquier sustrato, así se pueden distinguir los siguientes grupos:

Tipo $CO_2 = CO_2, HCOO^-, CO$

Tipo Metílico = $CH, OH, CH_3, NH_3, (CH_3)_2, NH_2^+, (CH_3)_3, NH^+, CH_3SH, (CH_3)_2S$

Tipo acetato = CH_3, COO^-

Cuando la metanogénesis funciona, la etapa acetogénica también funciona sin problemas, en el caso contrario comienza una sobre-acidificación.

5.2.17. Bacterias presentes en la etapa metanogénica.

Según Quintero M. (2011), las bacterias metanogénicas pertenecen al reino de las arqueobacterias. De acuerdo a los sustratos que pueden degradar se dividen en: Hidrogenotróficos, capaces de producir metano a partir de hidrógeno y anhídrido carbónico; Aceticlásticos, producen metano y anhídrido carbónico a partir de acetato; Metilótrofos, metabolizan compuestos como metilaminas y metilsulfuros.

Los géneros de metanobacterias hidrogenofílicas más frecuentes en reactores anaerobios son: *Methanobacterium*, *Methanospirillum* y *Methanobrevibacter*.

5.2.18. Parámetros en la producción de biogás

Pérez J. (2010) manifiesta que todos los procesos biológicos involucrados son importantes como la constancia de las condiciones de vida, cambios en la temperatura, en el sustrato o en la concentración de este puede llevar a una cancelación del mecanismo de producción de biogás, en la tabla No. 10 se relacionan los parámetros que regulan cada una de las etapas.

Tabla No. 10 *Parámetros presentes en las etapas principales de degradación.*

Parámetro	Hidrólisis / acidogénesis	Formación metano
Temperatura	28 – 35 °C	Mesofílico (32 – 42 °C)
		Termofílico (50 – 58 °C)
Valor del PH	5,2 – 6,3	(6,7 – 7,5)
Razón C/N	(10 – 45)	(20 – 30)
Contenido MS	< 40% MS	< 30% MS
Potencial redox	(+400 a -300 mV)	-250 mV
Razón C:N:P:S requerida	500:15:5:3	600:15:5:3
Trazas de elementos	N/A	Ni, Co, Mo, Se

5.2.19. Temperatura

De acuerdo a lo considerado por el PNUD, FAO, GEF y MINENERGIA (2011), en el “Manual del Biogás”, los procesos anaeróbicos, al igual que muchos otros sistemas biológicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. La velocidad de reacción de los procesos biológicos

depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que, a su vez, dependen de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayores producciones de biogás.

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 digestión anaeróbica. Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden dar origen a la desestabilización del proceso. Por ello, para garantizar una temperatura homogénea en el digestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura. Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos (Ver Tabla No. 11): 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 (μ_{max}) 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 figura No. 2)

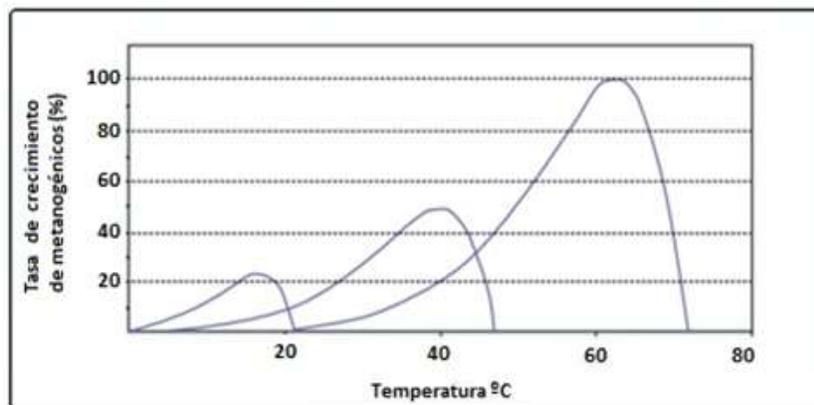


Figura No. 2 Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicrófilos, mesófilos y termófilos.

Fuente: PNUD, FAO, JEF, MINENERGIA (2011). “Manual de Biogás”. Santiago de Chile.

Tabla No. 11. *Rango de Temperatura y Tiempos de fermentación anaeróbica*

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de Fermentación
Psycrophilica	4-10°C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20°C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

5.2.20. Potencial de Hidrogeno (pH)

El pH, según lo manifiesta Pérez J. (2010), en los digestores anaerobios se relaciona con la actividad realizada por las bacterias, el pH normalmente se encuentra entre 6-8, con un valor próximo a 7 para la actividad óptima. Los ácidos grasos disminuyen la alcalinidad a menos que la alcalinidad bicarbonatada sea suficiente para neutralizar dichos ácidos.

Quintero M. (2011) manifiesta que los sistemas de tratamiento anaerobio poseen la capacidad de amortiguar los cambios de pH de manera eficiente, por la alcalinidad generada por el sistema producto de la degradación de la materia orgánica (COHNS), principalmente de las proteínas. Los microorganismos anaerobios necesitan un pH en torno a la neutralidad para su correcto desarrollo, aunque permiten cierta oscilación; es importante que el pH, no se le permite caer por debajo de los 6.2 por un período de tiempo significativo, de acuerdo a lo considerado por Awad A. y otros (2014).

5.2.21. Potencial Redox

Pérez J. (2010), referencia que en el bioreactor son necesarios potenciales redox bajos, por ejemplo, para un monocultivo de bacteria metano génica se necesita un potencial redox entre [-300, -330] mV como óptimo. Para controlar este parámetro se pueden agregar agentes oxidantes como sulfatos, nitritos o nitratos.

5.2.22. Nutrientes (razón C/N/P)

Según Pérez J. (2010), la razón entre los nutrientes C/N debe estar en el orden 16:1-25:1, el carbono contenido en el estiércol es lo que dará paso al metano y el nitrógeno aporta a la multiplicación bacteriana y a catalizar el proceso de producción de biogás.

5.2.23. Desintegración

Así mismo, Pérez J. (2010), conceptualiza la desintegración como la destrucción de la estructura celular, la producción del biogás depende del tiempo de residencia en el reactor debido al cambio de etapa del tipo de digestión. Ver Figura No. 3

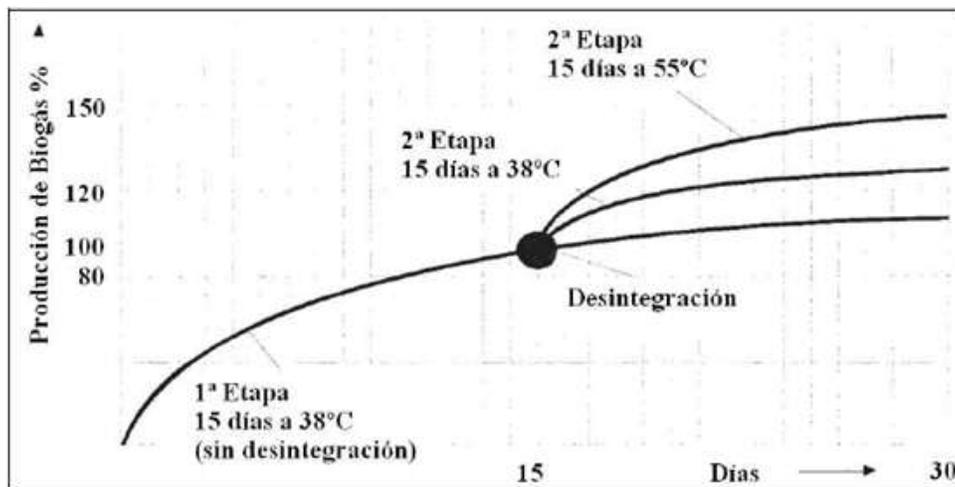


Figura No. 3. Variación de la producción de biogás en función del proceso de fermentación y la etapa de desintegración.

Fuente: Pérez, J. (2010). "Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros". Universidad de Chile. Santiago de Chile.

5.2.24. Utilización de Biodigestores

Según lo considerado por la Fundación Hábitat (2005), en el documento "Biodigestores una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes", un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e

impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y desechos vegetales, etc.) en determinada dilución de agua para se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.

Igualmente, Fernández J. y Saavedra C. (2007), considera que un biodigestor es un generador de biogás, que permite producir en condiciones anaerobias (en ausencia de oxígeno) un gas similar al gas común de cocina, utilizando como materia base estiércol de animales, verduras; así mismo, la formación de un residuo o lodo, el cual posteriormente secado, se convierte en un abono orgánico de buena calidad, rico en nutrientes.

Díaz L. (2004) en el documento “Generación de gas mediante descomposición de residuos orgánicos”, referencia los biodigestores como máquinas simples que convierten las materias primas en subproductos aprovechables, en este caso gas metano y abono. El principio básico de funcionamiento es el mismo que tienen todos los animales, descomponer los alimentos en compuestos más simples para su absorción mediante bacterias alojadas en el intestino con condiciones controladas de humedad, temperatura y niveles de acidez.

5.2.25. Tipos de biodigestores

Según Díaz L. (2004), existen diferentes tipos de biodigestores, dentro de los cuales se pueden destacar:

- Los biodigestores para generar biogás
- Los biodigestores optimizados para purificar agua
- Los biodigestores para líquidos cloacales (lechos nitrificantes, reactores biológicos)

Dentro del grupo de biodigestores para generar biogás se encuentran dos grupos de biodigestores, los dos tienen características similares de mantenimiento, pero los resultados no son los mismos.

5.2.25.1. *Biodigestores continuos*

Según Guerrero L. (s.f.), el diseño continuo es el más común, ya que no requiere de conocimiento especializado ni maquinaria grande. El biodigestor continuo tiene tres orificios; uno central que es cerrado después de hacer la carga inicial y es abierto después para limpiar el biodigestor (descarga total); un segundo orificio se usa para cargarlo diariamente en cantidades pequeñas con biomasa nueva y un tercer orificio el cual permite sacar el bioabono periódicamente. El diseño de este biodigestor es favorable para que sea llenado con materiales blandos como el estiércol.

Díaz L. (2004), considera las siguientes ventajas y desventajas de este tipo de biodigestores:

Ventajas:

- Permiten controlar la digestión, con el grado de precisión que se quiera.
- Permiten corregir cualquier anomalía que se presente en el proceso, en cuanto es detectada.
- Permiten manejar las variables relacionadas, carga específica, tiempo de retención y temperatura, a voluntad del operador dentro de los límites conocidos.
- Sólo en periodos prolongados exigen ser vaciados y limpiados. En los más evolucionados, esos periodos son del orden de 10 años.
- La tarea de “puesta en marcha”, después de la inicial, sólo se vuelve a repetir cuando hay que vaciarlo por razones de mantenimiento.
- Las operaciones de carga y descarga, de material a procesar y procesados, no requieren ninguna operación especial.

Desventajas:

- La baja concentración de sólidos que admiten.
- No poseer un diseño apropiado para tratar materiales fibrosos, o aquellos cuyo peso específico sea menor que el agua.
- Problemas de limpieza de sedimentos, espuma e incrustaciones.
- El alto consumo de agua.

Guerrero L. (2016), referencia la existencia de varios tipos de biodigestores continuos; los más comunes son: El biodigestor chino de estructura fija. El tipo hindú de campana flotante, éste

incorpora una campana flotante en la parte superior de la cámara de almacenamiento del gas, con la función de aplicar presión sobre el gas y facilitar su extracción y el biodigestor tipo balón, el cual emplea una bolsa larga donde se almacena el gas.

5.2.25.2. Biodigestores discontinuos

Guerrero L. (2016), en su artículo “tipos de biodigestores y sus diseños”, este biodigestor tiene solamente un acceso por donde se carga y se descarga. Se carga una sola vez para ser llenado y posteriormente usado; la fermentación demora entre 2 y 4 meses (dependiendo del clima) y se descarga cuando concluye la fermentación. El biodigestor es llenado por única ocasión (se cambia toda la biomasa hasta que se termine el biogás) con la biomasa por lo que no hay cambio de materia orgánica que lo haga sostenible en la producción de biogás. Un metro cubico de biomasa produce aproximadamente medio metro de biogás y como no se le hace recargas de biomasa no hay manera de que genere más cantidad.

Ventajas:

- Puede procesar gran cantidad de materiales y puede recogerse en campos abiertos sin importar si tiene materia seca pues esto no entorpece la operación del biodigestor.
- Puede llenarse con materiales secos que no absorben humedad (que floten en el agua) así como pasto, cascara de frutas y desechos de alimentos.
- Se pueden manejar las variables relacionadas con la fermentación como la de la temperatura, tiempo de retención, carga depositada y los periodos de carga y descarga.
- No requiere atención diaria.

Desventajas: La Carga y descarga del biodigestor requiere mucho trabajo y paciencia.

5.3. Bases Legales

La presente investigación se fundamenta en las siguientes normas legales:

Tabla No. 12. *Normas aplicadas a la investigación*

NORMA	OBJETO	
	GENERAL	APLICADO A:
Ley 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Renovables y de Protección al Medio Ambiente	Manejo de residuos sólidos de desechos y desperdicios. Art. 34 - 36
Decreto 1505 de 2003	Modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos.	Aprovechamiento en el marco de la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Art.1
Ley 9 de 1979	Establece normas sanitarias que complementan la regulación del medio ambiente y manejo de los recursos naturales, constituyendo la base del Derecho Sanitario.	Control Sanitario de los usos del agua. Art. 8.9 y 39

El Ministerio del Medio Ambiente, menciona en el documento “Política Nacional de Producción más Limpia” (1997), el objetivo global apunta a prevenir y minimizar eficientemente los impactos y riesgos a los seres humanos y al medio ambiente, garantizando la protección ambiental, el crecimiento económico, el bienestar social y la competitividad empresarial, a partir de introducir la dimensión ambiental en los sectores productivos, como un desafío a largo plazo. Para lo cual ha dispuesto los siguientes objetivos específicos:

- Optimizar el consumo de recursos naturales y materias primas.
- Aumentar la eficiencia energética y utilizar energéticos más limpios
- Prevenir y minimizar la generación de cargas contaminantes.
- Prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales sobre la población y los ecosistemas.
- Adoptar tecnologías más limpias y prácticas de mejoramiento continuo de la gestión ambiental.
- Minimizar y aprovechar los residuos.

6. DISEÑO METODOLOGICO

6.1. FASE UNO: Revisión de literatura para el establecimiento de las condiciones necesarias del biodigestor prototipo para la producción de biogás.

Se realizó una revisión bibliográfica de diferentes autores y proyectos de biodigestores implementados en diferentes lugares, con la finalidad de determinar variables como cantidad de biomasa, temperatura, tiempo de fermentación, cantidad de producción de biogás, entre otras.

6.2.FASE DOS: Diseño y recolección de la información

6.2.1. Diseño y tipo de investigación

La presente investigación se clasifica como una investigación de campo social cuantitativo, descriptivo y experimental, que se basó en la recolección de información de fuente primaria y el ensayo de un modelo prototipo de biodigestor.

6.2.2. Recolección de la información

Se elaboró un formato de encuesta (Ver anexo 1), en donde se tuvo en cuenta las apreciaciones de Martínez (2002), las cuales deben determinar con claridad:

- a) ¿Qué tipo de información se necesita?
- b) Número de qué personas que se requiere de su opinión.

De esta manera, el objetivo fue identificar con precisión la frecuencia y cantidad de bagazo de caña, cachaza, número de molindas al mes y otros residuos que se producen en cada molienda. También se determinó la cantidad de porcicultores que hay en la población encuestada, cuantificación de animales de acuerdo al peso y determinación de la cantidad de biomasa producida mensualmente.

Para la redacción y escogencia de las preguntas, se incluyó inicialmente preguntas de tipo socio-demográfico que permitieron identificar al encuestado y brindar información sobre sexo, edad, ocupación, nivel de ingresos, asociatividad, etc. Las preguntas en general fueron claras y partieron del objetivo general a los objetivos específicos, tuvieron una secuencia de acuerdo a los temas, utilizándose preguntas de tipo cerrado, con varias opciones de respuesta. El cuestionario se ajustó de acuerdo a la necesidad de la información requerida.

6.2.3. Unidad de Análisis–descripción.

La unidad de análisis se conformó por los productores de caña panelera de la Vereda Loro Dos, municipio de Valle del Guamuez, quienes pertenecen a la Asociación Agroindustrial Loro Dos – AGRILODS- y actualmente están procesando la panela en el trapiche de la organización. La Unidad de análisis es un referente para conocer de manera parcial los resultados de la investigación, ya que la población en estudio es reducida.

Dentro del proyecto, la producción constante de biomasa animal y vegetal derivada de la porcicultura y la molienda de caña, serán destinadas para el abastecimiento del biodigestor prototipo que se implementará.

6.2.4. Unidad de trabajo o muestra

El muestreo, para la presente investigación se realizó de tipo probabilístico, según Castro M. (2003), expresa que “si la población es menor a cincuenta (50) individuos, la población es igual a la muestra”. Lo señalado por este autor permite inferir, que si se toma el total de la población entonces no se aplica ningún criterio muestral; para este caso la muestra tomada fue del 100% del total de la población, equivalente a 36 familias cultivadoras de caña panelera, con un formato de encuesta por familia.

6.2.5. Variables con sus valores respectivos

Las variables tenidas en cuenta en el formato de la encuesta se relacionan en la Tabla No. 13, las cuales suministraron la información requerida para el procesamiento y análisis:

Tabla No. 13. *Variables, información obtenida y unidad de medida.*

VARIABLES	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA
Variable 1	Cantidad de caña sembrada y en producción	Hectáreas
Variable 2	Cantidad de caña utilizada por molienda	Toneladas
Variable 3	Cantidad total anual de caña para el procesamiento de panela	Toneladas
Variable 4	Cantidad mensual de bagazo producido	Toneladas
Variable 5	Cantidad mensual de cachaza producida	Galones
Variable 6	Tiempo de duración de cada molienda	Hora
Variable 7	Cantidad de moliendas semanales	Número
Variable 8	Cantidad de porcicultores	Número

6.2.6. Observación

La observación fue de tipo participante, no estructurada, se buscó lograr un conocimiento exploratorio y aproximado del proceso de producción de la panela., como lo expresa Gallardo y Moreno (1999), en el módulo 3 de recolección de la información. Este proceso permitió registrar:

- El lugar del procesamiento (trapiche panelero), sus condiciones, distancia al cultivo, a la vivienda, etc.
- Características de los participantes (productores de caña y obreros de la molienda)
- Tiempo de duración del proceso.
- Ubicación espacial de los participantes (distancias de cada área de trabajo)
- Secuencia de los sucesos (proceso de producción de panela: alistamiento de la caña, extracción del guarapo, transporte de jugos, pre limpieza, producción de miel, producción de cachaza, producción de bagazo, etc.)

- Otros aspectos: ¿Cómo se realiza el proceso de producción de panela?, ¿Qué cantidades de caña se procesa?, ¿Qué cantidades de bagazo y cachaza resulta del proceso?, ¿Qué cantidad de leña se está utilizando para el proceso?.

6.2.7. Entrevista

La entrevista se realizó a los productores encargados de la parte operativa del proceso de producción de panela, registrándose toda la información precisa para su posterior análisis.

6.3. FASE TRES: análisis de la información

6.3.1. Procesamiento de la información

Con la información recogida, se realizó el procesamiento de datos en hoja de cálculo Excel, el análisis se hizo mediante gráficos y tablas comparativas, a fin de obtener datos precisos que permitan la identificación del prototipo de biodigestor requerido de acuerdo a las capacidades de producción y necesidades energéticas del trapiche panelero.

6.4.FASE CUATRO: Instalación biodigestor prototipo

De acuerdo al análisis de la información obtenida tanto en los referentes teóricos como en las encuestas realizadas, se realizó el montaje del biodigestor prototipo acorde a las necesidades energéticas requeridas en el trapiche panelero.

7. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1. FASE UNO: Revisión de literatura para el establecimiento de las condiciones necesarias del biodigestor prototipo para la producción de gas.

En base a la literatura citada en el marco teórico, se tomó como referencia la información de los siguientes autores:

Según Rodríguez D y Urbina A. (s.f), una tonelada de estiércol contiene: 250 kg de materia orgánica, 5 kg de nitrógeno, 2.5 kg de ácido fosfórico y 5 kg de potasa. Así mismo, presenta la siguiente composición química del biogás (ver tabla No. 4), las cantidades de consumo de biogás según los diferentes equipos (ver tabla No. 5), la cantidad de producción de estiércol de acuerdo a cada especie animal (ver tabla No. 6) y un cálculo de producción de biogás de acuerdo al número de cerdos disponibles:

Según Botero R. y Preston T. (1987), la biodigestión es la fermentación realizada por bacterias anaeróbicas sobre la materia orgánica, componente de un 80% de las excretas y posee las ventajas de:

- Proporcionar combustible (biogás) para suplir las principales necesidades energéticas rurales.
- Reducir la contaminación ambiental al convertir las excretas, que hacen proliferar microorganismos patógenos, larvas e insectos, en residuos útiles.
- Producir abono orgánico (bioabono), con un contenido mineral similar al de las excretas frescas e igualmente útil para los suelos, los cultivos y para el desarrollo del fitoplancton utilizados por algunas especies acuáticas en su alimentación.
- Mediante la digestión por bacterias anaeróbicas se destruyen microorganismos, huevos de parásitos y semillas de malezas contenidos en las excretas frescas quedando el fertilizante residual libre de tales gérmenes y plantas indeseables.

Así mismo, se tomó en cuenta el aporte realizado en el “Manual del Biogas” por el PNUD, FAO, GEF y MINENERGIA (2011).

7.2. FASE DOS: Recolección de información

Se realizó el levantamiento de la información mediante la aplicación de 36 encuestas y entrevistas a los productores de la organización Agrilods, tanto cañicultores como porcicultores. Este proceso se hizo durante una semana, en las fincas de los productores y en las instalaciones del trapiche panelero.

7.3. FASE TRES: Análisis de la información

7.3.1. Área de caña panelera sembrada y en producción. Cantidad total para proceso al mes

La organización AGRILODS tiene un área sembrada de 38 Has., de las cuales el 75% se encuentran en producción, con una cantidad total de 214,25 Toneladas de caña que se procesan mensualmente. (Tabla No. 14 y Figura No. 4).



Imagen N° 1 *Cultivo de caña – Asociación AGRILODS*

Tabla No. 14. Variables 1, 2 y 3: Área sembrada y en producción de caña, y cantidad de caña procesada por molienda y mensualmente.

Área sembrada de caña (Has.)	Área en producción de caña (Has.)	Cantidad de caña procesada por molienda (Ton)	Cantidad de caña procesada (Ton/mes)
38	28,5	15	214,25

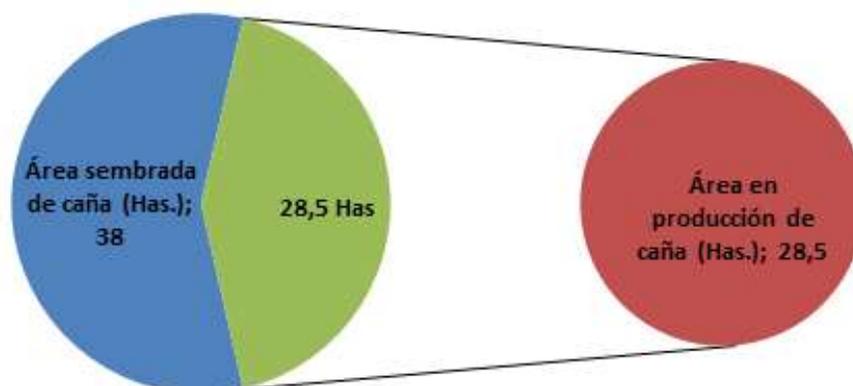


Figura No. 4. Área de caña sembrada y en producción
Fuente: el autor



Imagen No 2 Infraestructura de AGRILODS



Imagen No3 panela para el comercio

7.3.2. Residuos generados mensualmente del proceso de molienda de la caña

Como resultado del proceso de molienda mensualmente se produce 107.1 Toneladas de bagazo y 734,6 galones de cachaza. El bagazo se emplea como material combustible para la hornilla después de secado. La cachaza se utiliza para alimentación de los cerdos y caballos. (Ver Tabla No. 15).



Imagen No 4 Bagacera – Trapiche AGRILODS

Tabla No. 15. *Variables 4 y 5: Cantidad de bagazo y cachaza al mes*

Bagazo producido mensual (Ton)	Cachaza producida mensual (Galones)
107.1	734.6

7.3.3. Tiempo de duración de una molienda y Número de moliendas semanales

Cada molienda tiene una duración promedio de 8 horas aproximadamente y se realizan 6 moliendas semanales. (Ver Tabla No.16), remítase a la Imagen No 6

Tabla No. 16. *Variables 6 y 7: Tiempo de duración por molienda y cantidad semanal.*

Tiempo de duración por molienda (Horas)	Número de moliendas semanales
8	6
Total	32 horas/semana



Imagen No 5 *Proceso de molienda de caña*



Imagen No 6 *Procesamiento de la panela*

7.3.4. Cantidad de porcicultores

Del total de socios de la Organización AGRILODS, 9 se dedican a ambas actividades: cultivo de caña y porcicultura, equivalente al 25%. (Tabla No. 17 y Figura No. 5)

Tabla No. 17. *Cantidad de porcicultores*

No. De porcicultores	No. De cañicultores
9	36

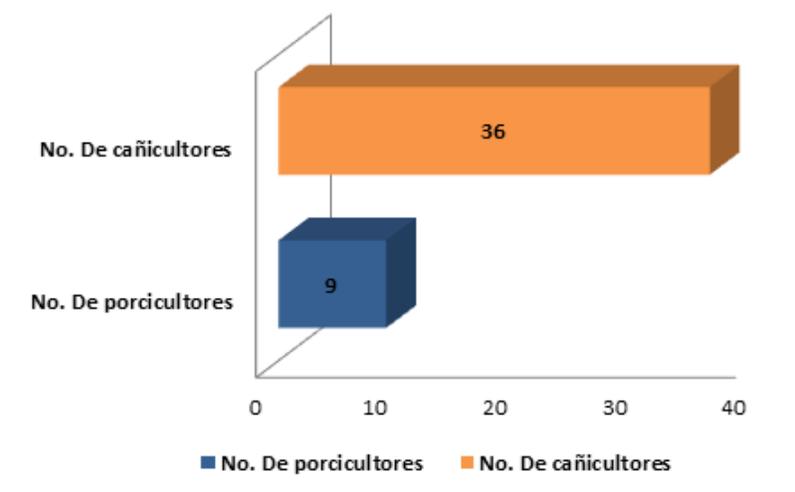


Figura No. 5. Número de poricultores
Fuente: El Autor

7.3.5. Cantidad de cerdos establecidos y peso promedio

Los 9 poricultores disponen de una cantidad de 100 cerdos en total con un peso promedio de 101,16 kilogramos. (Tabla No. 18 y Figura No. 6)

Tabla No. 18. *Variables 9 y 10: Cantidad de cerdos establecidos y peso promedio*

Productores	Cantidad de cerdos establecidos	Peso promedio (kilos)
Productor 1	14 cerdos	95
Productor 2	19 cerdos	102
Productor 3-4-5	23 cerdos	101
Productor 6 -7	6 cerdos	93
Productor 8	24 cerdos	110
Productor 9	14 cerdos	106
Total y promedio:	100 cerdos	101,16 kilos

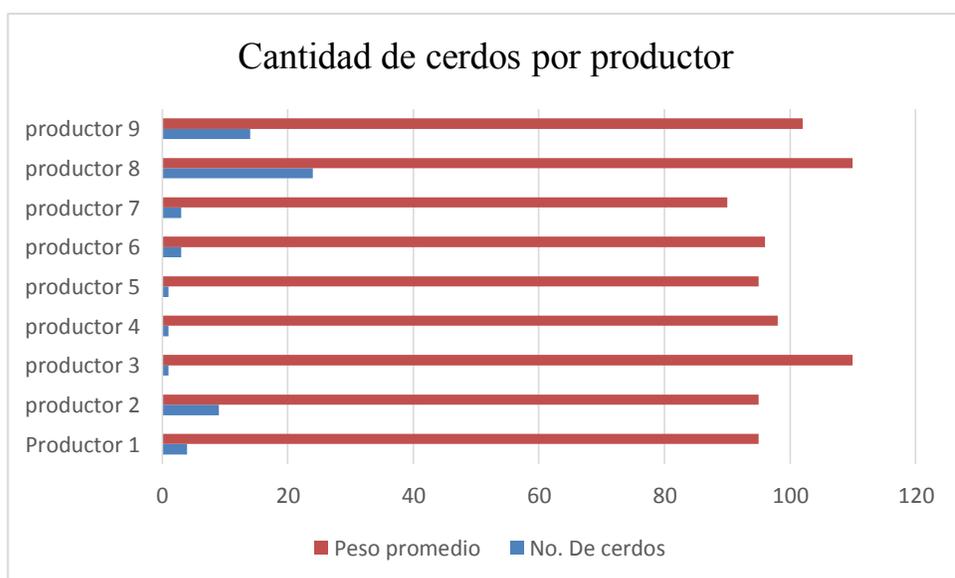


Figura No. 6. Cantidad de cerdos establecidos y peso promedio (Kg)
Fuente: El Autor

7.3.6. Cantidad de estiércol diario producido

La cantidad producida mensualmente es de 9 Toneladas al mes, teniendo en cuenta que, la cantidad de estiércol producido por cerdo con un peso promedio de 100 kg es de 3 Kg. (Ver tabla No. 19)

Tabla No. 19. *Variable 11: Cantidad de estiércol producido*

No. De cerdos disponibles	Estiércol diario producido por cerdo (Kg.)	Cantidad total de estiércol diario (Kg)	Cantidad de estiércol mensual (Ton)
100	3	300	9

Actualmente, de las 36 familias encuestadas, 9 están dedicados a la porcicultura, quienes aprovechan la cachaza que queda como excedente de la molienda, para la alimentación de los 100 cerdos y además están en la capacidad de aumentar su producción, en los próximos meses, porque han visto en la actividad una producción rentable y ya han adoptado la crianza técnicamente, suministrándoles dietas balanceadas entre concentrado y productos agrícolas.

7.3.7. Análisis referentes teóricos Vs. Información obtenida.

De acuerdo a la anterior información recolectada, y revisando la literatura de los requerimientos para la instalación de un biodigestor, se pasa hacer la triangulación de la información o datos obtenidos.

Según Ramírez, M. (2014), la triangulación es un elemento muy importante que los investigadores utilizan para ver la misma realidad desde puntos de vista diferentes, donde cuando menos deben existir 3 perspectivas, 3 sujetos, 3 momentos o 3 tipos de estrategias y técnicas de recopilación de datos diversas. Para el presente trabajo se ha utilizado el cuadro de triple entrada, el cual postula por una verificación de información por medio de triangulación visualizando sujetos diferentes. En la figura No. 7 se relaciona las fuentes e instrumentos utilizados, así como las categorías e indicadores de la investigación.

Tema investigado: Cantidad de biogás obtenido a partir de una cantidad de biomasa animal disponible.				
Pregunta de investigación: ¿Qué cantidad de biogás se genera a partir de una determinada de biomasa disponible?				
Objetivos de recolección de datos: Determinar la cantidad de biomasa vegetal y animal disponible en la vereda Loro Dos, municipio Valle del Guamuez				
Fuentes instrumentos	Productores de caña	Asociación Agrilods	Revisión de literatura	
	Encuesta	Entrevista	Análisis de datos, en qué página está.	
Categorías e Indicadores	28. 5 Has.	30 Has.	De acuerdo al documento de DRP Valle del Guamuez, hay sembradas 29,63 Has. Pág. 48	
Categoría o constructo A				
¿Qué cantidad de caña panelera en producción hay en la vereda Loro Dos?				
Indicador 1: No. De Has. de caña				

Tema investigado: Cantidad de biogás obtenido a partir de una cantidad de biomasa animal disponible.			
Pregunta de investigación: ¿Qué cantidad de biogás se genera a partir de una determinada de biomasa disponible?			
Objetivos de recolección de datos: Determinar la cantidad de biomasa vegetal y animal disponible en la vereda Loro Dos, municipio Valle del Guamuez			
Fuentes instrumentos Categorías e Indicadores	Productores de caña	Asociación Agrilods	Revisión de literatura
	Encuesta	Entrevista	Análisis de datos, en qué página está.
Categoría o constructo B			
¿Qué cantidad de caña se procesa mensualmente? Indicador 1: No. De Ton. Mensuales.	199 Ton/mes	214 Ton/mes	Según Boletín Informativo No. 5 “El cultivo de caña panelera en zona cafetera”, el rendimiento del cultivo de caña es: 70 Ton/Ha. Pág. 11
Categoría o constructo C			
¿Qué cantidad de biomasa vegetal se produce mensual? Indicador 1: No. De Ton. de bagazo	Una Ha. De caña produce 7,5 Ton de caña para molienda y 3,5 Ton de bagazo. Total 106,8 Ton	107 Ton de bagazo al mes	De una Ton. de caña procesada se produce entre 250 a 300 Kg de bagazo. Fuente LA MEGA, La Caña de Azúcar.
Categoría o constructo D			
¿Qué cantidad de cachaza se produce mensualmente? Indicador 1: No. De galones de cachaza	Cada molienda genera 12 galones de cachaza. El 3% de los jugos obtenidos es cachaza.	Se produce 735 galones de cachaza al mes	Según Zérega M. “Manejo agronómico de la cachaza en suelos cañameleros”, una Ton. de caña arroja de 30 – 50 kg de cachaza.

Tema investigado: Cantidad de biogás obtenido a partir de una cantidad de biomasa animal disponible.				
Pregunta de investigación: ¿Qué cantidad de biogás se genera a partir de una determinada de biomasa disponible?				
Objetivos de recolección de datos: Determinar la cantidad de biomasa vegetal y animal disponible en la vereda Loro Dos, municipio Valle del Guamuez				
Categorías e Indicadores	Fuentes instrumentos	Productores de caña	Asociación Agrilods	Revisión de literatura
		Encuesta	Entrevista	Análisis de datos, en qué página está.
Categoría o constructo E			6 – 8 horas promedio.	Especificaciones técnicas del Trapiche R12:
Duración de la molienda Indicador 1: No. De horas de cada molienda.		8 horas	Trapiche R12 Panelero.	capacidad de molienda 1800 kg/hora
Categoría o constructo F			Se separa, almacena, seca y se quema en el trapiche	Se utiliza en las hornillas como combustible. Manual de la panela. Pág. 113.
Uso dado a la biomasa vegetal Indicador 1: Qué usos se le da al bagazo resultante.		Se seca y se quema en el proceso de combustión en el trapiche.		
Categoría o constructo G			Se utiliza para alimento de cerdos.	Se utiliza para alimento de aves, según Manual de la Panela. Pág. 132
Uso dado a la cachaza. Indicador 1: ¿Qué uso se le da a la cachaza resultante del proceso?		Alimentación de cerdos, aves y caballos.		
Categoría o constructo H			100	No hay registros de la vereda
Cantidad de cerdos existentes. Indicador 1: No. De cerdos existentes.		100		

Tema investigado: Cantidad de biogás obtenido a partir de una cantidad de biomasa animal disponible.			
Pregunta de investigación: ¿Qué cantidad de biogás se genera a partir de una determinada de biomasa disponible?			
Objetivos de recolección de datos: Determinar la cantidad de biomasa vegetal y animal disponible en la vereda Loro Dos, municipio Valle del Guamuez			
Fuentes instrumentos Categorías e Indicadores	Productores de caña	Asociación Agrilods	Revisión de literatura
	Encuesta	Entrevista	Análisis de datos, en qué página está.
Categoría o constructo I			
Peso promedio de los cerdos. Indicador 1: No. Kg. Promedio	100	100	No hay registros de la vereda.
Categoría o constructo J			
Cantidad de estiércol producido Indicador 1: No. Kg/día producido	3 a 4 kilos por cerdos	300 kilos al mes	4 Kg por cada cerdo de 100 kg. Según Botero, R y Preston, T. “Manual para su digestión, operación y utilización”. Pág. 14
Categoría o constructo K			
¿Qué uso se le da al estiércol producido? Indicador 1: Uso dado al estiércol	Se arroja a los caños hídricos.	Ninguno. No tiene tratamiento.	Según Botero, R y Preston, T. “Manual para su digestión, operación y utilización”. El estiércol se utiliza para la producción de biogás.
Categoría o constructo L			
Disponibilidad de la comunidad para la ejecución del proyecto Indicador 1: ¿Existe disponibilidad para realizar el proyecto?	Si hay disponibilidad por parte de los productores	Si hay disponibilidad	No aplica

Figura No. 7. Cuadro de triple entrada.
Fuente: El Autor

Las categorías o constructos analizados, desde la información suministrada por las fuentes: productores de caña – porcicultores, la Asociación AGRILODS y los referentes bibliográficos se obtiene las siguientes conclusiones:

Categoría o constructo A: ¿Qué cantidad de caña panelera en producción hay en la vereda Loro Dos?: se da una variación de 0.87 Has. De acuerdo a la información suministrada por los productores y la que arroja el Diagnostico Rural Participativo –DRP- realizado por Naciones Unidas.

Categoría o constructo B: ¿Qué cantidad de caña se procesa mensualmente? De las 38 hectáreas de caña sembrada se tiene en producción 28,5Has. y se procesa una cantidad de 214 Ton al mes, lo cual indica un rendimiento de 73 Ton/Ha., de acuerdo a la literatura, el rendimiento de la caña se da en promedio en 70 Ton/Ha.

Categoría o constructo C: ¿Qué cantidad de biomasa vegetal se produce mensual? Según la información recolectada de los productores y la Asociación, de una Ton de caña procesada el 50% se produce en bagazo (500 kg), para un total de 107 Ton/mes; este resultado difiere de las fuentes bibliográficas, donde referencian un peso aproximado de 300 kg de bagazo obtenido por cada Tonelada de caña procesada. Lo anterior puede considerarse viable desde el punto de vista de la variedad de caña sembrada en la zona.

Categoría o constructo D: ¿Qué cantidad de cachaza se produce mensualmente? En la información suministrada se está recogiendo 20 kg de cachaza por Ton de caña procesada, dato inferior al dado en el referente bibliográfico, que indica que se recolecta de 30-50 kg-

Categoría o constructo E: Duración de la molienda. Actualmente son 8 horas según la información dada por las fuentes, dato coherente de acuerdo a la capacidad del trapiche instalado.

Categoría o constructo F: Uso dado a la biomasa vegetal: Actualmente el bagazo se almacena, se seca y se quema en las hornillas del trapiche. De acuerdo a los referentes bibliográficos es el uso más común que se le da.

Categoría o constructo G: Uso dado a la cachaza: La información suministrada por las fuentes es similar a la encontrada en las referencias bibliográficas, de que se la utiliza como alimento de aves y animales.

Categoría o constructo H: Cantidad de cerdos existentes: No se pudo hacer la comparación con fuentes bibliográficas por cuanto no existen documentos de la región o vereda.

Categoría o constructo I: Peso y promedio de los cerdos: No se pudo hacer la comparación con fuentes bibliográficas por cuanto no existen documentos de la región o vereda.

Categoría o constructo J: Cantidad de estiércol producido: el dato obtenido fue similar al del referente bibliográfico: 3-4 kilos por día por cerdo.

Categoría o constructo K: ¿Qué uso le da al estiércol producido?: Según la información recolectada es arrojado a los caños y es fuente de contaminación. Se evidencia la necesidad del tratamiento de éste tal como lo datan los referentes bibliográficos.

Categoría o constructo L: Disponibilidad para el proyecto: No se pudo hacer el cruce de información por cuanto no aplica para fuentes bibliográficas.

De acuerdo a la información anterior, se puede analizar el tamaño, tipo de biodigestor necesario, cantidades requeridas, así como el procedimiento a seguir.

7.3.8. Población involucrada

Los usuarios objetivos se encuentran ubicados en la vereda Loro Dos del municipio de Valle del Guamuez, departamento del Putumayo, son 36 familias integrantes de la Asociación

AGRILODS, todos dedicados a la actividad agrícola del cultivo de la caña panelera y 9 de ellos a la Porcicultura y cultivo de caña. Se caracterizan por ser pequeños productores, pertenecientes a los grupos especiales: colonos (79%), afro descendientes (12%), desplazados por la violencia (6%), indígenas (3%). Proyecto Alianzas Productivas MADR Valle del Guamuez (2014). Todos los participantes del Proyecto tienen la disponibilidad de realizar el manejo y operatividad del biodigestor y demás actividades relacionadas con el funcionamiento, así como el aporte en materiales de la región.

7.3.9. Tipo de biodigestor a utilizar

Se analizó los biodigestores continuo y discontinuo, teniendo en cuenta las ventajas y las desventajas de cada uno y su aplicabilidad para la zona de implementación del proyecto; De acuerdo a las consideraciones de Díaz L. (2004) se seleccionó que el biodigestor a utilizar será el continuo porque deja controlar la digestión con el grado de precisión que se quiera, permite manejar las variables relacionadas con carga específica, tiempo de retención y temperatura, es de fácil manejo, entre otras. Así mismo, se descarta el biodigestor discontinuo porque tarda un período de 2 a 4 meses y el requerimiento del biogás será de manera permanente debido al número de moliendas semanal.

7.3.10. Biomasa a utilizar

La biomasa a utilizar corresponde al estiércol de cerdo, el cual dispone de una gran capacidad de generación de biogás. La biomasa animal (bagazo de caña), no se utilizará para el proceso de biodigestión porque tendría que procesarse en el biodigestor discontinuo y éste una vez se cargue permanecerá cerrado, sin embargo, la continua producción de panela que genera en cada molienda la cantidad de 5 Ton de bagazo, que se necesita darle un tratamiento.

7.3.11. El biogás

El biogás generado a partir de la digestión anaeróbica del estiércol de cerdo tiene un porcentaje de metano CH₄ entre el 60-70% y producto de su alto poder calorífico es un elemento valioso para la utilización como combustible de las hornillas del trapiche panelero.

7.3.12. Cantidad de biogás requerido

El trapiche panelero hace 6 moliendas semanales, de una duración de 8 horas, tiempo durante el cual se debe tener en funcionamiento la hornilla, la cual es alimentada actualmente con leña y bagazo de caña. En cada molienda se procesan 15 Ton. de caña, de las cuales se obtiene un 60% en mieles o jugos y un 40% en bagazo. El bagazo luego del proceso de secado pierde entre un 35 a 40%, reduciendo su cantidad a 3,5 Ton. Esta cantidad en el proceso de combustión de la hornilla del trapiche dura en promedio 4.5 horas. Como el proceso de molienda dura 8 horas, el tiempo faltante de combustión es de 3,5 horas diarias.

Según la Tabla No. 20, el consumo de biogás de los diferentes equipos, una cocina de 2 fuegos consume 0,50 m³/hora. Para el trapiche panelero la hornilla es de 6 fuegos, por lo que se estaría consumiendo 1,5 m³/hora. (Ver Tablas No. 5 y 20)

De esta manera, la cantidad de gas que se requiere para funcionamiento de la hornilla las 8 horas son 12m³. (Ver Tabla No. 20)

Tabla No. 20. *Cantidad de Biogás esperado*

Consumo de biogás estufa de 6 fuegos m³/hora	No. De horas consumo de gas (proceso de evaporación)	Total de Biogás necesario
1,5 m³	8	12 m³

Sin embargo, debido a que la hornilla que se va a instalar es de tipo mixto, que funcione la mitad del período de molienda con la combustión del bagazo y la otra mitad con el biogás, la cantidad necesaria de energía calórica en biogás es de 6m³.

7.4.FASE CUATRO: Instalación del biodigestor prototipo.

7.4.1. Determinación capacidad volumétrica del biodigestor

El tamaño del biodigestor (en volumen Vd) es determinado por el tiempo de retención (TR) y por la cantidad diaria de cieno de fermentación (Cf).

La cantidad del cieno de fermentación se compone del material de fermentación y del agua de mezcla. El volumen del digestor se obtiene con la siguiente fórmula:

$$V_D[L] = C_F[L/día] * TR(días)$$

El tiempo de retención TR mínimo está determinado por el tiempo de generación de las bacterias, esto es, el tiempo que necesitan los microorganismos para reproducirse. El TR está ligado a factores tales como: diseño del reactor, el mezclado del sustrato, la forma de extracción de los efluentes, tipo de sustrato y la temperatura. Por lo tanto, en una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención. Teniendo en cuenta que el biodigestor se instalará en el municipio de Valle del Guamuez, el cual tiene una temperatura promedio de 28°C, se puede considerar la Tabla No.21

Tabla No. 21. *Tiempo de retención y Materia prima (biomasa)*

Materia Prima	TRH
Estiércol vacuno líquido	20 – 30 días
Estiércol porcino líquido	15 – 25 días
Estiércol aviar líquido	20 – 40 días

Según Botero R. y Preston T. (1995), la cantidad diaria de cieno de fermentación, está dada por la proporción agua estiércol. Por cada Kilogramo de estiércol se deben mezclar 4 litros de agua.

En tal sentido, las cantidades de cieno de fermentación serían: (Ver Tabla No.22)

Tabla No. 22. *Cantidad de cieno de fermentación*

Cantidad de cerdos	Estiércol producido (Kg/día)	Cantidad de Agua No. Litros	Cienos de fermentación total (L/día)
100	300	1200	1500

En la Tabla No. 23, se observa una cantidad de 40 a 85 cerdos, el tamaño de digestor en m³, debe ser entre 15 a 30 m. En el presente caso, como se dispondrá de una cantidad de 100 cerdos, el tamaño que se ha dispuesto instalar es de 90 m³, del cual se espera una producción de 15,3 - 16,2 m³/día, para un total de 15,75 promedio con el biodigestor de 90 m³.

Tabla No. 23. *Producción de biogás y tamaño del biodigestor, según la cantidad de cerdos*

Número de cerdos	Estañones de estiércol	Tamaño de digestor m³	Producción de biogás m³/día
15 – 25	0,25 – 0.5	5 – 10	2.7 – 4.5
25 – 40	0,75 – 1	10-15	4.5 – 7.3
40 – 85	1 – 1.5	15 – 30	7.3 – 10.5
85- 100	1,5 – 1,76	30 - 45	15,3 - 16,2

7.4.2. Instalación del biodigestor prototipo

Se instaló un biodigestor de flujo continuo, tubular (tipo salchicha), de 30,00 m de largo, por 2,00 m de ancho y 1,50 m de profundidad para un total de 90 m³.

Para la instalación del biodigestor se tuvo en cuenta los pasos planteados por Domínguez, D y Otros (2010), en el documento Manual de construcción y operación de biodigestor tipo hindú y flujo continuo, que se relacionan a continuación:

7.4.2.1. Preparación de la fosa

Se excavó una (1) fosa con las siguientes medidas:

- 30,00 m de longitud x 2,00 m de ancho x 1,5 m de profundidad en la parte superior
- Área útil de 90 metros cúbicos (m³)

En la base se dejó un desnivel del 0,5-1,00% para facilitar la operación de lavado, tanto para el llenado y como el lavado del biodigestor se utiliza una motobomba a razón de 1 hora por día, para facilitar las operación durante el proceso (Ver Imagen No 7)



Imagen No 7 Motobomba para la extracción de lixiviados

7.4.2.2. Implementación del tanque de entrada y del tanque de salida

Se excavó un hueco cuadrado de un metro cubico, posteriormente se armaron los tanques (en un extremo para la carga de materia orgánica este tanque se mantuvo siempre lleno como reserva para alimentar el biodigestor y en el otro para la descarga del bioabono) que están hechos de tanques redondos prefabricados, en los cuales se colocaron tubos de cemento de 20 cm de diámetro para que facilite la circulación de mezcla de estiércol y agua.

7.4.2.3. Colocación del dispositivo de salida del biogás

Se hizo la ubicación de la salida del biogás a 2 metros de la zona de carga y sobre el quiebre superior del plástico, se realizó un corte circular un poco más pequeño del diámetro de la rosca del adaptador, el cual se colocó en el orificio realizado anteriormente y luego se sujetó fuertemente para lograr un cerrado hermético, usando arandela y empaques de caucho, para que finalmente ésta pase por un medidor del biogás (Ver Imagen N° 8).



Imagen No 8 medidor cantidad de gas que sale

7.4.2.4. Colocación de la válvula de seguridad

Se colocó una “T” de 32 mm, en el tramo entre el biodigestor y la hornilla del trapiche, a unos 6 m de la funda, su función fue formar un sello de agua para que el exceso de biogás acumulado y no utilizado pueda salir, evitando que la funda estalle por la presión del biogás.

7.4.2.5. Colocación del filtro

A un metro de distancia de la válvula de seguridad, se colocó una “T” de PVC de 32 mm con reducción a $\frac{1}{2}$ (media), con la finalidad de ubicar un filtro que contiene una esponjilla de hierro (estropajo), que reacciona y funciona en contacto con la humedad atrapando partículas de gases (anhídrido sulfúrico, stillsulfuros en general, entre otros) que son responsables del mal olor. Esta esponjilla se cambia cada dos meses (cuando esté oxidada).

7.4.2.6. Inflado y llenado de agua de la funda



Imagen No 9 los tubulares para la biodigestión

Asegurándose que los extremos de los tubos prefabricados estén sellados, se procedió a llenar la funda con aire proveniente de un compresor, cuando estuvo completamente llena se revisó que no haya fugas. Posteriormente se procedió a ingresar la primera carga (1200 litros de estiércol mezclado con el agua del lavado de las cocheras) a la funda, llenando primero el tanque de entrada o carga. (Ver imagen No 9)

7.4.2.7. Alimentación del biodigestor

Al día siguiente de la instalación se continuó con la carga o alimentación del biodigestor. Para el tanque reactor de 30 m de longitud se colocó 189 Litros de estiércol fresco más 1283 litros promedio de agua. Esta carga se continúa haciendo todos los días.

7.4.2.8. Motobomba de alimentación hídrica requerida

Para el cálculo del balance energético en entradas y salidas se hizo un cálculo con los gastos en la operación de la motobomba que es de 2 HP como sigue:

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ watt} = 0,746 \text{ Kwatts}$$

$$0,746 \text{ Kw} * 2 \text{ HP} = 1,492 \text{ Kw consumo de la motobomba}$$

$$\text{Costo por Kw/h} = 467,03 * 7 \text{ hr} = 3269.2 \text{ Kw/semana} * 4 = 13076.8 \text{ \$/mensual en consumo}$$

El gasto energético por concepto de operación de la motobomba es de 1 hora diaria en promedio por lo tanto el gasto es de 13076.8 \$/mensual.

7.4.2.9. Variable de temperatura

Debido a que 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 digestión anaeróbica, se midió este parámetro dando con los resultados presentados en la tabla N° 24

Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden provocar la desestabilización del proceso es por ello que se midió este parámetro en horarios diurno y nocturno, para conocer el comportamiento de la misma en ambos casos y para garantizar una temperatura homogénea en el digestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un termómetro.

Tabla N° 24 *Registro de temperatura, cantidad de energía y costo de operación utilizada en la producción de biogás en el biodigestor instalado.*

Días	Registro de temperatura en el biodigestor		Registro de temperatura ambiente		Energía utilizada diaria (Kwatts)	Costo operación diario biodigestor (Jornales)
	6:00 am	12 noche	6:00 am	12 noche		
1	22°C	22°C	17°C	22°C	5,862	\$21.000
2	22°C	21°C	17°C	21°C	5,824	\$21.000
3	20°C	20°C	19°C	20°C	3,362	\$21.000
4	22°C	23°C	19°C	22°C	1,268	\$21.000
5	21°C	21°C	18°C	21°C	1,13	\$21.000
6	22°C	20°C	17°C	22°C	3,468	\$21.000
7	22°C	23°C	19°C	20°C	3,362	\$21.000

Fuente: Esta investigación

También se midió la temperatura fuera del digestor con un promedio de 21,4 °C observándose poca variabilidad en el medio, resultando favorable para el proceso de la digestión dentro del digestor.

7.4.2.10. Tiempo de retención

Se dejó un periodo de tiempo de 25 días para realizar el proceso de la digestión.

7.4.2.11. Evaluación y seguimiento

Después de instalado el sistema del biodigestor se aplicó algunas estrategias de evaluación y seguimiento, cumpliendo con las siguientes condiciones: registro de las cantidades diarias de biomasa y agua utilizadas, temperatura, medición del biogás obtenido, etc., con el fin de determinar la incidencia de las variables ambientales en la producción del biogás durante un lapso de 3 meses para su posterior análisis estadístico en producción diaria.

7.4.3. Logro de los objetivos

De acuerdo a los resultados obtenidos en el biodigestor prototipo instalado y en base a los estudios realizados en esta investigación, se da cumplimiento al objetivo general planteado sobre la viabilidad de la producción del biogás a partir del aprovechamiento de la biomasa de la actividad pecuaria de la porcicultura, que además se encuentra inutilizada y causando degradación ambiental.

7.4.4. Respuesta a la pregunta de investigación

¿Qué cantidad de biomasa se requiere para la producción de biogás que satisfaga las necesidades de combustión del proceso de panela?

De acuerdo a la necesidad energética del trapiche panelero (6 m³ de biogás/día), se dispondrá de 300 Kg de biomasa/día, para la alimentación del biodigestor, con una producción diaria de 9.63m³ de biogás.

7.4.5. Producción del biogás–biodigestor prototipo

En la investigación realizada con el biodigestor prototipo instalado, se obtuvo una producción diaria de 6,058 m³/día de biogás con registros de temperatura promedio de 21,4 °C dentro del biodigestor y 21,1°C promedio en el ambiente exterior con un gasto promedio en agua de 1283.286 litros diarios con 189 kg estiércol para una producción de 1347.142857 Lt de bioabono por con un consumo promedio de energía de 6.069 w/día con un costo de operación de 23,199.95 diario con costo de jornal de 21,000. (Ver Tablas No. 25 y 26).

Tabla N° 25 *Producción diaria de biogás, gastos de agua, estiércol y energía eléctrica en la operación del biodigestor*

	Produc. de biogás diaria en m ³	Registro de temperatura en el biodigestor		Registro de temperatura ambiente		Cant. diaria de agua usada (litros)	Cant. diaria de estiércol usado (kg)	Cant. diaria producida de bioabono (litros)	Energía diaria (Kwatts)	Costo de operación diario del biodigestor (jornales)	Costo de operación diario biodigestor
		6:00 am	12 noche	6:00 am	12 noche						
D1	6,066	22°C	22°C	17°C	22°C	2141	189	1350	5,862	21.000	24.235,40
D2	6,018	22°C	21°C	17°C	21°C	2108	189	1310	5,824	21.000	24.218,90
D3	6,063	20°C	20°C	19°C	20°C	1135	189	1330	3,362	21.000	23.154,10
D4	6,092	22°C	23°C	19°C	22°C	778	189	1440	1,268	21.000	22.248,43
D5	6,076	21°C	21°C	18°C	21°C	713	189	1320	1,13	21.000	22.188,74
D6	6,079	22°C	20°C	17°C	22°C	973	189	1250	3,468	21.000	23.200
D7	6,074	22°C	23°C	19°C	20°C	1135	189	1430	3,362	21.000	23.154,10

Fuente: Esta investigación

Tabla No 26 *Producción diaria de biogás, gastos de agua, estiércol en la operación del biodigestor prototipo*

Días	Producción biogás diaria en m3 Biodigestor modelo	Uso diario de agua (litros)	Uso diario estiércol (kg)	Producción diaria bioabono (litros)
1	6,066	2141	189	1350
2	6,018	2108	189	1310
3	6,063	1135	189	1330
4	6,092	778	189	1440
5	6,076	713	189	1320
6	6,079	973	189	1250
7	6,074	1135	189	1430

Fuente: Esta investigación

Según Rodríguez D y Urbina A., un cerdo genera en promedio 2,25 kg de biomasa, la cual a su vez genera 78 m3 de biogás; para este caso (instalación del biodigestor prototipo), al disponer de 189 kg diarios de biomasa, se debía producir 6552 m3 de biogás, sin embargo, el resultado obtenido fue menor (6058 m3), valor que puede explicarse por las condiciones de la temperatura, la cual fue de 21°C.

Considerando lo que plantean Álvarez J. y Otros, la condición óptima para la producción del biogás debe ser a una temperatura de 35°C. En este caso, el estudio del prototipo se hizo a 21°C.

Sin embargo, según el documento “Manual del Biogás”, publicado por el PNUD, FAO, GEF y MINENERGIA (2011), se obtuvo una fermentación Mesophilica, tal como lo mostraba la Tabla No.11.

De otra parte, según Botero R. y Preston T. (1995), la cantidad diaria de cieno de fermentación, está dada por la proporción agua estiércol. Por cada Kilogramo de estiércol se deben mezclar 4 litros de agua. Para este caso, al disponer de 189 kilogramos de estiércol se debía mezclar 756 litros de agua, sin embargo, la cantidad promedio día de agua mezclada fue de 1283 litros, a razón de 6,7 litros por cada kg de estiércol.

Así mismo Pantoja N. y Parra A. (2012), en un experimento realizado en la vereda Mocondino del municipio de Pasto Nariño, a una temperatura ambiente de 14°C, con 143 Kg/día de biomasa (estiércol de cerdo), 30 litros de agua/día y un tiempo de retención de 15 días, se obtuvo 9,1m³ de biogás/día. En el trabajo realizado con esta investigación los resultados fueron menores en la obtención de biogás a pesar de haber dispuesto de mayor cantidad de biomasa y menor temperatura ambiente.

A pesar de que los resultados obtenidos difieren en cantidad de los referentes teóricos, la cantidad de biogás obtenida con el biodigestor prototipo satisface las necesidades del trapiche panelero.

El total de biogás necesario para la operación del trapiche es de 12 m³; pero sabiendo que las propiedades del biogás tiene 6,0 – 6,5Kwh/m³ de energía contenida, entonces se hizo el análisis correspondiente para calcular el gasto por horas de operación

El número de horas de consumo de gas en el proceso de evaporación es de 8, con 6 moliendas semanales que suman un total de 48 horas semanales, en este mismo orden de ideas se hizo un cálculo para determinar el gasto energético que se incurre con el funcionamiento del trapiche, que a continuación se relaciona:

Tabla N° 27. *Producción diaria de biogás, gastos de agua, estiércol en la operación del biodigestor modelo y proyectado*

Cantidad de Biomasa (Kg) Biodigestor modelo	Producción m3/día	Cantidad de Biomasa (Kg) Biodigestor proyecto	Producción m3/día
189	6,066	300	9,628
189	6,018	300	9,552
189	6,003	300	9,632
189	6,092	300	9,669
189	6,076	300	9,644
189	6,079	300	9,649
189	6,074	300	9,641
Promedio:	6,058		9,631
Total: 1323	42,408	2100	67,415

Fuente: Esta investigación

En el biodigestor que se plantea en el proyecto con un gasto de 1200 litros de agua y 300 kg de estiércol se tendría una producción promedio de 9,631 m³ /día de gas disponible para un total de 289 m³ mensuales de los cuales el gasto para 192 horas mensuales de proceso es de 48 m³ equivalente al 25,396 % del total de la producción mensual.

El requerimiento del trapiche para 48 horas/ semana de consumo es de 72 m³ (12m³/día), que equivale a 450 Kw de energía, si se utilizara la hornilla las 12 horas con el biogás, sin embargo, como se utilizará la combustión del bagazo para las primeras 6 horas, la cantidad necesaria de biogás, será de 6m³. Con el biodigestor prototipo instalado se produce un promedio es de 6,053 m³/día con 100 cerdos y una biomasa de 189 Kg/día, por lo tanto en el modelo a instalar abastecido por una cantidad de biomasa de 300 kg/día, la producción de biogás será de 9,628 m³/día, con un excedente de 3,628m³/ día de biogás que equivale al 37,68% que se pueden comercializar a un precio módico para los trapiches vecinos si esto fuera posible.

Variable	n	Media	D.E.	Var (n-1)	Min	Max
Producción de gas Modelo	7	6.06	0.03	1.1E-03	6.00	6.09
Producción de gas Proyectado	7	9.63	0.04	1.4E-03	9.55	9.67

Figura No 8. Media y desviación estándar para la producción de gas en biodigestor modelo y proyectado

La desviación estándar nos indica que el comportamiento en la producción de gas con el biodigestor proyectado, respecto al modelo estudiado es divergente, ya que a mayor cantidad de biomasa disponible habrá mayor cantidad de producción, esto quiere decir que es directamente proporcional, los requerimientos de gas con la oferta de biomasa existente.

Sin embargo, en cada caso de producción de gas existe una desviación estándar del 3,38 % para el biodigestor prototipo y 4,1 % para el biodigestor proyectado, por lo que el incremento en producción de gas varía con cierta amplitud con este tipo de digestores que son experimentales y rústicos.

La desviación estándar nos puede sopesar cómo datos de producción alrededor de una medida se van alejando con frecuencia sostenida o se alejan abruptamente situación que puede afectar el comportamiento de la producción.

Gráfico No 1 Producción de gas según el modelo prototipo

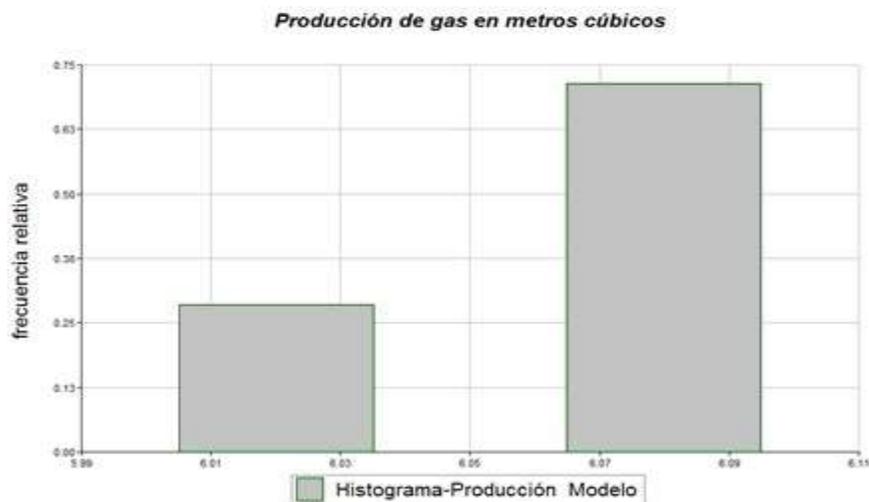
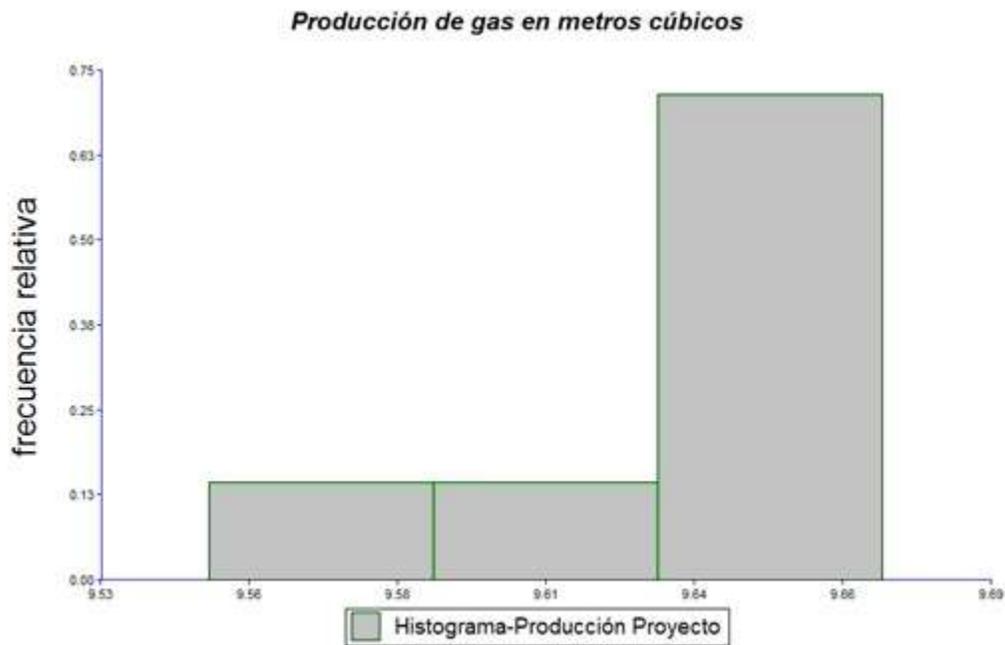


Gráfico No 2 Producción de gas según el modelo proyectado



Los gráficos de frecuencias nos indican que hay variaciones significativas en cuanto a la producción de gas con los digestores; esto nos indica que la producción de gas con mayor cantidad de estiércol muestra un porcentaje más constante en cuanto a la cantidad de producción, mientras que, si bajamos la cantidad de biomasa, la variabilidad respecto a la media se incrementa en un porcentaje mayor. (Ver gráficos No 1 y 2)

Una debilidad de este tipo de construcciones es que son vulnerables a una posible conflagración, sin embargo, si todo se maneja con las debidas normas y protocolos establecidos para tal fin la infraestructura cumplirá eficientemente con su función de producir el gas, para ser utilizado en distintas aplicaciones

7.4.5.1. Lixiviados procedentes del biodigestor

Por otro lado, se hizo un análisis de los lixiviados del biodigestor para evaluar el poder fertilizante de este subproducto, que, si amerita utilizarlos como caldo fermentado con contenido de minerales que son utilizados por las plantas, en este caso específico, en la producción de la caña panelera en la asociación de productores.

Para el presente caso se envió la muestra de los lixiviados provenientes de un biodigestor modelo ya en funcionamiento, al laboratorio de la universidad Jorge Tadeo Lozano como se relaciona a continuación:



**LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
ANÁLISIS DE AGUA PARA RIEGO Y SOLUCIONES NUTRITIVAS**

Muestra No. Muestra: 000195 Identificación: LIXIVIADO BIODIGESTOR Orden de Trabajo No.: 000796 Fecha de Solicitud: 18-nov-15 Fecha de Impresión: 24-nov-15	Ciente Nombre: MARIA ISILDA CUARAN CUARAN Dirección: DG 68G 31-15 BRR FLORALIA Municipio: BOGOTA Teléfono: 3203273636 Fax: E-Mail: m410maico@hotmail.com/metorres@corpoica.or	Finca Nombre: BIODIGESTOR Municipio: FLORENCIA (CAQ) Departamento: Caqueta
Solicitante: MAURO ELI TORRES		

ELEMENTO ANALIZADO	pH	C.E. dS/m	Cationes (mg * litro ⁻¹ ó ppm)					Sumatoria de Cationes	Aniones (mg * litro ⁻¹ ó ppm)						Sumatoria de Aniones
			N-NH ₄ ⁺ Amonio	K Potasio	Ca Calcio	Mg Magnesio	Na Sodio		N-NO ₃ ⁻ Nitrito	P Fósforo	S Azufre	Cl ⁻ Cloruro	HCO ₃ ⁻ Bicarbonato	CO ₃ ⁼ Carbonato	
RESULTADO DEL ANÁLISIS	7.7	1.48	2.5	221.2	38.4	37.8	65.8		4.4	1.2	1.1	189.8	542.4	0.0	
Resultado en meq/litro			0.18	5.67	1.92	3.15	2.86	14.01	0.31	0.04	0.07	5.35	8.89	0.00	14.66
Resultado en gramos/litro			0.003	0.221	0.038	0.038	0.066		0.004	0.001	0.001	0.190			

Metodología:

P método lactato, B por Azometina-H, N-NH₄ y N-NO₃ según Kjeldahl, S por turbidimetría. Los demás cationes se cuantifican por absorción atómica. CO₃, HCO₃ y Cl por titulación.

pH y C.E. en dilución: 1:1

Elementos Menores (mg * litro ⁻¹ ó ppm)				
Fe	Mn	Cu	Zn	B
Hierro	Manganeso	Cobre	Zinc	Boro
2.73	2.87	0.02	0.41	0.19

Quim. Adriana Mireya Zamudio S.
Jefe Laboratorio de Suelos y Aguas

Figura No 9 Resultados de laboratorio análisis de lixiviados

De acuerdo a los resultados de laboratorio se tiene un buen porcentaje de contenido fertilizante en estos lixiviados, que cumple condición necesaria para ser utilizada en la agricultura, en especial en el cultivo de la caña panelera

El poder fertilizante de este subproducto es muy bueno ya que con un contenido de Nitrógeno de 2,5 mg/litro, Fosforo 1,5 mg/litro y Potasio de 221,2 mg/litro es una buena cantidad de estos elementos que pueden favorecer al agricultor a la hora de programar su plan de fertilización de la caña panelera.

Las cantidades de Calcio y Magnesio con 38,4 y 37,8 mg/litro respectivamente de cada elemento son una buena fuente de estos elementos para suplir a bajo costo los requerimientos de los cultivos

Sin embargo, la alta cantidad de Hierro (2,73 mg/l) presente en este producto, puede resultar perjudicial si no se tiene en cuenta su adecuado manejo, ya que el hierro en altas cantidades es tóxico para las plantas, lo mismo ocurre con la cantidad de manganeso que es alto, pero esta situación se puede superar haciendo un buen balance de fertilizantes a la hora de programar el tipo de fertilización para cada tipo de cultivo.

7.4.5.2. Residuos sólidos del biodigestor (bioabono)

El proceso de producción del biogás además de generar ese beneficio también genera otro subproducto que son los residuos sólidos (bioabono) que pueden ser utilizados en el sector agrícola, de acuerdo a las características que tenga el producto.

Uno de los usos de este residuo en la agricultura (en especial en el cultivo de la caña en este caso particular) es para como acondicionador de los suelos, que han sido sometidos a alto trájín en cultivos, ya que estos suelos han sufrido un proceso de compactación por la alta carga de trabajo sobre estas superficies

Por otro lado, los suelos se compactan por el agotamiento de la materia orgánica en sus capas sub superficiales por el continuo proceso de mineralización de los mismos y la extracción por parte de las plantas de cultivo de cosecha o por las pasturas

La compactación de los suelos es uno de los problemas más significativos a la hora de programar una siembra para los cañicultores:

La pérdida de los micro, macro, meso poros del suelo se convierte en una limitante para el establecimiento de los cultivos de alto rendimiento, ya que con la reducción de estas estructuras la exploración del sistema radicular de las plantas se ve afectada de manera definitiva, incidiendo en la baja producción por falta de aireación del suelo para la oxigenación de las raíces

En estas condiciones de compactación los sistemas de riego pierden su eficiencia en un gran porcentaje, ya que la infiltración del agua se ve limitada por la falta de los espacios porosos que faciliten su circulación

El bioabono como residuo sólido procedente de la digestión es un recurso muy valioso para mejorar la estructura del suelo para la producción de las plantas en general, ya que un suelo con este tipo de mejorador permite que las raíces exploren largas distancias, en busca de nutrientes en la solución del suelo.

Esta solución del suelo no estará al alcance en suelos compactados, es por ello que se debe propender en la aplicar los mejoradores de la estructura del suelo para mejorar la habilidad exploratoria de las raíces de los cultivos.

8. CONCLUSIONES

La instalación de un biodigestor con características similares al modelo prototipo que se instaló, es viable de la ejecución del proyecto como tal en la comunidad para optimizar los procesos de molienda y fabricación de panela en la Asociación Agroindustrial en la vereda Loro Dos – AGRILODS-, municipio de Valle del Guamuez.

Con una producción de 9,6 m³ de biogás el proyecto es muy bueno económicamente, ya que se reduce los costos de producción en un alto porcentaje y la viabilidad del proyecto es alta.

La utilización de los residuos de las moliendas y el estiércol producido por las granjas de la zona ayuda es un recurso aprovechable a bajo costo con grandes beneficios.

La facilidad de instalación y operación con baja inversión para el beneficio que se obtiene puede generar un efecto espejo del proyecto con respecto a los otros trapiches y de esta manera generar condiciones favorables para el medio ambiente.

Después de evaluar la viabilidad de la instalación de un biodigestor a partir de un modelo prototipo en el cumplimiento de los objetivos está dado en un 95 %, ya que los estudios realizados permiten la ejecución del proyecto en corto plazo y con mucha seguridad.

La producción diaria del biogás como fuente energética, si puede sostener en funcionamiento del trapiche que maneja la asociación AGRILODS, de manera sostenida en el tiempo porque se cuenta con la disponibilidad de materia prima a bajo costo para seguir produciendo el biogás.

La asociación al contar con una fuente energética tiene cierta independencia económica, ya que por este concepto el ahorro es significativo, para los productores de caña y los porcicultores de la zona.

La producción de biogás a bajo costo es una alternativa que potencializa la producción de panela ya que se tiene una fuente energética bajando sustancialmente el costo de operación del trapiche, esto se revierte en mayores ingresos con la misma cantidad de toneladas de caña.

La asociación al contar con una fuente energética tiene cierta independencia económica, ya que por este concepto el ahorro es significativo, para los productores de caña y los porcicultores de la zona.

Se deben tener en cuenta todas las variables del montaje del biodigestor en la producción del biogás, tales como la cantidad de biomasa, la temperatura, el tiempo de retención, cantidad de agua, etc., porque éstas son las que al final trazan los resultados favorables o desfavorables del proceso.

9. BIBLIOGRAFIA

Literatura citada:

Alvárez, J y Otros. (s.f.) “Biomasa y Biogás”. Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de Ingenierías. Recuperado en: <http://ing.unne.edu.ar/pub/biomasa.pdf>

Aniarte V. (2006) “Apuntes universitarios y prácticas de ingenierías”. Recuperado en: <http://www.alu.ua.es/v/vap/biomasa.htm>

Awad A. y Otros (2014). Artículo: “Characteristics, Process Parameters, and Inner Components of Anaerobic Bioreactors”. BioMed Research International. Vol. 14. Recuperado en: <http://www.hindawi.com/journals/bmri/2014/841573/>

Botero R. y Preston T. (1987), “Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas”. Pág. 3 – 4. Recuperado en: <http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/04-biodigestores.pdf>

Botero R. y Preston T. (1995) “Biodigestor plástico de flujo continuo, generador de gas y bioabono a partir de aguas servidas”. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria CIPAV. Cali, Colombia.

Caballero W. (2011). “Producir biogás a partir de residuos orgánicos es un buen negocio”. Recuperado en: <http://www.abc.com.py/edicion-impresalocales/producir-biogas-a-partir-de-residuos-organicos-es-un-buen-negocio-312241.html>

Castro M. (2003). “El proyecto de investigación y su esquema de investigación”. 2da. Edición. Uyapal. Caracas.

CORPOICA (1996), “El cultivo de la caña panelera en zona cafetera”. Manizales. P. 11.
Recuperado en:

http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/Cultivo%20de%20la%20ca%C3%B1a%20panelera%20en%20la%20zona%20cafetera.pdf

Dane. (2005). “Estimación y proyección de población nacional, departamental total por área 1985-2020”. Recuperado en: <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/proyecciones-de-poblacion>

Decreto Ley 2811 de 1974. Presidencia de la República. Diario Oficial 34243. Recuperado en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1551>

Decreto 1505 de 2003. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Diario Oficial 45210. Recuperado en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=8434>

Díaz, L. (2004), Generación de gas mediante descomposición de residuos orgánicos. (p.2-), Recuperado en: http://www.geocities.ws/lucio_dg/Biodigestores/apuntes.pdf

Domínguez, D y Otros (2010). “Manual de construcción y operación de biodigestor tipo hindú y flujo continuo”. Ibarra. Ecuador. Recuperado en: <http://es.slideshare.net/stevenmoreno/manual-de-construccion-y-operacion-de-biodigestor-tipo-hind-y-flujo-continuo>

Energía casera. Clasificación de biodigestores. (2009). Recuperado en: <http://energiacasera.wordpress.com/2009/09/17/clasificacion-de-biodigestores/>

Fernández J. y Saavedra C. (2007), *Obtención de biogás a partir del bagazo de caña y estiércol*. (p. 4-12), Mérida-Venezuela. Creando Revista Científica Juvenil. U.E Liceo Bolivariano Libertador. Recuperado en: https://www.academia.edu/28179906/Bio_digestor

Fernández, L. (2006) *Fichas para investigadores: Cómo se elabora un cuestionario*. Universidad de Barcelona. Recuperado en: <http://www.ub.edu/ice/recerca/pdf/ficha8-cast.pdf>

Fuentes principales de contaminación. S.f. Recuperado en: www.tecnologiaslimpias.org/html/central/311802/311802_fucon.htm

Fundación Hábitat (2005), “Biodigestores una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes”. Quimbaya Quindío

Gallardo & Moreno A. (1999) Modulo 3 Recolección de la información. P. 27 – 28. ICFES. Bogotá. Recuperado en: <http://www.unilibrebaq.edu.co/unilibrebaq/images/Documentos/mod3recoleccioninform.pdf>

Groppelli y Otros (s.f.). “Biodigestor anaeróbico para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos en pequeñas comunidades”. Provincia de Santa Fe. Argentina.

Guerrero L. (2016). Artículo: “Tipos de biodigestores y sus diseños”. Recuperado en: <https://www.aboutespanol.com/tipos-de-biodigestores-y-sus-disenos-3417696>

Kiely G., (1999). “Ingeniería Ambiental Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de Gestión”. Ed. McGraw-Hill. Vol 3

LA MEGA (S.F.) “La caña de azúcar”. Recuperado en: http://www.lameca.org/dossiers/canne/15_esp.htm

Ley 9 de 1979. Presidencia de la República. Diario Oficial S.N. Recuperado en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1177>

Manual, normas y orientaciones para la elaboración del trabajo de grado (TG-UAH) Recuperado en: <http://eddydiaz24.files.wordpress.com/2013/01/manual-seminario-tg-auh.pdf>

Mathiasen y Sánchez (2012) “Diagnóstico Rural Participativo DRP Municipio Valle del Guamuez Putumayo”. Bogotá. UNODC Colombia.

Martínez, F. (2002) “El cuestionario. Un instrumento para la investigación en las ciencias sociales”. Barcelona: Laertes Psicopedagogia.

Martínez R., Chávez E., López I., (2008) “Utilización del biogás como combustible para motores de combustión interna”. En V Conferencia Internacional de Ingeniería Mecánica (COMEC). Centro de Estudios de Termoenergética Azucarera (CETA). P.8

Metal Agro Ltda. “Trapiches Horizontales el Panelero”. Recuperado en:

<http://sitios.xcursor.com/cliente/estilos/860507847/archivos/Catalogo%20R12-R15.pdf>

Metcalf & Eddy. (1996) “Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización”. Volumen I. McGraw- Hill. 1996.

MINENERGIA, PNUD, FAO, GEF (2011). “Manual del biogás” Proyecto CHI/00/G32. Santiago de Chile. Recuperado en:

http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/Biocomustibles/FAO/manual_biogas.pdf

Osorio, G (2007). “Manual Técnico Buenas Prácticas Agrícolas –BPA- y Buenas Prácticas de Manufactura –BPM- en la Producción de caña y panela”. CORPOICA, MANA y FAO. Recuperado en: <http://www.fao.org/co/manualpanela.pdf>

Pantoja N. y Parra A. (2012). “Obtención de biogás a partir de estiércol de cerdo utilizando un biodigestor tipo tubular”. Universidad Mariana. III exposición de trabajos de investigación UNIMAR. San Juan de Pasto. Colombia.

Recuperado en:

<http://www.umariana.edu.co/ojs-editorial/index.php/libroeditorialunimar/article/view/1329/1289>

Pérez, J. (2010) “Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Política Nacional de Producción más Limpia 1997. P.30 Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado en: http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ambiente/politica/polit_produccion_mas_limpia.pdf

Quintero M. y Otros, (2011) “Estudio de consorcios microbianos para la producción de biogás a partir de residuos del fique”. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. P. 29

Ramirez M. (2016) “Triangulación de instrumentos para análisis de datos”. Universidad Virtual Tecnológica de Monterrey. Recuperado en: https://www.youtube.com/watch?v=0OG_0LBT_VA

Rodríguez D. y Urbina A. (s.f), “Biodigestores: Qué son y cómo construirlos”. Programa Regional de Ganadería MAG. Grecia. Recuperado en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/prog-cerdos-biodigestor1.pdf>

Samani, Zohrab. (2004). “Generación de energía y fertilizantes orgánicos a partir de residuos agrícolas”. Universidad del Estado Nuevo México, Estados Unidos.

Tolosa J. (2007), “Diseño del sistema de gestión medio ambiental basado en EMAS, para la planta productora de biogás <Bioenergie>. Bamberg Alemania. P. 16

Zérega, M (1993) “Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros” FONAIAP. Venezuela. P. 1 Recuperado en: http://sian.inia.gov.ve/repositorio/revistas_ci/canadeazucar/cana1102/texto/manejo.htm

Zorg Biogas Plant (2013). “Biogas & Biogas <One man’s trash is another man’s treasure>”. Biog Ltd. Alesund Noruega. Recuperado en: <http://paterex.com/biog/zorg.pdf>

10. ANEXOS

10.1. ANEXO UNO: Presupuesto

DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
Identificación población objetivo			
Diseño formato de encuesta			
Realización de entrevista y encuesta.	36	\$5.000	\$180.000
Tabulación de la información			
Análisis de información			
Investig. tipos de biodigestores y hornillas			
Gestión para financiamiento con la Alcaldía			
Adecuación del terreno	1	\$6.000.000	\$6.000.000
Instalación del biodigestor	1	\$50.000.000	\$50.000.000
Análisis de pruebas y resultados	1	\$220.000	\$220.000
TOTAL			\$56.400.000

10.2. ANEXO DOS: Encuesta

1. INFORMACION BASICA											
1.1. Nombre del jefe del hogar (Escriba los apellidos y nombres utilizando una casilla por letra):											
Primer Nombre										Segundo Nombre	
Primer Apellido										Segundo Apellido	
1.2. Tipo de documento:			<input type="radio"/> CC <input type="radio"/> TI <input type="radio"/> CE			1.3. Número de Documento:					
1.4. Fecha de la encuesta (dd/mm/aa)						1.5. Edad (Años)			1.6. Sexo: <input type="radio"/> Hombre <input type="radio"/> Mujer		
1.7. Vereda:											
1.8. Municipio:						1.9. Departamento:					
1.10. Pertenece a algún tipo de organización? (Opción única) <input type="radio"/> SI <input type="radio"/> NO (Pase a 2)											
1.10.1. ¿A cuál?											
2. Descripción del predio											
2.1. Área total del predio											
2.2. Tipo de tenencia (Opción única) <input type="radio"/> Propietario (Pase a 3) <input type="radio"/> Arrendatario (Pase a 3) <input type="radio"/> Poseedor <input type="radio"/> Aparcería <input type="radio"/> Otro											
3. Agua para el consumo doméstico											
3.1. ¿Cuál es la principal fuente de agua para uso agrícola y doméstico? (Opción múltiple)											
<input type="checkbox"/> a. Quebradas, caños y ríos <input type="checkbox"/> b. Nacimientos <input type="checkbox"/> c. Lagunas y lagos <input type="checkbox"/> d. Aguas subterráneas <input type="checkbox"/> e. Aguas lluvias <input type="checkbox"/> f. Otros											
4. Descripción del uso de los suelos											
USO			AREA			USO			AREA		
5. Producción de biomasa vegetal											
5.1. ¿Actualmente dispone de caña panelera para procesar en panela? Opción única <input type="radio"/> SI No. Has. <input type="radio"/> NO											
5.2. ¿Con qué frecuencia procesa la caña panelera? Opción única											
<input type="radio"/> Diario <input type="radio"/> 1 Vez/semana <input type="radio"/> 2 Veces/semana <input type="radio"/> 3 veces/semana <input type="radio"/> 4 veces/semana <input type="radio"/> Mensual <input type="radio"/> Bimestral <input type="radio"/> Trimestral											
5.3. ¿Qué cantidad de caña procesa (Opción única)											
<input type="radio"/> 1 Ton <input type="radio"/> 2 Ton <input type="radio"/> 3 Ton <input type="radio"/> 4 Ton <input type="radio"/> 5 Ton <input type="radio"/> 6 Ton <input type="radio"/> 7 Ton <input type="radio"/> 8 Ton <input type="radio"/> 9 Ton <input type="radio"/> 10 Ton <input type="radio"/> 11 Ton <input type="radio"/> 12 Ton <input type="radio"/> 13 Ton <input type="radio"/> 14 Ton <input type="radio"/> 15 Ton <input type="radio"/> > 15 Ton											
5.4. Cantidad de biomasa producida											
5.4.1. ¿Qué cantidad de bagazo se produce del anterior proceso? (Opción única)											
<input type="radio"/> 1 Ton <input type="radio"/> 2 Ton <input type="radio"/> 3 Ton <input type="radio"/> 4 Ton <input type="radio"/> 5 Ton <input type="radio"/> 6 Ton <input type="radio"/> 7 Ton <input type="radio"/> 8 Ton <input type="radio"/> 9 Ton <input type="radio"/> > o = 10 Ton											
5.4.2. ¿Qué cantidad de cachaza se produce del anterior proceso? (Opción única)											
<input type="radio"/> 1 Galón <input type="radio"/> 2 Galón <input type="radio"/> 3 Galones <input type="radio"/> 4 Galones <input type="radio"/> 5 Galones <input type="radio"/> 6 Galones <input type="radio"/> 7 Galones <input type="radio"/> 8 Galones <input type="radio"/> 9 Galones <input type="radio"/> > o = 10 Galones											
5.5. Duración de la molienda: Cuántas horas se gasta en cada molienda? (Opción única)											
<input type="radio"/> 1 Hora <input type="radio"/> 2 Horas <input type="radio"/> 3 Horas <input type="radio"/> 4 Horas <input type="radio"/> 5 Horas <input type="radio"/> 7 Horas <input type="radio"/> 8 Horas <input type="radio"/> Mas de 8 Horas											
5.6. ¿Qué uso se le está dando al bagazo de la caña?											
<input type="radio"/> Se lo quema <input type="radio"/> Sirve de abono para la caña <input type="radio"/> Se bota a espacio abierto <input type="radio"/> NS/NR											
5.7. ¿Qué uso se le da a la cachaza?											
<input type="radio"/> Uso alimento porcinos <input type="radio"/> Se la utiliza para abono <input type="radio"/> Se bota <input type="radio"/> NS/NR											
6. Producción de biomasa animal											
6.1. ¿Adelanta en su finca la actividad pecuaria de la porcicultura? (Opción única) <input type="radio"/> SI <input type="radio"/> NO											
6.2. ¿Cuántos cerdos en promedio dispone su granja porcícola? (opción única)											
<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 <input type="radio"/> 10 <input type="radio"/> 11 <input type="radio"/> 12 <input type="radio"/> 13 <input type="radio"/> 14 <input type="radio"/> 15 <input type="radio"/> Mas de 15											
6.3. ¿Qué peso en promedio tienen los cerdos? (Opción única)											
<input type="radio"/> 40 Kg <input type="radio"/> 50 Kg <input type="radio"/> 60 kg <input type="radio"/> 70 Kg <input type="radio"/> 80 Kg <input type="radio"/> 90 Kg <input type="radio"/> > o = 100 Kg											
6.4. Cantidad de estiércol que se produce diariamente (Opción única)											
<input type="text"/> Kg. <input type="radio"/> No sabe											
6.5. ¿Qué uso se le está dando al estiércol de cerdo? Opción única											
<input type="radio"/> Se utiliza como abono <input type="radio"/> Se arroja a fuentes hídricas <input type="radio"/> NS/NR											
7. Apoyo al proyecto de implementación de un biodigestor como alternativa productiva											
7.1. ¿Le gustaría apoyar el proyecto de implementación de un biodigestor para el proceso de transformación de la panela? (Opción única) <input type="radio"/> SI <input type="radio"/> NO											

10.3. ANEXO TRES: Registro Fotográfico



Imagen No. 10. Granja porcina – lugar instalación biodigestor prototipo



Imagen No. 11. Cerdos vereda Loro Dos – Valle del Guamuez



Imagen No. 12 Proceso instalación biodigestor prototipo