

**ESTUDIO TÉCNICO DE UN GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA A
PARTIR DE BIOMASA EN LOS MUNICIPIOS DE GUACHUCAL, CUMBAL Y
OSPINA DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

CLAUDIA VIVIAN ZAMBRANO PANTOJA

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SAN JUAN DE PASTO
2014**

**ESTUDIO TÉCNICO DE UN GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA A
PARTIR DE BIOMASA EN LOS MUNICIPIOS DE GUACHUCAL, CUMBAL Y
OSPINA DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

CLAUDIA VIVIAN ZAMBRANO PANTOJA

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Electrónico**

**ASESOR
DIEGO JAIR RODRIGUEZ OBANDO
INGENIERO ELECTRÓNICO Ms.C. (c)**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SAN JUAN DE PASTO
2014**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor”.

Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Presidente de Tesis

Jurado 1

Jurado 2

San Juan de Pasto, mayo de 2014

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la fortaleza de luchar cada día, a mi padre y a mi hermano por su apoyo incondicional, a mi madre, que aunque ya no está siempre me ha guiado, a mis profesores por brindarme el conocimiento y a mis compañeros gracias por su apoyo.

CONTENIDO

	Pág
Introducción	14
objetivos	17
1. Marco referencial	18
1.1 marco contextual	18
1.2 marco teorico	19
1.2.1 Biomasa.....	19
1.2.2 Características energéticas de la biomasa.....	20
1.2.3 Aplicaciones energéticas de la biomasa	21
1.2.4 Biodigestor.....	22
1.2.5 Tipos de biodigestores.....	24
1.2.6 Biogás.....	27
1.2.7 Efluente	27
1.2.8 Generador eléctrico a partir de biogás	28
1.3 Marco legal	30
1.3.1 Ley 51 de 1989.	30
1.3.2 Ley 629 de 2000 Mecanismo de desarrollo limpio	30
1.3.3 Decreto número 1505 de 2003. PGIRS.....	30
2. Metodología	32
2.1 Analizar el potencial existente de biomasa en el sector agropecuario de las regiones de los municipios de guachucal, cumbal y ospina.	32
2.2 Capacitar a la población en cuanto al manejo de los desechos agropecuarios para ser transformados en biogás.	32
2.3 Identificar una finca con un apto potencial de biomasa y realizar en ella el diseño técnico del equipo generador de biogás, así como también del generador eléctrico.	33
2.4 Analizar la sostenibilidad de un generador de energía a partir de biomasa, así como también hacer un análisis costo-beneficio del proyecto que se propone. ...	34
3. Resultados	36
3.1 Análisis de potencial de biomasa en los municipios de guachucal, cumbal y ospina.....	36
3.1.1 Análisis de potencial bovino.....	36
3.1.2 Análisis de potencial porcino.....	38

3.1.3	Análisis de potencial avícola	40
3.1.4	Análisis del potencial de otras especies	41
3.2.	Análisis de temperatura en los municipios de cumbal, ghachucal y ospina.	41
3.2.1	Temperatura municipio de Cumbal	42
3.2.2	Temperatura municipio de Guachucal.....	43
3.2.3	Temperatura municipio de Ospina.	44
3.3	Análisis de la capacidad de generación de biogás.	44
3.4	Capacitación de la población.	45
3.5	Análisis de tipos de biodigestores	49
3.6	Diseño del biodigestor	51
3.6.1	Selección del lugar.....	51
3.6.2	Potencial de biomasa producido diariamente en la finca.....	51
3.6.3	Dimensionamiento del biodigestor	53
3.6.4	Cantidad de gas producido diariamente	70
3.7	Usos del biogás.	71
3.7.1	GLP	72
3.7.2	Leña	72
3.7.3	Energía eléctrica.....	72
3.8	Abono orgánico.....	80
3.9	Análisis costo beneficio de la implementación de biodigestores.	82
4.	Conclusiones.....	88

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Digestor de estructura sólida fija, tanque cilíndrico	25
Figura 2. Digestor de estructura sólida móvil.....	25
Figura 3. Digestor de balón de plástico	26
Figura 4. Esquema metodológico para el diseño de un biodigestor	34
Figura 5. Distribución racial en el trópico alto de Nariño	37
Figura 6. Plegable informativo dirigido a la comunidad.....	46
Figura 7. Consolidación de resultados de encuestas realizadas a la comunidad en el municipio de Guachucal	46
Figura 8. Consolidación de resultados de encuestas realizadas a las asociaciones lecheras	48
Figura 9. Fotografías de la capacitación en los municipios de Guachucal y Cumbal.....	49
Figura 10. Finca San Isidro	51
Figura 11. Lugar escogido para la ubicación del biodigestor	53
Figura 12. Diseño del biodigestor en forma cilíndrica	57
Figura 13. Diseño del biodigestor con especificaciones del libro de Martí	57
Figura 14. Diseño especificaciones CORPONARIÑO año 2010.....	58
Figura 15. Diseño especificaciones CORPONARIÑO año 2013.....	58
Figura 16. Diseño propio	58
Figura 17. Base del biodigestor.....	59
Figura 18. Estructura en ladrillos del biodigestor	60
Figura 19. Diseño de la estructura del biodigestor.....	60
Figura 20. Cámara de entrada	61
Figura 21. Cámara de salida	61
Figura 22. Invernadero del biodigestor	62
Figura 23. Instalación para la conducción del gas	63
Figura 24. Acople para la salida de gas	63
Figura 25. Trampa de agua	64
Figura 26. Filtro de H ₂ S.....	64
Figura 27. Diseño completo del biodigestor con aislamiento en estructura de cemento y ladrillo.....	65
Figura 28. Diseño completo del biodigestor con aislamiento en plástico	67
Figura 29. Generador Honda 10i.....	76
Figura 30. Kit de conversión de gasolina a biogás	78
Figura 31. Conversión generador de gasolina a biogás. Retiro del conjunto del filtro	78
Figura 32. Conversión generador de gasolina a biogás. Instalación del adaptador	79
Figura 33. Conversión generador de gasolina a biogás. Instalación del conjunto del filtro	79

Figura 34. Conversión generador de gasolina a biogás. Instalación del soporte para la regulación de la demanda.....80

Figura 35. Conversión generador de gasolina a biogás. Fijación del regulador de la demanda 80

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Clasificaciones de biomasa	19
Tabla 2. Poder calorífico de algunos recursos biomásicos a distintos contenidos de humedad.....	20
Tabla 3. Potencial energético de algunos recursos biomásicos.....	21
Tabla 4. Composición del biogás.....	27
Tabla 5. Equivalencias de 1m ³ con 70% de metano con otros combustibles.....	27
Tabla 6. Inventario de ganado vacuno en los municipios de Guachucal, Cumbal y Ospina.....	36
Tabla 7. Producción de estiércol promedio de diversos tipos de bovinos Holstein.....	37
Tabla 8. Total estiércol por municipio	38
Tabla 9. Total potencial de biomasa de estiércol bovino	38
Tabla 10. Inventario total de cerdos de traspatio.....	39
Tabla 11. Inventario total de cerdos de granjas de cría.....	39
Tabla 12. Producción de estiércol promedio de diversos tipos de porcinos.....	39
Tabla 13. Total estiércol de cerdos de traspatio de los 3 municipios	40
Tabla 14. Total producción estiércol cerdos de granja	40
Tabla 15. Total inventario aves de traspatio.....	41
Tabla 16. Total producción de estiércol de aves de traspatio	41
Tabla 17. Total inventario otras especies	41
Tabla 18. Temperatura municipio de Cumbal.....	42
Tabla 19. Temperatura municipio de Guachucal	43
Tabla 20. Temperatura municipio de Ospina.....	44
Tabla 21. Asociaciones lecheras entrevistadas en el municipio de Cumbal	47
Tabla 22. Características de biodigestores más utilizados	49
Tabla 23. Total estiércol vacuno y porcino producido en la finca.....	52
Tabla 24. Contenido de sólido en la materia	54
Tabla 25. Parámetros según el ancho del rollo	55
Tabla 26. Especificaciones de diseño de biodigestores	57
Tabla 27. Especificaciones de materiales utilizados en la implementación del biodigestor con aislamiento en estructura de cemento, arena y ladrillo.....	66
Tabla 28. Especificaciones de materiales utilizados en la implementación del biodigestor con aislamiento de plástico.....	67
Tabla 29. Cantidades de material estimadas por metro cúbico de concreto y resistencias probables obtenidas.....	69
Tabla 30. Cantidades de material estimadas por metro cúbico de mortero y resistencias probables obtenidas.....	69
Tabla 31. Generadores eléctricos potencia y precios.....	74
Tabla 32. Dispositivos electrónicos y potencias en la finca	75
Tabla 33. Resultados de los análisis físico químicos.....	81
Tabla 34. Resultados de los análisis microbiológicos.....	82

Tabla 35. Consumos de energía en la finca por un mes83
Tabla 36. Presupuesto para la implementación del biodigestor con aislamiento en estructura de cemento, arena y ladrillo84
Tabla 37. Presupuesto para la implementación del biodigestor con aislamiento en plástico.....84

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Encuestas a la población del municipio de Guachucal
- Anexo 2. Encuestas asociaciones lecheras de Cumbal

RESUMEN

El biodigestor es un sistema anaeróbico que descompone la materia orgánica y genera como subproducto del proceso biogás, como una fuente de energía alternativa y bioabono como fertilizante para los cultivos. En este trabajo se realiza un estudio técnico para la generación de energía a partir de los desechos orgánicos provenientes del sector pecuario utilizando biodigestores. Este documento presenta los resultados de la investigación después de realizar una exploración acerca de la cantidad y tipos de biomasa que se produce en la zona objeto de estudio (Guachucal, Cumbal y Ospina - Departamento de Nariño – Colombia), además del análisis de la temperatura como parámetro fundamental en el diseño de biodigestores. Presenta también los resultados de la capacitación realizada a la población, referente al uso de biodigestores en el manejo de los desechos orgánicos para producir biogás y bioabono. Como producto principal se presenta el diseño técnico de un biodigestor, que se fundamenta en la recopilación de investigaciones referentes al tema, y en el trabajo de campo basado en el reconocimiento de biodigestores implementados en la zona. En esta etapa se realiza además el estudio de la adaptación de un equipo generador teniendo en cuenta los existentes en el mercado y la eficiencia que estos brindan, y finalmente se realiza un análisis de la rentabilidad que ofrece su implementación.

ABSTRACT

Biodigester is an anaerobic system that digests organic matter and generates: biogas as a sub product of the process that can be used as alternative energy source, and biofertilizer for crops. This paper presents a technical study for power generation based on organic waste from livestock sector using biodigesters. This document presents the research results after the exploration on the amount and type of biomass produced in the study area (Guachucal, Cumbal and Ospina – Nariño – Colombia), besides the analysis of the temperature as a key parameter in the design of biodigesters. It also presents the results of population training regarding the use of digesters in the management of organic waste to produce biogas and biofertilizer. The main outcome is the technical design of a biodigester which is based on the gathering of related researches and fieldwork views to implemented biodigesters in the area. At this stage, it is made the study of adaptation of a generator taking into account the existing ones on the market and their efficiency. Finally, a profitability analysis of the implementation is presented.

INTRODUCCIÓN

Las fuentes de energía renovables son aquellas que aprovechan recursos naturales, considerados inagotables, para poder mediante la aplicación de técnicas y tecnologías generar energía de manera localizada, a una escala más baja que las fuentes de energía convencionales, pero con beneficios en cuanto al impacto ambiental y ventajas respecto al alcance de éstas en zonas no interconectadas. Es importante destacar, que aunque hasta el momento sean escasos los proyectos que involucran el uso de energías alternativas, se está gestando una mentalidad ecológica que impulsa su utilización en los planes de desarrollo energético del país.

Uno de los tipos de energía alternativa es la biomasa, la cual puede procesarse de varias maneras para producir diferentes tipos de energía como: térmica, eléctrica, biocombustibles, gases combustibles; siendo este último tipo de energía el que aprovecha mejor los recursos provenientes de desechos orgánicos en granjas agrícolas, lo cual se hace mediante un proceso llamado digestión anaerobia el cual se lleva a cabo en ausencia de oxígeno. Dicho proceso lo realizan microorganismos como parte del ciclo biológico de la materia orgánica, el cual involucra la fermentación o digestión de materiales orgánicos para obtener el biogás. Los biodigestores por su parte son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás, esta tecnología no es nueva, pero en los últimos años ha cobrado gran interés debido a la crisis actual energética, producto del agotamiento de los combustibles fósiles.

La región del trópico alto de Nariño se caracteriza por basar su economía en la producción de leche, de la cual se derivan desechos orgánicos que pueden ser utilizados para la obtención de biogás. Con el estudio técnico de un generador de energía eléctrica a partir de biomasa en los municipios de Guachucal, Cumbal y Ospina del departamento de Nariño se obtiene un estimado de biomasa proveniente de desechos orgánicos del sector pecuario, así como también el diseño técnico de un biodigestor, teniendo en cuenta los parámetros que permiten su buen funcionamiento. El diseño es aplicado a las necesidades de una finca ubicada en uno de los municipios objeto de estudio, adicionalmente este permite obtener un estimado de producción de biogás con el que se puede analizar la cantidad de energía a sustituir en la finca.

Este documento presenta inicialmente los objetivos planteados en el anteproyecto, y posteriormente se divide en 4 capítulos correspondientes a:

- Marco referencial, el cual incluye un marco contextual, un marco teórico y un marco legal. En éste, se ubica el proyecto dentro del contexto institucional, regional, nacional e internacional, apoyándose en la reglamentación legal

existente; además de proporcionar unas bases teóricas necesarias para entender el desarrollo de este documento.

- Metodología, que se trabaja según los objetivos específicos del proyecto.
- Resultados, que al igual que la metodología se trabaja según los objetivos específicos. Entre los resultados obtenidos, se tiene que el potencial de biomasa de origen bovino total de los municipios objeto de estudio, es de 2.632.545 kg por día, lo que significa la factibilidad de implementar biodigestores en la zona. Se obtiene también información consolidada de encuestas realizadas a la población de los municipios en cuestión, y de asociaciones lecheras en el municipio de Cumbal. Además, se presenta un diseño técnico de un biodigestor, para ser implementado en los municipios mencionados, acorde con las características de éstos, el cual tiene la capacidad de producir suficiente biogás para la sustitución del consumo de leña y GLP, como fuente de energía en el proceso de cocción en los hogares rurales. Otro de los resultados, es el presupuesto detallado del costo de implementación del biodigestor, con el respectivo análisis del beneficio que su instalación implicaría.
- Conclusiones. En esta sección se exponen las apreciaciones del autor, resultantes tras el desarrollo de este trabajo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio técnico de la generación de energía a partir de biomasa en los Municipios de Guachucal, Cumbal y Ospina del departamento de Nariño, adscrito al convenio interinstitucional entre la UPME, TETRATECH ES INC sucursal Colombiana, UNIVERSIDAD DE NARIÑO y el IPSE.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar el potencial existente de biomasa en el sector agropecuario de las regiones de los Municipios de Guachucal, Cumbal y Ospina.

Identificar una finca con un apto potencial de biomasa y realizar en ella el diseño técnico del equipo generador de biogás, así como también del generador eléctrico

Analizar la sostenibilidad de un generador de energía a partir de biomasa, así como también hacer un análisis costo-beneficio del proyecto que se propone.

Capacitar a la población en cuanto al manejo de los desechos agropecuarios para ser transformados en biogás.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 MARCO CONTEXTUAL

La Universidad de Nariño es la única institución de educación superior de carácter público en la región sur de Colombia, ubicada específicamente en el departamento de Nariño. La institución forma ciudadanos, seres humanos y profesionales en diferentes áreas del saber que sean capaces de comprometerse en el desarrollo alternativo de la región, tal como lo menciona en su Misión y Visión.

El presente trabajo de investigación se desarrolla en el programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Nariño, toda vez que es un compromiso de la institución y del programa el contribuir a la solución real de los problemas que la región y el país le planteen, tal como se establece en su Misión. Es en este contexto, que el programa de Ingeniería Electrónica ha liderado un proceso de interacción social con las comunidades de todo el departamento de Nariño, a través del desarrollo del Proyecto de Energización Rural Sostenible (PERS), que además de caracterizar el consumo energético busca plantear soluciones energéticas sostenibles dando especial importancia a las energías renovables no convencionales, razón por la cual este trabajo de investigación se realiza en el marco del proyecto, y se convierte en un insumo básico para la formulación del proyecto de prefactibilidad: “Estudios detallados para el aprovechamiento de los recursos biomásicos con uso de biodigestores para generación de energía y producción de abono orgánico en el municipio de Cumbal”, el cual forma parte de los productos entregables del PERS.

Los municipios que se involucran en esta investigación son Guachucal, Cumbal y Ospina, los cuales se ubican al sur del departamento de Nariño, perteneciendo los dos primeros a la sub-región de la Exprovincia de Obando, y el último a la sub-región Sabana. Los tres municipios tienen condiciones climáticas similares, predominando los pisos frío y muy frío con temperaturas medias que oscilan entre los 6°C y 12°C, además, basan su economía en el sector agropecuario, siendo la producción láctea uno de los principales renglones en la actividad económica, especialmente de los dos primeros.

Según el DANE, el municipio de Cumbal cuenta con una población total de 30.996 habitantes de los cuales 6.712 habitan en la zona urbana y 24.284 en la zona rural; el municipio de Guachucal por su parte, cuenta con una población de 16.029 habitantes, de los cuales 3.090 se encuentran en la zona urbana y 12.939 en la zona rural; finalmente, el municipio de Ospina cuenta con una población de 8.454 habitantes.

1.2 MARCO TEORICO

1.2.1 Biomasa. La Asociación Española de Normalización y certificación (AENOR) utiliza la definición de la especificación técnica Europea CEN/TS 14488 para catalogar la biomasa como: Todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización¹. Entre estos últimos estarían el carbón, el petróleo y el gas natural. Por otra parte según el manual de energía renovable el término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde el descubrimiento del fuego².

Existen diferentes tipos de biomasa dependiendo de la fuente que los produce, los cuales pueden ser utilizados para suministrar energía a una instalación. Entre las clasificaciones más aceptadas se tienen las de la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificaciones de biomasa

TIPO DE BIOMASA	DESCRIPCION
Biomasa natural	Es la que se produce espontáneamente en la naturaleza sin ningún tipo de intervención humana. Los recursos generados en las podas naturales de un bosque constituyen un ejemplo de este tipo de biomasa. La utilización de estos recursos requiere de la gestión de su adquisición y transporte hasta la empresa, lo que puede provocar que su uso sea inviable económicamente.
Biomasa residual seca	Se incluyen en este grupo los subproductos sólidos no utilizados en las actividades agrícolas, en las forestales y en los procesos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera y que, por tanto, son considerados residuos. Este es el grupo que en la actualidad presenta un mayor interés desde el punto de vista del aprovechamiento industrial. Algunos ejemplos de este tipo de biomasa son la cáscara de almendra, el orujillo, las podas de frutales, el serrín, etc.

¹ELIAS CASTELLS, Xavier. Biomasa y Bioenergía. Madrid: Díaz de Santos, 2012. P.745.

² USERS NETWORK, Manuales sobre energía renovable: Biomasa. Costa Rica: San José, 2002. P.4.

Biomasa residual húmeda	Son los vertidos denominados biodegradables: las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines).
Cultivos energéticos	Son cultivos realizados con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible. Algunos ejemplos son el cardo (<i>cynara cardunculus</i>), el girasol cuando se destina a la producción de biocarburantes, el miscanto, etc.
Biocarburantes	Aunque su origen se encuentra en la transformación tanto de la biomasa residual húmeda (por ejemplo reciclado de aceites) como de la biomasa residual seca rica en azúcares (trigo, maíz, etc.) o en los cultivos energéticos (colza, girasol, pataca, etc.), por sus especiales características y usos finales este tipo de biomasa exige una clasificación distinta de las anteriores.

Fuente: Nogués, Fernando S., Royo, Javier). Ciclo energías renovables jornadas de biomasa, (2002).

1.2.2 Características energéticas de la biomasa. En muchas ocasiones, la biomasa se elimina por ser molesta para la instalación que la produce porque entorpece las labores agrarias o ganaderas que la generan. Cuando esto ocurre, se está desperdiciando una fuente de energía importante, basta recordar que considerando que, por término medio, un kilogramo de biomasa permite obtener 3.500 kcal y que un litro de gasolina tiene aproximadamente 10.000 kcal. Es así como por cada tres kilogramos que desperdiciamos de biomasa, se desaprovecha el equivalente a un litro de gasolina³.

Habitualmente, el contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico del recurso, aunque para algunos de ellos, como es el caso de la biomasa residual húmeda o de los biocarburantes, se determina en función del poder calorífico del producto energético obtenido en su tratamiento. La tabla 2 recoge poder calorífico inferior a distintos contenidos de humedad de algunos de los recursos de biomasa más habituales.

Tabla 2. Poder calorífico de algunos recursos biomásicos a distintos contenidos de humedad

PRODUCTO	P.C.I. a humedad x (%) (KJ/kg)					
	X	P.C.I	X	P.C.I	X	P.C.I.
Leñas y ramas	0	19.353	20	15.006	40	10.659

³ NOGUES, Fernando S., ROYO, Javier. Ciclo energías renovables jornadas de biomasa, (2002).

Serrines y virutas	0	19.069	15	15.842	35	11.537
Orujillo de oliva	0	18.839	15	15.800	35	11.746
Cascara de almendra	0	18.559	10	16.469	15	15.424
Cortezas						
Coníferas	0	19.437	20	15.257	40	11.077
frondosas	0	18.225	20	14.087	40	9.948
Poda de frutales	0	17.890	20	13.836	40	9.781
Paja de cereales	0	17.138	10	15.173	20	13.209
	30	11.286	-	-	-	-
Vid						
Sarmientos	0	17.765	20	13.710	40	9.656
Ramilla de uva	0	17.263	25	12.331	50	7.399
Orujo de uva	0	18.894	15	13.43	50	8.193

Fuente: Nogues, Fernando S., Royo, Javier. Ciclo energías renovables jornadas de biomasa, (2002).

Por otra parte, como no se puede llevar a cabo la combustión directa de la biomasa residual húmeda, su contenido energético puede determinarse en función del que posee el biogás obtenido de su digestión anaerobia. La cantidad de biogás generado y su contenido energético dependen de las características del sustrato tratado y de la tecnología empleada, en la tabla 3 se muestra el potencial energético medio de algunos recursos⁴.

Tabla 3. Potencial energético de algunos recursos biomásicos

Sustrato	Cantidad de gas a 30°C en 1/kg de residuo seco	Contenido en metano(%)	P.C.I (Kcal/m ³ Nde biogas)
Estiércol con paja	286	75	6.100
Excremento de vaca	237	80	6.500
Excremento de cerdo	257	81	6.600
Agua residual urbana	100(por m ³ de agua tratado)	65	5.300

Fuente: Nogués, Fernando S., Royo, Javier. Ciclo energías renovables jornadas de biomasa, (2002).

1.2.3 Aplicaciones energéticas de la biomasa. Existen varias aplicaciones de la biomasa que dependen de varios factores, como por ejemplo, las necesidades de energía que ésta tiene que suplir, o la escala en la cual se encuentra. Al respecto Fernando Nogues menciona:

- **Generación de energía térmica:** El sistema más extendido para este tipo de aprovechamiento está basado en la combustión de biomasa sólida, aunque también es posible quemar el biogás procedente de la digestión anaerobia de un residuo líquido o el gas de síntesis generado en la gasificación de uno sólido.

⁴ NOGUÉS, Fernando Sebastián, HERRERA ROYO, Javier. La biomasa como fuente de energía renovable. Fundación CIRCE, abril de 2002.

- **Generación de energía eléctrica:** En función del tipo y cantidad de biomasa disponible varía la tecnología más adecuada a emplear para este fin:

- Ciclo de vapor: está basado en la combustión de biomasa, a partir de la cual se genera vapor que es posteriormente expandido en una turbina de vapor.
- Turbina de gas: utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido. Si los gases de escape de la turbina se aprovechan en un ciclo de vapor se habla de un “ciclo combinado”.
- Motor alternativo: utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido o biogás procedente de una digestión anaerobia.

- **Cogeneración:** Cuando una entidad presenta consumos térmicos y eléctricos importantes se puede plantear la instalación de un sistema de cogeneración, consistente en la producción conjunta de energía térmica y eléctrica. Esta tecnología presenta como gran ventaja la consecución de rendimientos superiores a los sistemas de producción de energía térmica o eléctrica por separado.

Aunque cada caso debe ser estudiado en detalle, en general la cogeneración es adecuada para empresas con consumos de energía eléctrica importantes, con un factor de utilización elevado (más de 5.000 h/año) y donde sea posible aprovechar energía térmica a temperatura media (alrededor de 400-500° C).

Un sistema de cogeneración basado en la utilización de biomasa permite disminuir el coste de la factura, tanto la eléctrica (existiendo la posibilidad añadida de venta del excedente de electricidad) como la de combustibles fósiles.

- **Generación de energía mecánica:** Los biocarburantes pueden ser empleados en los motores alternativos de automóviles, camiones, autobuses, etc., sustituyendo total o parcialmente a los combustibles fósiles. La utilización de biocarburantes es especialmente interesante en industrias agrarias que dispongan de una adecuada materia prima para su producción (aceites reciclados, colza, girasol, maíz, trigo, patata, etc.) y que puedan auto consumirlos (por ejemplo en tractores), llegando suponer importantes ahorros en la factura de los combustibles⁵.

1.2.4 Biodigestor. El biodigestor es un tanque cerrado, de cualquier forma, tamaño y material, el cual optimiza naturalmente el crecimiento y proliferación de un grupo de bacterias anaerobias que descomponen y tratan los residuos dejando

⁵ NOGUÉS, Fernando Sebastián, HERRERA ROYO, Javier. La biomasa como fuente de energía renovable. Fundación CIRCE, abril de 2002.

como subproducto gas combustible o biogás y un efluente líquido rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada.

Basados en limitaciones externas como inversión, eficiencia del tratamiento, rendimiento de la energía neta y rendimiento de las operaciones, el rango de las tecnologías disponibles varía desde los sistemas muy rudimentarios hasta los más sofisticados tanto a escala doméstica como a escala comercial. La elección de cuál digestor utilizar, está condicionada inicialmente por la temperatura y las características del sistema de manejo de residuos existente o que se planea instalar el cual determina el método de carga del digestor. Según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), los parámetros que influyen el funcionamiento del biodigestor son:

- **Temperatura.** La temperatura es uno de los principales factores que afectan el crecimiento de las bacterias responsables de la producción de biogás. La producción de biogás puede ocurrir en cualquier sitio que se encuentre en el rango de temperatura de 4 °C a 68 °C. A medida que la temperatura aumenta, la tasa de producción de gas también se incrementa, y por ende disminuye el tiempo de retención de la materia orgánica dentro del digestor. En algunos casos se hace necesario implementar un sistema de calor suplementario para mejorar el rendimiento del proceso.
- **Método de carga.** El no cargar un digestor por una semana puede conducir a una pérdida en la producción de biogás. Más importante aún es que el cargar el digestor en intervalos irregulares puede interrumpir el proceso biológico y causar que el sistema trabaje ineficientemente o hasta detenerlo completamente. Por lo tanto, muchos digestores son diseñados para ser cargados diariamente. Con cargas continuas y descargas de material del sistema, las bacterias trabajan eficientemente y se procesan grandes cantidades de residuos.

La recolección diaria de residuos es también eficiente en términos de conservar los valores de nutrientes del residuo y preservar su potencial de producción de gas. Cualquier descomposición de material orgánico fuera del digestor reducirá la producción de biogás, por lo tanto, es mejor cargar residuos frescos al digestor. Si no se recolectan diariamente residuos, debe considerarse la opción de convertirse a esta práctica.

- **PH.** El pH de la materia prima indica si el proceso de digestión se lleva a cabo en condiciones adecuadas. Las bacterias responsables del mecanismo de producción de biogás son altamente sensibles a cambios en el pH, permiten un

rango de variación entre 6 y 8 unidades de pH, teniendo como óptimo un pH de 7 a 7,2⁶.

1.2.5 Tipos de biodigestores. Según UPME de acuerdo al método de carga utilizado se distinguen dos tipos genéricos de biodigestores:

a) Biodigestores de flujo discontinuo: Se cargan una vez y quedan cerrados por un tiempo fijo de retención hasta que haya terminado el proceso de fermentación y no haya producción de gas. En esas plantas al comienzo hay mucha masa orgánica y pocas bacterias y al final tienen muchas bacterias y poca masa orgánica. La operación involucra principalmente cargar un biodigestor que permanecerá cerrado con sustrato, un inoculante y en algunos casos, una base para mantener el pH casi neutral. El digestor es sellado, y la fermentación se realiza entre 30 y 180 días, dependiendo de la temperatura ambiente. Durante este período, la producción de gas aumenta paulatinamente hasta un máximo y luego declina. Esta fermentación se puede realizar con un contenido de sólidos orgánicos de 6 a 10%.

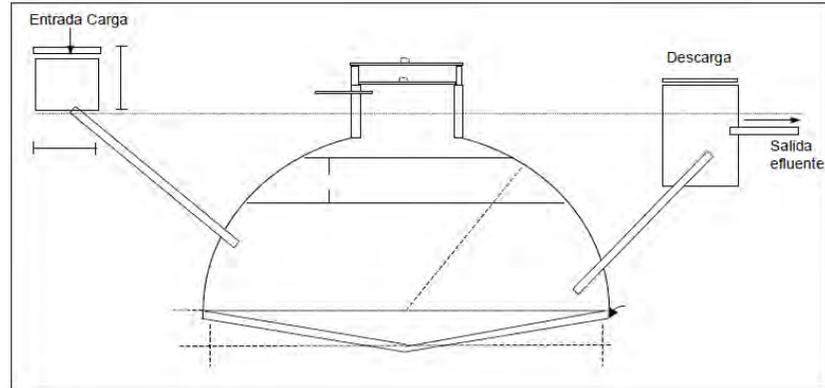
b) Digestores de flujo continuo: Los digestores de flujo continuo son cargados y descargados en forma periódica, por lo general todos los días. Cualquier tipo de construcción es apropiada para una planta continua, pero el material de fermentación debe ser fluido y uniforme.

Existen muchos diseños y formas según su estructura, entre los cuales pueden citarse, como los de mayor uso, tres tipos:

a) De estructura sólida fija: Consiste de una cámara de gas construida de ladrillos, piedra o concreto la cual permanece inmóvil y fija. Tanto el tope como la base del reactor son semiesféricos y están unidos por lados rectos. La estructura interna es sellada por varias capas para aislar el gas. El digestor es alimentado por un tubo de carga que es recto y finaliza en la mitad de nivel dentro del digestor. Hay un tapón manual en la parte superior del digestor para facilitar su limpieza, y el conducto de salida del gas sale de la cubierta. El gas producido durante el proceso es almacenado bajo el domo y desplaza algunos de los contenidos del digestor a la cámara del efluente. Esto crea fuerzas estructurales altas y esta es la razón por la cual el reactor tiene formas semiesféricas en el tope y en la base. Se recomienda que la construcción sea bajo tierra en suelos estables y firmes. Es el tipo de digestor más común en países en vía de desarrollo.

⁶ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión: Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. Bogotá, D.C: Marzo de 2003. P.18.

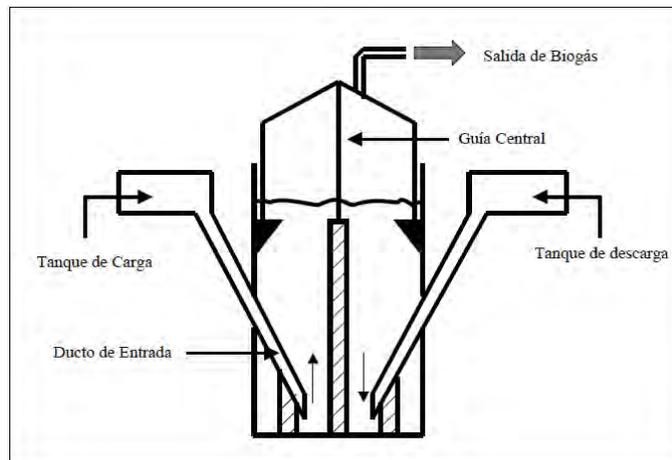
Figura 1. Digestor de estructura sólida fija, tanque cilíndrico



Fuente: UPME, guía para la implementación de sistemas de producción de biogás, Bogotá, D.C., Marzo de 2003.

b) Digestor de estructura sólida móvil: Este digestor es en forma de bóveda esférica (o cilíndrica) y tiene un depósito de gas móvil en forma de campana flotante. La campana puede flotar directamente en la carga de fermentación o en un anillo de agua cilíndrico. El gas se acumula en la campana, haciéndola subir y luego vuelve a bajar cuando se extrae el gas a través de un tubo instalado en la campana misma. Para evitar que la campana se ladee, se construye un soporte de hierro como guía. La campana además de subir y bajar, es libre de girar, así puede mover la capa que eventualmente pueda flotar en la superficie de la carga de fermentación. Para su construcción se usa comúnmente ladrillos, cemento, arena y grava; para la campana flotante, lámina de acero.

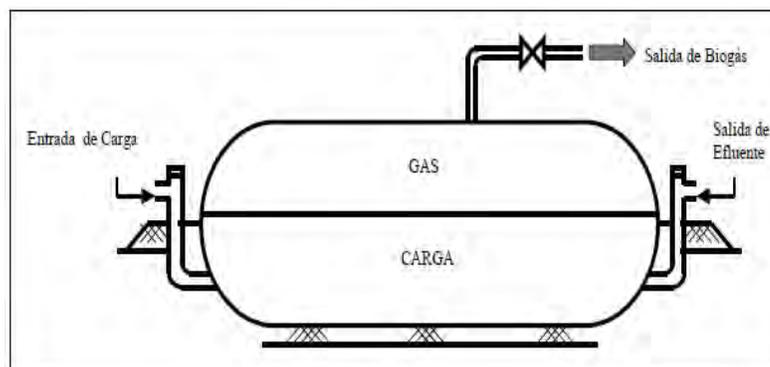
Figura 2. Digestor de estructura sólida móvil



FUENTE: UPME, guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. Bogotá, D.C., Marzo de 2003.

c) De balón de plástico: Está compuesto de una bolsa de plástico, caucho, polietileno o geomembrana de PVC, completamente sellada. La parte inferior de la bolsa (75% de volumen) se rellena con la carga, mientras en la parte superior de la bolsa (25%) se almacena el gas. Los tubos de entrada y salida están sujetos directamente a la pared de la bolsa. Aunque este digester actúa como un reactor de tapón de flujo, el gas puede almacenarse en una bolsa separada. El material plástico o de caucho para la planta, tiene que ser elegido con cuidado: resistente a la intemperie y a los rayos ultravioleta. Se puede recomendar para todos aquellos sitios donde no haya peligro de que se dañe la pared de la bolsa.

Figura 3. Digestor de balón de plástico



FUENTE: UPME, guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. Bogotá, D.C., Marzo de 2003.

Existen otros tipos de digestores desarrollados recientemente y en proceso de investigación entre los cuales pueden nombrarse los de filtro anaeróbico, reactor de deflector anaeróbico, procesos de contacto anaeróbico, digestores tubulares inclinados, etc., entre los cuales vale la pena mencionar:

a) De tapón de flujo: A pesar de ser similar al digester de balón de plástico, es construido con diferentes materiales y clasificado separadamente. Consiste de una zanja construida con concreto o con una membrana impermeable. El digester se cubre con una cubierta flexible anclada al suelo, al concreto o al acero galvanizado. Estos tanques especiales son rectangulares y tratan residuos que contengan de 11% a 13% total de sólidos.

b) De mezcla completa: Son tanques especiales, construidos sobre o bajo tierra, que tratan residuos orgánicos cuya concentración de sólidos está en un rango de 3 a 10%. Aparte de los digestores de flujo discontinuo, todos los diseños discutidos se conocen como sistemas de crecimiento suspendido y cuando no hay

reciclaje de sólidos, el tiempo de retención es igual al tiempo de retención de los sólidos biológicos⁷.

1.2.6 Biogás. El biogás es un combustible natural, el cual se forma en un proceso biológico llamado digestión anaerobia, que degrada la materia orgánica en una serie de productos gaseosos (metano y dióxido de carbono fundamentalmente).

La composición del biogás se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Composición del biogás

GAS	PORCENTAJE
Metano	50 al 70%
Dióxido de carbono	30 al 50%
Sulfuro de hidrógeno	1%
Hidrógeno	2%

Fuente: MARAÑÓN MAISON, Elena et al. Generación de residuos de ganadería vacuna (purines) en Asturias: Problemática y tratamiento. Universidad de Oviedo, Servicio de Publicaciones. 1998.

El poder calorífico del biogás es aproximadamente de 5.250kcal/m³, para una riqueza en metano del 60%. Esta propiedad permite el aprovechamiento del biogás como una fuente de energía. Como dato comparativo, respecto a los combustibles más convencionales, se produce que 1 m³ con el 70% de metano equivale a los datos mostrados en la Tabla 5⁸.

Tabla 5. Equivalencias de 1m³ con 70% de metano con otros combustibles

COMBUSTIBLE	EQUIVALENCIA
Gas natural	0,6m ³
Gasolina	0,8 l
Gasóleo	0,71 l
Energía eléctrica	7kWh
Propano	0,3m ³
Butano	0,2m ³

Fuente: MARAÑÓN MAISON, Elena et al. Generación de residuos de ganadería vacuna (purines) en Asturias: Problemática y tratamiento. Universidad de Oviedo, Servicio de Publicaciones.

1.2.7 Efluente. Las características del bioabono, dependen en gran medida del tipo de tecnología y de las materias primas utilizadas para la digestión. Durante el proceso anaeróbico, parte de la materia orgánica se transforma en metano, por lo que el contenido en materia orgánica es menor al de las materias primas. Gran parte de la materia orgánica de este producto se ha mineralizado, por lo que

⁷ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión: Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. Bogotá, D.C: Marzo de 2003. P.18.

⁸MARAÑÓN MAISON, Elena et al. Generación de residuos de ganadería vacuna (purines) en Asturias: Problemática y tratamiento. Universidad de Oviedo, Servicio de Publicaciones,1998. P.80.

normalmente aumenta el contenido de nitrógeno amoniacal y disminuye el nitrógeno orgánico⁹, esto trae ventajas puesto que el nitrógeno amoniacal es asimilado más rápido por las plantas que el nitrógeno orgánico.

1.2.8 Generador eléctrico a partir de biogás. El biogás puede usarse para producir electricidad por medio de muchos sistemas; pero algunos sistemas son ineficientes como es el caso de las lámparas de biogás. Julio Enrique Orozco et al, describe a continuación la utilización que se le puede dar al biogás.

Para aprovechar de una mejor manera la energía térmica, es más eficiente el uso de generadores de energía eléctrica. Se ha comprobado que con 0,75 m³ de biogás/kW-hr se pueden encender 25 bombillos de 40 w, mientras que usando esos mismos 0,75 m³ de biogás en lámparas de biogás sólo pueden encender 7 de estas.

El biogás se puede usar para reemplazar la gasolina o el combustible diesel en motores de combustión interna. En motores de gasolina el reemplazo puede ser total, mientras que en motores diesel sólo se puede alcanzar un máximo del 80%, esto se debe a que este tipo de motor carece de una bujía, la cual genera la chispa para que suceda la explosión dentro de la cámara de combustión. Los métodos de adaptación de motores al uso del biogás se deben hacer para proteger y aumentar la eficiencia del motor.¹⁰

A continuación se citan algunas modificaciones que se han hecho a motores de combustión interna según lo describe Luis Ramírez Rodríguez¹¹.

- **Motores a gas:** Los motores a gas mecánicamente son idénticos a los motores de combustión a gasolina, la diferencia radica en la admisión del combustible. En los motores a gas, esta admisión se realiza por medio de una válvula que regula la presión con la que se inyecta el gas licuado directamente en el carburador.

Las modificaciones que se deben realizar a este motor para utilizarlo en la generación de electricidad a partir del consumo de biogás, es modificar levemente la presión de inyección del gas, para que se ajuste a las condiciones del biogás. El porcentaje de sustitución de biogás por gas GLP es del 100%. Así, se puede realizar una conexión de la tubería de biogás al sistema, de modo que el equipo pueda operar con ambos combustibles. Por el tipo de sistema de alimentación,

⁹ CHILE. PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO et al. Manual de biogás. Santiago de Chile: 2001.

¹⁰ OROZCO, Julio Enrique et al. Manual: Utilización de biogás para uso en motores de cuatro tiempos (Diesel o Gasolina). Costa Rica, 2004, Serie documentos técnicos No. 2004-3.

¹¹ RAMÍREZ RODRÍGUEZ, Luis. Generación eléctrica por medio de Biogás. Costa Rica, 2004. P. 21. Trabajo de grado (Ingeniería Eléctrica). Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería.

estas adaptaciones no permiten una regulación automática de la mezcla y la carga, por lo que el ajuste del motor se debe de realizar de forma manual

la válvula de control del biogás, colocada en la línea de admisión. Se recomienda que las cargas aplicadas sean constantes, para evitar los problemas de regulación del motor y por tanto una ineficiente calidad de la energía suministrado por el generador. Para el caso de cargas variables el flujo de gas hacia el motor se debe regular por medio de un sistema de control especialmente diseñado, que garantice el flujo del gas al motor para responder a las diferentes demandas de potencia generados por las cargas aplicadas.

- **Motores a gasolina:** El motor a gasolina puede ser operado con biogás realizándole una simple adaptación, que consiste en colocar entre el filtro del aire y el carburador una “T” por donde se suministra el gas al sistema. Se debe tener ciertas consideraciones para que un motor a gasolina, alimentado con biogás opere satisfactoriamente:

- Evitar el paso de gasolina cuando el motor va a operar o está operando con biogás, esto con el fin de evitar un gasto innecesario de combustible. Para lograrlo se debe colocar una válvula para controlar el paso de la gasolina al carburador
- Garantizar un suministro de biogás a presión constante.
- El filtro del aire debe mantenerse limpio para mantener una constante relación entre la mezcla de biogás y aire que nos garantiza una operación estable del motor.
- Colocar una válvula para controlar la admisión del gas al motor.

Al ser alimentado con biogás, directamente al múltiple de admisión el motor no permite una regulación automática de la mezcla y la carga, por lo que el ajuste del motor se debe realizar de forma manual desde la válvula de control del biogás, colocada en la línea de admisión. Se recomienda que las cargas aplicadas sean constantes, para evitar los problemas de regulación del motor y por tanto una ineficiente calidad de la energía suministrada por el generador. Para el caso de cargas variables, el flujo de gas hacia el motor se debe regular con un sistema de control especialmente diseñado, que garantice que el flujo del gas que se inyecte en el motor pueda responder a las diferentes demandas de potencia debido a las variaciones de carga eléctrica, provocada por el constante entrar y salir de cargas.

- **Motores a diesel:** Para realizar las adaptaciones de este motor para que funcione con biogas se debe colocar una “T” entre el filtro y el sistema de admisión del aire, donde se conecta la tubería del biogás. Se debe instalar una válvula en esta tubería para regular el suministro del biogás y ajustarlo al porcentaje requerido de operación.

1.3 MARCO LEGAL

1.3.1 Ley 51 de 1989. La ley 51 de 1989 crea la comisión nacional de energía la cual le asigna funciones de planeación energética y en particular, efectuar, controlar o promover la realización de estudios para establecer la convivencia económica y social del desarrollo de fuentes y usos energéticos no convencionales y adoptar la política respectiva y en relación con el subsector de energía eléctrica, aprobar los programas de generación de energía eléctrica no convencional y coordinar los programas de generación de energía eléctrica en áreas no interconectadas.

1.3.2 Ley 629 de 2000 Mecanismo de desarrollo limpio. La ley 629 de 2000 mecanismo de desarrollo limpio, aprobó el protocolo de Kioto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático, hecho en Kioto el 11 de diciembre de 1997, permitiéndole así a Colombia hacer uso del mecanismo limpio previsto en dicho protocolo¹².

1.3.3 Decreto número 1505 de 2003. PGIRS. Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión.

1.3.4 Ley 1715 de 2014 promueve el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía. . La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda¹³.

Artículo 1º. Adicionase el artículo 1º del Decreto 1713 de 2002, con las siguientes definiciones:

Aprovechamiento en el marco de la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos.

¹² CONSORCIO ENERGÉTICO CORPOEMA. Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE), Bogotá: 2010.

¹³ REPUBLICA DE COLOMBIA-GOBIERNO NACIONAL. Ley 1715 de 2014. Bogotá. D.C, 13 de Mayo de 2014.

Aprovechamiento en el marco del servicio público domiciliario de aseo. Es el conjunto de actividades dirigidas a efectuar la recolección, transporte y separación, cuando a ello haya lugar, de residuos sólidos que serán sometidos a procesos de reutilización, reciclaje o incineración con fines de generación de energía, compostaje, lombricultura o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos en el marco de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos¹⁴.

En Colombia, las dos últimas décadas se han caracterizado por la promulgación de leyes básicas sobre el ambiente, siendo quizás la más importante, la Ley 99 de 1993. Creación del Ministerio del Medio Ambiente y organización del Sistema Nacional Ambiental (SINA), consta de 16 títulos distribuidos en 118 artículos. En el numeral 1 del artículo 1° se señala que la Política Ambiental Colombiana seguirá entre otros los principios universales y del desarrollo sostenible contenidos en la declaración de Río de Janeiro sobre el medio ambiente y el desarrollo. Algunas leyes de decretos a tener en cuenta en la implementación de biodigestores serían:

- Ley 23 de 1973. Otorgó facultades al Presidente de la República sobre el medio ambiente.
- Decreto 2811/74. Dictó el Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
- Decreto 02/82. Emisiones atmosféricas.
- Decreto 2104 / 83 reglamentario del Código Sanitario Nacional.
- Decreto 948/95. Emisiones de ruido y olores ofensivos.
- Resolución 1074 / 97 Fija los estándares ambientales -Vertimientos.
- Ley 430 de 1998. Residuos peligrosos.
- Resoluciones (DAMA) 775/2000 y 391/2001. Control de emisiones en fuentes fijas. De los métodos que se están utilizando para el manejo y control de los residuos orgánicos en el país (incineración, pirólisis, gasificación, vertimiento en ríos, relleno sanitario y digestión por bacterias aeróbicas), esta investigación se enfoca en principio, en la descomposición provocada por bacterias aeróbicas en pequeña escala¹⁵.

¹⁴ TORRES, Juliana, DÍAZ, Sandra, OCAMPO, Priscila. Montaje y puesta en marcha de dos biodigestores anaerobios con residuos orgánicos generados en la central de mercado, Bogotá: 2008. P. 66. Trabajo de grado (Ingeniería Ambiental). Universidad Manuela Beltrán, facultad de ingeniería ambiental.

¹⁵ ibíd. P.66.

2. METODOLOGÍA

Esta es una investigación bajo el paradigma cuantitativo, de nivel experimental de ingeniería con enfoque aplicado. La investigación tiene como propósito llegar al planteamiento de una propuesta real de solución a una ausencia o bajo aprovechamiento de recursos, según el marco legal de la ingeniería en Colombia. Para su desarrollo se trabajan secciones que corresponden a los objetivos propuestos.

2.1 ANALIZAR EL POTENCIAL EXISTENTE DE BIOMASA EN EL SECTOR AGROPECUARIO DE LAS REGIONES DE LOS MUNICIPIOS DE GUACHUCAL, CUMBAL Y OSPINA.

Este objetivo implica la utilización de la herramienta de trabajo de campo. Esto se hace para realizar una acción de conteo con fines estadísticos para el soporte de diseño. Para su desarrollo se consulta en primera instancia fuentes de entidades públicas como gobernación, alcaldías, UMATAS¹⁶.

Para esto se realizaron visitas a dichas entidades, las cuales brindaron información acerca de la cantidad de animales que poseen los municipios objeto de estudio. Una vez tabulados estos datos se consultaron fuentes bibliográficas que indican la cantidad de estiércol diario que produce cada animal, teniendo en cuenta su especie y características, y finalmente teniendo en cuenta las anteriores tablas se obtuvo un estimado de la cantidad de biomasa que se produce en la zona proveniente del sector pecuario municipio por municipio.

Adicionalmente se hace un estudio de la temperatura que posee la región y del tipo de biodigestores existentes para definir la mejor opción a ser aplicada en los municipios.

2.2 CAPACITAR A LA POBLACIÓN EN CUANTO AL MANEJO DE LOS DESECHOS AGROPECUARIOS PARA SER TRANSFORMADOS EN BIOGÁS.

Para dar a conocer los objetivos del Plan de Energización Rural Sostenible del Departamento de Nariño y más específicamente la tecnología de tratamiento de residuos con biodigestores y generación de energía a partir de biogás, se utilizó como herramienta el trabajo con la comunidad, en el cual se da en primera instancia una información indirecta, que se realiza mediante plegables que contienen conceptos básicos de biomasa y biodigestores. La información directa se realiza mediante charlas, para esto se hacen reuniones en los diferentes municipios donde se desarrolla la investigación y se realizan talleres que incluyen

¹⁶ Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria.

unas encuestas, las cuales determinan el interés de la población en dicha tecnología.

2.3 IDENTIFICAR UNA FINCA CON UN APTO POTENCIAL DE BIOMASA Y REALIZAR EN ELLA EL DISEÑO TÉCNICO DEL EQUIPO GENERADOR DE BIOGÁS, ASÍ COMO TAMBIÉN DEL GENERADOR ELÉCTRICO.

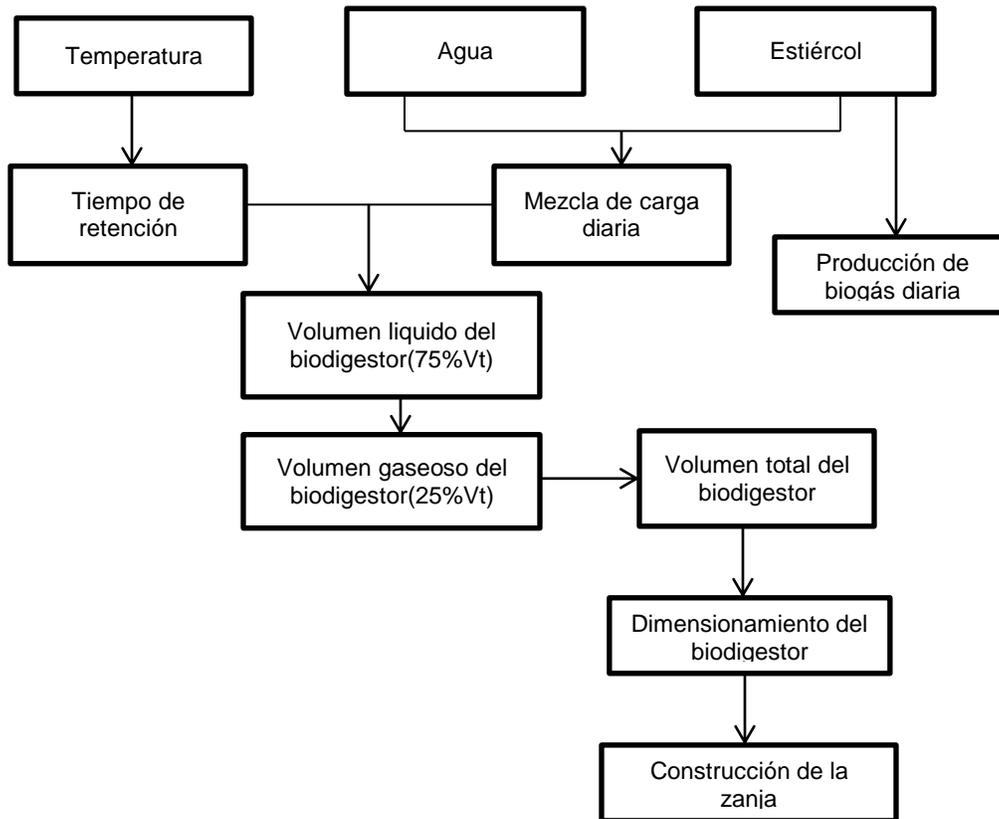
Antes de iniciar con el diseño, se identificó la finca, para lo cual se tuvo en cuenta que esté ubicada en uno de los tres municipios objeto de estudio y posea la cantidad de animales necesaria para producir un apto potencial de biomasa, además de tener la disposición e interés de sus propietarios. Una vez identificada se procedió a diseñar el biodigestor según la metodología utilizada por Jaime Martí Herrero en su documento: "Biodigestores familiares guía de diseño y manual de instalación"¹⁷. La cual propone los siguientes pasos:

- Volumen disponible de estiércol
- Obtener tiempo de retención según la temperatura
- Volumen total del biodigestor
- Dimensionamiento del biodigestor
- Dimensionamiento de la zanja y cámaras
- Diseño del reservorio
- Uso final del biogás

El esquema metodológico se presenta en la Figura 4.

¹⁷ HERRERO, Martí. Biodigestores familiares: guía de diseño y manual de instalación. La Paz Bolivia: GTZ, 2008.

Figura 4. Esquema metodológico para el diseño de un biodigestor



Fuente: HERRERO, Martí. Biodigestores familiares: guía de diseño y manual de instalación. La Paz Bolivia: GTZ, 2008.

Para adaptar el equipo generador al biodigestor se consultaron varias opciones de motores y sus variaciones para que funcionen con bioqás, así como también motores que funcionen directamente con bioqás y se seleccionó la mejor opción en cuanto a eficiencia y economía.

2.4 ANALIZAR LA SOSTENIBILIDAD DE UN GENERADOR DE ENERGÍA A PARTIR DE BIOMASA, ASÍ COMO TAMBIÉN HACER UN ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DEL PROYECTO QUE SE PROPONE.

La herramienta utilizada para este objetivo es el cálculo basado en datos estadísticos para diseño. Esta herramienta implica tener en cuenta los valores reales referentes a costos y características. Para esto fue necesario realizar cotizaciones de los diferentes materiales que se utilizan en la construcción del biodigestor, así como también de la instalación del equipo generador.

Como instrumentos metodológicos para el desarrollo de los objetivos se utilizaron: Un Gps marca Garmin Oregon 550T y para el diseño del biodigestor se utilizó el

programa de *CAD Inventor*, además para la sistematización de la información documental y el trabajo de campo se utilizaron herramientas de cómputo, listas de chequeo y anotaciones.

3. RESULTADOS

3.1 ANÁLISIS DE POTENCIAL DE BIOMASA EN LOS MUNICIPIOS DE GUACHUCAL, CUMBAL Y OSPINA

Para determinar el potencial estimado de biomasa que se produce en los municipios de Guachucal, Cumbal y Ospina debido a la explotación basada en el sector pecuario, se toma como referencia el último consolidado agropecuario correspondiente al año 2012, el cual registra toda la producción del departamento en cuanto a cultivos, su variedad y cantidad de hectáreas sembradas, así como también la cantidad de animales que posee cada municipio, diferenciados por especie, edad y sexo.

3.1.1 Análisis de potencial bovino. En la Tabla 6 se obtiene la cantidad de animales existentes por municipio. Sin embargo, aún no se conoce el potencial total de biomasa procedente de estos animales, por lo cual es necesario analizar la cantidad de estiércol que producen dependiendo de sus características.

Tabla 6. Inventario de ganado vacuno en los municipios de Guachucal, Cumbal y Ospina

Municipio	Menos de 12 meses		12-24 meses		24-36 meses		Mayores de 36 meses		Total
	Machos	Hembras	Machos	Hembras	Machos	Hembras	Machos	Hembras	
Cumbal	2.937	4.591	1.199	3.330	280	1.421	91	14.404	28.253
Guachucal	1.173	4.099	763	3.958	447	1.563	93	15.394	27.490
Ospina	590	585	743	603	349	306	178	1.601	4.955

Fuente: Consolidado Agropecuario 2012. Gobernación de Nariño.

En el departamento de Nariño la raza predominante es holstein, tal como lo muestra la Figura 5, por lo tanto las proporciones de estiércol dadas por el peso de cada animal, se trabajan exclusivamente sobre esta raza. La relación de estiércol se muestra en la Tabla 7.

Figura 5. Distribución racial en el trópico alto de Nariño



Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN PRODUCCIÓN Y SANIDAD ANIMAL, línea de genética y mejoramiento animal, Universidad de Nariño. Caracterización y evaluación genética de la población bovina lechera del trópico alto de Nariño, para la conformación de núcleos de selección. (2009)

Tabla 7. Producción de estiércol promedio de diversos tipos de bovinos Holstein

TIPO DE BOVINO	PESO DEL CUERPO (kg)	ESTIÉRCOL (kg/día)
Vaca en lactancia. Prom	631	68
Vaca de alta producción	590	80
Vaca seca	755	39
Vaquillona, < 1 año	150	12
Vaquillona, > 1 año	440	24

Fuente: William P. Weiss y Normand St-Pierre, Estrategias de alimentación para disminuir la producción de estiércol de vacas lecheras.

Dónde:

Vaca en lactancia: la vaca que está produciendo leche.

Vaca de alta producción: vacas que producen leche en cantidades mayores.

Vaca seca: vacas que no están produciendo leche y que están en proceso de recuperación.

Vaquillona: son las vacas más jóvenes y que aún no han tenido crías.

Teniendo en cuenta los datos de la Tabla 6 y de la Tabla 7 se realizan los siguientes análisis adoptados para esta investigación, teniendo en cuenta la clasificación que indica el consolidado agropecuario: Se toman todas las reses incluyendo machos y hembras menores de 12 meses como vaquillonas < 1 año, las de 12 a 36 meses como vaquillonas > 1 año, y para las mayores de 36 meses se hace un promedio entre las vacas en lactancia, las de alta producción y las secas, a este promedio se lo llama vacas adultas, obteniendo así un estimado del potencial bovino en los tres municipios.

Tabla 8. Total estiércol por municipio

MUNICIPIO DE CUMBAL				
Tipo de bovino	Número de animales	Peso del cuerpo (kg)	Estiércol (kg/día)	Total estiércol (kg/día)
Vaquillonas < 1 año	7.528	150	12	90.336
Vaquillonas > 1 año	6.230	440	24	149.520
Vacas adultas. Prom	14.495	658.6	62.3	903.038,5
MUNICIPIO DE GUACHUCAL				
Tipo de bovino	Número de animales	Peso del cuerpo (kg)	Estiércol (kg/día)	Total estiércol (kg/día)
Vaquillonas < 1 año	5.272	150	12	63.264
Vaquillonas > 1 año	6.731	440	24	161.544
Vacas adultas. Prom	15.487	658.6	62.3	964.840,1
MUNICIPIO DE OSPINA				
Tipo de bovino	Número de animales	Peso del cuerpo (kg)	Estiércol (kg/día)	Total estiércol (kg/día)
Vaquillonas < 1 año	1.175	150	12	141.100
Vaquillonas > 1 año	2.001	440	24	48.024
Vacas adultas. Prom	1.779	658.6	62.3	110.831,7

Fuente: Esta investigación.

En la columna total estiércol (kg) se observa la cantidad de biomasa dependiendo de las especificaciones de cada animal, y si se suma toda esta fila se obtiene el potencial total para cada municipio el cual se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Total potencial de biomasa de estiércol bovino

MUNICIPIO	TOTAL ESTIÉRCOL (kg/día)
Cumbal	1.142.941,5
Guachucal	1.189.648,1
Ospina	299.955,7
Total estiércol en los 3 municipios	2.632.545,3

Fuente: Esta investigación.

3.1.2 Análisis de potencial porcino. En la Tabla 10 se indica la cantidad de cerdos de porcicultura tradicional que posee cada municipio.

Tabla 10. Inventario total de cerdos de traspatio

MUNICIPIO	TOTAL INVENTARIO DE CERDOS DE TRASPATIO
Guachucal	21.600
Cumbal	3.424
Ospina	1.400

Fuente: Consolidado Agropecuario 2012. Gobernación de Nariño.

Dónde:

Traspatio: Cerdos que no pertenecen a granjas.

Los cerdos de traspatio en su mayoría son de levante y ceba, perteneciendo a familias cuyo sustento económico no se basa en la producción de estos, por lo que se encuentran en una cantidad reducida por hogar.

Los municipios de Guachucal y Ospina poseen también cerdos de granja los cuales se encuentran relacionados en la Tabla 11.

Tabla 11. Inventario total de cerdos de granjas de cría

MUNICIPIO	HEMBRAS REPRODUCTORAS	PRECEBOS
Guachucal	425	2.975
Ospina	540	5.400

Fuente: Consolidado Agropecuario 2012. Gobernación de Nariño

Dónde:

Precebos: son cerdos que han sido retirados de su madre y que permanecen en una nave de cría hasta que alcancen un peso apropiado.

En la guía ambiental para el subsector porcícola se encuentra la proporción de las excretas porcinas según la clasificación del cerdo como se indica en la Tabla 12.

Tabla 12. Producción de estiércol promedio de diversos tipos de porcinos

ESTADO	PESO VIVO (kg)	ESTIÉRCOL (kg/día)
Hembras reproductora	173	8
Macho reproductor	160	7,38
Precebos	16	1,22
Levante	35	2,19
Finalización	80	5,01

Fuente: Sociedad de agricultores de Colombia. (2002). Guía ambiental para el subsector piscícola [En Línea]. en: http://www.facebook.com/l.php?u=http%3A%2F%2Fwww.minambiente.gov.co%2Fdocumentos%2Fporc%25C3%25ADcola.pdf&h=0AQH_xuRA.

Los cerdos de traspatio que se relacionan en la tabla 10, son en su mayoría cerdos de levante y finalización, por lo cual su peso oscila entre 35 y 80 kg, se

utiliza entonces para el estiércol producido un promedio de los dos pesos teniendo en cuenta la clasificación de cerdos que muestra el consolidado agropecuario, siendo éste igual a 3.6 kg, con este valor se obtiene un estimado de estiércol proveniente de cerdos de traspatio de los tres municipios, el cual se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Total estiércol de cerdos de traspatio de los 3 municipios

Municipio	Cantidad de cerdos de traspatio	Cantidad estiércol prom por cerdo (kg)	Estiércol Total (kg)
Cumbal	21.600	3,6	77.760
Guachucal	3.424	3,6	12.326,4
Ospina	1.400	3,6	5.040
TOTAL ESTIERCOL DE CERDOS DE TRASPATIO			95.126,4

Fuente: Esta investigación.

Ahora se analiza la cantidad de estiércol proveniente de cerdos de granja de los municipios de Ospina y Guachucal. Dado que en el municipio de Ospina, según el consolidado agropecuario las hembras reproductoras tienen 2 partos por año, el inventario total de precebos se divide en 2. La relación de estiércol se indica en la Tabla 14.

Tabla 14. Total producción estiércol cerdos de granja

GUACHUCAL			
Estado	Cantidad de cerdos	Cantidad estiércol por cerdo (kg)	Estiércol Total (kg)
Hembras reproductoras	425	8	3.400
Precebos	2.975	1,22	3.629,5
Total			7.029,5
OSPINA			
Estado	Cantidad de cerdos	Cantidad estiércol por cerdo(kg)	Estiércol Total(kg)
Hembras reproductoras	540	8	4.320
Precebos	2.700	1,22	3.294
Total			7.614
Total producción de estiércol cerdos de granja municipio de Guachucal y Ospina			14.644

Fuente: Esta investigación.

3.1.3 Análisis de potencial avícola. Según el consolidado agropecuario del 2012 el inventario avícola total de los municipios de Guachucal, Cumbal y Ospina se encuentra registrado en la Tabla 15.

Tabla 15. Total inventario aves de traspatio

MUNICIPIO	TOTAL AVES DE TRASPATIO
Cumbal	30.000
Guachucal	18.500
Ospina	30.000

Fuente: Consolidado Agropecuario 2012. Gobernación de Nariño.

Como lo indica el ingeniero agrónomo Luis iglesias Martínez, un ave en promedio produce 80 kg de estiércol al año, que diario sería 0.223 kg¹⁸. Con este valor y con los datos obtenidos del consolidado agropecuario se estima un valor de estiércol producido por las aves de la región, el cual se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Total producción de estiércol de aves de traspatio

Municipio	Total aves de traspatio	Producción estiércol por ave (kg)	Total estiércol (kg)
Cumbal	30.000	0,223	6.690
Guachucal	18.500	0,223	4.125,5
Ospina	30.000	0,223	6.690
Total estiércol producido			17.505,5

Fuente: Esta investigación.

3.1.4 Análisis del potencial de otras especies. Durante la recolección de información de potencial biomásico no se encontraron estudios técnicos acerca de la producción de estiércol para las especies como cuyes, ovejas, cabras entre otras, razón por la cual no es posible obtener un potencial estimado de biomasa proveniente de estos animales, sin embargo en la Tabla 17 se relaciona el inventario existente en los tres municipios

Tabla 17. Total inventario otras especies

Municipio	Total caballar	Total cuyicola	Total ovinos	Total caprinos
Cumbal	500	60.000	1.500	30
Guachucal	1.243	11.500	820	40
Ospina	165	4.000	60	15

Fuente: Consolidado Agropecuario 2012. Gobernación de Nariño.

3.2. ANÁLISIS DE TEMPERATURA EN LOS MUNICIPIOS DE CUMBAL, GHACHUCAL Y OSPINA.

La temperatura es uno de principales factores que afectan el crecimiento de las bacterias productoras de biogás. A medida que la temperatura aumenta también lo

¹⁸ IGLESIAS, Martínez Luis, El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente. Madrid: Ministerio de agricultura, pesca y alimentación.1994.

hace la tasa de producción de biogás, es por esta razón que se debe hacer un análisis de la temperatura antes de implementar un biodigestor.

3.2.1 Temperatura municipio de Cumbal. Según el plan de desarrollo 2012-2015 del municipio de Cumbal, el clima varía entre frío húmedo y frío seco. El régimen es bimodal con dos periodos de invierno y dos de verano. El primer periodo de lluvias, está comprendido entre marzo y mayo, mientras que el segundo entre octubre y diciembre. Los periodos de verano corresponden a una primera temporada desde enero hasta febrero y una segunda desde junio hasta septiembre.

Se registran los siguientes pisos térmicos.

Tabla 18. Temperatura municipio de Cumbal

Piso bioclimático	Temperatura	Altura	Veredas	Área total Municipal
Piso Térmico Cálido	>25°C	1000 - 1180	Numbí	0.406%
Piso Térmico Templado	18 °C. - 24°C	1180 - 2000	El Mortiño (Guayacana) en el Norte del Municipio y El Derrumbo, Tiuquer, San Juan, El Dorado, La Unión, allambí y Alto Tallambí en el Oriente de Cumbal Antonio, la florida y parte norte de villa del sur	25.91%
Piso Térmico Frío	12 °C. - 8°C.	2000 - 3000	San Felipe, Mayasquer, San Martín y Miraflores.	4.37%
Piso Térmico Muy Frío	6 °C.- 12° C.	3000 - 3600	Güel, Tambillo, Ravila, Guan, Punguelan, Romerillo, La Ortiga, Cuaical, Tasmag, Tolas, Machines, Cumbal, Cimarrones, Cuetial, Chimá, Salado, San José, Cuaspud Grande, El Tambo, El Salado, Panán, El Chorro, El Tambillo, Nazate, Puscuelán, El Mirador, Santa Ana, Cristo Rey, La Calera, Yaés y Chiles.	47.23%
Piso Térmico Páramo	3 °C - 6 °C	3600 - 4500	El Gritadero, El Tambo, La Puerta, Quilismal y Llano Grande	21.51%
Piso Térmico Nivel	<1.5 °C.	>4500	ocupado por glaciares permanentes en el	0.57%

			cráter Mundo Nuevo del Volcán Cumbal y otros glaciares de carácter estacionario en las cumbres del Volcán Cumbal	
--	--	--	--	--

Fuente: Alcaldía de Cumbal, Plan de desarrollo Municipal 2012-2015.

3.2.2 Temperatura municipio de Guachucal. Los pisos térmicos determinados por la temperatura, están en relación directa con la altura sobre el nivel del mar, lo que le da al municipio la oportunidad de tener variedad de unidades ecológicas relacionadas principalmente con el factor orográfico que impone a los demás elementos climáticos, bióticos y fisiográficos una distribución altitudinal y diferentes precipitaciones que a lo largo del tiempo han oscilado entre 500 a 2000 milímetros/año, particularmente en las estribaciones del Cerro Colimba donde se ubica al nacimiento de la quebrada Cuasaquer, fuente del acueducto que alimenta la cabecera municipal. El municipio tiene dos períodos de lluvia perfectamente distinguibles, a saber: Época de lluvias, durante los meses de marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre, en el cual se registran las máximas precipitaciones y época seca, en los meses de enero, febrero, junio, julio, agosto y septiembre.

En el municipio se distinguen los siguientes pisos térmicos.

Tabla 19. Temperatura municipio de Guachucal

Piso bioclimático	Temperatura	Altura	Veredas	Área total Municipal
Piso Térmico de Subpáramo	6 °C – 10 °C	3000 – 4000	Guan Puente Alto, Guan Comunidad, Cristo Alto, Colimba, Chapud, Nigual, Ánimas, Riveras, El Consuelo de Chillanquer y San José de Chillanquer	30.77%
Piso Térmico Frío	10 °C - 18 °C	2000 – 3000	Encontrándose en la mayor parte del Municipio de Guachucal correspondiente a la altiplanicie de Túquerres e Ipiales como parte de la Zona Andina.	60.22%

Fuente: Página oficial Municipio de Guachucal disponible en: <http://guachucal-narino.gov.co/index.shtml>.

3.2.3 Temperatura municipio de Ospina.

Tabla 20. Temperatura municipio de Ospina

Piso bioclimático	Temperatura	Altura	Veredas	Área total municipal
Altiplano frio	10 – 14°C	2200 – 2900	v.montaña, casco urbano, san Vicente, san miguel, san José, parte rural de Nariño, partes poco productivas	45.2%
Altiplano muy frio	6 – 10°C	2900 – 3300	v.nariño, casco urbano, san isidro, Cunchila, gavilanes, las mercados, san Antonio, la florida y parte norte de villa del sur	48%
Paramo	< 6°C	3300 – 3600	Características: suelos negros, ácidos, pobres en fertilidad , ricos materia orgánica, montañas abruptas o muy onduladas, recurso hídrico	6.8%

Fuente: Alcaldía de Ospina, Plan de desarrollo Municipal 2012-2015.

Como se puede observar en las anteriores tablas, la mayor población en los tres municipios se encuentra en alturas que van desde los 2900 hasta 4000 m.s.n.m con temperaturas de 6 a 12°C. La producción de biogás puede ocurrir en cualquier sitio que se encuentre en el rango de 4 a 68°C según UPME¹⁹ y de 5 a 60°C según Olga Rivas Solano²⁰. Por lo que es posible la implementación de biodigestores en estos municipios, y además teniendo en cuenta que el diseño del sistema se realiza con invernadero, la temperatura dentro del biodigestor se incrementa.

3.3 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE BIOGÁS.

¹⁹ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás: Bogotá, Marzo de 2003.

²⁰ RIVAS SOLANO, Olga, FAITH VARGAS, Margie, GUILLÉN WATSON, Rossy. Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. 2010, Vol. 23, N.º 1, P.42.

Como ya se ha mencionado en capítulos anteriores la generación de biogás depende de varios parámetros, entre los cuales se destacan: la temperatura, el tipo de tecnología, y el tipo de biomasa. Básicamente en las zonas objeto de estudio existe gran potencial de biomasa proveniente de excretas animales, las cuales si se manejan adecuadamente tendrían una gran capacidad de producción de biogás.

Es muy importante tener en cuenta la relación Carbono/Nitrógeno(C/N) ya que la biomasa en su mayor parte está compuesta por este tipo de elementos y ésta relación influye en la producción de biogás. Una relación de 20:1 hasta 30:1 es aceptable aunque el valor ideal es de 25:1; mezclas de materiales de fermentación con alto contenido de nitrógeno (como por ejemplo, el estiércol de gallina) con material de fermentación con alto contenido de carbono (como el tamo de arroz) generan una elevada producción de gas. Según Botero y Preston²¹ el contenido de carbono en el estiércol bovino es excesivo, como lo es también el contenido de nitrógeno en el estiércol de cerdo, de allí la posibilidad y ventaja de alimentar al biodigestor con excretas mezcladas, lo que permite balancear su contenido de nutrientes e incrementar así, la eficiencia del proceso de producción de biogás.

Con lo anterior se puede analizar que es muy difícil obtener un estándar de generación de biogás por animal o por cantidad de estiércol, ya que esto depende directamente de la manipulación de la biomasa. En capítulos siguientes se analizará un caso de estudio en el que se harán unas propuestas de mezcla para optimizar la producción de biogás.

3.4 CAPACITACIÓN DE LA POBLACIÓN.

Para realizar la capacitación a la población se utilizan dos herramientas, una indirecta a través de plegables distribuidos a la comunidad por medio de las alcaldías de Guacucal y Cumbal, y otra directa a través de charlas informativas. Los plegables se diseñan con logotipos del PERS para destacar que la capacitación pertenece a dicho convenio, además contienen información acerca del manejo de los desechos orgánicos, y las ventajas que esto trae, y se realiza allí la invitación a la charla informativa referente a biodigestores. El plegable se indica en la Figura 6.

La primera reunión se realiza el día 13 de octubre de 2013 en el corregimiento de San Diego municipio de Guachucal, a la cual asistieron 22 personas y se les aplica una encuesta que contiene preguntas acerca de su interés en el tema, tipo de aplicación, entre otras. Los resultados de algunas preguntas se encuentran en la Figura 7 y las encuestas digitalizadas se encuentran en el Anexo 1.

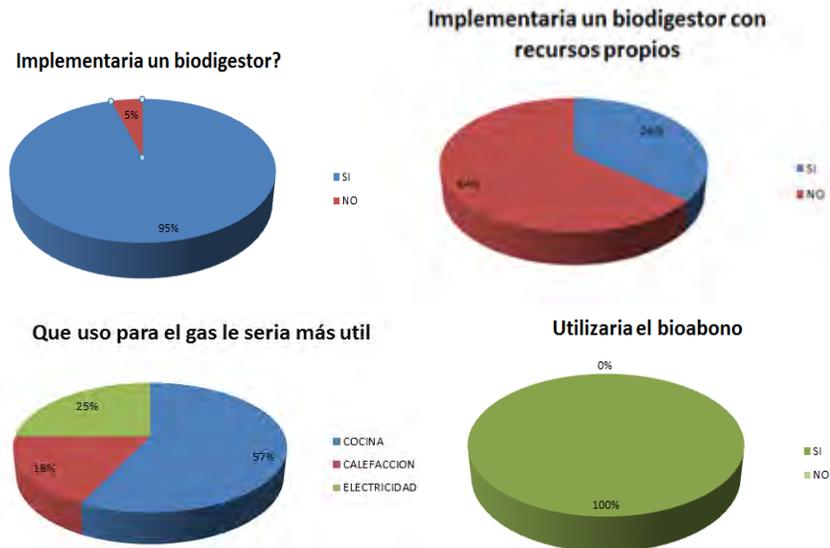
²¹ BOTERO, Raúl, PRESTON, Tomas R. Biodigestores de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. 1987.

Figura 6. Plegable informativo dirigido a la comunidad



Fuente: Esta investigación.

Figura 7. Consolidación de resultados de encuestas realizadas a la comunidad en el municipio de Guachucal



Fuente: Esta investigación.

La segunda reunión se realiza en el municipio de Cumbal, esta va dirigida a las asociaciones lecheras. Para dimensionar la situación en este sector se realiza una

reunión con quince de los 42 presidentes representantes de asociaciones del sector existentes en el municipio de Cumbal, esta información se registra en la Tabla 21. En este primer contacto, se interactúa con la comunidad dando a conocer conceptos básicos de lo que son los sistemas de generación de energías alternativas renovables, haciendo especial énfasis en los sistemas que aprovechan la biomasa a través de biodigestores, esto teniendo en cuenta que la región tiene un gran potencial respecto a la cantidad de biomasa como consecuencia de la producción de leche; por otra parte, es importante la información que se puede obtener referente a las necesidades productivas de las asociaciones, además de medir el interés existente respecto a la participación en un proyecto de esta temática.

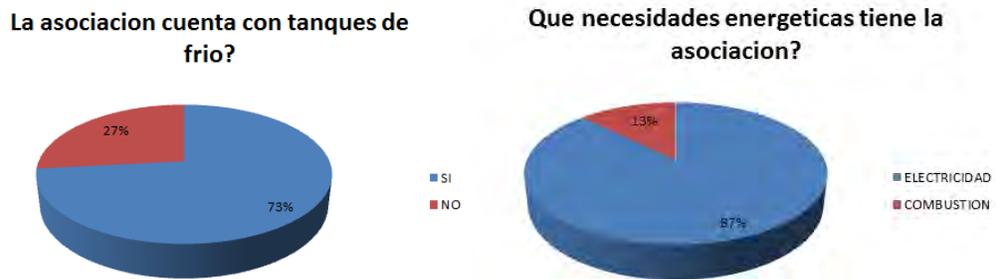
Tabla 21. Asociaciones lecheras entrevistadas en el municipio de Cumbal

Nombre de la Asociación	Presidente	Contacto	Integrantes	Vereda Municipio de Cumbal
Productores de leche la Ortiga	Javier Tapie	3136931084	50	Quilismal la Ortiga
La Nevada	Luis Higinio Alpala	3127465397	52	Quilismal Sector Chita Ladera
Río Blanco	Juan Cuaical	3206648849	65	Cuaical Centro
Láctea San Judas Punguelan	Luis Fernando Cumbal	-	15	Guan San Judas
Láctea Indígena Cuaspud Rosal	Edgar Irua	3128760906	63	Cuaspud Rosal
Agropecuaria Lácteos San Fernando	José Moisés Tarapué	3122057162	50	Cuetial
Cumbe	Guillermo Fuelantala	3117780326	30	Guan
Agropecuaria San José	Nelson Libardo Ortega	3105050828	27	Cuetial San José
Cuenca Río Cuase	Jorge Antonio Taimal	3128270536	45	Guan Centro
Pradera Verde	José Davis Chiquizmal	3104947308	37	Cuetial
Integral Progreso en el Campo	Luis Antonio Piarpuezan	3136270705	52	Nazate Cuetial
Huertas Tambillo	Marco Tulio	3116161522	-	Tasmag Sector Huertas Tambillo
Nuevo Renacer	Carlos Guillermo Yandar	3117609387	35	Tasmag las Tolas
Nueva Esperanza	Laureano Eduardo	3122153478	16	Nazate Cuetial
Mundo Nuevo	Juan Colimba	3148970932	50	Cuetial

Fuente: Esta investigación.

En el momento, las asociaciones se dedican exclusivamente al acopio de leche de sus integrantes, y en algunos casos, al enfriamiento de ésta. La Figura 8 presenta la consolidación de los resultados obtenidos.

Figura 8. Consolidación de resultados de encuestas realizadas a las asociaciones lecheras



Fuente: Esta investigación.

La capacitación correspondiente al Municipio de Ospina no se pudo llevar a cabo ya que no fue posible concretar una reunión a la que pudiera asistir la población de la zona rural.

Es evidente, de los anteriores resultados, que las asociaciones indican como principal necesidad para el desarrollo de su actividad productiva, la escasez de oferta de energía eléctrica a un menor costo y de forma regular; pues argumentan la necesidad de adquirir plantas eléctricas que funcionan con combustibles fósiles para asegurar la continuidad del proceso de enfriamiento, a pesar de los fallos en la red eléctrica que se puedan presentar y según ellos, ocurren frecuentemente.

Analizando el problema más a fondo, se determina que la necesidad real de las asociaciones, es disponer de un sistema de enfriamiento de leche que funcione continuamente y a un menor costo, ya sea a partir de energía eléctrica utilizando los tanques de frío existentes, o a partir de una alternativa diferente que permita realizar el mismo proceso con similar eficiencia.

Otra conclusión importante que se obtiene de la socialización, es el interés mostrado por la comunidad en un sistema de generación de energía térmica que sustituya el consumo de leña y gas principalmente, en el proceso de cocción de alimentos, en esta ocasión enfocado a las necesidades del sector doméstico de la población del municipio de Cumbal.

Figura 9. Fotografías de la capacitación en los municipios de Guachucal y Cumbal



Fuente: Esta investigación.

De las visitas se obtienen resultados muy positivos, interactuando con la comunidad para darles a conocer en una forma general la tecnología y realimentando el proceso con sus valiosos aportes en cuanto a sus necesidades y expectativas, lo que se convierte en base fundamental para formular proyectos en la región.

3.5 ANÁLISIS DE TIPOS DE BIODIGESTORES

Como se menciona en la sección de biodigestores, existen diferentes tipos según su tecnología y diseño. A continuación, en la tabla 22 se resaltan las principales características de los biodigestores más utilizados.

Tabla 22. Características de biodigestores más utilizados

TIPO DE BIODIGESTOR	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACION	CARACTERISTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
FLUJO DISCONTINUO	Se cargan una vez y quedan cerrados por un tiempo fijo de retención hasta que haya terminado el proceso de fermentación y no haya producción de gas		Se carga el biodigestor y este permanecerá cerrado con sustrato, un inoculante y en algunos casos, una base para mantener el pH casi neutral	Admite materiales de carga de poco diluidos por lo que se requiere menos agua y además no son afectados por presencia de material como piedra y arena Poseen	Al principio y al final del proceso la producción de biogás es menor

				larga vida útil	
FLUJO CONTINUO	Los digestores de flujo continuo son cargados y descargados en forma periódica, y el material de fermentación debe ser fluido y uniforme	De estructura sólida fija	Se construye en ladrillo, piedra o concreto por lo cual permanece inmóvil y por lo general tienen estructura semiesférica	Bajos costos de construcción No posee partes metálicas que puedan oxidarse Posee larga vida útil	Los materiales de construcción no son impermeables por lo cual puede formarse porosidades y grietas que afectan el funcionamiento
		Digestor de estructura sólida móvil	Este digestor es en forma de bóveda Esférica (o cilíndrica) y tiene un depósito de gas móvil en forma de campana flotante. La campana puede flotar directamente en la carga de fermentación o en un anillo de agua cilíndrico	El gas almacenado es visible a través del nivel de la campana Fácil manejo Posee larga vida útil	Altos costos de construcción La campana es metálica y esta expuesta a corrosión Altos costos de mantenimiento
		De balón de plástico	Está compuesto de una bolsa de plástico, caucho, Polietileno o geomembrana de PVC, completamente sellada. La parte inferior de la bolsa (75% de volumen) se rellena con la carga, mientras en la parte superior de la bolsa (25%) se almacena el gas	Bajos costos de construcción Fácil instalación y manejo Ideal para todo tipo de climas	Baja vida útil debe ser protegido para que el ambiente no dañe el material

Fuente: Esta investigación.

De la anterior tabla se concluye que los biodigestores se pueden seleccionar dependiendo de las necesidades, para el caso de una finca que produce biomasa diariamente, se pueden seleccionar biodigestores de flujo continuo ya que de lo contrario se estarían desperdiciando gran parte de los desechos orgánicos, teniendo en cuenta que los de flujo discontinuo se cargan una sola vez y se mantiene la materia orgánica dentro del biodigestor por un periodo de tiempo, por otra parte como se detalla en la tabla 22 los biodigestores de balón plástico brindan facilidad de instalación y economía en sus materiales. Se selecciona este tipo de biodigestor para ser diseñado teniendo en cuenta que dicho diseño es enfocado para fincas y viviendas rurales.

3.6 DISEÑO DEL BIODIGESTOR

3.6.1 Selección del lugar. Para el diseño del biodigestor en primera instancia se selecciona una finca con un apto potencial de biomasa, la cual se sitúa en el municipio de Ospina con las siguientes coordenadas de ubicación geográfica: altura 3075m, ubicación: N 01.01761° W 077.56315°, marcado: 12 oct 8:02 pm. Esta finca fue escogida por que posee variedad de animales y cultivos, así como también es una finca para ser tenida en cuenta como modelo en el municipio de Ospina para ser tecnificada, gracias a las gestiones e interés de su dueño, las imágenes se muestran a continuación.

Figura 10. Finca San Isidro



Fuente: Esta investigación.

3.6.2 Potencial de biomasa producido diariamente en la finca. En la Figura 10 se muestran algunas imágenes de las fuentes que producen biomasa entre las cuales se encuentran: 5 vacas lecheras, 8 cerdos de precebo, dos marranas de

cria, 2 marranos de levante, y animales menores entre cuyes, conejos y gallinas. Para obtener la cantidad de biomasa que se produce diariamente en esta finca, es necesario tener en cuenta la sección de análisis de potencial de biomasa estudiada anteriormente, la cual nos indica la cantidad de biomasa producida por cada animal, y para el caso de las vacas se toma un 10% de su peso vivo según G.P.NOR INGENIERIA S.L.²². Dicha relación se indica en la Tabla 23.

Tabla 23. Total estiércol vacuno y porcino producido en la finca

ANIMAL	DESCRIPCION	PESO VIVO (kg)	ESTIERCOL DIARIO (kg)	TOTAL (kg)
Vacuno	4 Vaca en lactancia.	420	42	168
Porcino	2 Hembras reproductoras	173	8	16
	8 Precebos	16	1,22	9,76
	2 Levante	35	2,19	4,38

Fuente: Esta investigación.

Para el caso del estiércol vacuno únicamente se puede recolectar un 25% ya que únicamente se recogería el estiércol producido en la noche, tiempo que las vacas permanecen en el corral, por lo tanto el total de estiércol vacuno sería de 42 kg. En el caso de la biomasa producida por estiércol porcino se hace uso de un 75%, ya que los cerdos permanecen todo el tiempo en su corral, dando un total de este tipo de estiércol de 22,6 kg obteniendo así un total para ser utilizado en el biodigestor de 64 kg sumando los dos tipos. Estos dos tipos de desechos podrían alimentar diariamente el biodigestor, pero hay que tener en cuenta las mezclas y cantidades, así como también considerar desechos orgánicos provenientes de otros animales como cuyes, gallinas, conejos, de los cuales no se puede obtener un estimado total pero si se puede utilizar parte de ellos.

Una vez seleccionada la finca y conociendo el potencial de biomasa que ésta produce se procede con el diseño del biodigestor, el cual debe tener las siguientes especificaciones de ubicación: Estar cercano a la vivienda para facilitar el uso del biogás en actividades domésticas, construirse en un terreno totalmente plano, tener un desnivel con respecto a la vivienda para facilitar el transporte del biogás, puesto que este tiende a subir por sus propiedades. En la Figura 11 se ilustra la ubicación del biodigestor en la finca seleccionada, que cumple con las especificaciones necesarias para construir un biodigestor.

Como ya se analizó anteriormente, el biodigestor más adecuado para este tipo de fincas es el horizontal de flujo continuo el cual se construye con plástico de PVC o polietileno. Para la escogencia del plástico se debe tener en cuenta que este sea de gran calibre, los existentes en el mercado vienen desde calibre 6 hasta 10. Entre más grande sea el calibre mayor será la durabilidad del producto.

²² G.P.NOR INGENIERIA S.L. Biogás en la ganadería de vacuno [En Línea]
<http://www.afca.es/ArticuloBiogasAfcaDic09.pdf>

Figura 11. Lugar escogido para la ubicación del biodigestor



Fuente: Esta investigación.

3.6.3 Dimensionamiento del biodigestor. Para determinar las dimensiones del biodigestor se tiene en cuenta la biomasa producida por la finca y la temperatura de la zona, que por su altitud se encuentra en el rango de 8°C a 12°C. Dado que en la finca se puede hacer uso de 64 kg de desechos orgánicos, se calcula el volumen del biodigestor teniendo en cuenta el tiempo de retención y la cantidad de biomasa que se ingresa mezclada con agua. Se debe tener en cuenta la cantidad de líquido que tiene la materia orgánica, ya que de esto depende las proporciones de mezcla agua-materia orgánica que se ingresa al biodigestor. Según Jorge.A. Hilbert²³ la cantidad de sólidos totales contenidos en la mezcla debe ser menor a los líquidos, ya que la movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas. Experimentalmente se ha demostrado que una carga en biodigestor continuo no debe tener más de un 8% a 12 % de sólidos totales para asegurar el buen funcionamiento del proceso, a diferencia de los biodigestores discontinuos, que tienen entre un 40 a 60% de sólidos totales. Para calcular el volumen de agua que se debe mezclar con la materia prima para dar la proporción adecuada de sólidos totales, es necesario conocer el porcentaje de sólidos totales de la materia prima fresca.

²³ HILBERT, Jorge A. Manual para la producción de biogás. [En Línea] http://inta.gob.ar/documentos/manual-para-la-produccion-de-biogas/at_multi_download/file/Manual%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s%20del%20IIR.pdf

Tabla 24. Contenido de sólido en la materia

Materias primas	% Sólidos totales
Residuos animales	
Bovinos	13,4 – 26,2
Porcinos	15,0 – 49,0
Aves	26,0 – 92,0
Caprinos	83,0 – 92,0
Ovejas	32,0 – 45,0
Conejos	34,7 – 90,8
Equinos	19,0 – 42,9
Excretas humanas	17,0
Residuos vegetales	
Hojas secas	50,0
Rastrojo maíz	77,0
Paja trigo	88,0 – 90,0
Paja arroz	88,8 – 92,6
Leguminosas (paja)	60,0 – 80,0
Tubérculos (hojas)	10,0 – 20,0
Hortalizas (hojas)	10,0 – 15,0
Aserrín	74,0 – 80,0

Fuente: MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, Manual de biogás. 2011.

Por ejemplo, en el caso del estiércol de bovino fresco, suponiendo que tiene un 20% de sólidos totales y se quiere diluir esta carga a un 5% de sólidos totales, para saber cuánta agua se debe agregar por kilo de excretas frescas, se realiza el siguiente cálculo:

$$\% \text{ S.T. (carga diluida)} = \frac{1 \text{ kg excreta} * \% \text{ S.T.excreta fresca}}{1 \text{ kg excreta fresca} + \text{ agua agregada}} \quad (1)$$

$$0.05 = \frac{1 * 0.20}{1 + W \text{ agua}} \quad (2)$$

$$0.05 + 0.05W \text{ agua} = 0.20 \quad (3)$$

$$W \text{ agua} = \frac{0.15}{0.05} = 3 \text{ litros/ kg excreta fresca} \quad (4)$$

Por lo tanto se debe aplicar 3 litros de agua por un kilogramo de estiércol de bovino fresco que tenga un 20% de sólidos totales y se requiera diluirla a un 5%.

En conclusión, para realizar la carga del biodigestor se deben mezclar diferentes materias orgánicas y se debe realizar la dilución de sólidos totales a un porcentaje menor de 8% para así garantizar una buena producción de gas.

Tomando como base el ejemplo anterior y asumiendo que los sólidos totales en el estiércol son del 20% (siendo este un valor promedio registrado en la Tabla 24

para el estiércol bovino), se tiene una relación de agua-biomasa 3 a 1, por lo tanto en 64 kg de desechos se deben aplicar 192 litros de agua, por lo que la mezcla de carga diaria es de 256 litros.

Una vez obtenida la carga diaria se analiza el tiempo de retención el cual depende de la temperatura de la zona, mientras más alta sea menor será el tiempo de retención, para temperaturas que están alrededor de 30°C el tiempo de retención es de 20 días, para 20°C su tiempo de retención es de 30 días y para temperaturas que se encuentran entre 10°C su tiempo de retención es de 60 días²⁴. La zona andina del departamento de Nariño por lo general tiene bajas temperaturas como se indicó anteriormente, por lo tanto el tiempo de retención está entre 50 a 60 días, en este caso se asumirán 50 días.

Conociendo la carga diaria y el tiempo de retención, el volumen líquido del biodigestor será:

$$VL = \text{CARGA DIARIA} * \text{TIEMPO DE RETENCION} \quad (5)$$

De esta forma resulta que el volumen líquido sería 12.800 litros o 12,8 m³.

Generalmente en los biodigestores el volumen ocupado por la biomasa es de 75% y el volumen de gas es de un 25%, por lo tanto el volumen de gas será igual a:

$$Vg = VL/3 \quad (6)$$

De aquí se obtiene un volumen gaseoso de 4.266 litros, y finalmente el volumen total será la suma del volumen líquido y el volumen gaseoso VL + Vg, esto da un valor de 17.066 litros o 17,1 m³.

Una vez se tenga el volumen que contendrá el biodigestor se procede a dimensionarlo teniendo en cuenta las medidas de plástico, que se indican en la Tabla 25.

Tabla 25. Parámetros según el ancho del rollo

Ancho del rollo(m)	Perímetro de la circunferencia(m)	Radio(m)	Diámetro(m)
1	2	0,32	0,64
1,25	2,5	0,40	0,80
1,50	3	0,48	0,96
1,75	3,5	0,56	1,12
2	4	0,64	1,28

Fuente: biodigestores familiares guía de diseño y manual de instalación.

²⁴ HERRERO, Op. Cit, P. 43.

Ahora teniendo los anchos de rollo existentes y conociendo el volumen total se obtiene la longitud. Utilizando el ancho de rollo de 2 se obtiene lo siguiente:

El volumen de un biodigestor se lo puede calcular mediante la siguiente formula:
 $V=\pi*r^2*L$ (7)

Como ya se conoce todos los parámetros, excepto la longitud, la despejamos de esta fórmula y se obtiene.

$$L=V/\pi * r^2 \quad (8)$$

$$L=17.1m^3/\pi*(0.64m)^2 \quad (9)$$

$$L=13.28m \quad (10)$$

El anterior dimensionamiento se realiza teniendo en cuenta la metodología de Marti, sin embargo se sabe que la forma que el biodigestor toma dentro de la fosa no es totalmente cilíndrica, por lo que se realizan diferentes diseños en el programa de *CAD Inventor*, y se toma el que mejor se adapte a las necesidades.

Se realizaron 5 diseños teniendo en cuenta especificaciones de biodigestores que resalta el libro de Marti, biodigestores implementados por CORPONARIÑO y diseños propios.

El primer diseño se realiza siguiendo la forma ideal (cilíndrica), es difícil de implementar ya que es complejo realizar una estructura cilíndrica con un radio exacto, como se indica en la Figura 12. El segundo diseño se realiza siguiendo la metodología de Martí (Figura 13), en el cual no se conservan las dimensiones cilíndricas que se asume en la primera fase, ya que el área transversal depende de la geometría variando para un mismo contorno. El tercer y cuarto diseño se realiza teniendo en cuenta los biodigestores implementados por CORPONARIÑO, en el año 2010 (Figura 14) y en el año 2013 (Figura 15) respectivamente. El quinto es un diseño propio de esta investigación, el cual se realiza tratando de aproximarse a la forma ideal cilíndrica, pero que sea más fácil de implementar. El resultado se indica en la Figura 16 y las medidas de los biodigestores se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26. Especificaciones de diseño de biodigestores

Diseño	Volumen(m ³)	Gas(%)	Biomasa(%)	Longitud(m)	Área transversal(m ²)
Cilíndrico (ideal)	17,0658	25	75	13,406	1,273
Especificaciones Marti	17,0664	24,81	75,19	16,04	1,064
CORPONARIÑO 2010	17,0661	49,86	50,14	16,3	1,064
CORPONARIÑO 2013	17,065	14,78	85,21	15,67	1,089
Propio	17,066	25,45	74,55	13,92	1,226

Fuente: Esta investigación.

Para el diseño final se toman las especificaciones del diseño propio, ya que este permite ahorrar costos y se acerca más a la forma ideal que es la cilíndrica.

Figura 12. Diseño del biodigestor en forma cilíndrica



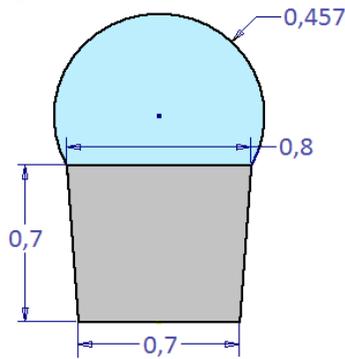
Fuente: Esta investigación.

Figura 13. Diseño del biodigestor con especificaciones del libro de Martí



Fuente: Esta investigación.

Figura 14. Diseño especificaciones CORPONARIÑO año 2010

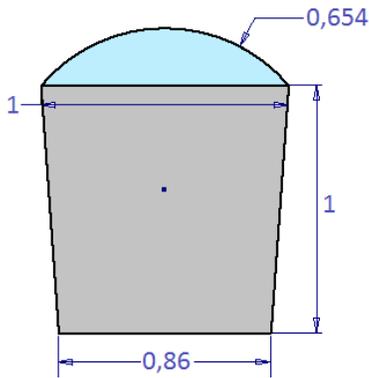


- GAS - 0,522 m²
- BIOMASA - 0,525 m²

Fuente: Esta investigación.



Figura 15. Diseño especificaciones CORPONARIÑO año 2013

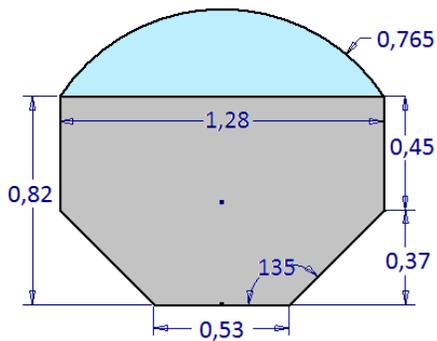


- GAS - 0,161 m²
- BIOMASA - 0,928 m²

Fuente: Esta investigación.



Figura 16. Diseño propio



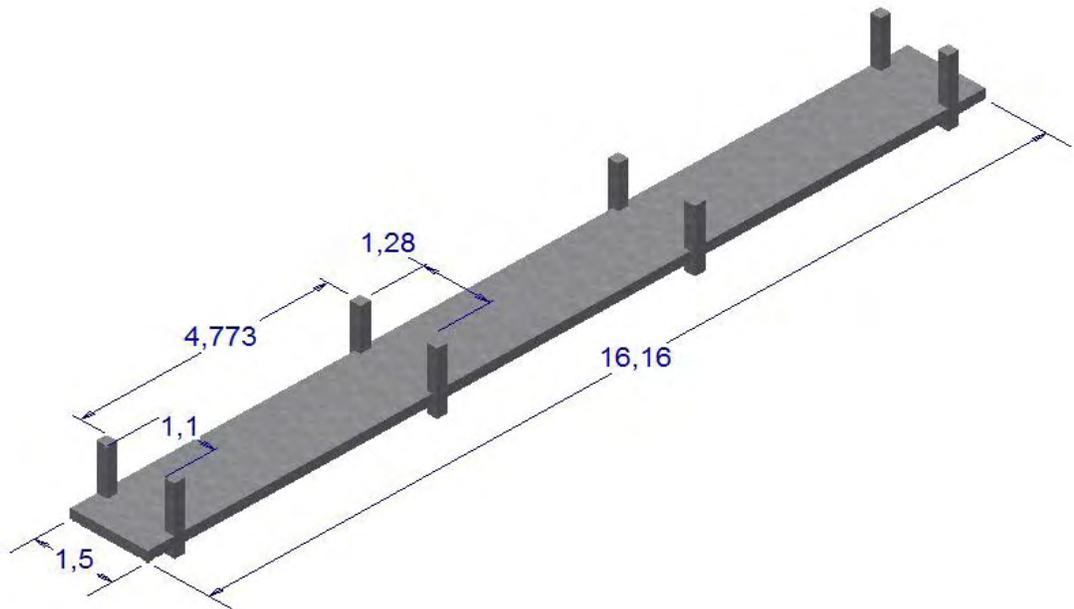
- GAS - 0,312 m²
- BIOMASA - 0,914 m²

Fuente: Esta investigación.



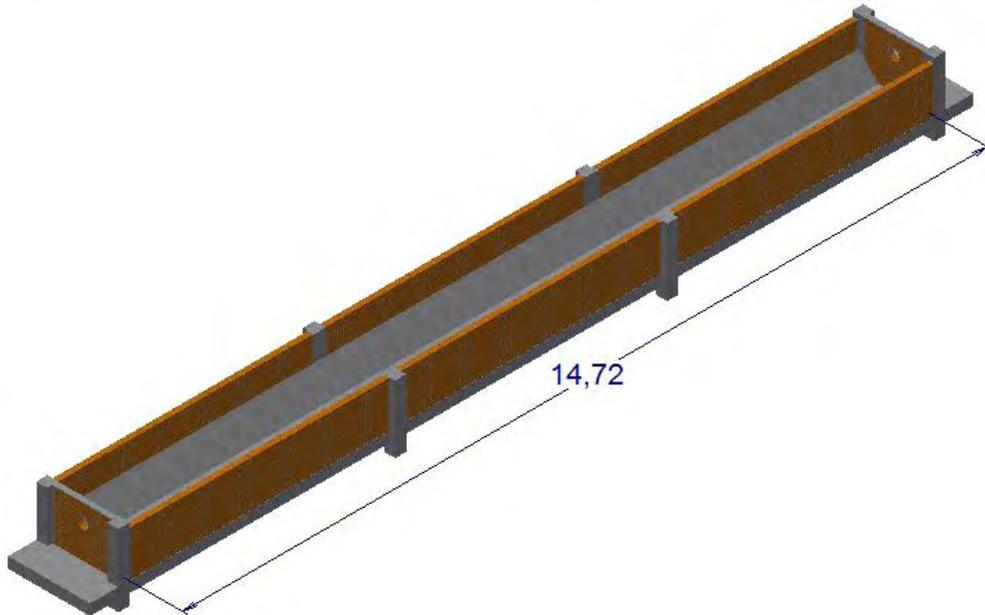
La Figura 16 muestra la imagen del biodigestor que será diseñado, teniendo en cuenta que los restantes son más largos de acuerdo a la tabla 26, y requieren más material tanto para el biodigestor como para la infraestructura, por lo tanto el diseño seleccionado permite más ahorro de espacio y material, además se será fácil de implementar. La estructura de soporte y protección para el biodigestor consta de una base de concreto totalmente nivelada en la cual reposarán tanto el contenedor del biodigestor como las cámaras de entrada y salida. El soporte de la estructura lo da una base en concreto de espesor de 10 cm, con 8 columnas de 20cm x 20cm, 4 por cada lado, enterradas 20 cm por debajo de la base, distanciadas 4,77 m, los ladrillos que conforman los muros son de 20cm x 10cm x 6cm. Los diseños de la base y la estructura del biodigestor se indican en las Figuras 17 y 18.

Figura 17. Base del biodigestor



Fuente: Esta investigación.

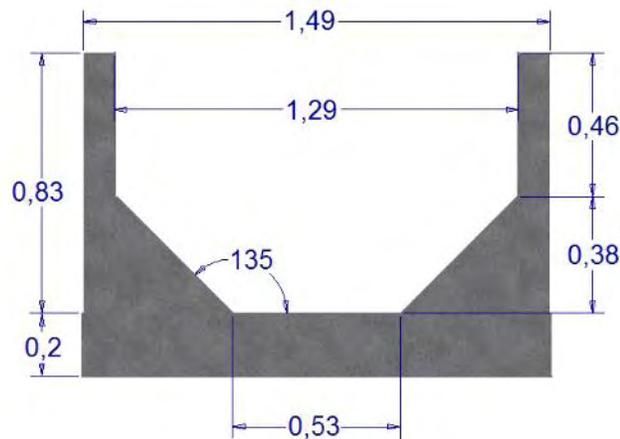
Figura 18. Estructura en ladrillos del biodigestor



Fuente: Esta investigación.

La Figura 19 muestra la forma y las medidas de la estructura del biodigestor diseñada para su posible implementación en una finca agrícola.

Figura 19. Diseño de la estructura del biodigestor

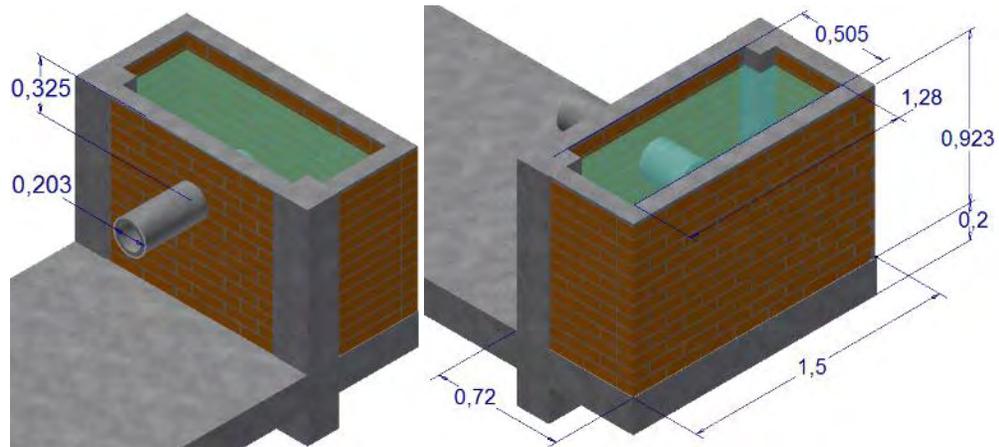


Fuente: Esta investigación.

Para el ingreso del material y salida del efluente en el biodigestor se diseñan dos cámaras denominadas cámara de entrada y cámara de salida. La cámara de entrada (Figura 20) se construye en ladrillo y tiene un tubo de 8" al que va amarrado el biodigestor para el ingreso del material, esta cámara debe tener el mismo nivel de líquido del biodigestor, por lo que se construye 10cm más alta. La cámara de salida (Figura 21), al igual que la de entrada es construida en ladrillo y

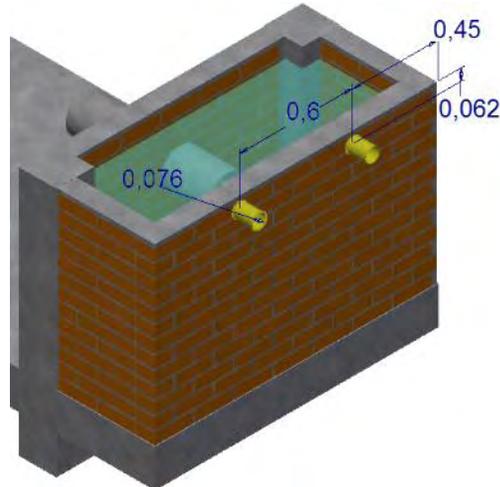
tiene un tubo de 8" al que va amarrado el biodigestor para la salida del material hasta la cámara, adicionalmente posee dos tubos para la salida del material desde la cámara hacia el tanque de almacenamiento, de manera que estos permiten conservar el nivel.

Figura 20. Cámara de entrada



Fuente: Esta investigación.

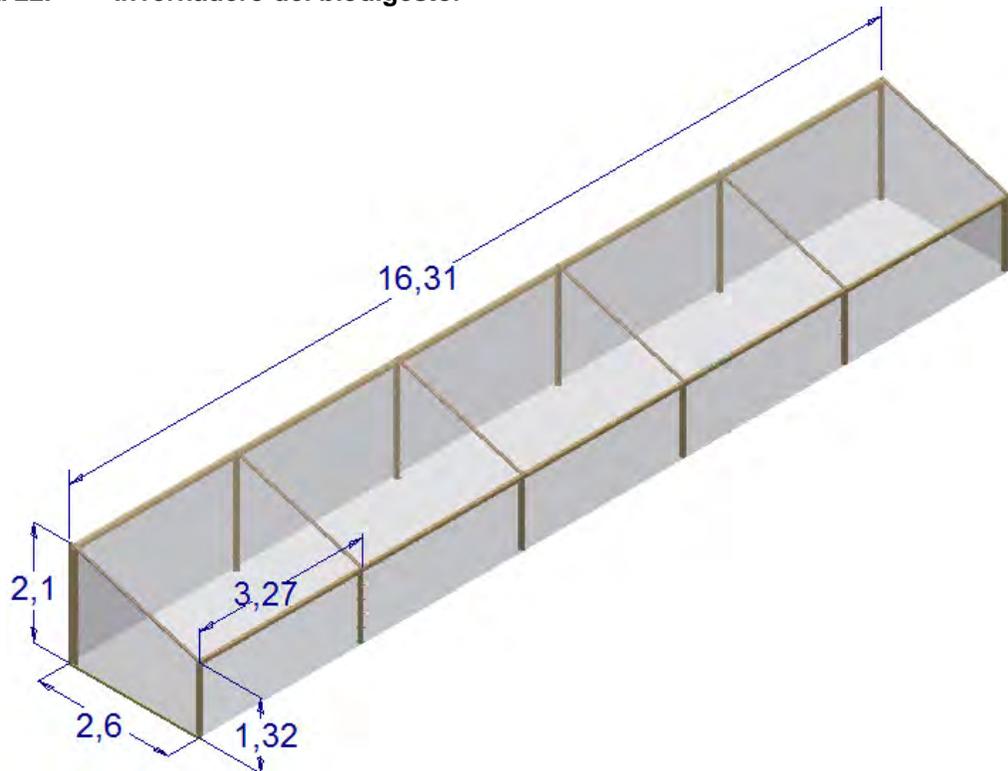
Figura 21. Cámara de salida



Fuente: Esta investigación.

La zona donde se aplica esta investigación se caracteriza por tener clima frío y temperaturas bajas, es por esto que se diseña un invernadero para ayudar a mantener una temperatura elevada y constante dentro del biodigestor, este se hace con plástico transparente el cual filtra los rayos UV para proteger al biodigestor. El diseño y las medidas del invernadero se indican en la Figura 22.

Figura 22. Invernadero del biodigestor

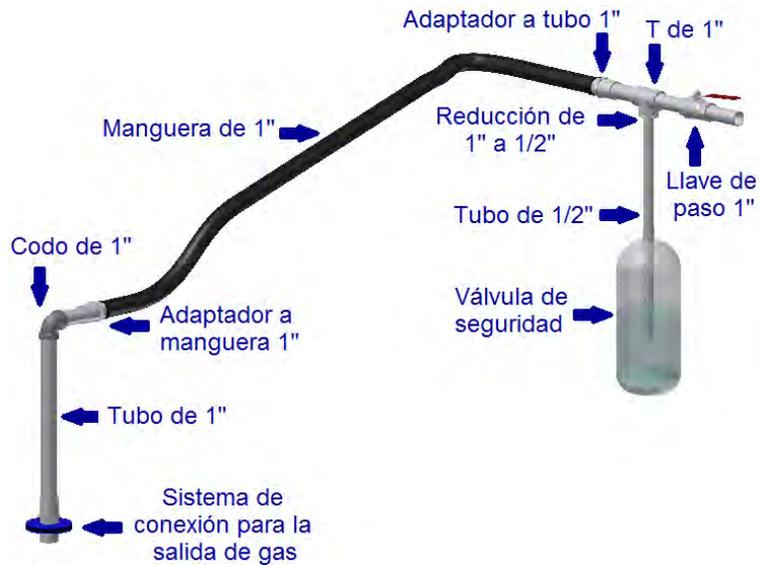


Fuente: Esta investigación.

Sobre la parte superior de la bolsa de plástico, se coloca la válvula de salida de gas, siendo necesario reforzar el plástico con arandelas de caucho y arandelas plásticas para asegurar el acople; luego se colocan accesorios PVC como lo indica la Figura 23. Después del acoplamiento se coloca un tubo PVC de 1" que va a la manguera que conduce el gas a su destino final. En la conducción del biogás se coloca la válvula de seguridad, la cual se construye con materiales PVC y una botella de refresco como se indica en la Figura 22. Según investigación hecha por la Universidad Politécnica de Catalunya²⁵, la tubería debe quedar sumergida en la botella de 8 a 13cm, dependiendo de la altura sobre el nivel del mar, de la distancia a la cocina y el tipo de cocina. Cuanta mayor altura menor presión se necesita, y menos tiene que estar sumergido el tubo en el agua. Cuanta mayor distancia a la cocina mayor presión se necesita y más sumergido ha de estar el tubo. Para determinar la presión idónea es necesario ir realizando pruebas de la combustión de biogás en la cocina, hasta que el usuario este conforme.

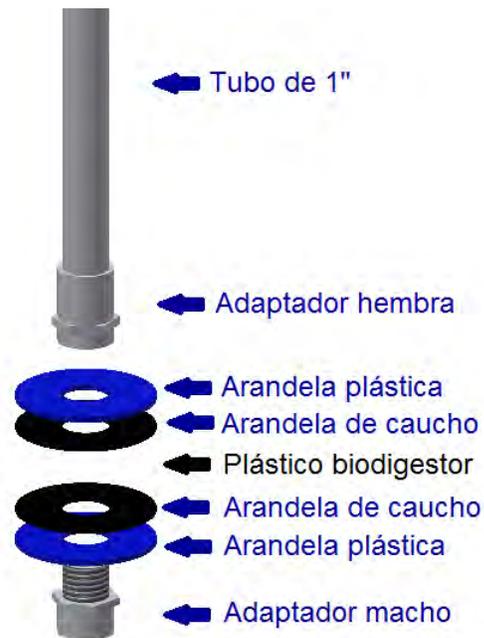
²⁵ UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA. Manual de diseño y manejo de biodigestores familiares de bajo costo.

Figura 23. Instalación para la conducción del gas



Fuente: Esta investigación.

Figura 24. Acople para la salida de gas



Fuente: Esta investigación.

El biogás al salir del biodigestor tiene un porcentaje de contenido de agua, y como este gas sale con una temperatura más alta que la de las tuberías de conducción, el agua se condensa y puede obstaculizar el paso del gas, por lo tanto se debe colocar una trampa de agua ubicada en el punto más bajo de la tubería de

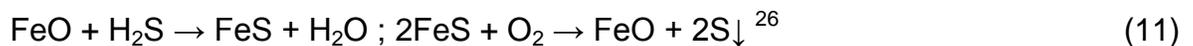
conducción para que atrape toda el agua condensada. Esta trampa se realiza con tubería PVC tal como se indica en la Figura 25.

Figura 25. Trampa de agua



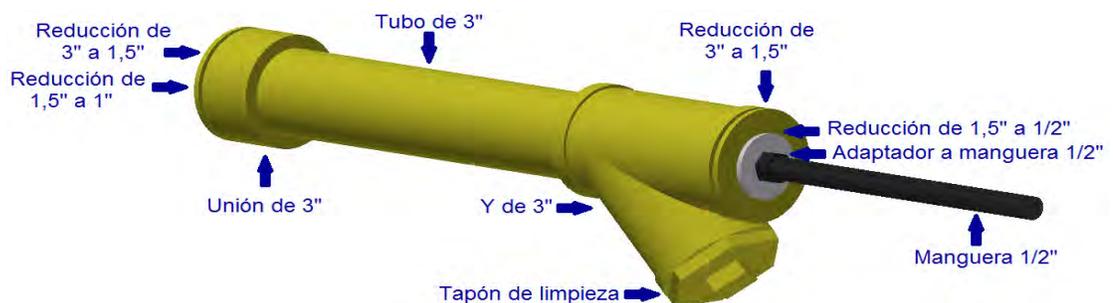
Fuente: Esta investigación.

El biogás obtenido de la biodigestión anaerobia contiene porcentajes de ácido sulfhídrico, este ácido es precursor del ácido sulfúrico por lo tanto corroe las partes metálicas y acorta el tiempo de vida de los equipos, lo que hace necesario filtrarlo. Un método para llevar a cabo este proceso es la absorción mediante limadura de hierro, el hierro reacciona con el ácido sulfhídrico de la siguiente manera:



La anterior fórmula indica que el ácido sulfhídrico se descompone, obteniendo agua y reteniendo azufre en la limadura de hierro, este filtro se realiza con accesorios PVC como se indica en la Figura 26, y en su interior se coloca limaya de hierro o esponjillas metálicas, las cuales deben ser cambiadas frecuentemente.

Figura 26. Filtro de H₂S



Fuente: Esta investigación.

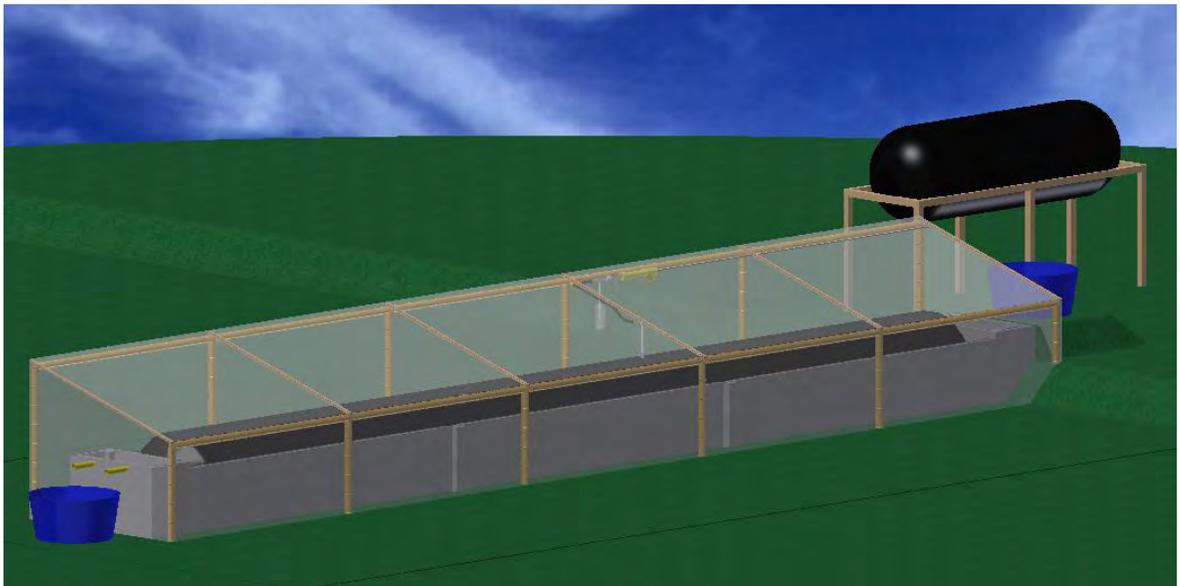
²⁶ PROGRAMA CURSO FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL SISTEMAS DE BIODIGESTION. . - Diseño, Dimensionamiento y Construcción de Sistemas de Biodigestión, Abril, 2013.

Después de los filtros se instala un reservorio que sirve para almacenar el gas producido que no se consume. Este reservorio se hace con el mismo plástico del biodigestor y su volumen depende del biogás diario producido, que en este caso el volumen es aproximadamente de 3,2 m³ como se analiza en el capítulo de gas producido diariamente.

Adicionalmente, el sistema contiene 2 tanques de almacenamiento de 500l cada uno, ubicados en la cámara de entrada y en la de salida. El de la cámara de entrada tiene la función de mezclar el material que ingresa al biodigestor, y el de la cámara de salida es para almacenar el efluente que sirve como fertilizante para los cultivos.

El diseño completo del biodigestor se indica en la Figura 27.

Figura 27. Diseño completo del biodigestor con aislamiento en estructura de cemento y ladrillo



Fuente: Esta investigación.

Con base en los diseños realizados en *Inventor*, se realizan los cálculos de materiales necesarios discriminándolos según el sistema al que pertenecen, con el fin de presentar dos propuestas diferentes, que se explican a continuación.

Los materiales necesarios para implementar el biodigestor con un aislamiento en estructura de ladrillo y cemento, y base de concreto se presentan en la Tabla 27. Las ventajas de este tipo de biodigestor, radican en la protección que se da a la estructura contra raíces, maleza, animales, humedad del terreno, deterioro por tiempo, de tal manera que se incremente la vida útil del sistema. Es importante

además, resaltar que con esta estructura es posible incluir un tubo de salida para realizar mantenimiento del biodigestor mediante una limpieza total del mismo.

Tabla 27. Especificaciones de materiales utilizados en la implementación del biodigestor con aislamiento en estructura de cemento, arena y ladrillo

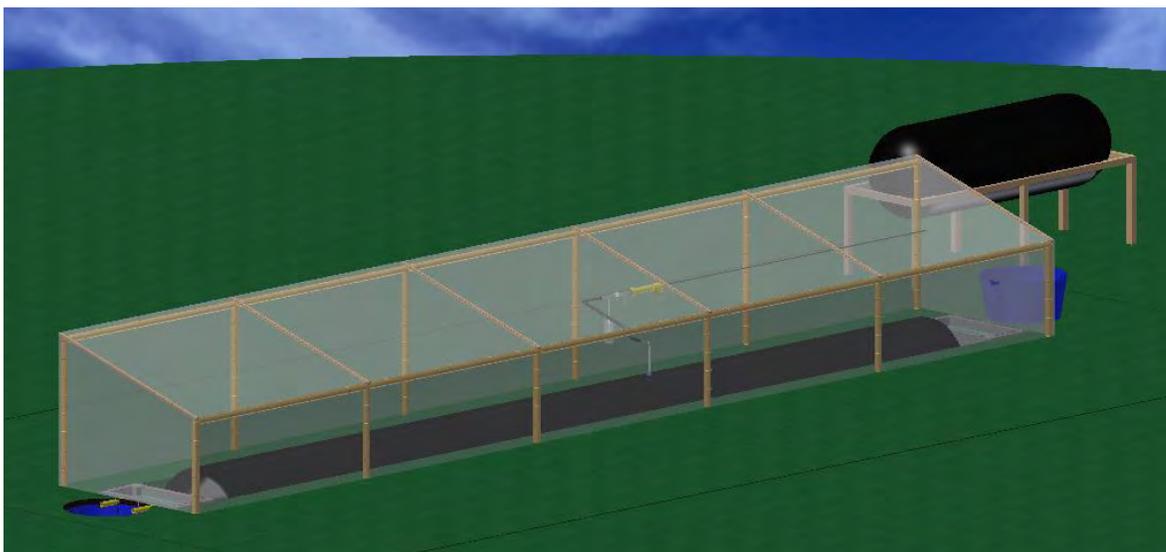
SISTEMA	MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Digestor	Plástico tubular calibre 8 - ancho 2m	m	30
	Tubo cemento 8" 0,75m	-	2
Base	Concreto 1:2:3	m ³	2,4
	Concreto 1:2:3	m ³	0,212
4 Columnas tipo 1 (0,2m x 0,2m x 1,32m)	Varilla Hierro 3/8"	m	32
	Concreto 1:2:3	m ³	0,197
4 Columnas tipo 2 (0,2m x 0,2m x 1,23m)	Varilla Hierro 3/8"	m	30
	Ladrillos 6cm x 10cm x 20cm	-	208
Cámara de entrada	Mortero 1:3 pega	m ³	0,068
	Mortero 1:3 repello	m ³	0,032
	Sika	kg	1,02
	Ladrillos 6cm x 10cm x 20cm	-	208
Cámara de salida	Mortero 1:3 pega	m ³	0,068
	Mortero 1:3 repello	m ³	0,032
	Tubo PVC 3"	m	1
	Sika	kg	1,02
	Ladrillos 6cm x 10cm x 20cm	-	1620
Estructura aislamiento en ladrillo y concreto	Mortero 1:3 pega	m ³	0,435
	Mortero 1:3 repello	m ³	0,254
	Listón madera 9cm x 4cm	m	16,6
	Tabla madera 4cm x 28,5 cm	m	58,88
	Guadua	m	58
Invernadero	Plástico ancho 6 m	m	19
	Listón madera 4cm x 4cm	m	16,8
	Adaptador macho PVC 1"	-	2
Conexión de gas	Arandela Plástica	-	2
	Arandela de Caucho	-	2
	Adaptador hembra PVC 1"	-	1
	Tubo PVC 1"	m	3
	Codo PVC 1"	-	1
	Adaptador a manguera 1"	-	2
	Manguera 1"	m	2
	T PVC 1"	-	2
	Tubo PVC 1/2"	m	1
	Llave de paso 1"	-	1
	Reducción de 1" a 1/2"	-	1
	Tapón PVC 1"	-	1
	Reducción de 1,5" a 1"	-	1
	Reducción de 3" a 1,5"	-	2
	Unión PVC 3"	-	1
	Tubo PVC 3"	m	1
	Y sanitaria PVC 3"	-	1
	Reducción de 1,5" a 1/2"	-	1

	Adaptador a manguera 1/2"	-	1
	Manguera 1/2 "	m	15
Reservorio	Plástico tubular calibre 8 - ancho 2m	m	3
Tanque de mezcla	Tanque Ajovert 500 l	-	1
Tanque de almacenamiento	Tanque Ajovert 500 l	-	1

Fuente: Esta investigación.

Se debe tener en cuenta que si bien es cierto la implementación de una estructura aislante en ladrillo, cemento y concreto, tiene una gran cantidad de ventajas respecto a la protección que brinda, también implica una mayor inversión por la longitud del sistema, razón por la cual se presenta una propuesta más económica que sacrifica dichas ventajas simplificando el aislamiento, implementando el biodigestor en una zanja con las dimensiones y geometría internas presentadas en la Figura 16, añadiendo un plástico para aislarlo del contacto directo con la tierra como se observa en la Figura 28. Los materiales necesarios para implementar el biodigestor con un aislamiento de plástico instalado en zanja se presentan en la Tabla 28.

Figura 28. Diseño completo del biodigestor con aislamiento en plástico



Fuente: Esta investigación.

Tabla 28. Especificaciones de materiales utilizados en la implementación del biodigestor con aislamiento de plástico

SISTEMA	COMPONENTE	UNIDAD	CANTIDAD
Digestor	Plástico tubular calibre 8 - ancho 2m	m	30
	Tubo cemento 8" 0,75m	-	2
Base	Concreto 1:2:3	m ³	0,216

4 Columnas tipo 1 (0,2m x 0,2m x 1,32m)	Concreto 1:2:3	m ³	0,212
	Varilla Hierro 3/8"	m	32
Cámara de entrada	Ladrillos 6cm x 10cm x 20cm	-	208
	Mortero 1:3 pega	m ³	0,068
	Mortero 1:3 repello	m ³	0,032
	Sika	kg	1,02
Cámara de salida	Ladrillos 6cm x 10cm x 20cm	-	208
	Mortero 1:3 pega	m ³	0,068
	Mortero 1:3 repello	m ³	0,032
	Tubo PVC 3"	m	1
	Sika	kg	1,02
Invernadero	Guadua	m	58
	Plástico ancho 6 m	m	19
	Listón madera 4cm x 4cm	m	16,8
Conexión de gas	Adaptador macho PVC 1"	-	2
	Arandela Plástica	-	2
	Arandela de Caucho	-	2
	Adaptador hembra PVC 1"	-	1
	Tubo PVC 1"	m	3
	Codo PVC 1"	-	1
	Adaptador a manguera 1"	-	2
	Manguera 1"	m	2
	T PVC 1"	-	2
	Tubo PVC 1/2"	m	1
	Llave de paso 1"	-	1
	Reducción de 1" a 1/2"	-	1
	Tapón PVC 1"	-	1
	Reducción de 1,5" a 1"	-	1
	Reducción de 3" a 1,5"	-	2
	Unión PVC 3"	-	1
	Tubo PVC 3"	m	1
	Y sanitaria PVC 3"	-	1
	Reducción de 1,5" a 1/2"	-	1
	Adaptador a manguera 1/2"	-	1
Manguera 1/2 "	m	15	
Reservorio	Plástico tubular calibre 8 - ancho 2m	m	3
Tanque de mezcla	Tanque Ajoer 500 l	-	1
Tanque de almacenamiento	Tanque Ajoer 500 l	-	1
Aislamiento	Plástico ancho 6 m	m	15

Fuente: Esta investigación.

Para determinar la cantidad de arena, cemento y triturado necesarios para obtener el concreto 1:2:3 y el mortero 1:3 mencionados, se utiliza la metodología aplicada por Gerardo Rivera²⁷ cuyos resultados se presentan en la Tabla 29 para el concreto y en la Tabla 30 para el mortero.

²⁷ RIVERA.L. Gerardo. Proporciones en volumen suelto.[en línea]
<ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%20%20de%20>

Tabla 29. Cantidades de material estimadas por metro cúbico de concreto y resistencias probables obtenidas

Mezcla Prop. En Vol. C:F:G	Cemento		Arena	Triturado	Agua	Rango de resist. Probable a la Compresión 28 días	
	kg	Sacos	m ³	m ³	l	Kg/cm ²	P.S.I.
1:2:2	420	8,50	0,67	0,67	190	210-250	3000-3600
1:2:2,5	385	7,75	0,61	0,76	180	200-240	2900-3450
1:2:3	350	7,00	0,56	0,84	170	190-230	2700-3300
1:2:3,5	325	6,50	0,52	0,91	165	175-215	2500-3100
1:2:4	300	6,00	0,48	0,96	160	150-190	2100-2700
1:2,5:2,5	350	7,00	0,70	0,70	170	190-230	2700-3300
1:2,5:3	325	6,50	0,65	0,78	165	175-215	2500-3100
1:2,5:3,5	300	6,00	0,60	0,84	160	150-190	2100-2700
1:2,5:4	280	5,50	0,56	0,90	155	140-180	2000-2600
1:2,5:4,5	265	5,25	0,53	0,95	150	135-175	1900-2500
1:3:3	300	6,00	0,72	0,72	160	150-190	2100-2700
1:3:4	265	5,25	0,63	0,84	150	135-175	1900-2500
1:3:5	235	4,75	0,56	0,93	145	110-140	1600-2000
1:4:7	175	350	0,56	0,98	120	80-120	1100-1700
1:4:8	165	325	0,52	1,03	115	70-100	1000-1500

Fuente: RIVERA.L. Gerardo. Proporciones en volumen suelto.[en línea]

<ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%20%20de%20010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2010%20-%20Proporciones%20en%20volumen%20suelto.pdf>

Tabla 30. Cantidades de material estimadas por metro cúbico de mortero y resistencias probables obtenidas

Mezcla Prop. En Vol. C:F:G	Cemento		Arena	Agua	Rango de resist. Probable a la Compresión 28 días	
	Kg	Sacos	m ³	L	kg/cm ²	P.S.I.
1:1	900	18,00	0,72	405	230-280	3300-4000
1:2	600	12,00	0,96	300	190-240	2700-3450
1:2,5	515	10,25	1,03	280	160-210	2300-3000
1:3	450	9,00	1,08	260	140-190	2000-2700
1:3,5	400	8,00	1,12	250	125-175	1800-2500
1:4	360	7,20	1,15	240	110-160	1600-2300
1:5	300	6,00	1,20	225	100-150	1500-2200
1:6	260	5,25	1,23	210	85-135	1200-1900
1:7	225	4,50	1,26	195	75-125	1100-1800
1:8	200	4,00	1,28	185	65-115	900-1600
1:9	180	3,75	1,30	175	55-100	800-1500
1:10	165	3,25	1,31	165	45-95	650-1350

<010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2010%20-%20Proporciones%20en%20volumen%20suelto.pdf>

Fuente: RIVERA.L. Gerardo. Proporciones en volumen suelto.[en línea]
ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%20010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2010%20-%20Proporciones%20en%20volumen%20suelto.pdf

Para el primer caso, del biodigestor con aislamiento en ladrillo, se determina de la Tabla 27 que es necesario un total de 2,809 m³ de concreto 1:2:3 y un total de 0,889 m³ de mortero 1:3. Adicionando un 5% por concepto de desperdicio y utilizando la información de las Tablas 29 y 30 para las proporciones mencionadas, se tiene que para un volumen de 2,949 m³ de concreto 1:2:3 se requiere 1.032,3 kg de cemento, 1,65 m³ de arena y 2,48 m³ de triturado; por otra parte, para un volumen de 0,933 m³ de mortero 1:3 se requiere 420,1 kg de cemento y 1,01 m³ de arena. Finalmente, la cantidad total de estos materiales será: 1452,4 kg de cemento, que en bultos de 50kg corresponde a 29 ya que se debe redondear a un valor entero; 2,66 m³ de arena; y 2,48 m³ de triturado.

Para el caso del biodigestor con aislamiento plástico, se determina de la Tabla 28 que es necesario un total de 0,428m³ de concreto 1:2:3 y un total de 0,2 m³ de mortero 1:3. Adicionando un 5% por concepto de desperdicio y utilizando la información de las Tablas 29 y 30 para las proporciones mencionadas, se tiene que para un volumen de 0,449 m³ de concreto 1:2:3 se requiere 157,3 kg de cemento, 0,25 m³ de arena y 0,38 m³ de triturado; por otra parte, para un volumen de 0,21 m³ de mortero 1:3 se requiere 94,5 kg de cemento y 0,23 m³ de arena. Finalmente, la cantidad total de estos materiales será: 251,8 kg de cemento, que en bultos de 50 kg corresponde a 5 redondeando a un valor entero; 0,48 m³ de arena; y 0,38 m³ de triturado.

3.6.4 Cantidad de gas producido diariamente. Para obtener la cantidad de gas producido diariamente se debe tener en cuenta los sólidos totales y los sólidos volátiles que posee la materia orgánica. Los sólidos totales equivalen a la porción de la materia orgánica seca, y este valor ya se había asumido anteriormente en la etapa de diseño del biodigestor, el cual es del 20%. Los sólidos volátiles según Jaime Martí Herrero²⁸, representan la parte de los sólidos totales que están sujetos a pasar a fase gaseosa, su valor corresponde aproximadamente al 77% del sólido total introducido por día.

El mismo autor también describe la metodología a seguir para obtener el producido total de biogás por día, la cual se indica a continuación.

Se obtiene primero los sólidos totales presentes en el biodigestor, para esto se utiliza la siguiente formula:

$$ST = Cd * \%ST / VI \quad (12)$$

²⁸ HERRERO, Op. Cit, P. 43.

Donde:

ST: Sólidos totales, Cd: Carga diaria, VI: volumen de biomasa en el biodigestor

Los sólidos volátiles serán:

$$SV=ST*0.77 \quad (13)$$

Una vez obtenidos los sólidos volátiles se aplica el factor de producción de biogás, que varía dependiendo del tipo de animal, bovino 0.25 - 0.30 y porcino 0.25 - 0.50, como en este caso se tienen de los dos tipos de desechos se toma un promedio de los dos, siendo para bovino del 0.275 y para porcino del 0.375 y finalmente se toma un promedio de los dos, el cual da un valor de 32%, con este valor se obtiene la cantidad de biogás producida por día en función del volumen del biodigestor.

$$PB=(SV*0.32\%)*VI \quad (14)$$

Después de realizar este procedimiento se tiene que el biodigestor produce alrededor de 3.2m³ de biogás al día, de los cuales aproximadamente el 70% es gas metano y se lo puede utilizar en combustión directa o generación de energía eléctrica.

3.7 USOS DEL BIOGÁS.

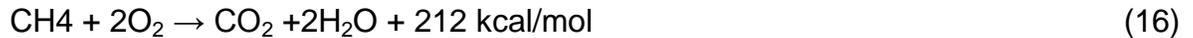
El biogás puede ser utilizado en diferentes equipos comerciales diseñados para funcionar con gas natural como por ejemplo: lámparas, motores, quemadores entre otros. El principio de funcionamiento de estos equipos es la combustión la cual se define según Cesar Mondragón Martínez et al, como el calor desprendido cuando un mol de dicha sustancia arde completamente en oxígeno a 1 atmósfera de presión. Para el gas metano la combustión se expresa en la siguiente ecuación química.



Esta ecuación nos indica que se desprenden 2.212,8 kilocalorías cuando un mol de metano reacciona con dos moles de oxígeno para dar un mol de gas carbónico y dos moles de agua²⁹.

²⁹ MONDRAGON MARTINEZ, Cesar et al. Hipertexto Química 1. Bogotá: Santillana S.A, 2010, P.124.

Una vez conocida la ecuación de combustión del metano se puede conocer el poder calorífico del mismo, teniendo en cuenta la cantidad de porcentaje presente en el biogás, para esto se parte de lo siguiente.



$$1 \text{ mol} = 22.4 \text{ L y } 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L} \quad (17)$$

$$1 \text{ m}^3 = 44,64 \text{ mol} \quad (18)$$

$$212 \text{ kcal/mol} * 44,64 \text{ mol/m}^3 = 9464 \text{ kcal/m}^3 \quad (19)$$

Con lo anterior se tiene el poder calorífico del metano puro, sin embargo en el biogás, el porcentaje varía dependiendo de algunos aspectos ya mencionados anteriormente. Para este caso se tomaN como base los biodigestores que fueron estudiados en el PERS (proyecto biodigestores), en el cual se encontró un biodigestor que estaba alimentado con estiércol porcino y bovino obteniendo un porcentaje de metano del 70.7%, este porcentaje se obtiene gracias a la mezcla variada de biomasa, la cual se tiene en cuenta en el diseño propuesto en este documento.

Con promedio de metano de 70.7%, se obtiene que el poder calorífico del biogás es de:

$$9.464 \text{ kcal/m}^3 * 70.7\% = \mathbf{6.691 \text{ kcal/m}^3} \quad (20)$$

Ahora se harán comparaciones con los combustibles que se pueden sustituir.

3.7.1 GLP. El gas licuado de petróleo es la mezcla de gases licuados presentes en el gas natural o disueltos en el petróleo, el poder calorífico del GLP es de 11.800 kcal/kg, por lo tanto la relación de éste con el biogás es de 1,764, esto quiere decir que 1kg de GLP equivale a 1,764m³ de biogás.

3.7.2 Leña. La leña es la madera utilizada para hacer fuego en estufas, chimeneas o cocinas. Su poder calorífico es en promedio de 4,740 kcal/kg³⁰, por lo tanto su relación con el biogás es de 0,708. Esto quiere decir que 1 kg de leña equivale a 0,708 m³ de biogás.

3.7.3 Energía eléctrica. La generación de energía eléctrica se realiza mediante motores generadores a biogás los cuales vienen diseñados para funcionar con este combustible, o también mediante motores de combustión interna en los que se debe hacer unas modificaciones para que tomen el biogás como combustible principal.

³⁰ Ibid. P. 98.

En el caso de los generadores que funcionan a biogás no es muy común encontrarlos en el mercado, por lo cual es muy difícil su caracterización. Los únicos que se han encontrado disponibles son los de marca Puxin³¹, que es una tecnología china, por lo cual también es difícil su adquisición. A continuación se indican algunas especificaciones de uno de los generadores que más se aproxima a las necesidades.

Lugar de origen: Guangdong, China (continental)

Marca: Puxin

Número de modelo: PX-BG-1200W

Tipo de salida: DC / AC

Velocidad: 1500

Frecuencia: 50/60 Hz

Potencia nominal: 1200W

Voltaje nominal: 230V

Corriente nominal: 12V 8.3^a

Tipo Generador: monofásico motor del cepillo

Desplazamiento: 163cc

Sistema de encendido: T.C.I.

Capacidad de aceite del motor: 0,55 L

Gas adecuados: Biogas / LPG

Tipo de motor: CC168F

Consumo de gas: 1,4 m³ / h

Diámetro x carrera: 68 x 45mm

Como se observa, este generador utiliza 1,4m³ por hora para su funcionamiento y no sería muy adecuado si se tiene en cuenta el volumen de gas que se generaría con el diseño.

Los generadores diesel son otro tipo de generadores que pueden ser transformados para funcionar con biogás, sin embargo en estos no se puede sustituir el 100% del combustible, ya que el diesel o gasóleo se enciende por presión y temperatura, razón por la cual estos motores carecen de la bujía que ocasiona la chispa necesaria para encender el biogás. En estos motores la mezcla de diesel y biogás se realiza directamente en su cámara de combustión. Cuando el motor recibe el biogás por la entrada de aire, este se acelera, por lo que el gobernador de la bomba de inyección reduce la cantidad de diesel suministrado a la cámara de combustión, logrando una estabilidad en la aceleración y potencia del motor. Estos motores soportan las variaciones de carga sin tener que operar la válvula de regulación del biogás, permitiendo operar en un rango más amplio de carga.

³¹ http://puxinbiogas.en.alibaba.com/product/370083282220435926/small_sizes_biogas_alternative_energy_generators.html

Para los arranques del motor se debe alimentar únicamente con diesel, una vez arrancado el motor se realiza la transferencia de biogás gradualmente, hasta alcanzar el 70%. No es recomendable la sustitución mayor a un 70% de biogás por diesel porque puede dañar el motor³².

Los generadores a gasolina son los más utilizados en la generación de energía a partir de biogás a pequeña escala, ya que en estos se puede sustituir el 100% del combustible y para su funcionamiento se deben hacer únicamente unas pequeñas modificaciones.

El combustible utilizado en estos generadores es la gasolina y su poder calorífico es de 8.325kcal/l³³. La relación de este combustible con el biogás es de 1,24, esto quiere decir que 1l de gasolina equivale a 1,24m³ de biogás. Para la implementación del generador se tiene en cuenta la cantidad de combustible que este requiere para funcionar y el tiempo que permanecería en funcionamiento. A continuación se indican algunos generadores con diferente potencia, consumo de combustible y precio, existentes en el mercado, para hacer una comparación y escoger el que mejor se adapte a las necesidades.

Tabla 31. Generadores eléctricos potencia y precios

GENERADOR	POTENCIA(w)	CONSUMO GASOLINA (l/h) SEGÚN CARGA CONECTADA	VALOR (\$)
Generador Kipor ³⁴	700	75% -0.47 50%-0.31 25%-0.16	1.007.615
Generador Retto ³⁵	1000	0.8 a Plena carga	432.492
Generado Honda ³⁶	1000	0.525 a Plena carga	3.500.411
Generador Guide ³⁷	1000	0.68 a Plena carga	799.821

Fuente: Esta investigación.

³² RAMÍREZ RODRÍGUEZ, Luis. Generación eléctrica por medio de Biogás. Costa Rica, 2004. P. 21. Trabajo de grado (Ingeniería Eléctrica). Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería.

³³ PETROBRAS. Densidad y poderes caloríficos superiores. 2014[En línea].

<http://www.investidorpetrobras.com.br/es/servicios/formulas-de-conversion/detalhe-formulas-de-conversao/densidade-e-poderes-calorificos-superiores-solamente-en-portuguese.htm>.

³⁴ GENERADORES ELECTRICOS. Generador Kipor,[en línea]

<http://www.ventageneradoreselectricos.es/Generador-Inverter-Gasolina-077-kVA>.

³⁵ MAQUINARIA Y OCIO. Generadores eléctricos,[En Línea]

<http://www.maquinariayocio.com/Generador-electrico-Bajo-Consumo-1000w-4T>.

³⁶ INFOAGRO. Catálogo de instrumental, [En Línea]

http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=9022&_generador_electrico_insonorizado_portatil_inverter_honda_eu_10i_tienda_on_line

³⁷ SOLOSTOCKS. Generadores eléctricos, [En Línea]

<http://www.solostocks.com/venta-productos/generadores/generadores-gasolina/generador-inverter-gude-isg-1000-silencioso-marca-alemana-7774033>

Se han listado 4 generadores que se encuentran disponibles en el mercado y como se puede detallar, su precio y calidad determinan el consumo de combustible y la potencia suministrada.

El generador Kipor consume 0,47 l de gasolina funcionando al 75%, es decir que a plena carga este generador consume 0,62l de gasolina y su equivalencia en biogás es de 0,77 m³; esto significa, que este generador con la disponibilidad de gas de la finca podría funcionar 4,15h entregando 700 W a plena carga. El generador Retto consume 0,8 l de gasolina por hora, lo que en biogás equivale a 0,992 m³ de biogás, y con esto, se puede generar en la finca 1.000 W durante 3,22h. El generador Honda consume 0,525 l de gasolina por hora y en biogás 0,625 m³ por hora, este puede funcionar 4,91 horas al día con 1.000 W a plena carga. Finalmente, el generador Guide consume 0,68l de gasolina por hora lo que en biogás equivale a 0,84m³, generando diario 1.000 W durante 3.8 horas.

Ahora, para la escogencia de la mejor opción se estima en primera instancia la cantidad de energía que requiere la finca, la cual se dimensiona teniendo en cuenta las potencias de los aparatos electrónicos que ésta posee y el tiempo de uso diario.

Tabla 32. Dispositivos electrónicos y potencias en la finca

CANTIDAD	DISPOSITIVO	POTENCIA [W]	HORAS DE USO DIARIO	ENERGIA DIARIA [Wh]
2	Bombillos incandescentes	60	3h	360
4	bombillos ahorradores	20	4h	320
1	Tv 14"	53	4	212
1	Tv 28"	69	3	207
1	Radio	40	8	640
1	Nevera	98	24	2352
1	Licuadaora	350	3 min	17.5
1	Ducha eléctrica	3000	5min	250
TOTAL POTENCIA REQUERIDA DIARIA				4358.5

Fuente: ELECTROCALCULATOR. ¿Cuánto gasta un aparato eléctrico? ¿Cuánta energía consume?, [En Línea] <http://www.electrocalculator.com/>

El generador que más se adapta a las necesidades de la finca es el Honda mostrado en la Figura 29, ya que es capaz de entregar 1000w de potencia durante casi 5 horas a plena carga, y como en esta finca son muy pocas las posibilidades en las que el generador tenga que entregar toda la potencia, es muy probable que funcione por más horas.

Figura 29. Generador Honda 10i



Fuente: HONDA. EU 10 Honda Generador insonorizado portátil [En Línea]
http://www.hondaencasa.com/insonorizados-portatiles/91-eu-10-honda_generador-insonorizado-portatil-8435285112988.html

La transformación del generador, que tiene como combustible principal gasolina para que funcione con biogás, es una tarea fácil ya que existe el kit de conversión que se adapta al generador para que tome el biogás como combustible principal.

Existen 3 métodos para convertir pequeños motores de gasolina, a propano y gas natural. Los tres hacen uso de un tubo venturi para producir el vacío, que abre el controlador de combustible y permite que el gas fluya dentro de la corriente de aire.

- **Sistema de perforación de carburador:** El sistema de perforación es normalmente el método de conversión de más bajo costo, pero no necesariamente el más fácil ya que se deben hacer varios pasos:

1. Retirar la tapa del filtro de aire del generador. Esta carcasa de plástico ubicada al lado del ventilador se sujeta con dos tornillos que se pueden quitar con un destornillador.
2. Retirar el conjunto del filtro de aire con una llave de tubo. El conjunto está en la carcasa de plástico de gran tamaño que se ha retirado de la cubierta.
3. Quitar la junta de la válvula del carburador detrás del filtro de aire. La junta es la pieza de metal plana que se apoya contra la abertura de la válvula.
4. Hacer grandes agujeros en los huecos existentes en la junta con una perforadora.
5. Buscar los extensores de pernos que se incluyen en el equipo de conversión e insertarlos en los agujeros en ambos lados de la válvula.
6. Colocar la junta modificada de la válvula sobre los extensores de pernos. Los nuevos agujeros perforados se ajustarán alrededor de los clavos más grandes.
7. Colocar la lengüeta de la manguera de 90 grados en el adaptador de metal redondo. Ambas piezas vienen con el equipo. La lengüeta de la manguera es un

conector de cobre con forma de "L". Insertar un extremo en la parte inferior del adaptador de plata redondo, que tiene la forma de la junta del carburador.

8. Deslizar el adaptador en los extensores de pernos, a la par de la junta, con la lengüeta de la manguera hacia abajo.

9. Conectar la manguera que transporta el vapor del gas a la lengüeta de la misma. Se trata de una manguera negra y gruesa y debería estar etiquetada en el generador. Usar la abrazadera de la misma para asegurarla a la púa.

10. Deslizar la junta incluida en el equipo en la parte superior del adaptador.

11. Volver a colocar el filtro de aire. Asegurarlo en su lugar con la llave de tubo y el tornillo de la tapa.

12. Instalar los reductores que vienen con el equipo en el controlador de combustible. El controlador es la caja plateada que regula el flujo de combustible, está conectado al generador. Fijar el reductor hasta el puerto diseñado para la producción de combustibles, en la esquina superior derecha del controlador.

13. Fijar la manguera de alta presión en el puerto justo debajo de la salida. Este es el puerto de entrada.

14. Asegurar el control de combustible en su lugar, fijándolo a la estructura del generador con un destornillador.

15. Prueba el carburador. Mientras arranca el generador, pulsa el botón manual en la parte posterior del controlador de combustible.

- **Sistema de adaptador:** El adaptador carburador está instalado entre el carburador de gasolina y el filtro de aire. El método del adaptador tiene la gran ventaja de poder operar de forma dual o tiene la opción de convertir rápidamente el motor a gasolina cuando se requiera.

- **Sistema de reemplazo del carburador:** Los kits de carburador de gas GLP y gas natural dan la mejor potencia y rendimiento consistente y son los más fáciles de instalar. Sólo tiene que sustituir el carburador de gasolina con un carburador nuevo que contiene un venturi correcto para el motor y la aplicación. Sin embargo, los modelos disponibles se limitan a algunos de Kohler, Onan y Techumseh motores más antiguos.

El método que se aplica en este caso es el de adaptador, ya que no se tiene que perforar el carburador ni tampoco cambiarlo, es un método sencillo y fácil de aplicar, además de la ventaja de poder cambiar el generador a gasolina cuando se requiera.

La Figura 30 muestra las partes incluidas en una Conversión Tri combustible para tomar como combustible gas propano a alta presión, propano baja presión y gas natural, el carburador de gasolina no se modifica, ya que no requiere ninguna perforación. El kit incluye un adaptador para un cilindro de 20 libras, el regulador de alta presión, la línea 3" de alimentación, soporte de montaje, las mangueras y accesorios, espárragos más largos o extensores, y el bloque de carga para ajustar la mezcla de aire y combustible.

Figura 30. Kit de conversión de gasolina a biogás



Fuente: PROPANECARBS. Kits de conversión[En Línea]
http://www.propanecarbs.com/tri_fuel_kits.html

La transformación se la hace de la siguiente manera:

Retirar el conjunto del filtro de aire del carburador, el cierre de la línea de gas está incluido con el kit.

Figura 31. Conversión generador de gasolina a biogás. Retiro del conjunto del filtro



Fuente: PROPANECARBS. Generador honda [En Línea]
http://www.propanecarbs.com/honda_eu2000_trifuelconversion.html

Instalar el adaptador, en la foto de abajo se puede ver el adaptador especialmente diseñado para este tipo de motores, que es lo suficientemente delgada para que se pueda colocar la tapa nuevamente.

Figura 32. Conversión generador de gasolina a biogás. Instalación del adaptador



Fuente: PROPANECARBS. Generador honda [En Línea]
http://www.propanecarbs.com/honda_eu2000_trifuelconversion.html

Vuelva a instalar el conjunto del filtro de aire como se mira en la Figura 33.

Figura 33. Conversión generador de gasolina a biogás. Instalación del conjunto del filtro



Fuente: PROPANECARBS. Generador honda [En Línea]
http://www.propanecarbs.com/honda_eu2000_trifuelconversion.html

Instalar el soporte para montar el regulador de la demanda, con este soporte no se deberá hacer agujeros para el montaje.

Figura 34. Conversión generador de gasolina a biogás. Instalación del soporte para la regulación de la demanda



Fuente: PROPANECARBS. Generador honda [En Línea]
http://www.propanecarbs.com/honda_eu2000_trifuelconversion.html

La Figura 35 muestra hasta qué punto el regulador de la demanda se fija por la caja del motor permitiendo que la puerta se pueda abrir.

Figura 35. Conversión generador de gasolina a biogás. Fijación del regulador de la demanda



Fuente: PROPANECARBS. Generador honda [En Línea]
http://www.propanecarbs.com/honda_eu2000_trifuelconversion.html

Una vez instalado, es posible utilizar gas propano de alta presión, propano de baja presión, gas natural o gasolina. Su instalación tiene un costo de \$ 390.900.

3.8 ABONO ORGÁNICO.

Otro subproducto que se obtiene en los biodigestores por la descomposición anaerobia es el efluente, el cual es un gran fertilizante puesto que la mayoría de sus nutrientes principales como nitrógeno, fósforo y potasio se conservan; este es conocido como bioabono.

Este fertilizante que según Jonatán de la Rosa³⁸ es en proporción del peso y el volumen, con los residuos entrantes, del 90 al 100%; esto quiere decir que la proporción diaria de abono orgánico que se puede obtener, es casi la misma proporción de biomasa que se ingresa diariamente al biodigestor. En este caso, asumiendo el tope mínimo de porcentaje que se obtendría de abono orgánico y sabiendo que ingresan diariamente al biodigestor 256 l, se estima un total de 230l de fertilizante líquido. Además, como se dijo anteriormente, este bioabono es muy rico en nutrientes y su aplicación constante ayuda a mejorar las propiedades del suelo, sus características dependen de la concentración de nutrientes que existan en la materia orgánica que se ingresa diariamente al biodigestor, ya que en el proceso estos se conservan, y por el contrario se eliminan las bacterias presentes como: Coliformes fecales, coliformes totales, salmonella entre otros, los cuales son perjudiciales para la salud humana.

Tomando como referencia las visitas realizadas por el PERS³⁹ a los biodigestores que se encuentran en la zona objeto de estudio en el cual se tomaron muestras para analizar la calidad de dicho abono, dichos análisis se realizaron en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.

Se realizaron dos pruebas diferentes a tres biodigestores, la primera es la fisicoquímica la cual indica la calidad del bioabono y los resultados se muestran en la Tabla 33.

Tabla 33. Resultados de los análisis físico químicos

Biodigestor	Nitrógeno g/l	Fósforo g/l	Potasio g/l	P ₂ O ₅ g/l	K ₂ O g/l	P ₂ O ₅ +K ₂ O+N g/l
No.1	0,78	0,1	1,58	0,24	1,91	2,92
No.2	2,89	2,97	1,62	6,80	1,95	11,6
No.3	1,03	0,22	1,14	0,50	1,37	2,90

Fuente: PERS. Estudios detallados para el aprovechamiento de los recursos biomásicos con uso de biodigestores para generación de energía y producción de abono orgánico en el municipio de Cumbal. Pasto-Nariño:2013

Según la norma NTC 5167 (Instituto colombiano de normas técnicas y certificación ICONTEC, 2011) referente a los productos usados como abonos, los valores mínimos de los parámetros analizados deben ser: 15 g/l para el fósforo soluble (P₂O₅); 15 g/l para el potasio soluble (K₂O); y 40 g/l para la sumatoria de todos los elementos, en este caso P₂O₅+K₂O+N.

³⁸ DE LA ROSA, Jonatan. Análisis físico y químico de fertilizante orgánico (biol) producido por biodigestores a partir de estiércol de ganado

³⁹ PERS. Estudios detallados para el aprovechamiento de los recursos biomásicos con uso de biodigestores para generación de energía y producción de abono orgánico en el municipio de Cumbal. Pasto-Nariño:2013.

Al comparar los resultados con la norma, en ninguno de los tres casos se alcanza los valores mínimos, sin embargo, es importante resaltar que la deficiencia en el conocimiento de las proporciones, el volumen y la frecuencia de carga por parte de los propietarios se refleja en los resultados tan variables que se obtuvieron, es por eso que se estima que en el diseño que se realizó estas propiedades mejoren, teniendo en cuenta que el diseño se lo realizó con parámetros técnicos.

El otro análisis que se realizó es el microbiológico, el cual nos indica la cantidad de bacterias presentes en el fertilizante orgánico, los resultados se muestran en la tabla 34.

Tabla 34. Resultados de los análisis microbiológicos

Biodigestor	Coliformes Totales, No Bacterias/g	Coliformes Fecales, No Bacterias/g	Mesófilos, UFC	Recuento de hongo y levaduras, UFC	Salmonella/25g Pos / Neg
No.1	≥ 2.400	7	7.250.000	73.000	Negativo
No.2	1.100	11	7.000.000	568.000	Negativo
No.3	15	15	47.000	64.000	Negativo

Fuente: PERS. Estudios detallados para el aprovechamiento de los recursos biomásicos con uso de biodigestores para generación de energía y producción de abono orgánico en el municipio de Cumbal. Pasto-Nariño:2013

Según la norma NTC 5167 (Instituto colombiano de normas técnicas y certificación ICONTEC, 2011) referente a los productos usados como abonos, los coliformes totales deben ser menores que 1.000 bacterias/g y la salmonella/25g debe ser negativa. Con respecto a los resultados obtenidos, se puede observar que todos cumplen con la norma en relación a la salmonella, sin embargo, en cuanto a los coliformes totales solo uno de los biodigestores cumple la norma demostrando una vez más la variabilidad de los resultados en función del erróneo manejo que se les está dando por falta de estudios técnicos bien fundamentados. En estos casos tiene mucho que ver el tiempo de retención ya que entre más tiempo permanezca el fluido dentro del biodigestor, las bacterias contenidas en la materia orgánica no sobrevivirán.

3.9 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE BIODIGESTORES.

Para el análisis costo beneficio se estima en primera instancia los costos por concepto de energía que tienen las subregiones donde se encuentran los municipios objeto de estudio, para esto se toman las bases de realizadas por el

PERS⁴⁰, las cuales indican el promedio del consumo de energía mensual por vivienda en la subregión de la Sabana. Los consumos se indican en la Tabla 35.

Tabla 35. Consumos de energía en la finca por un mes

TIPO DE FUENTE	CONSUMO (Mensual promedio por vivienda)
Leña(kg)	334
Gas propano(lb)	17.98
Energía eléctrica(kw/h)	52.40

Fuente: Esta investigación.

Como los consumos que se observa en la Tabla 35 están dados mensualmente, se obtiene la cantidad de biogás que se produce en el diseño en el mismo periodo de tiempo y este corresponde a 96m³ de biogás mensualmente, una vez obtenido este valor se realiza las equivalencias mensuales del biogás con los tres tipos de energía.

Para la leña se tiene que 1kg de esta equivale a 0,708 m³ de biogás entonces 334 kg de leña equivalen a 236.472 m³ de biogás, por lo tanto con la implementación del biodigestor se puede sustituir un 40.6% del total de la leña consumida mensualmente

Para el caso del gas propano se tiene que: 1kg de GLP equivale a 1,764m³ de biogás por lo tanto 8.99 kg equivalen a 26,46m³ de biogás, por lo tanto con la implementación del biodigestor se puede sustituir el total de GLP consumido en una vivienda rural. En el caso de la energía eléctrica el equipo seleccionado puede generar 1.000 Wh durante 4,91 horas diarias lo que quiere decir que en un mes genera 147,3 kWh y el consumo mensual una vivienda rural de la subregión es de 52.40 kWh por lo tanto con la implementación del biodigestor se puede sustituir la totalidad de esta necesidad energética.

Una vez obtenidos los porcentajes de energía que se puede sustituir en la finca, se realiza el presupuesto de la implementación del biodigestor, con el aislamiento de ladrillo, cemento y concreto y el aislamiento en plástico, para analizar si es o no rentable implementar esta tecnología, dicho presupuesto se presenta en la Tablas 36 y 37.

⁴⁰ PERS. Consumo de energía en las subregiones del departamento de Nariño. Pasto-Nariño:2013.

Tabla 36. Presupuesto para la implementación del biodigestor con aislamiento en estructura de cemento, arena y ladrillo

COMPONENTE	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
Plástico tubular calibre 8 - ancho 2m	M	33	6.000	198.000
Tubo cemento 8" 0,75m	-	2	20.000	40.000
Cemento	Bulto	29	22.500	652.500
Arena	m ³	2,66	31.000	82.460
Triturado	m ³	2,48	30.000	74.400
Varilla Hierro 3/8"	M	62	1.100	68.200
Ladrillos 6cm x 10cm x 20cm	-	2036	270	549.720
Sika	Kg	2,04	8.468	17.275
Tubo PVC 3"	M	2	3.000	6.000
Listón madera 9cm x 4cm x 2,8m	-	7	4.300	30.100
Tabla madera 4cm x 28,5cm x 2,8m	-	21	4.500	94.500
Guadua 5,8m	-	10	4.500	45.000
Plástico ancho 6 m	M	19	6.000	114.000
Listón madera 4cm x 4cm x 2,8m	-	6	2.500	15.000
Adaptador macho PVC 1"	-	2	800	1.600
Arandela Plástica	-	2	200	400
Arandela de Caucho	-	2	1.000	2.000
Adaptador hembra PVC 1"	-	1	800	800
Tubo PVC 1"	M	3	1.500	4.500
Codo PVC 1"	-	1	800	800
Adaptador a manguera 1"	-	2	1.500	3.000
Manguera 1"	M	2	2.000	4.000
T PVC 1"	-	2	800	1.600
Tubo PVC 1/2"	M	1	1.300	1.300
Llave de paso 1"	-	1	6.000	6.000
Reducción de 1" a 1/2"	-	1	500	500
Tapón PVC 1"	-	1	800	800
Reducción de 1,5" a 1"	-	1	1.500	1.500
Reducción de 3" a 1,5"	-	2	2.000	4.000
Unión PVC 3"	-	1	2.000	2.000
Y sanitaria PVC 3"	-	1	4.000	4.000
Reducción de 1,5" a 1/2"	-	1	2.000	2.000
Adaptador a manguera 1/2"	-	1	1.000	1.000
Manguera 1/2 "	M	15	500	7.500
Tanque Ajovert 500 l	-	2	157.000	314.000
TOTAL				2.350.455

Fuente: Esta investigación.

Tabla 37. Presupuesto para la implementación del biodigestor con aislamiento en plástico

COMPONENTE	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
Plástico tubular calibre 8 - ancho 2m	M	33	6.000	198.000

Tubo cemento 8" 0,75m	-	2	20.000	40.000
Cemento	Bulto	5	22.500	112.500
Arena	m ³	0,48	31.000	14.880
Triturado	m ³	0,38	30.000	11.400
Varilla Hierro 3/8"	M	32	1.100	35.200
Ladrillos 6cm x 10cm x 20cm	-	416	270	112.320
Sika	Kg	2,04	8.468	17.275
Tubo PVC 3"	M	2	3.000	6.000
Guadua 5,8m	-	10	4.500	45.000
Plástico ancho 6 m	M	19	6.000	114.000
Listón madera 4cm x 4cm x 2,8m	-	6	2.500	15.000
Adaptador macho PVC 1"	-	2	800	1.600
Arandela Plástica	-	2	200	400
Arandela de Caucho	-	2	1.000	2.000
Adaptador hembra PVC 1"	-	1	800	800
Tubo PVC 1"	M	3	1.500	4.500
Codo PVC 1"	-	1	800	800
Adaptador a manguera 1"	-	2	1.500	3.000
Manguera 1"	M	2	2.000	4.000
T PVC 1"	-	2	800	1.600
Tubo PVC 1/2"	M	1	1.300	1.300
Llave de paso 1"	-	1	6.000	6.000
Reducción de 1" a 1/2"	-	1	500	500
Tapón PVC 1"	-	1	800	800
Reducción de 1,5" a 1"	-	1	1.500	1.500
Reducción de 3" a 1,5"	-	2	2.000	4.000
Unión PVC 3"	-	1	2.000	2.000
Y sanitaria PVC 3"	-	1	4.000	4.000
Reducción de 1,5" a 1/2 "	-	1	2.000	2.000
Adaptador a manguera 1/2"	-	1	1.000	1.000
Manguera 1/2 "	M	15	500	7.500
Tanque Ajoiver 500 l	-	2	157.000	314.000
Plástico ancho 6 m	M	15	6.000	90.000
TOTAL				1.174.875

Fuente: Esta investigación.

Anteriormente se analizó el total de los combustibles que se pueden sustituir en la finca con la implementación de un biodigestor.

En la sustitución de la leña se elimina el 40.6% mensual del costo por concepto de este combustible y según PERS⁴¹, para obtener el ahorro en costos por la disminución del consumo de madera como leña, se lo realiza obteniendo el consumo en m³ y para esto se utiliza la siguiente formula.

$$\text{Volumen_Leña_No_Consumido_mes} = \text{Consumo_Cocción(Kwh)} * \text{Factor_Conversión}(0.0054 \text{m}^3/\text{Kwh}) \quad (21)$$

⁴¹ PERS. metodología para el cálculo de bienes y servicios del esquema de sostenibilidad. Pasto-Nariño:2013.

Se hace la conversión de kilogramos de leña a kWh por lo tanto 334kg de leña equivalen a 1396,12 kWh y el resultado es el siguiente.

$$0.406 * 1396,12 \text{ kWh} * 0.0054 \text{ m}^3/\text{kWh} = 3.06 \text{ m}^3 \quad (22)$$

El mismo documento dice que el costo por m³ de leña tiene un valor de \$ 80.000, entonces el ahorro mensual es de \$ 241.249,43 por lo tanto, teniendo en cuenta el presupuesto de la implementación del biodigestor con aislante plástico \$ 1.174.875 la inversión se recupera en aproximadamente 4.86 meses. Si el biodigestor es implementado con aislante de concreto, arena y cemento, \$ 2.350.455 la recuperación del capital se haría en aproximadamente 9.74 meses.

Para el caso del gas propano teniendo en cuenta que con la implementación de un biodigestor se puede sustituir el total del combustible el cual tienen un valor de \$ 25172 mensuales, por lo tanto, si el biodigestor es implementado con aislante plástico \$ 1.174.875 la inversión se recupera en aproximadamente 46.67 meses. Si el biodigestor es implementado con aislante de concreto, arena y cemento, \$ 2.350.455 la recuperación del capital se haría en aproximadamente 7 años. Lo anterior es sin tener en cuenta el bioabono, que es otro subproducto de la implementación de biodigestores. Este bioabono es también una fuente de ingreso, sin embargo el análisis exacto de este ingreso no se puede mencionar ya que no hace parte de esta investigación. De lo anterior se puede decir que es muy rentable la implementación de un biodigestor para la sustitución de combustibles utilizados en la cocción, ya que la inversión es recuperada en poco tiempo.

En la sustitución de la energía eléctrica se elimina un costo mensual por este concepto por valor de \$ 15.568, teniendo en cuenta el presupuesto de la implementación del biodigestor con aislante plástico y sumándole el costo por concepto de generación sabiendo que el generador tiene un costo de \$ 3.500.411, y el kit de conversión de \$ 390.900, por lo tanto la inversión total quedaría en \$5.066.186 y la recuperación del capital se lograría en mucho tiempo, por lo que no es rentable generar energía en una finca pequeña que ya cuenta con este servicio.

Adicionalmente se establece la disminución de la producción de CO₂ al reducirse la combustión de leña dicha disminución se obtiene mediante la siguiente formula

$$\text{Disminución_Producción_CO}_2 = \text{Volumen_Leña_No_Consumido_Año} * 1.6 \text{ TonCO}_2/\text{m}^3 \quad (23)$$

Por lo tanto la disminución de la producción de CO₂ anual tiene un valor de

$$3.06 \text{ m}^3 * 12 * 1.6 \text{ TonCO}_2/\text{m}^3 = 58.752 \text{ Ton CO}_2$$

Por otra parte el ahorro en la mitigación ambiental por la disminución en la tala de bosques se lo obtiene de la siguiente manera

$$\text{Hectareas_Consumidas_como_Leña} = \text{Volumen_Leña_No_Consumido_Año} \times 0.0033$$

Hectáreas/m³ (24)

$$\text{Hectareas_Consumidas_como_Leña} = 0.12 \text{ Ha} \quad (25)$$

Y por último como mitigación de los gases de efecto invernadero se tiene el volumen de biogás producido en el biodigestor que es de 3.2 m³.

4. CONCLUSIONES

Los municipios de Guachucal, Cumbal y Ospina, objetos de este estudio, basan su principal economía en el sector lechero y agrícola, esto conlleva a la generación de una gran cantidad de desechos orgánicos, los cuales no solo tienen un impacto negativo en el bienestar humano sino también en el medio ambiente; sin embargo. Estos recursos se pueden aprovechar con un manejo adecuado para la generación de energía tanto calórica como eléctrica, demostrando que dichos municipios cuentan con un alto potencial para el desarrollo de proyectos de energización a partir de fuentes no convencionales.

Un factor de suma importancia para que exista innovación tecnológica, es la transferencia de conocimiento de parte del sector académico al sector social y productivo. Es así como mediante la interacción con la comunidad a través de capacitaciones realizadas en los municipios fue posible transmitir algunas bases teóricas acerca de fuentes de energía renovables no convencionales, observando además el interés de la población en las energías alternativas, y su disposición para trabajar en estas con el debido acompañamiento técnico y económico.

El funcionamiento de los biodigestores es variable de acuerdo a las condiciones de la región donde se implementen. Además, teniendo en cuenta que en Nariño, a pesar de existir algunos biodigestores implementados, no se han realizado investigaciones detalladas, este trabajo cobra importancia ya que aporta a la ampliación del conocimiento acerca de esta tecnología e impulsa el desarrollo de proyectos fundamentados técnicamente en este campo.

La implementación de biodigestores en zonas rurales y más precisamente en fincas agrícolas, es una opción muy interesante ya que la materia prima está a disposición para ser utilizada, más que por gusto, por compromiso con el medio ambiente y el hábitat de la misma comunidad, porque al tratarse de excretas animales, es fundamental mejorar las condiciones de sanidad en las fincas productoras de leche y en los hogares comunes.

Con el resultado obtenido según el análisis de potencial de biomasa, el cual indica que los municipios estudiados pueden producir conjuntamente un total de 2.632.545 kg de estiércol bovino por día, se demuestra la factibilidad de implementar en estos, biodigestores para la generación de energía. En este orden de ideas, el diseño técnico del biodigestor evidencia, que uno a pequeña escala es capaz de suplir las necesidades energéticas en los procesos que utilizan energía calórica, sustituyendo el consumo de leña o gas.

Si el biodigestor se implementa para generación eléctrica, es importante destacar que si el objetivo es la sustitución de la energía proporcionada por el sistema interconectado, a pequeña escala no es muy rentable, ya que los costos del generador son proporcionales a su eficiencia, y al escoger un generador eficiente estos suben. En caso de que el objetivo sea energizar una zona no interconectada, o suministrar energía para procesos industriales en zonas interconectadas, el desarrollo de sistemas de generación eléctrica basados en biodigestores es una opción que se debe considerar.

La importancia que tiene la inclusión de estudiantes en los proyectos de desarrollo regional impulsados por la Universidad de Nariño, y específicamente por el departamento de Ingeniería Electrónica, permite que los trabajos de investigación trasciendan de la academia al ámbito social, siendo una experiencia enriquecedora tanto para los autores como para la comunidad.

BIBLIOGRAFIA

ALCALDIA DE GUACHUCAL. Plan de desarrollo Municipal. Guachucal, 2012-2015.

ALCALDIA DE CUMBAL. Plan de desarrollo Municipal. Cumbal, Mayo de 2012.

ALCALDIA DE OSPINA. Plan de desarrollo Municipal. Ospina, 2012-2015.

BURSCHEL, Heinrich, HERNANDEZ, Angélica, LOBOA, Mauricio. Leña una fuente de energía renovable para Chile. Chile: Universitaria. P.98.

CONSORCIO ENERGÉTICO CORPOEMA. Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE), Bogotá: 2010.

DE LA ROSA, Jonatan. Análisis físico y químico de fertilizante orgánico (biol) producido por biodigestores a partir de estiércol de ganado

ELIAS CASTELLS, Xavier. Biomasa y Bioenergía. Madrid: Díaz de Santos, 2012. P.745.

ELECTROCALCULATOR. ¿Cuánto gasta un aparato eléctrico? ¿Cuánta energía consume?, [En Línea] <http://www.electrocalculator.com/>

GRUPO DE INVESTIGACIÓN PRODUCCIÓN Y SANIDAD ANIMAL, línea de genética y mejoramiento animal, Universidad de Nariño. Caracterización y evaluación genética de la población bovina lechera del trópico alto de Nariño, para la conformación de núcleos de selección. (2009).

GENERADORES ELECTRICOS. Generador Kipor,[en línea]

<http://www.ventageneradoreselectricos.es/Generador-Inverter-Gasolina-077-kVA>.

HERRERO, Martí. Biodigestores familiares: guía de diseño y manual de instalación. La Paz Bolivia: GTZ, 2008.

INFOAGRO. Catálogo de instrumental, [En Línea]

http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=9022&_generador_electrico_insonorizado_portatil_inverter_honda_eu_10i_tienda_on_line

IGLESIAS, Martínez Luis, El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente. Madrid: Ministerio de agricultura, pesca y alimentación.

MONDRAGON MARTINEZ, Cesar et al. Hipertexto Química 1. Bogotá: Santillana S.A, 2010, P.124.

MAQUINARIA Y OCIO. Generadores eléctricos,[En Línea]
<http://www.maquinariayocio.com/Generador-electrico-Bajo-Consumo-1000w-4T>.

MARAÑÓN MAISON, Elena et al. Generación de residuos de ganadería vacuna (purines) en Asturias: Problemática y tratamiento. Universidad de Oviedo, Servicio de Publicaciones

Nogués, Fernando S., Royo, Javier). Ciclo energías renovables jornadas de biomasa, (2002).

NOGUÉS, Fernando Sebastián, HERRERA ROYO, Javier. La biomasa como fuente de energía renovable. Fundación CIRCE, abril de 2002.

OROZCO, Julio Enrique et al. Manual: Utilización de biogás para uso en motores de cuatro tiempos (Diesel o Gasolina). Costa rica, 2004, Serie documentos técnicos No. 2004-3.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO et al. Manual de biogás. Santiago de Chile: 2001.

Página oficial Municipio de Guachucal disponible en: <http://guachucal-narino.gov.co/index.shtml>.

PROPANECARBS. Kits de conversión[En Línea]
http://www.propanecarbs.com/tri_fuel_kits.html

PROGRAMA CURSO FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL SISTEMAS DE BIODIGESTION. .- Diseño, Dimensionamiento y Construcción de Sistemas de Biodigestión, Abril, 2013.

PETROBRAS. Densidad y poderes caloríficos superiores. 2014[En línea].
<http://www.investidorpetrobras.com.br/es/servicios/formulas-de-conversion/detalhe-formulas-de-conversao/densidade-e-poderes-calorificos-superiores-solamente-en-portuguese.htm>.

RAMÍREZ RODRÍGUEZ, Luis. Generación eléctrica por medio de Biogás. Costa Rica, 2004. P. 21. Trabajo de grado (Ingeniería Eléctrica). Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería.

RIVERA.L. Gerardo. Proporciones en volumen suelto.[en línea]
<ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20%20%20PDF%20ver.%200%202009/Cap.%2010%20-%20Proporciones%20en%20volumen%20suelto.pdf>

RIVAS SOLANO, Olga, FAITH VARGAS, Margie, GUILLÉN WATSON, Rossy. Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. 2010, Vol. 23, N.º 1, P.42.

Sociedad de agricultores de Colombia. (2002). Guía ambiental para el subsector piscícola [En Línea]. en: http://www.facebook.com/l.php?u=http%3A%2F%2Fwww.minambiente.gov.co%2Fdocumentos%2Fporc%25C3%25ADcola.pdf&h=0AQH_xuRA.

SOLOSTOCKS. Generadores eléctricos, [En Línea] <http://www.solostocks.com/venta-productos/generadores/generadores-gasolina/generador-inverter-gude-isg-1000-silencioso-marca-alemana-7774033>

TORRES, Juliana, DÍAZ, Sandra, OCAMPO, Priscila. Montaje y puesta en marcha de dos biodigestores anaerobios con residuos orgánicos generados en la central de mercado, Bogotá: 2008. P. 66. Trabajo de grado (Ingeniería Ambiental). Universidad Manuela Beltrán, facultad de ingeniería ambiental

USERS NETWORK, Manuales sobre energía renovable: Biomasa. Costa Rica: San José, 2002. P.4.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión: Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. Bogotá, D.C: Marzo de 2003. P.18.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO, Facultad de Ingeniería, Departamento de Electrónica. Proyecto Educativo de Programa. Pasto, Abril de 2010.

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA. M anual de diseño y manejo de biodigestores familiares de bajo costo.

UPME, guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. Bogotá, D.C., Marzo de 2003

William P. Weiss y Normand St-Pierre, Estrategias de alimentación para disminuir la producción de estiércol de vacas lecheras.