

**IMPLEMENTACIÓN DE UN DIGESTOR ANAEROBIO TIPO MANGA EN LA
POBLACIÓN RURAL DEL MUNICIPIO DE SANTA ROSA DE LIMA-BOLÍVAR**

CRISTIAN JESÚS HOYOS VILLALBA

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SISTEMA DE FORMACIÓN AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL PARA EL CONTROL Y
PRESERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE
MEDELLÍN
2018**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN DIGESTOR ANAEROBIO TIPO MANGA EN LA
POBLACIÓN RURAL DEL MUNICIPIO DE SANTA ROSA DE LIMA-BOLÍVAR**

CRISTIAN JESÚS HOYOS VILLALBA

**Trabajo de grado presentado para optar por el título de
Especialista en Ingeniería Ambiental para el Control y Preservación del Medio
Ambiente.**

Asesor

OSCAR HERNÁN VASCO ECHEVERRI

Ingeniero Químico, M.Sc., Ph.D.

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SISTEMA DE FORMACIÓN AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL PARA EL CONTROL Y
PRESERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE
MEDELLÍN
2018**

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

SEPTIEMBRE DEL 2018

CRISTIAN JESÚS HOYOS VILLALBA

“Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

Cristian Hoyos V.

Firma

DEDICATORIA

Para mi madre y mi abuela, que son unas guerreras de la vida y mi motor para seguir adelante todos los días.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	9
INTRODUCCIÓN	10
1. MARCO TEÓRICO	12
1.1 Situación energética de Colombia	12
1.2 Biomasa residual	144
1.3 Biofertilizantes	155
1.4 Biogás.....	166
1.5 Oportunidades en el municipio de Santa Rosa de Lima	188
1.5.1 Condiciones ambientales de Santa Rosa de Lima	199
1.5.2 Biomasa residual del municipio.....	20
1.5.3 Fertilizantes	200
1.6 Digestión anaerobia.....	221
1.6.1 Tiempo de retención hidráulica.....	222
1.6.2 pH óptimo.....	233
1.6.3 Relación Carbono-Nitrógeno del estiércol de ganado vacuno.....	233
1.6.4 Contenido de sólidos	244
1.6.5 Contenido de agua en la mezcla	255
1.6.6 Ventajas y desventajas de los digestores anaeróbicos	266
2. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN.....	266
2.1 Visita en campo	277
2.1.1 Socialización de la digestión anaerobia.....	277
2.1.2 Sensibilización.....	277
2.2 Implementación del digestor anaerobio	288
2.3 Preparación del proceso de digestión anaerobia	299
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	30
3.1 Visita en campo	30
3.2 Socialización de la digestión anaerobia.....	31

3.3	Sensibilización.....	32
3.4	Implementación del digester anaerobio	366
3.5	Preparación del proceso de digestión anaerobia	399
4.	CONCLUSIONES.....	455
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	477

LISTA DE IMÁGENES

Pág.

Imagen 1. Relación reservas-producción de gas natural	13
Imagen 2. Aplicaciones y productos del proceso de digestión anaerobia	¡Error! Marcador no definido.5
Imagen 3. Tipos de biofertilizante según su origen	¡Error! Marcador no definido.6
Imagen 4. Localización del municipio de Santa Rosa de Lima en Colombia y en el departamento de Bolívar.....	18
Imagen 5. Precipitaciones del mes de Junio del 2018 en Cartagena	19
Imagen 6. Flujo tapón en reactores PFR ideales en régimen turbulento.	21
Imagen 7. Viviendas de la zona urbana y rural de Santa Rosa de Lima.....	30
Imagen 8. Oportunidades en el municipio de Santa Rosa de Lima.	31
Imagen 9. Dueños y trabajadores de los predios cercanos a la finca techo verde.	32
Imagen 10. Deforestación presente en la finca techo verde.	33
Imagen 11. Recolección de la leña.	34
Imagen 12. Rutina para la alimentación del ganado vacuno en la finca techo verde	¡Error! Marcador no definido.5
Imagen 13. Digestor tipo manga (vista lateral).....	36
Imagen 14. Digestor tipo manga, vista frontal y diámetro de la tapa (8cm).	37
Imagen 15. Digestor tipo manga, vista trasera y diámetro del barril (58cm).	37
Imagen 16. Estructuras para el almacenamiento del estiércol vacuno	38
Imagen 17. Construcción del digestor tipo manga.	39
Imagen 18. Recolección del estiércol del ganado vacuno.	42
Imagen 19. Tanques para la recolección de las boñigas del ganado vacuno.....	43
Imagen 20. Medición de pH a muestra tomada del digestor.....	44

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición del gas natural.....	12
Tabla 2. Composición del biogás.....	¡Error! Marcador no definido.7
Tabla 3. Producción de biogás.....	17
Tabla 4. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica.....	22
Tabla 5. Tiempo de retención hidráulica.....	¡Error! Marcador no definido.3
Tabla 6. Relación Carbono-Nitrógeno.....	¡Error! Marcador no definido.24
Tabla 7. Relación materia prima-agua.....	¡Error! Marcador no definido.5
Tabla 8. Ventajas y desventajas.....	¡Error! Marcador no definido.6

RESUMEN

El crecimiento poblacional a nivel mundial es el causante del consumo desmedido de los recursos naturales del planeta. En la actualidad estos consumos generan grandes cantidades de residuos, que debido a su mal manejo acelera la contaminación del medio ambiente.

El municipio de Santa Rosa de Lima en el departamento de Bolívar, se caracteriza por ser un municipio tradicionalmente dedicado a la agricultura y a la ganadería. Este último sector económico ha ocasionado tanto beneficios como daños para la comunidad. La generación de estiércol vacuno es uno de estos efectos negativos, por el cero aprovechamiento de esta biomasa residual en la zona rural de la región. En este trabajo se presenta la implementación de un digestor anaerobio tipo manga en el municipio, con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (principalmente metano) del estiércol vacuno, que contribuye al calentamiento global y a su vez sensibilizar a la población rural en el uso del biogás y el biol para sus labores diarias.

Palabras claves: *Biomasa residual, Digestor Anaerobio, Estiércol Vacuno, Biogás, Biol.*

INTRODUCCIÓN

El biogás se caracteriza por presentar una composición química similar a la del gas natural, gracias al gran porcentaje de metano, que provoca un interés especial como alternativa de desarrollo sostenible para muchas comunidades. La humanidad desde el descubrimiento de los combustibles fósiles ha generado una necesidad por ellos. Durante la segunda guerra mundial los beneficios que otorgó el uso de metano proveniente de otras fuentes no convencionales motivo la implementación de tecnología para la producción de biogás. En la década de los 70's en china, se fomentó la construcción de digestores como política nacional pero estas iniciativas se detuvieron por la disminución de los precios del petróleo.

Por otra parte, en los últimos años, se han venido presentando grandes cantidades de contaminación hacia el medio ambiente, desde la producción de gases de efecto invernadero hasta las exorbitantes producciones de desechos. Es por esto que se ve la obligación de desarrollar, investigar, analizar e implementar nuevas técnicas que ayuden a solventar la gran problemática social y ambiental que se está viviendo en la actualidad. Igualmente, los residuos sólidos orgánicos son un gran problema, ya que éstos son llevados a disposición final sin ningún tratamiento o valorización previa, el mal manejo de estos residuos rompen el ciclo natural de su descomposición y puede contaminar las fuentes de agua subterránea debido al lavado del suelo por la infiltración de lixiviados. Los residuos orgánicos al ser introducidos en los digestores son aprovechados mediante un proceso anaeróbico, arrojando como productos fertilizantes y biogás; el cual evita que el metano se libere de forma directa a la atmosfera para disminuir su impacto negativo ante el ambiente, ya que es considerado uno de los principales gases de efecto invernadero.

Un digestor es un sistema sencillo para solventar la problemática energético-ambiental, para así realizar un adecuado manejo de los residuos, tanto de humanos como animales, teniendo en cuenta esto, su diseño puede presentar

variaciones según el tipo de población y necesidades a solucionar. Siendo este el caso del municipio de Santa Rosa de Lima en el departamento de Bolívar, donde en su zona rural, se identifica y evidencia gran cantidad de materia orgánica generada en su gran parte por el sector ganadero, que sirve como insumo de entrada para la digestión anaeróbica. Con lo anterior se realizara un digestor tipo manga, donde se explica la aplicación y elaboración de lo planteado.

Finalmente, se obtendrán unos resultados que permitirán sentar bases, a partir de la sensibilización de la población rural, para el desarrollo de futuros proyectos de este tipo a una gran escala, permitiendo así a través de una serie de conclusiones generar información que permita potenciar esta clase de iniciativas para la población santa rosera en pro de mejorar su calidad de vida.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Situación energética de Colombia

El gas natural es una mezcla de gases que está habitualmente compuesto por metano, aunque también suele contener una proporción variable de nitrógeno, etano, CO₂, H₂O, butano, propano, mercaptanos y trazas de hidrocarburos más pesados (ver Tabla 1). Este porcentaje varía en función de los yacimientos en los que se encuentre y de si está acompañado de otros fluidos.¹

Tabla 1. Composición del gas natural

Constituyente	Fórmula química	Composición por volumen (%)
Metano	<i>CH₄</i>	81,86
Etano	<i>C₂H₆</i>	11,61
Propano	<i>C₃H₈</i>	1,92
I-Butano	<i>C₄H₁₀</i>	0,23
N-Butano	<i>C₄H₁₀</i>	0,22
Nitrógeno	<i>N₂</i>	0,90
Dióxido de Carbono	<i>CO₂</i>	3,18

Fuente: GAS NATRURAL FENOSA COLOMBIA. El gas natural ¿Qué es? [En línea]. Bogotá: Gas natural Fenosa. (Recuperado el 30 de septiembre 2017.) Disponible: <http://www.gasnaturalfenosa.com.co/co/hogar/el+gas+natural/1297102453941/que+es.html>

En los años 90s el gobierno nacional implementó documentos sobre el plan de gas y el programa para la masificación del consumo de gas, dentro de los CONPES. Los cuales establecen la sustitución de recursos energéticos de alto costo por gas natural y GLP (gas propano) en los sectores industrial, comercial, residencial y termoeléctrico. También para el año 1994, se expidió la ley 142 que definió el marco legal para la prestación de los servicios públicos domiciliarios, dando con la

¹ ENAGÁS. *El gas natural*. [En línea]. Madrid: Enagás S.A. (Recuperado el 18 febrero 2018) Disponible en Internet: <http://www.enagas.com/enagas/es/QuienesSomos/QueEsElGasNatural/EIGasNatural>

creación de la comisión de regulación de energía y gas (CREG), como la entidad encargada de desarrollar el marco regulatorio y normativo para las actividades asociadas al transporte, distribución y comercialización del gas natural.²

El gobierno Colombiano expidió el decreto 2100 en el año 2011, mediante el cual se establecen mecanismos para promover el aseguramiento del abastecimiento nacional de gas natural, impulsando mecanismos que proporcionen confiabilidad en el suministro y transporte, el desarrollo de los yacimientos convencionales y no convencionales de hidrocarburos, así como la promoción de exportaciones.

Para el año 2017, se estimó una relación reservas producción de gas de 12,6 años, valor que se reduce a un año en 2029 (valores representado en la Imagen 1). Esta curva no presenta las nuevas reservas que se hallaron en las exploraciones offshore de ese mismo año pero si presenta todas las cifras reportadas por las empresas operadoras ante la ANH, hasta el 31 de Diciembre del 2016.³

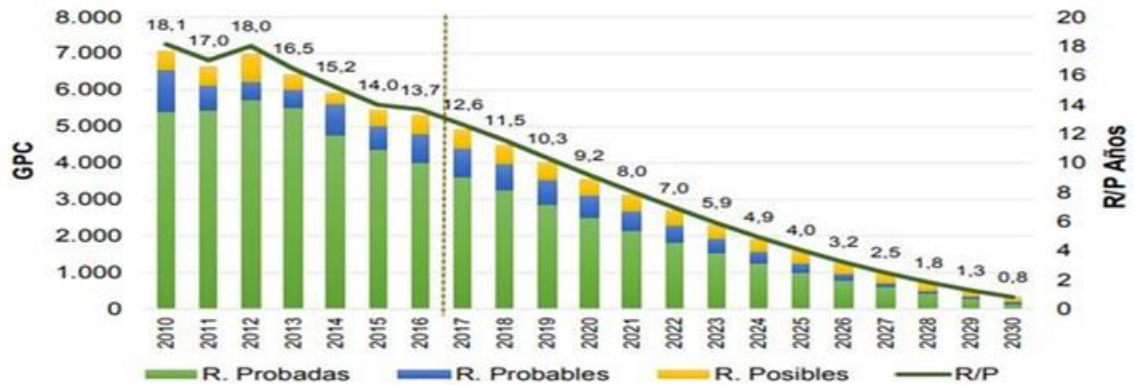


Imagen 1. Relación reserva-producción de gas natural. En “Balance de gas natural año 2017,” por Unidad de planeación minero energética, 2017, Publicaciones UPME. Derechos de autor [2017] por Unidad de planeación minero energética. Reimpresión autorizada.

² MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Gas natural. Bogotá. Minminas, 2018.

³ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Balance de gas natural año 2017. Bogotá. Publicaciones UPME, 2017.

1.2 Biomasa residual

La biomasa encierra la materia vegetal generada por la fotosíntesis, al igual que sus derivados, tales como residuos agrícolas, animales y materia orgánica contenida en los residuos industriales, domésticos y urbanos. Esta es considerada como una energía alterna inagotable.⁴ Por otra parte la biomasa residual es la derivada de residuos o subproductos de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales. También se puede obtener biomasa residual de los procesos de las industrias agroalimentarias y de la transformación de la madera. La biomasa contiene grandes cantidades de carbono, oxígeno e hidrogeno.

En los países en vía de desarrollo, la población rural aún depende de la biomasa tradicional, principalmente de leña, como fuente de energía. La aplicación de estas biomásas en un sistema de digestión anaerobia, puede suplir esta necesidad de energía, gracias a la generación de subproductos como se muestra en la Imagen 2. Colombia, gracias a su posición geográfica y variedad de climas, ofrece condiciones favorables para el desarrollo de las actividades agropecuarias, las cuales son fuente importante para la obtención de biomasa residual.⁵

⁴ PEREZ, Javier. Estudio y diseño de un biodigestor para la aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. Santiago de Chile, 2010, p.8. Trabajo de grado (ingeniero civil mecánico). Universidad de Chile. Facultad de ciencias físicas y matemáticas. Departamento de ingeniería mecánica.

⁵ ESCALANTES HERNÁNDEZ, Humberto, *et al.* Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Bogotá: Ministerio de minas y energía, 2009. p.119.

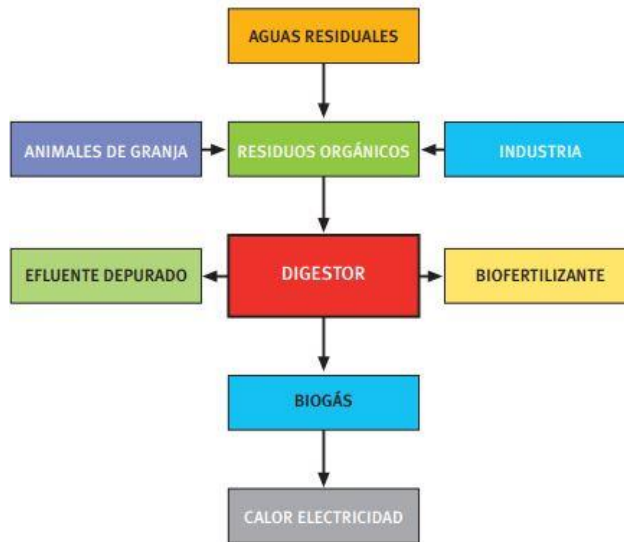


Imagen 2. Aplicaciones y productos del proceso de digestión anaerobia. En “Biomasa: digestores anaerobios,” por Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, 2007, Publicaciones IDAE. Derechos de autor [2007] por Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Reimpresión autorizada.

1.3 Biofertilizantes⁶

Un biofertilizante es una preparación que contiene células vivas provenientes de cepas eficientes de microorganismos que aceleran los procesos microbianos del suelo, mejorando la asimilación de nutrientes por parte de las plantas. El uso de estos es importante, debido a que suplen o complementan el aporte de los fertilizantes minerales. Existen distintos tipos de biofertilizantes, como son los abonos y el compost, así como aquellos que incluyen inoculantes microbianos y otros derivados de subproductos agrícolas y animales. La Imagen 3, muestra una clasificación de los biofertilizantes.

⁶ SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. Tecnologías relacionadas con biofertilizantes. Banco de patentes. Bogotá. SIC, 2014.

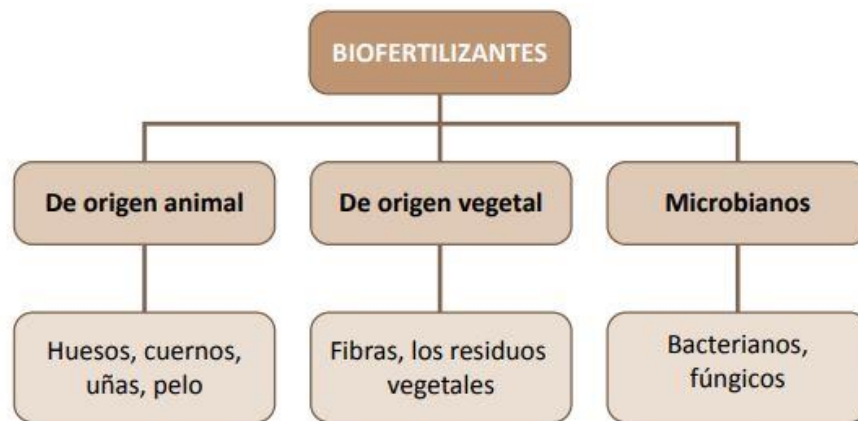


Imagen 3. Tipos de biofertilizante según su origen. En “Tecnologías relacionadas con biofertilizantes,” por Superintendencia de industria y comercio, 2014, Banco de patentes SIC. Derechos de autor [2014] por Superintendencia de industria y comercio. Reimpresión autorizada.

En la agricultura, el uso de los biofertilizantes trae ventajas ambientales y económicas. Sin embargo, su dosificación debe ser vigilada porque pueden alterar los índices de nitrógeno, fósforo y potasio presentes en el suelo.

1.4 Biogás

El biogás es un combustible proveniente de la degradación o digestión anaeróbica de la materia orgánica que se encuentra en un digestor. La composición de este, depende del tipo de material orgánico utilizado en la digestión y de las condiciones operacionales del reactor. Su composición habitual es una mezcla de gases que se reparte en un porcentaje de 60% de metano y 40% de dióxido de carbono. La Tabla 2, relaciona los principales componentes del biogás y el porcentaje que lo compone⁷.

⁷ SILVA VINASCO, Juan. Tecnología del Biogás. [En línea]. Disponible en Internet:<http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf> [Consultada Abril de 2018]

Tabla 2. Composición del biogás.

Constituyente	Fórmula química	Composición por volumen (%)
Metano	<i>CH₄</i>	50-70
Dióxido de Carbono	<i>CO₂</i>	30-50
Nitrógeno	<i>N₂</i>	0-3
Ácido sulfhídrico	<i>H₂S</i>	0-1
Monóxido de Carbono	<i>CO</i>	0-1,5
Vapor de agua		Variable

Fuente: CHUNGANDRO, Klever y MANITIO, Guido. Diseño y construcción de un Biodigestor para pequeñas y medianas granjas. Escuela Politécnica Nacional. 2010, p.149.

Según la asociación frisona de Cantabria (AFCA), para el ganado vacuno se estima, que una vaca cuyo peso promedio es 500kg produce 1.25m³ de biogás por día del estiércol que genera.⁸Según el tipo de estiércol, se puede producir cierta cantidad de biogás. En la Tabla 3, se presentan los rendimientos (m³/Kg) de biogás generados por tres tipos de estiércol.

Tabla 3. Producción de biogás

Tipo de estiércol	Producción de biogás (m³/Kg)
Vacuno	0,04
Cerdos	0,06
Aves de corral	0,08

Fuente: VARNERO, María. Manual de biogás. FAO 2011, p.34.

⁸ AFCA. Biogás en la ganadería de vacuno. En: Revista AFCA Asociación Frisona de Cantabria. Vol. 13, (Dic. 2009); p. 33.

1.5 Oportunidades en el municipio de Santa Rosa de Lima

El municipio de Santa Rosa de Lima del departamento de Bolívar, fue fundado el 3 de julio de 1735 por el cacique Alipaya, limita al norte con el municipio de Clemencia, al sur con Turbaco, al este con Villanueva y por el oeste con Cartagena. La Imagen 4, muestra la localización del municipio en el mapa de Colombia.



Imagen 4. Localización del municipio de Santa Rosa de Lima en Colombia y en el departamento de Bolívar. En “Santa Rosa de Lima” por Wikimedia2012, [https://es.wikipedia.org/wiki/Santa_Rosa_de_Lima_\(Bol%C3%ADvar\)#/media/File:Colombia_-_Bol%C3%ADvar_-_Santa_Rosa.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Santa_Rosa_de_Lima_(Bol%C3%ADvar)#/media/File:Colombia_-_Bol%C3%ADvar_-_Santa_Rosa.svg). Reimpresión autorizada.

Cuenta con una extensión total de 154 Km^2 , con pequeñas elevaciones que no pasan de 100 metros sobre el nivel del mar, la mayor parte de la textura de su suelo es arcillosa, de gran fertilidad pero este tiene algunas limitaciones físicas como son las inundaciones. Estas condiciones geoespaciales combinadas con la climatología y al principal sector económico que es el agropecuario,⁹ permite el desarrollo de tecnologías biológicas para la transformación energética de la biomasa, como lo son los procesos de digestión anaerobia. La finca techo verde que se encuentra a 3,7 km del casco urbano de Santa Rosa, será el sitio para

⁹ ALCALDÍA DE SANTA ROSA DEL NORTE-BOLÍVAR. Nuestro municipio. Santa Rosa. Alcaldía, 2018.

implementar dicha tecnología, en búsqueda de la mejora en la calidad de vida de la población rural del municipio.

1.5.1 Condiciones ambientales de Santa Rosa de Lima

Para definir las condiciones ambientales de Santa Rosa, se relacionaron las condiciones climatológicas presentes en Cartagena, debido a la falta de estaciones meteorológicas en el municipio. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, suministra boletines mensuales acerca de la climatología. En la Imagen 5, se reporta las precipitaciones en Cartagena, Bolívar en el mes de Junio de 2018. Lo cual reporto 20mm de precipitación por m^2 , los días 14 y 28 de ese mes, como la cantidad máxima durante Junio¹⁰.

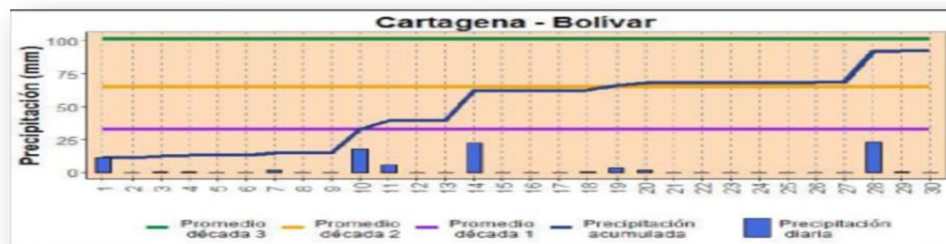


Imagen 5. Precipitaciones del mes de Junio del 2018 en Cartagena. En “Boletín climatológico mensual” por Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2018, Tiempo y clima IDEAM. Derechos de autor [2018] por Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Reimpresión autorizada.

La temperatura promedio de Santa Rosa es de 28°C y en general se dan pocas precipitaciones sobre su territorio.

¹⁰ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Clima y tiempo. Bogotá. IDEAM, 2018.

1.5.2 Biomasa residual del municipio¹¹

De acuerdo al Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia, se estima que Santa Rosa de Lima, cuenta en promedio con 50000 a 200000 cabezas de ganado vacuno por año, que se genera 50000t a 200000t de estiércol vacuno y cuenta con un potencial energético municipal de este estiércol de 100TJ por año.

1.5.3 Fertilizantes¹²

Los fertilizantes de uso agrícola son materiales orgánicos o inorgánicos, los cuales tienen como objetivo suministrar a las plantas uno o varios de los elementos nutricionales requeridos para su crecimiento. Los fertilizantes comerciales contienen al menos un elemento nutritivo (nitrógeno, fósforo y potasio). Los productos que los contienen en mayor concentración son: la Urea (46% de N), el Fosfato Diamónico o DAP (18% de N más 46% de P₂O₅), Fosfato Monoamónico o MAP (11% de N más 52% de P₂O₅) y el Cloruro de Potasio (60% de K₂O). Una clasificación para estos fertilizantes puede ser: complejos granulados, mezclas NPK y simples.

La aplicación de fertilizantes en el municipio, se ocasiona producto de las actividades agrícolas. En Santa Rosa de Lima, se cultiva principalmente en sus suelos lo que son el tomate, plátano, guayaba y mango. La Costa Atlántica, presenta un consumo de 145000t de fertilizantes simple, 16000t de fertilizantes compuestos y 6000t de mezcla NPK. La utilización de estos fertilizantes incide en el costo total de producción de los cultivos. Para el caso del plátano el porcentaje

¹¹ ESCALANTE, Op. cit, p. 97-99.

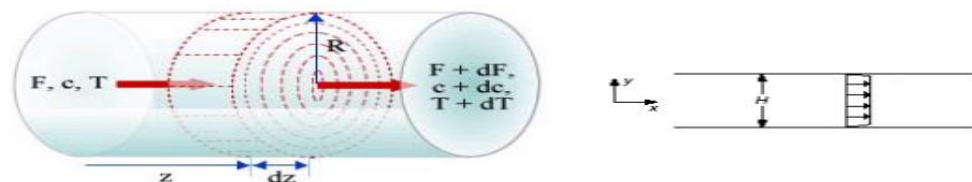
¹² PÉREZ, Juan. Uso de los fertilizantes y su impacto en la producción agrícola. Medellín, 2014, p.28-39. Trabajo de grado (Magister en ciencias, geomorfología y suelos). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de biociencias.

de participación alcanzo valores del 51-61% de los costos de estos en el año 2008.

1.6 Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso microbiológico en ausencia de oxígeno, en el que la materia orgánica se transforma por acción de microorganismos en biogás y bioabono.¹³ El proceso anaeróbico ocurre en cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetanogénesis y metanogénesis.

Esta digestión se da en un contenedor cerrado herméticamente, dentro del cual a condiciones anaerobias se presenta el crecimiento y proliferación de bacterias que descomponen los residuos fermentables ingresados. El reactor de flujo pistón (PFR) o de manga, es una clase de estos contenedores, que son empleados como modelo para describir reacciones químicas en sistemas continuos y con fluidos de geometría cilíndrica. Una de las primeras suposiciones acerca de los PFR en su diseño, es que los mismos operen en estado de flujo tapón, como se muestra en la Imagen 6, debido a que el fluido entra sin haber cambios de concentración a lo largo del eje en que se mueven los reactivos, mientras que el tiempo de retención hidráulica en el reactor es el mismo para todos los componentes¹⁴.



¹³ YANK, L., et al;(sf). Construcción de un biodigestor pequeño para su uso en investigación y docencia. [En línea]. Primeros ensayos. Universidad Nacional del Nordeste Resistencia, Argentina. Disponible en Internet: <http://arandu.org.ar/pub/digestororiginal1.pdf> [Consultada Octubre 2017]

¹⁴ LAINFIESTA, Diego. Diseño, construcción y evaluación de un reactor flujo pistón de forma helicoidal escala laboratorio. Guatemala, 2009, p.19-20.Trabajo de grado (ingeniero Químico). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de ingeniería química.

Imagen 6. Flujo tapón en reactores PFR ideales en régimen turbulento. En “Diseño, construcción y evaluación de un reactor flujo pistón de forma helicoidal escala laboratorio.”, por Instituto para la química orgánica, 2009, Universidad de Regensburg Alemania. Derechos de autor [2009] por Instituto para la química orgánica. Reimpresión autorizada.

Uno de los principales requerimientos del reactor de manga es que opere en un régimen turbulento, es decir, a números de Reynolds iguales o superiores a 4000. Los procesos anaeróbicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. Por otro lado, la velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados y esta depende igualmente de la temperatura. Al ser directamente proporcional la temperatura con la velocidad de crecimiento, se acelera la digestión del proceso, dando lugar a mayores producciones de biogás.¹⁵ Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos, los cuales se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psicrofílica	4-10 °C	15-18 °C	20-25 °C	Sobre 100 días
Mesofílica	15-20 °C	25-35 °C	35-45 °C	30-60 días
Termofílica	25-45 °C	50-60 °C	75-80 °C	10-15 días

Fuente: VARNERO, María. Manual de biogás. FAO 2011, p.39.

1.6.1 Tiempo de retención hidráulica

Es el periodo de tiempo que permanece la materia orgánica dentro del sistema para alcanzar la degradación. El tiempo de retención está directamente relacionado con la temperatura ambiente y en las buenas condiciones del

¹⁵ RODRIGUEZ, David y GARCIA, Andres. Diseño y construcción de un biodigestor para la producción de biogás a partir de heces caninas. Bogotá, 2017, p.25. Trabajo de grado (Tecnólogo mecánico). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad Tecnológica. Tecnología mecánica.

proceso.¹⁶ Los tiempos de retención hidráulica para algunas materias primas, se presentan a continuación, ver Tabla 5.

Tabla 5. Tiempo de retención hidráulica

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

Fuente: INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD. Diseño de biodigestores y producción de electricidad. 2013, p.9.

Este tiempo va a determinar el volumen diario de carga que será necesario para alimentar al digestor, y en general se calcula con la siguiente ecuación:

$$T. R. H. = \frac{Volumen_{digestor}}{Volumen_{mezcla\ diaria}}$$

1.6.2 pH óptimo¹⁷

Este parámetro determina la inhibición o toxicidad de las bacterias metanogénicas. Un adecuado funcionamiento en el digestor se presentará con un pH entre 6.5 y 7.5, por debajo o por encima de este rango algunas bacterias se inhibirán y no se producirá biogás.

1.6.3 Relación Carbono-Nitrógeno del estiércol de ganado vacuno

La relación (C/N) ideal se encuentra entre los valores de 20 y 30. El Instituto Costarricense de Electricidad, propone que “Si esta relación es muy alta, el Nitrógeno se va a consumir rápidamente por las bacterias metanogénicas para satisfacer sus necesidades proteicas y no reaccionará más con el contenido

¹⁶ GONZALEZ, Luis y OLAYE, Yeison. Fundamentos para el diseño de biodigestores. Palmira, 2009, p.11. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Facultad de Ingeniería y administración.

¹⁷ *Ibíd.*, p. 11.

restante de Carbono. Como resultado, la producción de gas bajara. Por otro lado, si la relación C/N es muy baja, el Nitrógeno será liberado y acumulado en forma de amonio (NH_4). El amonio incrementa el pH de la mezcla contenida en el digestor. Un pH mayor a 8.5 empezará a mostrar un efecto tóxico en la población metanogénica¹⁸. Dependiendo de la materia prima, se puede presentar las siguientes relaciones C/N, que se encuentran recopiladas en la Tabla 6.

Tabla 6. Relación Carbono-Nitrógeno

Materia Prima	Relación C/N
Estiércol de pato	8
Estiércol de humano	8
Estiércol de pollos	10
Estiércol de cabras	12
Estiércol de cerdos	18
Estiércol de vacas	25

Fuente: VARNERO, María. Manual de biogás. FAO 2011, p.34.

1.6.4 Contenido de sólidos¹⁹

El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se carga el digestor es un factor importante, debido a que la movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato, se ve limitada a medida que se aumenta el contenido de estos. También, como consecuencia de los altos valores de sólidos

¹⁸ INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD. *Diseño de biodigestores y producción de Electricidad*. [En línea]. Disponible en Internet: <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/produccion%20sostenible/Curso%20biodigestores.pdf>. [Consultada febrero 2018]

¹⁹ LOPEZ, O. y FOILD, N. Proyecto biomasa. Managua, 2008, p.51. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Departamento de biomasa.

totales, puede verse afectada la eficiencia y producción de gas. La concentración de sólidos totales debe estar dentro de un intervalo alrededor del 4 al 16%. El porcentaje de sólidos totales presente en el estiércol vacuno es en promedio del 18%.

1.6.5 Contenido de agua en la mezcla

La mezcla de la biomasa y agua, debe realizarse en forma adecuada y uniforme en el tanque del digester para promover una digestión efectiva, especialmente si se utiliza biomasa residual con alto contenido vegetal.²⁰ Las bacterias y otros microorganismos no pueden funcionar efectivamente cuando el contenido de agua de la mezcla es demasiado bajo, mientras que cuando la mezcla se encuentra demasiado diluida, se puede digerir relativamente poca materia orgánica y la producción del biogás es limitada.

La cantidad de agua varía de acuerdo con la materia prima destinada a la fermentación, ver Tabla 7.

Tabla 7. Relación materia prima – agua

Materia prima	Estiércol	Porcentaje (%)	Agua	Porcentaje (%)
Bovino	1 parte	50	1 parte	50
Porcino	1 parte	25	3 parte	75
Gallinaza	1 parte	25	3 parte	75

Fuente: HILBERT, J. Manual para la producción de biogás. Instituto de ingeniería rural 1999, p.57.

²⁰ HILBERT, Jorge. Manual para la producción de biogás. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1999. p.57.

1.6.6 Ventajas y desventajas de los digestores anaeróbicos²¹

Los digestores anaerobios como toda tecnología presenta sus ventajas y desventajas, algunas de estas se evidencia en la Tabla 8.

Tabla 8. Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
Producción de energía: Generación de gas metano.	Puesta en marcha: Baja velocidad de crecimiento.
Producción de biofertilizantes: Generación de biol.	Costos: Altos costos en mantenimiento.
Temperatura: Temperatura óptima superior a 35°C.	Microorganismos: Sensibilidad ante el cambio de temperatura.

Fuente: PEREZ, Javier. Estudio y diseño de un biodigestor para la aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. Universidad de Chile, 2010, p.31.

2. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

La metodología propuesta para el desarrollo del proyecto se dividió en 5 etapas fundamentales:

- Visita en campo.
- Socialización de la digestión anaerobia.
- Sensibilización.

²¹ PEREZ, Op. cit, p. 31

- Implementación del digestor anaerobio.
- Preparación del proceso de digestión anaerobia.

2.1 Visita en campo

Las visitas en campo se realizaron con el fin de sensibilizar, socializar y tener acercamientos con la comunidad para la adopción de las propuestas. Estas se realizaron por 3 días a la semana durante un periodo de un mes, esta frecuencia se logró debido a la cercanía del municipio de Santa Rosa con Cartagena de indias, en zonas apartadas o de difícil acceso se emplea otro tipo de estrategia.

2.1.1 Socialización de la digestión anaerobia

En los momentos previos a la ejecución de la socialización de la digestión anaerobia, se decidió realizarla en la finca techo verde por el completo apoyo de sus propietarios, de tal manera que se organizaron charlas con los distintos dueños y trabajadores de los predios vecinos al lugar de concentración. Durante las charlas se manifiesta la problemática de los efectos nocivos para su salud como consecuencia del uso de la madera de los árboles para la cocción de los alimentos y se les presenta el biogás como una opción de recurso energético.

2.1.2 Sensibilización

Se genera un dialogo con los asistente a las charlas, acerca de sus labores diarias y sus costumbres a la hora de preparar sus alimentos. Conociendo de esta forma los lugares de donde obtienen la leña y la colaboración existente entre ellos para facilitar el suministro de leña cuando es escasa. Se conoce el precio promedio del cilindro de gas y la poca aceptación por parte de los campesinos. Las condiciones climatológicas de la zona, es decir las altas temperaturas, se convierte en la

principal razón para aumentar el interés de los trabajadores en utilizar la biomasa residual (estiércol de ganado vacuno), seguidas por el ahorro de tiempo y dinero.

2.2 Implementación del digestor anaerobio

Para la implementación del digestor tipo manga, se asignó un área específica de la finca techo verde. El buen funcionamiento de este proceso depende de ciertas variables, de las cuales se debe tener valores como los de las condiciones ambientales del lugar, la cantidad y procedencia de la biomasa residual, el tiempo de retención que se da en el sitio de instalación, la relación C/N de la biomasa, entre otros datos.

Para ilustrar el acondicionamiento del digestor tipo manga, su implementación y posterior construcción, se utilizó el software Solidworks®2017. Para la construcción del digestor se dispuso de 10cm de vacío en la parte superior del interior del barril, para que en ella se forme la capa de gas. Se modificó la altura de la tubería PVC que permite la salida del biol, de esa forma no se permite una rápida acumulación de los sólidos suspendidos y que posteriormente pueda ocasionar un taponamiento dentro del digestor.

Para fabricar el digestor se utilizaron los siguientes materiales:

- Barril plástico.
- Tuberías PVC (4, 2 y ½ pulgadas).
- Accesorios PVC.
- Válvula de bola con manija.
- Cinta teflón.
- Cinta neumática.
- Limpiador y soldadura PVC.

2.3 Preparación del proceso de digestión anaerobia

Para cargar el digestor anaerobio e iniciar el proceso de digestión, primeramente se identificó la cantidad de animales y variedad de estos en los predios de la finca techo verde. El ganado vacuno es el que se encuentra en mayor porcentaje, al cual se les hizo un seguimiento a las reses de mayor edad y peso, para determinar la generación de estiércol por día. Conociendo la cantidad de estiércol que se deben agregar, se puede proceder a cargar el digestor siguiendo los siguientes pasos: ²²

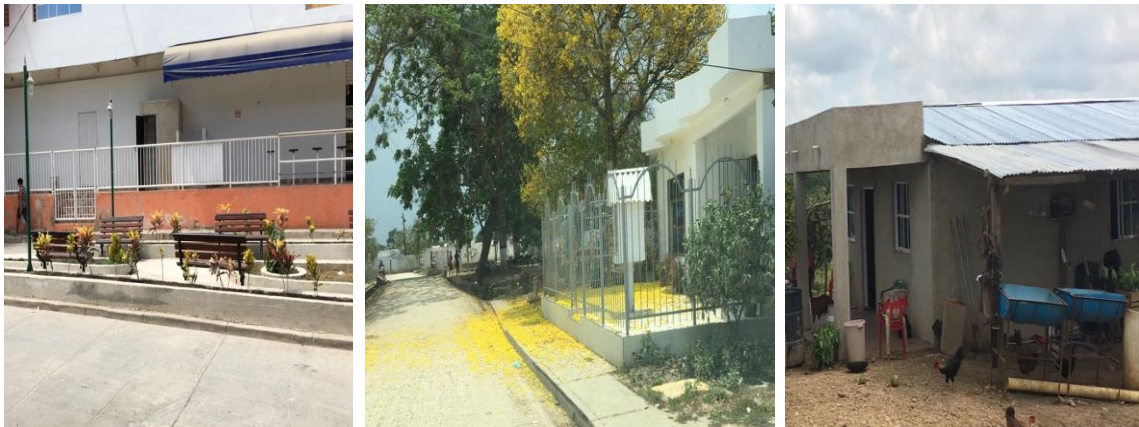
1. Pesar el estiércol que se van a agregar.
2. Pesar el agua que se van a agregar.
3. Agregar cada sustancia en el reactor y mezclar bien.
4. Cerrar el recipiente.
5. Verificar que no existan fugas.

²² RODRIGUEZ. Op. cit., p. 36.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Visita en campo

Se evidenciaron las diferencias existentes entre las condiciones y estilos de vida de la población del casco urbano y la zona rural del municipio de Santa Rosa del departamento de Bolívar. La mayoría de la población del casco urbano cuenta con los servicios domiciliarios (ver Imagen 7a y b); mientras que unos pocos habitantes de la zona rural, cuenta con el servicio eléctrico, gracias a su cercanía con la zona urbana (ver Imagen 7c).



(a)

(b)

(c)

Imagen 7. Viviendas de la zona urbana y rural de Santa Rosa de Lima.

Fuente: Autor.

La zona rural cuenta con una gran vegetación y diversidad de fauna, como se observa en la Imagen 8a. El ganado vacuno es la especie predominante y de la cual se sostiene económicamente muchos de estos predios (ver Imagen 8b). La generación de estiércol en la zona es alta y sin ningún aprovechamiento, como se muestra en la Imagen 8c. Las familias de campesinos buscan los recursos para satisfacer sus necesidades diarias en la cercanía de sus casas para ahorrar

tiempo en sus labores diarias y no exponerse ante la alta radiación solar, donde la temperatura oscila en 28-35°C.



(a)



(b)



(c)

Imagen 8. Oportunidades en el municipio de Santa Rosa de Lima.

Fuente: Autor.

3.2 Socialización de la digestión anaerobia

Los propietarios de los distintos predios fueron los pilares y motivadores para el desarrollo de las charlas en la finca techo verde (ver Imagen 9). Su interés se basa en vivencias previas productos de la elaboración de pozas sépticas y limpieza de estas. Los campesinos se incentivaron al saber que no tenían que recorrer mucho

trayecto ante las inclementes condiciones climatológicas en busca de leña para la cocción de sus alimentos.



Imagen 9. Dueños y trabajadores de los predios cercanos a la finca techo verde.

Fuente: Autor.

3.3 Sensibilización

Se escuchó la opinión de las familias que viven en las fincas de la zona rural del municipio, las cuales manifestaban su cansancio y preocupación por no encontrar una zona cercana y de fácil obtención de la leña. Ellos eran conscientes, de que han ido acabando con los árboles cercanos a sus casas y que los otros árboles eran muy difícil para derribar (Imagen 10a y b).

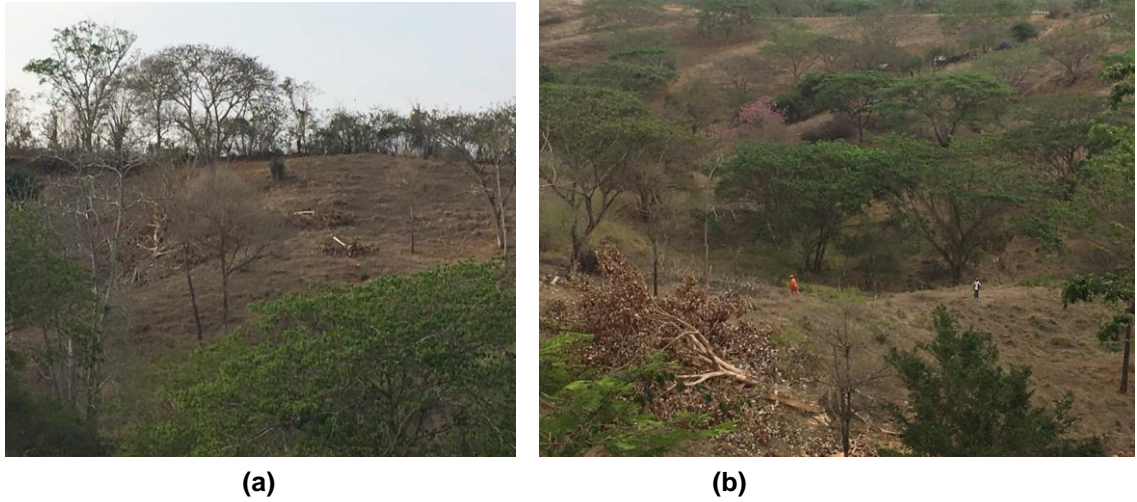


Imagen 10. Deforestación presente en la finca techo verde.

Fuente: Autor.

Se determinó que estas familias de bajos recursos económicos, han destinado parte de sus ganancias en comprar un cilindro de gas y debido a sus altos costos han dejado de hacerlo.

Como actividad primordial para lograr la sensibilización de los moradores del lugar, se realizó una recolección de leña con la familia que habita la finca techo verde, donde inicialmente nos mostraron la zona de donde la obtenían (Imagen 11a). Se evidenció la falta de árboles y una resequedad del suelo, como se muestra en la Imagen 11b; también conocimos los nuevos sitios que han comenzado a emplear para la obtención de la leña (ver Imagen 11c).



(a)



(b)



(c)

Imagen 11. Recolección de la leña.

Fuente: Autor.

El tiempo promedio para la recolección de la leña es de dos horas y requiere el trabajo de dos trabajadores. Al momento de darle el alimento al ganado vacuno, siguiendo la rutina establecida por los campesinos (Imagen 12), se demostró que en un tiempo igual al gastado para la recolección de la leña, la generación localizada de estiércol por parte de estos animales, presenta una expectativa de alrededor de un mes para la alimentación del digestor.



(a)



(b)



(c)



(d)

Imagen 12. Rutina para la alimentación del ganado vacuno en la finca techo verde.

Fuente: Autor.

3.4 Implementación del digestor anaerobio

Al confrontar las condiciones socio-económicas de los habitantes del casco urbano y de la zona rural del municipio de Santa Rosa, se busca implementar un digestor de fácil construcción, de bajo costo y que permita el uso del biogás, con el propósito de disminuir la tala de árboles, reducir la probabilidad de enfermedades respiratorias, mitigar las emisiones de gases de efectos invernaderos, incentivar la valorización de los residuos y mejorar la calidad de vida de los campesinos de la región.

Las Imágenes 13, 14 y 15, muestran gráficamente el digestor tipo manga a construir. Para su desarrollo, se selecciona un barril plástico de 200L, por su bajo costo y facilidad para encontrarlo en el mercado, al igual que tubería PVC, por su resistencia a las presiones producidas en el reactor.

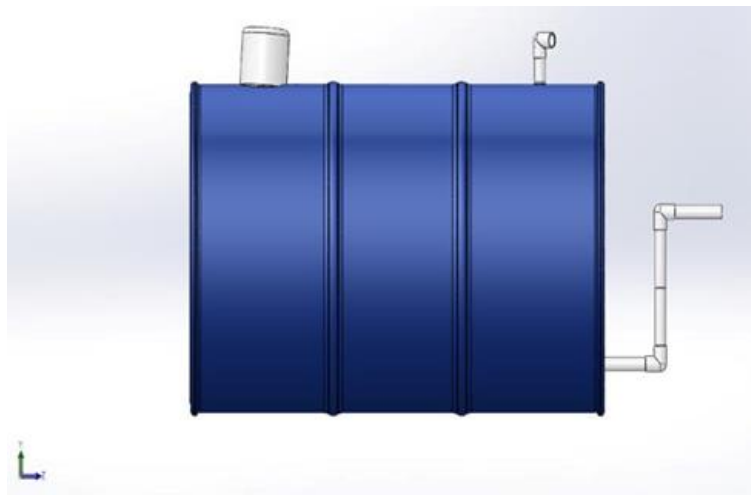


Imagen 13. Digestor tipo manga (vista lateral).

Fuente: Autor.

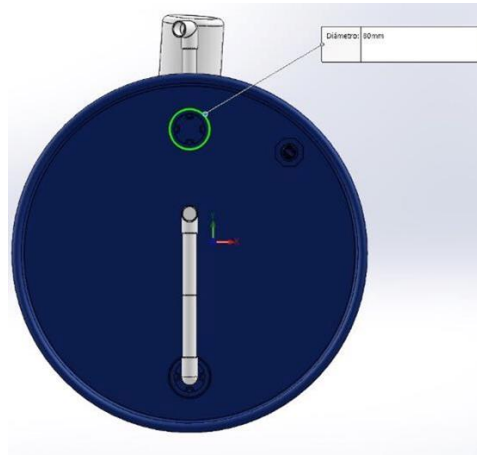


Imagen 14. Digestor tipo manga, vista frontal y diámetro de la tapa (8cm).

Fuente: Autor.

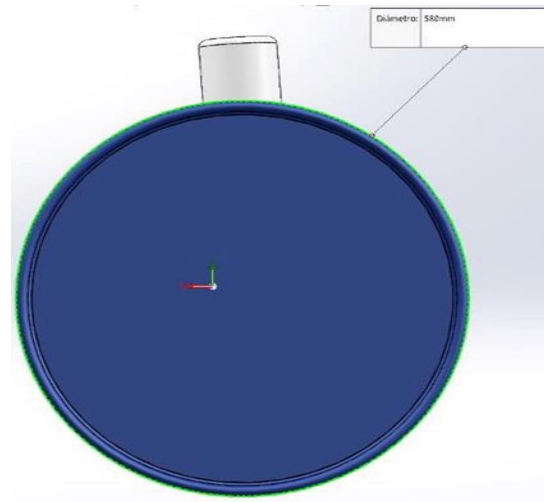


Imagen 15. Digestor tipo manga, vista trasera y diámetro del barril (58cm).

Fuente: Autor.

Para establecer el lugar de almacenamiento de la biomasa residual, se buscó un lugar cercano a la zona donde se realiza el estabulado del ganado vacuno, como se muestra en las imágenes (a) y (c). El predio techo verde cuenta con una estructura para la cría de ganado porcino, la cual se encontraba sin uso, como se muestra en la Imagen 16b. El estiércol al estar expuesto a las condiciones ambientales de la región, puede alterar las características de la población metanogénica y ocasionar una disminución en la producción de biogás.

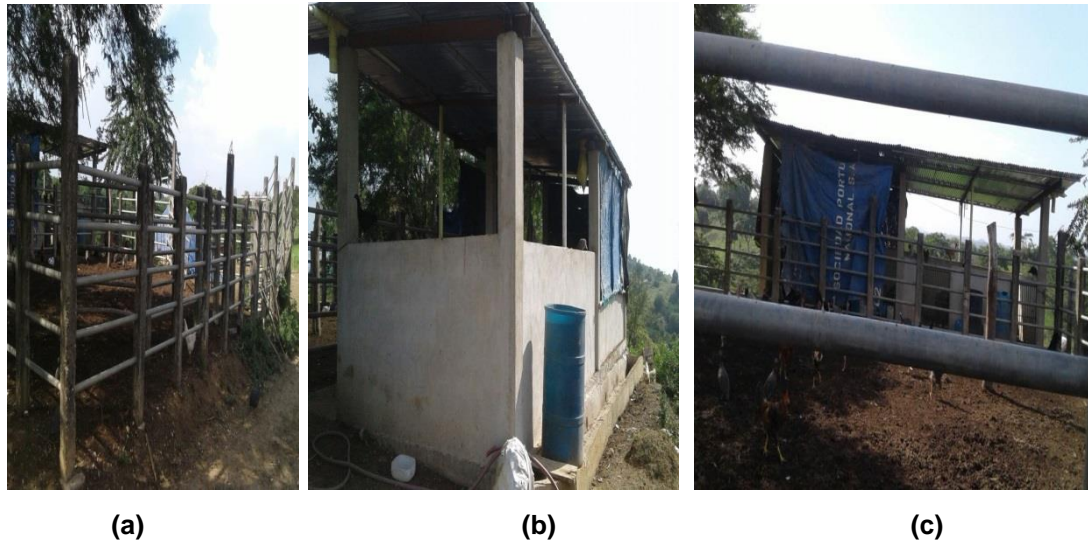


Imagen 16. Estructuras para el almacenamiento del estiércol vacuno.

Fuente: Autor.

El barril se optó por ponerlo de forma horizontal como se evidencia en las Imagen 17c y d, para que dentro de él, el tiempo de retención fuera mayor y poder de esta forma garantizar una mejor digestión de la materia orgánica. Para alimentar el digestor se utilizó un tubo PVC de 4 pulgadas de diámetro y 70 cm de longitud. Al insertar el tubo, se dejó por fuera del barril 20 cm y en la parte interna quedaron 8 cm entre el fondo del reactor y la tubería de la alimentación para el desplazamiento de la carga orgánica. Se le adaptan dos tuberías más de PVC, una de 2 pulgadas para el drenaje del subproducto líquido y la otra tubería de ½ pulgada que permite la salida del biogás por la parte superior del tanque (Imagen 17a y b).



(a)

(b)



(c)

(d)

Imagen 17. Construcción del digester tipo manga.

Fuente: Autor.

3.5 Preparación del proceso de digestión anaerobia

Por contar con un gran número de ganado vacuno, se selecciona el estiércol de estos animales. El Instituto Costarricense de Electricidad (2013, p.24) establece que: “En el caso del ganado vacuno se estima que se produce un 6.8% de su peso vivo de estiércol por día. O entre 1-1.3 kg de estiércol/hora”²³. Esto se pudo

²³ INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD. Op. cit., p.24.

corroborar con el seguimiento a las reses y para calcular la cantidad de estiércol diario, se aplica la Ecuación 1.

$$B = N^{\circ} \text{animales} * \text{Peso de animal} [kg] * \frac{\% \text{ Estiércol}}{\text{día}} \quad \text{Ecuación 1}$$

La finca techo verde cuenta con un total de 50 reses, estas poseen un peso promedio de 450kg cada una. De acuerdo a lo estimado por el Instituto Costarricense de electricidad, una res produce la siguiente cantidad de estiércol por día:

$$1 \text{ animal} * 450 \text{ kg} * 6,8 \frac{\%}{d} = 30,6 \frac{kg}{d}$$

Es necesario calcular la generación de estiércol por res y del total de reses en función de las horas, para proponer un límite de tiempo en el que se dé la estabulación y con estos resultados poder establecer un lugar de almacenamiento de la biomasa residual (Ya seleccionado en la etapa de la implementación).

$$30,6 \frac{kg}{d} * \frac{d}{24h} = 1,275 \frac{kg}{h * animal}$$

Para el total de ganado, se estimó la siguiente cantidad de estiércol:

$$1,275 \frac{kg}{h * animal} * 50 \text{ animales} = 63,75 \frac{kg}{h}$$

Para el tiempo de estabulado, se consideraron 16 horas, que incluyen el tiempo de alimentación de las reses y el ordeño del ganado lechero. Se calculó la cantidad de estiércol que se genera en esas horas:

$$63,75 \frac{kg}{h} * 16h = 1020 \text{ kg}$$

Para calcular la cantidad volumétrica de estiércol generado diariamente, se utiliza la Ecuación 2.

$$\rho_{\text{estiércol vacuno}} = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\rho_{\text{estiércol vacuno}} = 1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Volumen}_{\text{estiércol vacuno}} = \frac{1020 \text{ kg}}{1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{Volumen}_{\text{estiércol vacuno}} = 784,6 \text{ L}$$

El volumen de mezcla diaria que necesita el digestor, se obtiene mediante la Ecuación 3, Tiempo de Retención Hidráulica (TRH), donde se establece 30 días para el estiércol vacuno como TRH y también se conoce el volumen del digestor tipo manga, que es de 165L:

$$\text{Volumen}_{\text{mezcla diaria}} = \frac{\text{Volumen}_{\text{digestor}}}{\text{T.R.H.}} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\text{Volumen}_{\text{mezcla diaria}} = \frac{165 \text{ L}}{30 \text{ d}}$$

$$\text{Volumen}_{\text{mezcla diaria}} = 5,5 \frac{\text{L}}{\text{d}}$$

La composición de los $5,5 \frac{\text{L}}{\text{d}}$, se establece por la cantidad de mezcla de agua y la cantidad de estiércol. El agua necesaria para la mezcla, es calculada a partir de los sólidos totales. El total de estiércol fue estimado en la Ecuación 1 y la mezcla de agua se estima con un 8% de los sólidos totales. Este cálculo es mostrado en la Ecuación 4.

$$\%S.T. (\text{carga diluida}) = \frac{\text{kg estiércol} * \%S.T. \text{ estiércol fresco}}{\text{kg estiércol fresco} + W_{\text{agregada}}} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$0,08 = \frac{1 \text{ kg} * 0,18}{1 \text{ kg} + W_{\text{agregada}}}$$

$$W_{agregada} = \frac{1,25L}{kg \text{ estiércol}} * \frac{30,6kg \text{ estiércol}}{d} = \frac{38,25L}{d}$$

Se necesitan 38,25L/d, de agua para obtener una mezcla óptima y de esta forma obtener una buena producción de biogás y la cantidad de ganado vacuno necesario para generar el estiércol, para alcanzar el volumen que requiere el digestor, es de 3 reses.

Los trabajadores que cocinaban sus alimentos utilizando árboles “secos” que encontraban a su alrededor; cambiaron esta práctica debido a la capacitación y desarrollo del digestor tipo manga, entonces decidieron aprovechar los residuos dejados por las 50 reses que tienen a cargo. Para efectuar la recolección del estiércol se utilizó pala y tanques de 20L de capacidad, como se muestra en las Imagen 18 y 19.



Imagen 18. Recolección del estiércol del ganado vacuno.

Fuente: Autor.



Imagen 19. Tanques para la recolección de las boñigas del ganado vacuno.

Fuente: Autor.

El cargue del digestor se realizó con el volumen de mezcla $5,5 \frac{L}{d}$, se dejó cerrada por completo la entrada y salidas del reactor, para que se diera el proceso de digestión anaeróbica. Al día 31 luego del llenado se liberó la presión acumulada y se expuso ante una llama de fuego para evidenciar la producción de biogás.

Se tomaron varias muestras de la mezcla, las cuales se extrajeron del interior del barril mientras se realizaba la carga diaria. La toma de datos se hizo durante 4 días, después de la producción de biogás, donde se le midió el pH utilizando un pH-metro marca OHAUS®, del cual se sumergía el electrodo en una muestra de la mezcla (Imagen 20) dando un valor promedio de pH de 6,9.

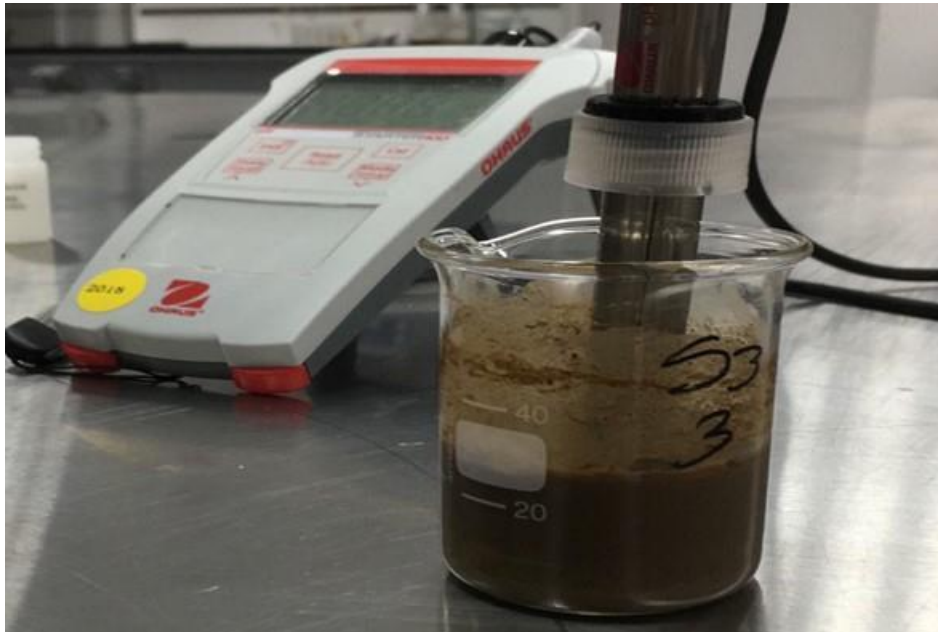


Imagen 20. Medición de pH a muestra tomada del digestor.

Fuente: Autor.

El metano que es aprovechado, reduce los efectos nocivos contra el medio ambiente. De acuerdo a (Vera Becerra & Jaramillo Gómez, 2017), el biogás “podrá ser empleado como fuente de energía en las viviendas, mientras que el biólodo rico en elementos como nitrógeno, fosforo y potasio, apreciados en la agricultura.”²⁴

²⁴ VERA, María y JARAMILLO, Giovanni. Alternativa de desarrollo sostenible para el municipio de Segovia a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos. Medellín, 2017, p.12. Trabajo de grado (Especialista Ingeniería ambiental). Universidad Pontificia Bolivariana. Sistema de formación avanzada.

4. CONCLUSIONES

- El desarrollo de modelos a gran escala de digestores, es una alternativa viable para el aprovechamiento de la biomasa residual en el municipio de Santa Rosa de Lima.
- El estiércol del ganado vacuno es una materia orgánica ideal para la obtención del biogás en regiones cálidas colombianas, gracias a su buena relación Carbono-Nitrógeno y bajo TRH.
- Tras la implementación del digestor tipo manga, la población rural del municipio de Santa Rosa de Lima se encuentra dispuesta a aceptar proyectos o alternativas de biodigestores que mejoren su calidad de vida.
- Las altas cantidades de biolodos que se pueden generar en el proceso de digestión anaerobia del excremento vacuno es un potencial en la productividad de los suelos del municipio.
- El costo de los digestores tipo manga es muy bajo en comparación a los digestores anaerobios convencionales, siendo muy atractivos en poblaciones como la de Santa Rosa de Lima, que no cuentan con muchos recursos económicos.

- El control en la variación del pH de la mezcla para la alimentación del digestor, es crucial para una óptima producción de biogás.
- El proceso de digestión anaerobia de la biomasa residual en el municipio de Santa Rosa de Lima, es una opción para mitigar la deforestación y la posible erosión de los suelos que se encuentran en la zona rural.
- La integración de las costumbres o procedimientos que aplican los campesinos para sus labores diarias, junto a la implementación del digestor tipo manga; permitió la obtención y almacenamiento de la biomasa residual de una manera más eficaz, para que de esta forma se alcanzaran los objetivos propuestos en el proyecto.

5. BIBLIOGRAFÍA

AFCA. Biogás en la ganadería de vacuno. En: Revista AFCA Asociación Frisona de Cantabria. Vol. 13, (Dic. 2009).

ALCALDÍA DE SANTA ROSA DEL NORTE-BOLÍVAR. Nuestro municipio. Santa Rosa. Alcaldía, 2018.

BOLÍVAR, Hernán y RAMIREZ, Elkin. Propuesta para el diseño de un biodigestor para el aprovechamiento de la materia orgánica generada en los frigoríficos de Bogotá. Bogotá, 2012. Trabajo de grado (ingeniero de producción). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad Tecnológica. Ingeniería de Producción.

CHUNGANDRO, Klever y MANITIO, Guido. Diseño y construcción de un Biodigestor para pequeñas y medianas granjas. Quito, 2010 Trabajo de grado (Ingeniero mecánico). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de ingeniería mecánica.

ESCALANTES HERNÁNDEZ, Humberto, *et al.* Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Bogotá: Ministerio de minas y energía, 2009.

GONZALEZ, Luis y OLAYE, Yeison. Fundamentos para el diseño de biodigestores. Palmira, 2009. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Facultad de Ingeniería y administración.

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD. *Diseño de biodigestores y producción de Electricidad*. [En línea]. Disponible en Internet: <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/produccion%20sostenible/Curso%20biodigestores.pdf>. [Consultada febrero 2018].

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. *Clima y tiempo*. Bogotá. IDEAM, 2018.

LAINFIESTA, Diego. *Diseño, construcción y evaluación de un reactor flujo pistón de forma helicoidal escala laboratorio*. Guatemala, 2009. Trabajo de grado (ingeniero Químico). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de ingeniería química.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. *Gas natural*. Bogotá. Minminas, 2018.

PEREZ, Javier. *Estudio y diseño de un biodigestor para la aplicación en pequeños ganaderos y lecheros*. Santiago de Chile, 2010. Trabajo de grado (ingeniero civil mecánico). Universidad de Chile. Facultad de ciencias físicas y matemáticas. Departamento de ingeniería mecánica.

PÉREZ, Juan. *Uso de los fertilizantes y su impacto en la producción agrícola*. Medellín, 2014. Trabajo de grado (Magister en ciencias, geomorfología y suelos). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de biociencias.

RODRIGUEZ, David y GARCIA, Andrés. Diseño y construcción de un biodigestor para la producción de biogás a partir de heces caninas. Bogotá, 2017. Trabajo de grado (Tecnólogo mecánico). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad Tecnológica. Tecnología mecánica.

SILVA VINASCO, Juan. Tecnología del Biogás. [En línea]. Disponible en Internet: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf> [Consultada Abril de 2018].

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. Tecnologías relacionadas con biofertilizantes. Banco de patentes. Bogotá. SIC, 2014.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Balance de gas natural año 2017. Bogotá. Publicaciones UPME, 2017.

VARNERO, María. Manual de biogás. Santiago de Chile. FAO, 2011.

VERA, María y JARAMILLO, Giovanni. Alternativa de desarrollo sostenible para el municipio de Segovia a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos. Medellín, 2017. Trabajo de grado (Especialista Ingeniería ambiental). Universidad Pontificia Bolivariana. Sistema de formación avanzada.

YANK, L.; MARTINA, P.; CORACE, J.; AEBERHARD, A.; (sf). Construcción de un biodigestor pequeño para su uso en investigación y docencia. [En línea]. Primeros

ensayos. Universidad Nacional del Nordeste Resistencia, Argentina. Disponible en Internet: <http://arandu.org.ar/pub/digestororiginal1.pdf> [Consultada Octubre 2017]