

Diagnóstico de biodigestores de bajo costo  
instalados con comunidades vulnerables y  
víctimas del conflicto, realizado por el SENA  
CTDPE durante los años 2011 al 2017

---

*Diagnosis of Low-Cost Biodigesters Installed With  
Vulnerable Communities and Conflict Victims, realized by  
the SENA CTDPE During the Years 2011 to 2017*

**SERGIO ANDRÉS BARRERA RAMÍREZ**  
Zootecnista, especialista en  
Nutrición y alimentación animal  
sabarrera@misena.edu.co

**ELÍAS ANDRÉS PARDO GUZMÁN**  
Zootecnista, especialista en  
Gerencia de Proyectos  
eliasparado@misena.edu.co

Fecha de recepción: 02-11-2018  
Fecha de evaluación: 09-11-2018  
Fecha de aceptación: 13-11-2018





# Diagnóstico de biodigestores de bajo costo instalados con comunidades vulnerables y víctimas del conflicto, realizado por el SENA CTDPE durante los años 2011 al 2017

## *Resumen*

Actualmente en Colombia encontramos un crecimiento demográfico en el sector rural, lo que genera un incremento de los vertimientos residuales, provenientes principalmente de las producciones agropecuarias y domésticas, sumado a un manejo inadecuado de estos residuos y a la necesidad de generar fuentes alternativas de energía, el SENA - Girardot, a través del programa de atención a población víctima y vulnerable, ha venido realizando la instalación y puesta en funcionamiento de biodigestores de bajo costo tipo Taiwán de flujo semi continuo, en los Municipios de área de influencia del Centro de formación con el objetivo de disminuir el impacto negativo de estos residuos e incorporarlos a sus procesos productivos.

El propósito de este estudio es realizar un diagnóstico de los biodigestores instalados durante los años 2011 a 2017, para reconocer el estado actual, evidenciar el impacto económico y medioambiental de este tipo de tecnologías de bajo costo, a través del seguimiento a los sesenta biodigestores instalados durante este periodo, aplicando una metodología de investigación descriptiva, donde se reúne información por medio de observación directa, entrevistas y la aplicación de una encuesta semiestructurada de forma presencial para la recolección y posterior análisis de la información.

## *Abstract*

Currently in Colombia we find a demographic growth in the rural sector, which generates an increase in waste material, mainly coming from agricultural and domestic production, added to an inadequate management of these residues and the need to generate alternative sources of energy, SENA - Girardot, throughout the victim and vulnerable population assistance program, has been carrying out the installation and start-up of low-cost Taiwan-type biodigesters with semi-continuous flow, in the municipalities of the training center's area of influence, with the objective of reducing the negative impact of these residues and incorporating them into the community's production processes.

The purpose of this study is to carry out a diagnosis of the biodigesters installed from 2011 to 2017, to acknowledge their current status, to demonstrate the economic and environmental impact of this type of low-cost technologies, by means of monitoring the sixty biodigesters installed during this period, applying a methodology of descriptive research, where information is gathered via direct observation, interviews and the execution of a semi-structured face to face survey for the recollection and subsequent analysis of data.

Se determinaron los siguientes aspectos: caracterización de la población beneficiada, localización georreferenciada de cada uno de los proyectos, a su vez se establecieron rangos para el funcionamiento de los biodigestores de 8 metros de longitud con capacidad total estándar de 10.160 litros y la estimación de los productos obtenidos biogás y el biól (efluente), brindando herramientas para la evaluación económica y ambiental del proyecto.

A su vez se realizaron análisis de laboratorio del biól para conocer las características fisicoquímicas y microbiológicas. Además, se analizó cada variable a través de un análisis de estadística descriptiva.

Se logró evidenciar que con este tipo de tecnología de fácil aplicación y bajo costo se genera un ahorro por concepto de gasto energético para la cocción de los alimentos de la unidad familiar en el sector rural y se permitió darle valor agregado a las excretas transformándolas en abonos orgánicos de interés agronómico, estables y libres de agentes patógenos.

*Palabras clave:* biodigestores de bajo costo, biogás, abono orgánico, energías renovables, víctimas del conflicto.

The following aspects were acknowledged: characterization of the benefited population, georeferenced location for each of the projects. In turn, ranges of 8 meters in length with standard total capacity of 10160 liters were established for the operation of the biodigesters, and the assessment of the final products (Biogas and Biol-effluent), providing tools for an economic and environmental evaluation of the project.

At the same time, laboratory analyzes of the Biol were performed to find its physicochemical and microbiological characteristics. In addition, each variable was analyzed by means of descriptive statistics.

It was possible to demonstrate that with this type of low cost and easy application technology, a saving in the energy expenditure is generated in the cooking of a family unit's food in the rural sector; while also giving an added value to the residues by transforming them into organic fertilizers of agronomical interest, being both stable and free of pathogenic agents.

*Keywords:* Low Cost Biodigesters, Biogas, Organic Fertilizer, Renewable Energies, Victims of the Conflict.

## Introducción

En el sector rural, se requiere a diario de la producción de energía calorífica (fuego) para apoyar las diferentes actividades propias de las viviendas y de los sistemas de producción agropecuarios, según (FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2013) “El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica (calor). En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua. Los sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación”. Sin embargo, en trabajo de campo evidenciamos que también el biogás es utilizado para calefacción de las aves y cerdos en sus primeras semanas de vida, iluminación con lámparas a gas y secadores para el beneficio del café.

La generación de fuego puede ser obtenida de diferentes fuentes, tales como combustibles fósiles no renovables (carbón mineral, petróleo y gas natural), de alto valor económico, pero también se cuenta con una serie de combustibles de biomasa renovable, tal como lo afirma el autor (Romero, 2010), manifestando que existen biocombustibles sólidos constituidos por materiales lignocelulósicos procedentes del sector agrícola o forestal (paja, restos de podas, leña, cortezas y cascaras), este mismo autor establece que otros biocombustibles usados para la producción de energía calorífica son bioetanol y biodiesel obtenidos a partir de los componentes físico químicos de cultivos como caña de azúcar y maíz. Los autores (Severiche & Acevedo, 2014), afirman que “La digestión anaerobia, o biodigestión, es una tecnología que permite mejorar el aprovechamiento energético tradicional de la biomasa, tanto desde el punto de vista medioambiental, como social y económico. Al mismo tiempo, permite una gestión sostenible de los residuos orgánicos, convirtiéndolos en un recurso para generar biogás (energía renovable) y biol (fertilizante natural)”.

Se calcula que para el año 2018, Colombia tendrá 49.834.240 habitantes, según él (DANE, 2018), el 77,5% viven en cabeceras Municipales, por su parte, el 15,3% viven en zonas rurales y el 7,2% viven en centros poblados (CONPES 3810, 2014), la baja capacidad institucional de los Municipios se refleja en la inadecuada provisión de agua potable y saneamiento básico en las zonas rurales; (Carrasco, 2016) estableció que el 68% de la población rural en Colombia cuentan con alcantarillado, dejando un 32% sin cobertura en saneamiento básico en la ruralidad colombiana. Esto es preocupante debido a que la carencia de sistemas de alcantarillado conduce a que las familias campesinas viertan sus depósitos directamente al suelo o agua, generando contaminación de fuentes hídricas superficiales y/o subterráneas, además de olores ofensivos, constituyen elementos propicios para la proliferación de enfermedades, evitando que se presente la atracción de vectores, definido por el (Decreto 1287, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014) como “Atracción de vectores. Es la característica de los lodos y biosólidos para atraer vectores o diseminadores como roedores, moscas, mosquitos u otros organismos capaces de transportar agentes infecciosos”.

Según el investigador (Pinzón, 2017) “Es importante agregar que la implementación de biodigestores es una alternativa para mitigar algunas condiciones negativas que se presentan en el sector rural como, por ejemplo, la contaminación de las fuentes hídricas a causa de vertimientos producidos en las explotaciones pecuarias y agrícolas principalmente los producidos por el lavado de cocheras, establos y las mieles producidas durante el proceso de beneficio del café”.

El autor (Reyes, 2017), manifiesta que “Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras

de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas”.

El SENA, Regional Cundinamarca, Centro de la Tecnología del Diseño y la Productividad Empresarial - Girardot, mediante el programa de atención a población víctima y vulnerable, capacitó en la instalación y puesta en funcionamiento sesenta biodigestores de bajo costo tipo Taiwán de flujo semicontinuo, estos fueron el resultado de procesos de formación complementaria en producción pecuaria, impartidas durante los años 2011-2017 en los Municipios de área de influencia del Centro de formación, donde el 61% de los aprendices beneficiados hace parte de la población víctima del conflicto armado; con la puesta en marcha de los biodigestores, se promueve el aprovechamiento de vertimientos de las producciones agropecuarias y domésticas. Con la implementación de este tipo de tecnologías, se apunta a las siguientes líneas de acción:

1. Reducir el impacto negativo al medio ambiente, a través del control de emisiones de gas metano y dióxido de carbono, pero también es una manera de desestimular el uso de leña para cocción de alimentos.
2. Se promueve la generación de energía alternativa calorífica (fuego) a bajo costo.
3. Obtención de fertilizante orgánico, en presentación líquido y sólido.

Una de las principales características de los biodigestores instalados es que son de bajo costo económico, aproximadamente un precio de \$380.000 (materiales y adecuación de la fosa) y una vida útil de más de 10 años, lo que facilita su implementación, tienen una producción promedio de 3 - 16 horas en una estufa de 2 fogones y una producción diaria de entre 60 y 120 litros de fertilizante orgánico, dependiendo de la cantidad de excretas utilizadas, permitiendo el aprovechamiento de los vertimientos de las producciones agropecuarias y domésticas. Este tipo de tecnologías permiten la mitigación del impacto negativo al medio

ambiente generado por estos residuos líquidos y sólidos. La captación, almacenamiento y utilización del biogás como combustible, evitando su liberación a la atmósfera.

A nivel de laboratorio, se analizaron muestras de efluente (biól) para conocer las características físico-químicas de doce muestras y microbiológicas a veinte muestras, los resultados fueron contrastados con (NTC 5167, 2011) emitida por el ICA para comercialización de fertilizantes líquidos.

## Materiales y métodos

Para la realización del trabajo se elaboró y aplicó una encuesta semiestructurada entre los meses de marzo a septiembre de 2018, el instrumento consta de 23 preguntas para la recolección de la información acompañada de la observación directa. La encuesta la realizó el instructor encargado, a sesenta aprendices egresados de los cursos complementarios en donde se realizó la instalación de los biodigestores Tipo Taiwán, ubicados en los Municipios del Área de influencia del SENA CTDPE de Girardot, los cuales fueron instalados en el período comprendido entre febrero de 2011 y diciembre de 2017. Con el propósito de realizar un seguimiento y diagnóstico que permita identificar el impacto social, económico y ambiental del contexto donde se desarrollaron los proyectos de formación, se estableció una metodología de carácter mixto (cuantitativa y cualitativa), que a su vez permitió la aplicación de un análisis estadístico descriptivo. El desarrollo del proyecto se realizó en tres fases:

## Descripción del proyecto

En el desarrollo de las capacitaciones en cursos complementarios en producción pecuaria realizados por el SENA CTDPE de Girardot se realizan proyectos de formación encaminados a la producción de energías renovables y la mitigación del impacto ambiental generado por los residuos líquidos y sólidos provenientes de la producción

porcícola (heces, orina y agua de lavado) y la de otras actividades agropecuarias como la ganadería bovina, ovina, caprina, mular, caballar y el agua residual del beneficio del café, las cuales han generado la necesidad de implementar tecnologías adecuadas para el manejo y la mitigación de los daños medioambientales originados por este tipo de producciones, por esta razón se han puesto en funcionamiento 60 biodigestores de bajo costo tipo Taiwán en comunidades vulnerables y víctimas del conflicto. La elaboración de biodigestores no busca únicamente producción de biogás, según los investigadores (Balseca de la Cadena & Cabrera Bastidas, 2011), en su estudio “También se verificó el potencial del uso de los biodigestores para: el tratamiento de aguas residuales.

Definiendo al biodigestor como una estructura en la cual se fermentan excretas de animales o incluso del ser humano, obteniendo un gas llamado Biogás y un material orgánico denominado Biól que además es un buen fertilizante líquido que sale al final del proceso. El gas puede utilizarse para cocinar, calentar agua, iluminar, calentar cerdos pequeños o aves por medio de un calentador, generar electricidad. Según el autor (Le-grand, 2015). La “Fermentación anaeróbica en digestores

producen el biogás, formando en su mayoría (60% en vol.) metano y el resto CO<sub>2</sub> y cantidades mínimas cantidades de oxígeno, nitrógeno y ácido sulfhídrico. Según (Rodríguez, 2018) el biodigestor tipo TAIWAN lo compone un tubo en material plástico (polietileno, PVC) con un ducto de entrada de la carga y salida de la misma, está diseñado para que el 75% del tubo inferior contenga la masa de fermentación y el 25 % restante parte superior almacene el biogás producido. Este tipo de biodigestor también es llamado tubular y es el más indicado para digerir todo tipo de estiércol y aguas residuales orgánicas (Osorio, 2017), Según autores (Sosa, Chao & J. del Río, 1999) los biodigestores más usados en la agricultura son los del régimen semicontinuo, este tipo está clasificado de acuerdo a su funcionamiento y construcción como de tipo tubular o Plug Flow.

Los materiales de construcción son de fácil transporte, su instalación y operación es sencillo, lo cual puede ser hecho por la misma comunidad o los mismos trabajadores sin mayor dificultad, la vida útil de este tipo de biodigestor puede ser de 3 a 15 años siempre y cuando se proteja la membrana; es recomendado para lugares con temperaturas altas y constantes (Osorio, 2017).



Foto 1. Aprendices en el proceso de instalación. Fuente: Elaboración propia.

La distribución de los biodigestores por municipios se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Distribución de los biodigestores.

**Fuente:** Elaboración propia.

Municipio	Cantidad
Agua de Dios	1
Anolaima	6
Beltrán	3
El Colegio	5
Nariño	1
Nilo	2
Pulí	2
Ricaurte	1
Tocaima	1
Viotá	38
<b>Total</b>	<b>60</b>

Todos los predios fueron georreferenciados a través de imágenes en el programa Google My Maps, por medio de las coordenadas obtenidas en campo a través de un dispositivo GPSMAP 64s marca Garmin.

## Funcionamiento de los biodigestores

Los biodigestores tienen una longitud total estándar de 8 metros con capacidad de 10.160 litros calculado a través de la fórmula:

$$\text{Vol} = \pi (\text{Pi}) \times r^2 (\text{radio}^2) \times L (\text{longitud})$$

Volumen del cilindro =  $3.14 \times (0.6369)^2$  metros x 8 metros = 10,16 m<sup>3</sup> = 10.160 litros de los cuales están en fase líquida 7.620 litros (75%) y 2.540 litros (25%) son para el depósito de biogás.

\* Pi (π) es una constante matemática cuyo valor aproximado es 3.14

Para calcular las excretas utilizadas se cuantificó el volumen de la mezcla de entrada (cantidad de excretas y agua) mediante la recolección con pala y el pesaje de las heces de los animales, adicional se utilizó un tanque o caja de entrada con capacidad para almacenar los vertimientos líquidos producidos durante todo el día.



**Foto 2.** Determinación del volumen de la carga diaria del biodigestor. **Fuente:** Elaboración propia.

## Producción biogás y biól

Para la estimación de los productos obtenidos durante el proceso de biodigestión se realizó de la siguiente manera:

**Estimación de la producción de biogás:** a través de un **contador de gas modelo g1.6, Marca Humcar**, utilizado para medir todo tipo de gas y aire en litros y m<sup>3</sup>. La medición se realizó por lapsos de una hora. (Cepero, 2012) Reporta que teniendo en cuenta que la composición de este gas es de 60% CH<sub>4</sub> y 40% CO se generan aproximadamente 6 kWh/m<sup>3</sup>.





Foto 3. Medición de la producción de biogás litros/hora. Fuente: Elaboración propia.

- a. Para los litros de gas total se tomó el valor de consumo de biogás por hora y se multiplicó por las horas de uso de la estufa y por el número de quemadores utilizados. También a través de un MEDIDOR DE DISTANCIA LÁSER DIGITAL 40 METROS DISTANCIOMETRO Marca: Kalaidun, se estableció el trayecto recorrido por el biogás desde el biodigestor hasta el punto de utilización.
- b. Para la estimación del biól se utilizó una caja o tanque para la recolección del material resultante del proceso de biodigestión y se valoró su producción promedio al día.



Foto 4. Medición producción Biól. Fuente: Elaboración propia.

## Resultados y discusión



**Imagen 1.** Biodigestores activos en los Municipios de área de influencia del Centro de formación SENA Girardot.

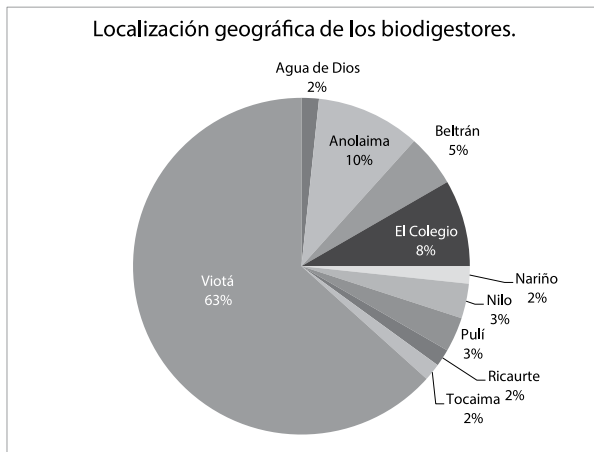
**Fuente:** <https://www.google.com/maps/d/edit?hl=es&hl=es&mid=12frzoCw035hejEoPCRceZbwqtxgIVuG&ll=4.582231402242969%2C-74.7428672654998&z=10>

### Georreferenciación

Se realizó georreferenciación de los predios en donde actualmente se encuentran en funcionamiento treinta y tres biodigestores, los municipios se pueden observar en la siguiente imagen:

### Caracterización de los beneficiarios del proyecto

La distribución porcentual de los biodigestores instalados en los diferentes municipios se observa en la siguiente gráfica:

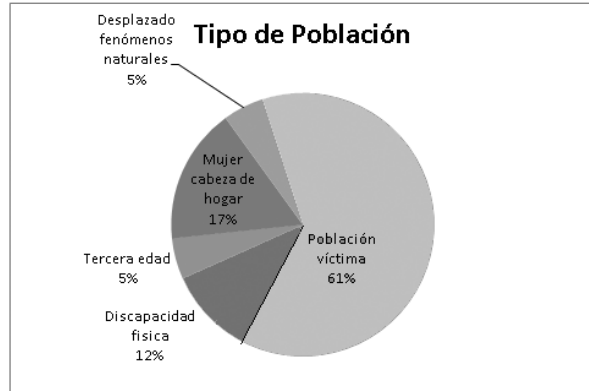


**Gráfica 1.** Localización de los biodigestores.

**Fuente:** Elaboración propia.

Los predios se encuentran en un rango de altura entre los 360 y 1850 msnm, con temperaturas que oscilan entre los 19 y 32 °C.

El tipo de población que ha sido beneficiaria con el proyecto se muestra en la siguiente gráfica:



**Gráfica 2.** Caracterización de la población.

**Fuente:** Elaboración propia.

En cuanto a la actividad económica la mayoría de las fincas tienen una economía mixta entre las actividades pecuarias y agrícolas, el 74% de los hogares están formados por menos de 5 personas, mientras que el 22% tienen entre 5 y 10 personas y solamente en el 4% de ellos se encuentra que el núcleo familiar está formado por más de 10 personas.

Los biodigestores fueron instalados entre el 21 de Febrero de 2011 y el primero de Diciembre de 2017, mientras que entraron en funcionamiento entre el 29 de Abril de 2011 y el tres de Marzo de 2018. Entre la fecha de instalación y la puesta en funcionamiento transcurrieron 90 días en promedio, con un rango entre 54 y 125 días.

A la fecha de los 60 biodigestores 33 están funcionando (55%) y 27 no (45%), los que no están en funcionamiento es por las siguientes causas: daño del plástico (2), por derrumbe de la fosa (1), cambio de la actividad económica del predio (19), por venta del predio (1) y por fenómenos naturales (4). Los biodigestores que ya no funcionan duraron un promedio de 3,1 años en uso,

como se evidencia la mayor causa fue por cambio de actividad económica representando un total del 70 %, manifestaron que esto fue causa de la baja rentabilidad de la producción porcina debido al alto costo de los insumos y alimentos comerciales, información que respalda la (Asociación Colombiana de Porcicultores, 2016) quien hace referencia que para explotaciones de ciclo completo, los costos totales de producción capitalizó un incremento del 8,3%, con respecto al año 2015, dicho incremento obedeció al aumento que presentaron los precios internacionales de las dos principales materias primas (maíz y soya) y del precio del dólar.

## Biodigestores actualmente funcionando

En este caso se tienen en cuenta con 33 biodigestores que están funcionando, el análisis se hace teniendo en cuenta los siguientes criterios: El estado general de la fosa, el plástico, los accesorios, las estufas, las criadoras, y las ollas; los hallazgos más representativos se dieron por el lado de las estufas donde tres de ellas se encontraron en mal estado.

La inversión promedio para la instalación de los biodigestores fue de \$265.000 la menor inversión y de \$1.100.000 la mayor, estos valores incluyeron los materiales y la adecuación de la fosa. El costo es variable y está relacionado con las particularidades del productor (tipos de residuos, espacio físico, características del terreno, mano de obra) (Andino & Martínez, 2015).

El bajo precio facilita su implementación, principalmente en comunidades vulnerables que cuentan con menor poder adquisitivo para la tecnificación de sus producciones agropecuarias. De los 60 productores 53 de ellos (88,3%) recibieron material de formación por parte del SENA.

En cuanto a la procedencia del agua que se requirió para el funcionamiento del biodigestor el 60% utilizaron el agua del acueducto veredal, el 35% agua de nacedero y el 5% utilizaron aguas lluvias.

En el caso de los insumos requeridos para el funcionamiento del biodigestor, principalmente se utiliza el estiércol porcino con el agua del lavado de las instalaciones, estiércol de caballo, bovino, caprino e incluso los residuos de humanos libres de detergentes y un caso en el que utilizan suero de leche, se ha evidenciado una gran diversidad de materiales orgánicos han sido sometidos a investigación con la finalidad de obtener biogás, como lo describen los investigadores (Barrena, Gamarra & Maicelo, 2010), quienes emplearon residuos de la ganadería y domésticos como la cáscara de papa y aguas residuales para producir biogás a nivel de laboratorio.

Por su parte, los autores (Morales & Mejía, 2015), hacen referencia acerca del uso de biodigestores para aprovechar el mucilago de café luego del beneficio, concluyendo que se lograron beneficios para el caficultor, manejando la mezcla agua-mucilago por separado que permita descontaminar mínimo el 80% del vertimiento al suelo.

## Parámetros de producción

Para mostrar los datos de producción se tuvieron en cuenta 33 biodigestores, las variables tenidas en cuenta fueron:

### Producción de biogás

Medida en horas al día, para esta variable se encontró que el rango estuvo entre 3 y 16 horas al día, con un promedio de 9,5 horas/estufa de dos quemadores.

Los litros de gas para consumo al día se encontraron un rango promedio de  $2790 \pm 1050$  litros de gas, con un valor mínimo de 828 y uno de máximo de 5760 litros de gas (Botero & Thomas, 1987). Afirma se puede esperar una producción diaria al 35% del volumen de la fase líquida (aproximadamente 2667 litros en este caso). La medición se realizó por lapsos de una hora y se encontró un valor promedio de  $134,2 \pm 13,96$  litros / hora. El valor mínimo fue de 115 y el mayor de 168 litros por



Foto 5. Utilización del biogás. Fuente: Elaboración propia.

hora. En lo referente al estiércol animal, la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos (Cepero, 2012).

La distancia que hay del biodigestor al quemador el valor obtenido fue en promedio de  $38,6 \pm 15$  m, con un valor mínimo de 12 y máximo de 82 metros, estas distancias son adecuadas para el funcionamiento, como lo menciona (Blanco, 2012). "Este tipo de digestor, a pesar de que funciona con baja presión, puede impulsar el gas a una distancia de hasta 100 m. Cuando se necesite lograr distancias superiores, es recomendable utilizar un soplador del gas".

Finalmente, el 9% de las estufas tres utilizaron un solo quemador, mientras que el 75% veinticinco utilizaron dos quemadores, el 3% una y el 13% cuatro quemadores. El único destino que se le dio al gas fue en las estufas.

### Producción de fertilizante líquido

el 57% de los biodigestores produjeron menos de 60 litros, el 21% produjeron entre 61 y 80 litros, el 14 % entre 81 y 120 y el 8 % más de 121 litros, para una producción promedio aproximada de 65 litros de fertilizante por biodigestor. A pesar, que el galón de fertilizante tiene un valor de \$25.000 en la mayoría de los casos el fertilizante se utilizó para los cultivos de la finca, potreros y recuperación de suelos.

Solamente un productor comercializa y almacena el biofertilizante, lo hace durante 90 días, los demás no lo almacenan.

### Beneficios económicos

Se logró evidenciar que uno de los beneficios más representativos para los propietarios de los biodigestores fue el ahorro en dinero, según las encuestas realizadas los valores mínimos del ahorro fueron de \$360.000 y máximo \$1.080.000, con un valor promedio de \$717.840.

Estos valores fueron calculados promedio/año y solo teniendo en cuenta el ahorro por compra de gas propano que tiene un precio aproximado entre \$55.000 a \$65.000 el cilindro de 40 libras, con una duración promedio de 20 a 30 días dependiendo del tamaño familiar, es de resaltar que no se estimaron las variables de ahorro por compra de fertilizantes y leña para cocinar.

Comparado con los resultados obtenidos por los autores (Aguilar & Botero, 2006) quienes concluyen que una familia rural requiere en promedio un biodigestor de  $7,2 \text{ m}^3$  de capacidad total puede llegar a obtener beneficios económicos totales al año por el uso del biogás (sustitución de energía convencional) y del efluente (ahorro fertilizantes químicos) estimados entre US\$ 397 y US\$ 420.

## Análisis fisicoquímico y microbiológico

Para la realización de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, se recogieron 12 y 20 muestras respectivamente del material orgánico líquido biól, directamente en la fuente en recipientes de 1 litro de capacidad con tapa rosca, totalmente estériles y se enviaron a

laboratorio Agrilab registro certificado ICA resolución 1271 de 5/05/2014 para el análisis correspondiente.

## Resultados de laboratorio (Fisicoquímicos)

Los resultados del análisis fisicoquímico se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 2.** Consolidado resultados fisicoquímicos. Fuente: Elaboración propia.

	MIN	MAX	PROMEDIO	UNIDADES	DESVIACIÓN ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	NTC MAX	5167 MIN
<b>Carbono Orgánico Oxidable Total</b>	0,68	29,7	11,00	g/L	11,38	103,39		20 g/l
<b>pH</b>	6,05	7,32	6,79	Unidades pH	0,49	7,19	8,5	
<b>Densidad (20°C)</b>	0,99	1,03	1,01	g/cm <sup>3</sup>	0,01	1,33	Reportar	
<b>Conductividad Eléctrica 1:200</b>	0,02	0,14	0,07	dS/m	0,04	53,25	Reportar	
<b>Sólidos Insolubles</b>	10	90,1	46,78	g/L	32,65	69,79	40g/l	
<b>N Total (N<sub>Org</sub>+N-NH<sub>4</sub>)</b>	0,46	14	3,01	g/L	3,69	122,42		15 g/l
<b>Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>	0,08	13,7	2,20	g/L	3,77	171,28		15 g/l
<b>Potasio (K<sub>2</sub>O)</b>	0,5	2,42	1,30	g/L	0,60	46,54		15 g/l
<b>Calcio (CaO)</b>	0,15	8,14	1,43	g/L	2,24	156,89		40g/l
<b>Magnesio (MgO)</b>	0,05	3,9	0,75	g/L	1,08	143,02		40g/l
<b>Azufre (S-SO<sub>4</sub>)</b>	0,01	0,95	0,31	g/L	0,34	109,71		40g/l
<b>Hierro</b>	0	0,57	0,15	g/L	0,18	124,62		40g/l
<b>Manganeso</b>	0,22	64,1	17,63	mg/L	21,14	119,91		40g/l
<b>Cobre</b>	0,03	39,9	7,73	mg/L	11,06	143,08		40g/l
<b>Zinc</b>	1,32	683	161,82	mg/L	233,01	143,99		40g/l
<b>Boro</b>	0,28	4,13	2,46	mg/L	1,47	59,90		40g/l
<b>Sodio</b>	0,05	0,84	0,31	g/L	0,25	82,79	10 g/l	

Para la caracterización y composición del material orgánico líquido fue realizada a través del método analítico descrito en la norma técnica Colombiana (NTC 5167, 2011), los cuales permitieron evidenciar que los valores que se encontraron tienen una gran variación en la mayoría de las variables, solamente pH y densidad muestran valores en su coeficiente de variación que permiten hablar de una relativa homogeneidad en los datos, para el resto de las variables se muestran unos rangos bastante amplios. Se asume que la principal diferencia proviene del tipo de sistema productivo y de la forma en como los animales son alimentados, pero deben existir otros factores que generan estas grandes variaciones, como la edad de los mismos, la fuente de agua entre otros.

Al realizar una comparación entre los valores exigidos por la norma técnica y los resultados físico químicos se encuentra básicamente que el material orgánico líquido en la mayoría de los casos no cumple con la normatividad, analizando el valor promedio cumple con 5 de los 17 parámetros de la (NTC 5167, 2011), los parámetros que no cumplen contienen una fuente potencial de nutrientes de interés agronómico para la fertilización orgánica, se cree que los bajos valores es principalmente por la alimentación de los animales, ya que en estos sistemas se utilizan desechos de comida,

subproductos de la finca y alimentados balanceados comerciales en menor proporción.

Pese a los resultados obtenidos se puede evidenciar el aporte integral de diferentes nutrientes, los cuales pueden ser una alternativa a la fertilización, a su vez contribuye a disminuir la contaminación, tal como lo describen (Cubero & Vieira, 1999), "La utilización de los residuos orgánicos generados por la actividad agrícola y por el procesamiento de sus productos, es vital para el control de una fuente importante de contaminación de las aguas superficiales", se considera que la aplicación de abonos de origen orgánico contribuye a restaurar la biodiversidad y la fertilidad.

La digestión anaeróbica transforma los nutrientes orgánicos presentes en el agua residual a una forma mineral. Este proceso es más importante para el nitrógeno, donde la forma orgánica se metaboliza a amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). El amonio está directamente disponible para los cultivos cuando se aplica a los suelos (Boyd, 2000).

### Resultados de laboratorio (Microbiológicos)

Los resultados de los análisis microbiológicos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Consolidado resultados microbiológicos. **Fuente:** Elaboración propia.

	MIN	MAX	PRO	D.S	CV%
<b>Recuento total de mesófilos aerobios Ufc/ml</b>	10 X 10 <sup>2</sup>	84 X 10 <sup>2</sup>	25,7 X 10 <sup>2</sup>	16 X 10 <sup>2</sup>	62,38
<b>Recuento total de coliforme Ufc/ml</b>	5 X 10 <sup>2</sup>	74 X 10 <sup>2</sup>	25,3 X 10 <sup>2</sup>	14,9 X 10 <sup>2</sup>	59,14
<b>Recuento total de coliformes fecales Ufc/ml</b>	0	28 X 10 <sup>2</sup>	8,85 X 10 <sup>2</sup>	8,3 X 10 <sup>2</sup>	93,84
<b>Investigación A/P de <i>Escherichia coli</i></b>	AUSENTE	AUSENTE		0'	
<b>Investigación A/P de <i>Salmonella/shigella</i></b>	AUSENTE	AUSENTE			
<b>Recuento total de hongos Ufc/ml</b>	0		14,3	24,77	173,25
<b>Recuento total de levaduras Ufc/ml</b>	0	188	37,85	48,32	127,67
<b>Recuento de huevos de nemátodos</b>	0	8000	2005	2445,29	121,959601

El análisis microbiológico permitió conocer que la unidades formadoras de colonias estaban en rangos mínimos de  $10 \times 10^2$  máximos  $84 \times 10^2$ , promedio  $16 \times 10^2$ , lo que permite concluir que el diseño, construcción y operación de los biodigestores es efectivo para la multiplicación de microorganismos, tal como lo afirman los investigadores (Cruz, 2004), "La presencia de una mayor concentración de anaerobios en el efluente, infiere un exitoso comportamiento de los aspectos microbiológicos y bioquímicos de la fermentación anaerobia".

En el tema de unidades formadores de colonias para coliformes fecales se encontró que 8 muestras llevadas a laboratorio tenían 0 ufc/ml, en las 12 muestras restantes se encontró valores mínimos de  $11 \times 10^2$  ufc / ml y máximos de  $28 \times 10^2$  ufc / ml, lo que permite concluir que a mayor tiempo de fermentación menor será la presencia de ufc de coliformes fecales, tal como lo afirman los investigadores (Cruz, 2004), "Los resultados en coliformes fecales en el efluente fueron por consiguiente muy favorables y permiten confirmar la reducción de la agresividad microbiana de este tipo de residual y el funcionamiento correcto del sistema".

A nivel de laboratorio se realizaron pruebas para determinar presencia de *Escherichia coli*, a través de la técnica de medios caldo Lauryl Sulfato  $T^{\circ} 32.5^{\circ}C \pm 2.5^{\circ}C \times 24$  horas, los resultados fueron negativos para las 20 muestras, lo que permite concluir que no existe riesgo para la salud pública en caso de ser usados para cultivos de tubérculos y hortalizas.

De la misma manera se realizaron pruebas de laboratorio para determinar la presencia de *Salmonella*/*Shigella* aplicando la técnica de medios peptona al 2%  $T^{\circ} 32.5^{\circ}C \pm 2.5^{\circ}C \times 24$  horas, los resultados fueron negativos para las 20 muestras, este resultado permite concluir que no existe riesgo para la salud pública.

Luego del análisis de laboratorio se logró identificar la presencia de hongos y levaduras en las 20 muestras, con valores mínimos 2 ufc / ml y máximos de 188 ufc /

ml, aunque los hongos y levaduras pueden ser beneficios para la mayoría de los cultivos, en una próxima investigación se profundizará en la determinación de los tipos de microorganismos para conocer sus potencialidades y/o restricciones en el uso agrícola.

También se realizó recuento de huevos de nemátodos con el método de concentración para obtener datos cuantitativos, de tal manera que 9 muestras presentaron 0 huevos / lt, en las 11 muestras siguientes se logró establecer valores mínimos de 100 huevos / lt y valores máximos de 8.000 huevos / lt, representando un riesgo reducido en cuanto a proliferación de enfermedades parasitarias o infecciosas, sin embargo, creemos conveniente seguir profundizando en la investigación.

En los 20 análisis microbiológicos se aisló la bacteria *Bacillus subtilis*; Bacteria Gram-positiva no patógeno. Los *Bacillus subtilis* actúan como promotores del crecimiento de la planta y previene las enfermedades debido a su habilidad de producir ciertos antibióticos, lipoproteínas y enzimas hidrolíticas (Sánchez, 2016).

## Conclusiones

Gracias a la implementación de este tipo de tecnologías de bajo costo, se disminuye la deforestación para la obtención de leña para cocinar y por ende las emisiones de gases contaminantes que perjudican la salud del campesino y la atmósfera; así mismo, el sistema representa un ahorro en consumo de gas propano lo cual, se verá reflejado en la recuperación de la inversión del biodigestor en aproximadamente 7 meses.

La necesidad de implementar técnicas que hagan más sostenibles los sistemas de producción animal cada vez será más perentoria, por este motivo experiencias como las llevadas a cabo se hacen necesarias y en este caso particular los resultados la respaldan, siendo una tecnología eficiente en el tratamiento de vertimientos residuales de pequeñas y medianas instalaciones

productivas y una importante solución a los problemas energéticos de las familias campesinas con limitados recursos para la tecnificación de sus producciones.

Con la implementación de este sistema, se conservan las fuentes hídricas, así mismo permiten reducir la emisión de gases efecto invernadero como son el metano y el Co2 provenientes de las producciones agropecuarias.

Es importante destacar que el fertilizante líquido obtenido de los biodigestores contiene una base importante de nutrientes para procesos de fertilización en cultivos agrícolas, si bien, algunos parámetros son bajos se pueden mejorar a través de la adición de elementos enriquecedores para cumplir con parámetros establecidos en la NTC 5167.

Involucrar a personas víctimas del conflicto y comunidades en condición de vulnerabilidad en procesos productivos que sean rentables y amigables con el medio ambiente, les brinda una oportunidad de empoderamiento y de reconocimiento de nuevas tecnologías que redundará en un beneficio general de la sociedad y en su calidad de vida.

## Agradecimientos

A la líder SENNOVA, doctora Lady Malagón por su compromiso, y al programa, por el financiamiento del proyecto.

Al instructor José Benítez, vinculado al programa de topografía, quién realizó acompañamiento en temas de georreferenciación de predios.

Al SENA Girardot en cabeza del Doctor David Alberto Correa Castillo, quien promueve investigaciones que generan inclusión social y permiten el desarrollo de tecnologías amigables con el medio ambiente.

## Referencias

- Aguilar, F. X. & Botero, R. (Junio de 2006). Los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo. *Tierra Tropical*, 23. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/228431561>
- Andino, R. & Martínez, K. (Abril de 2015). Biodigestor: Una Alternativa de Innovación Socio – Económica Amigable con el Medio Ambiente. *Seminario de Graduación para optar al título de Lic. en Economía Agrícola 2014*. Nicaragua.
- Asociación Colombiana de Porcicultores (31 de 12 de 2016). *Informe de los proyectos de inversión desarrollados durante el año 2016*. Obtenido de Asociación porkcolombia Fondo Nacional de la Porcicultura: <https://asociados.porkcolombia.co/porcicultores/Ley1712/INFORMES-GESTION/InformeGestion2016.pdf>
- Balseca de la Cadena, D. A., & Cabrera, J. C. (Noviembre de 2011). Producción de biogás a partir de aguas mieles. *Producción de biogás a partir de aguas mieles*. Honduras.
- Barrena G., M., Gamarra T., O., & Maicelo Q., J. (2010). Producción de biogás en laboratorio a partir de residuos domésticos y ganaderos y su escalamiento. *Revista Aporte Santiaguino Chile*, 5.
- Blanco, E. (2012). *Manual de diseño, montaje y operación de digestores plásticos de bajo costo. Una alternativa para Cuba*. La Habana: Estación Experimental Indio Hatuvey.
- Botero, B. M. & Thomas, R. P. (1987). Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. *Manual para su instalación, operación y utilización*, 15. Cali, Colombia.
- Boyd, R. (2000). Internalising Environmental benefits of Anaerobic Digestion of Pig Slurry in Norfolk. University of East Anglia. *University of East Anglia*, 11.



- Carrasco, W. (2016). Estado del arte del agua y saneamiento rural en Colombia. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*, 1-8.
- Cepero, L. (2012). Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de Biodigestores. *Pastos y Forrajes*, 219-226.
- CONPES 3810. (2014). Consejo Nacional de Política Económica y Social, Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural. *Departamento Nacional de Planeación*, 6-7. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co>
- Cruz, E. (2004). *Evaluación Microbiológica del Efluente anaerobio de un biodigestor de cúpula fija*, 4-6. Habana, Cuba.
- Cubero, D. & Vieira, M. (1999). Abonos orgánicos y fertilizantes químicos ¿Compatibles con la agricultura? San José, Costa Rica.
- DANE, Departamento Nacional de Estadística (03 de 10 de 2018). DANE. Obtenido de DANE información estratégica: [www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/donde-estamos](http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/donde-estamos)
- Decreto 1287, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (10 de 06 de 2014). Uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales Municipales. Bogotá D. C., Colombia.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2013). *Manual de biogás*. Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32.
- Legrand, M. (2015). *Biomasa. Clasificación y uso. Transformaciones*. En D. d. Madrid. Leganés. España.
- Morales, C. & Mejía, C. A. (2015). Evaluación del desempeño de un biodigestor para el tratamiento de la mezcla agua - Musílago de café obtenidas por desmucilaginosador mecánico. *Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo CIMAD*. Manizales. Obtenido de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2521/Biodigestor>
- NTC 5167. (2011). Norma Técnica Colombiana. *Productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelos*. Bogotá D.C., Colombia.
- Osorio, B. (2017). Diagnóstico y propuestas de acciones integrales para la mitigación del impacto ambiental en el recurso hídrico en la finca Los Pomos de San Roque - Antioquia. *Tesis de grado*. Medellín: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Pinzón, C. (2017). Implementación de biodigestores para el mejoramiento de la calidad de vida de las familias campesinas. *Revista de investigaciones agroempresariales SENA Huila*.
- Reyes Aguilera, E. A. (2017). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista Científica de FAREM-Estelí. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano*. Año 6, N° 24, octubre-diciembre, 2017, 11.
- Rodríguez, D. (21 de Septiembre de 2018). *Biodigestores, ¿qué son y como construirlos?* Obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/prog-cerdos-biodigestor1.pdf>
- Romero, S. A. (2010). Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles. *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.
- Sánchez, F. E. (10 de Julio de 2016). Importancia de los lipopéptidos de *Bacillus subtilis* en el control biológico de enfermedades en cultivos de gran valor económico. *Revista Bionatura*, 137.
- Severiche, C., Acevedo R. (2014). Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda generación. *INGENIUM, Revista de la Facultad de Ingeniería. Universidad de San Buenaventura*.

Sosa, R., Chao, R. & Del Río, J. (1999). Aspectos bioquímicos y tecnológicos del tratamiento de residuales agrícolas con producción de biogás Instituto de Investigaciones Porcinas, C. de la Habana, Cuba. *Revista computarizada de producción porcina V.* 6(15).