

Resultado previo de biodigestor instrumentado para la generación de gas metano generado por la biodegradación de los residuos de la producción de Musáceas en el Departamento del Quindío, para la proyección de energía eléctrica por Biomasa

Preliminary result of instrumented bio digester for the generation of methane gas generated by the biodegradation of the residues of the production of Musaceae in the Department of Quindío, for the projection of electric energy by biomass

Ana María Tamayo Ocampo¹
Julián Alberto Buitrago Giraldo²

Recibido: 03/02/2017 - Aceptado: 02/06/2017

Cómo citar este artículo: [#] A. Tamayo y J. Buitrago. “Resultado previo de biodigestor instrumentado para la generación de gas metano generado por la biodegradación de los residuos de la producción de Musáceas en el Departamento del Quindío, para la proyección de energía eléctrica por Biomasa”, *IngEam*, vol. 4, n.º 1 pp. 21- 32, 2017

Resumen

Este artículo tiene como propósito, mostrar los avances de la implementación de un biodigestor instrumentado según la biodegradación anaeróbica de los residuos y/o desechos de la producción del plátano y banano que se cosecha a diario en el departamento del Quindío especialmente en los municipios de Armenia, Calarcá, Montenegro y La Tebaida, zonas de mayor concentración de áreas cultivadas. Dentro de los criterios a analizar se encuentran la generación diaria estimada de Toneladas de residuos de la cosecha, conocer según la cantidad de materia del residuo del plátano el comportamiento en el tiempo de variables físicas como presión y temperatura en el biodigestión; para proyectar así su producción de gas Metano para el análisis del poder calorífico de este (Kilo-Jules por tonelada), como insumo fundamental para el modelo de generación por Biomasa.

Palabras clave: biomasa, biodigestor, generación, variables físicas, plátano.

Abstract

This article has as a purpose, to show the progress of the implementation of an instrumented bio digester according to the anaerobic biodegradation of waste and/or waste from banana and banana production that is harvested daily in the Department of Quindío especially in the Municipalities of Armenia, Calarcá, Montenegro and La Tebaida, areas of greatest concentration of cultivated areas. Within the criteria to be analyzed are the estimated daily generation of tons of

¹ Ingeniero electrónico. Correo electrónico: atamayo@eam.edu.co

² Ingeniero electrónico. Correo electrónico: jbuitrago@eam.edu.co

crop residues, to know according to the amount of matter of the banana residue the behavior in the time of physical variables as pressure and temperature in the Bio digestion; To project thus, its production of methane gas for the analysis of the calorific power of this (Kilo-Jules per ton), as a fundamental input for the model of generation by biomass.

Key words: Biomass, bio digester, Generation, physical Variables, plantain.

Introducción

El manejo de los residuos sólidos un problema que está tomando enormes proporciones dado el aumento exponencial de la población, por la migración de personas de otras regiones del país, aun siendo más delicado que el Quindío solo cuenta con un relleno sanitario en funcionamiento ubicado en el municipio de Montenegro. Por esta razón y el inmenso potencial que tiene la región dada su vocación agrícola, es muy factible pensar en el diseño e implementación de una planta de generación eléctrica por Biomasa donde se puedan fusionar todos los residuos orgánicos utilizables para este fin, ayudando también a solucionar otro problema que es que el Quindío compra absolutamente toda la energía que se consume. Aunque bien no se pretende suplir toda la demanda eléctrica del departamento, se proyecta iniciar con un pico-central que genere 1MW/hora, la cual ya es una oferta considerable de energía para la Empresa de Energía del Quindío (EDEQ).

Es por ello que este informe de resultados previos de investigación se muestra la caracterizar de la disposición final de los residuos, zonas de mayor producción y peso del vástago del plátano y de esta manera elaborar el biodigestor automatizado, descomposición anaeróbica de los residuos y desechos orgánicos, censando variables físicas como presión y temperatura según el tiempo de exposición en él, para tener al final del proyecto el poder calorífico por tonelada que este produce, análisis bioquímico de caracterización del gas metano, determinando la cantidad de kilo-vatios hora para la turbina a gas apropiada y de esta manera generar electricidad por biomasa. Esta es la primera fase del proceso, ya que se quiere tener diferentes tipos de biomasa, residuos orgánicos urbanos, residuos de podas y otros cultivos aprovechables en el departamento, pero la línea base son las musáceas debido a que es un renglón priorizado en el Quindío, y las áreas sembradas están en crecimiento lo cual da una gran proyección para el proyecto.

Marco teórico

El proceso de generación eléctrica con energías renovables, viene dando pasos agigantados en los últimos 20 años. Lo que antes se veía como un desarrollo proteccionista ambiental, se ha convertido en una necesidad de implementación, dadas las dificultades energéticas que se están presentando en los últimos años. Colombia no es ajena a esta situación, su capital energético depende en aproximadamente un 70% en la generación por centrales hidroeléctricas, las cuales en las épocas de verano sufren fuertemente el problema de la disminución de los niveles de los embalses que las alimentan. La exploración de otros recursos renovables como el sol, el viento, la biomasa entre otros, es tema de desarrollo en este momento en el país, máxime que el gobierno promulgo la ley de 1715 de mayo del 2014 donde se incentiva el uso de este tipo energía.

La energía solar fotovoltaica es una de las de mayor impacto en el país, la implementación de esta ha ido creciendo, el costo ha disminuido gracias a su masificación y acceso a los elementos que componen la instalación. Sin embargo en el departamento del Quindío no existe un proyecto

que impacte realmente la generación a gran escala con este tipo de energía, lo cual puede suceder debido a que desarrollar un parque solar implica utilizar áreas productivas importantes que van a ser subutilizadas porque la ubicación de los paneles acarrea que el terreno bajo el quede inservible para otras actividades productivas. Adicionalmente existe la posibilidad de generación eólica la cual también es un problema para la región debido a que la diversidad de fauna y flora puede verse en riesgo por la implementación de estas turbinas a la altura necesaria. Al explorar las otras posibles formas de generación eléctrica renovable, se pudo determinar que el departamento del Quindío tiene un gran potencial en la Biomasa. Esto se debe a que la región basa gran parte de la economía en la agricultura que es la fuente primaria para la generación de desechos orgánicos con los cuales se puede llevar a cabo este tipo de iniciativas.

Existen diferentes tipos de biomasa. Los cultivos energéticos son uno de ellos, estos son extensiones de tierra que se siembran con algún producto que exclusivamente se va usar para alimentar los generadores eléctricos, a este se le llama biomasa primaria, pero no es muy viable en la región ya que los terrenos tienen otro tipo de vocación respecto a los productos a sembrar. La otra forma de generar biomasa son los residuos de la cosecha de los cultivos que se tienen en el departamento, el cual es el más viable dada a la gran cantidad que se producen de estos, principalmente del plátano y banano que es un cultivo priorizado en el departamento, esto sumado a los desechos de otros cultivos como café, frutales, maíz, frijol etc., pueden componer un gran insumo para el desarrollo de este proyecto. [1]

De allí la importancia de la generación de energía por biomasa, en Colombia se cuenta con 6 proyectos y se ubica en el décimo tercer lugar a nivel mundial y el quinto a nivel de Latinoamérica y el Caribe, a nivel mundial, el 30,28% (2.618) manejan energía eólica, el 26,16% (2.262) corresponden a hidroeléctricas y en el tercer lugar se encuentran los proyectos con una participación menor, que involucran energía por biomasa con un 9,03% (781). [2]

Biodigestión anaeróbica de residuos orgánicos

Los residuos sólidos generados en las plazas de mercado y centros de acopio donde llegan todos los productos locales o de otras regiones, por lo general se manejan y disponen mezclados con el resto de los residuos urbanos, ya sean de cocinas, de restaurantes o el sector industrial, incrementando con ello el problema de contaminación ambiental, a pesar de que aquéllos son una fuente potencial rica en materia orgánica.

Usualmente los residuos sólidos son considerados negativos y periféricos a las actividades de sus generadores y no como una posible fuente de ingresos; por lo general se deshacen de ellos mediante su dispersión o vertimiento en rellenos sanitarios. Un alto porcentaje (70%-80%) de la basura que se desecha en una ciudad está clasificado como orgánico y puede ser utilizada para desarrollar otras actividades que pueden generar recursos económicos y apalancar actividades alternas en las ciudades. [1]

Los biodigestores son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás por medio de la degradación de desechos orgánicos, lo que genera la oportunidad de producir energía limpia, renovable y de bajo costo en el tiempo. La producción de biogás es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en un entorno anaerobio o libre de oxígeno. Dicho proceso lo realizan microorganismos que subsisten con la ausencia de oxígeno como parte del ciclo biológico de la materia orgánica, por lo cual estos son herméticos el cual involucra la fermentación o digestión

de materiales orgánicos para obtener el biogás. El uso de esta tecnología no es nuevo, pero en los últimos años ha cobrado gran interés debido a la actual crisis energética producto del agotamiento de los combustibles fósiles [3].

Además, el aprovechamiento del biogás impulsa la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero como el metano (CH₄), cuyo potencial de calentamiento global es 23 veces mayor que el del dióxido de carbono (CO₂) [4]. En algunos países como Alemania y Francia, el biogás se emplea como combustible para automotores, sin embargo, en Costa Rica y en otros países en vías de desarrollo, el uso del biogás se ha visto limitado al sitio donde se produce, en el cual se puede emplear de forma directa para combustión con fines de cocción e iluminación, o bien se puede utilizar indirectamente, para alimentar motores de combustión interna que generan fuerza motriz o eléctrica [5].

Existen tres tipos de biodigestores, uno de domo fijo, otro de domo flotante y el último es de estructura flexible, los primeros de uso milenario y el último un poco más reciente, es el escogido para desarrollar en este proyecto, con algunas modificaciones. En este digestor el gas se acumula en la parte superior del recipiente, parcialmente llena con Biomasa en fermentación; la caneca se va llenando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma.

Uno de los parámetros que permite estimar la producción de biogás en un biodigestor es la productividad de metano o productividad metanoica, la cual se define como la cantidad de metano generado en la unidad de tiempo con respecto a la materia dispuesta en el reactor. De esta manera, la expresión matemática que permite calcular la productividad de metano de un determinado resto orgánico en un tiempo dado, es la siguiente [3]

$$M_{Max} = \frac{V_{CH_4}}{S_{org_total}}$$

Donde VCH₄ es el volumen de metano generado y Sorgtotal es la cantidad de materia orgánica total utilizada en todo el proceso.

Metodología

La investigación de este trabajo tiene una metodología experimental, se pretende establecer la cantidad de gas metano que se puede producir al biodegradar anaeróbicamente los residuos del plátano y banano, para ello se lleva a cabo el siguiente procedimiento.

Fase uno recolección de información: Durante esta primera fase del proyecto, se diseñó un instrumento para recolectar información sobre la cantidad de plátano y banano que se comercializa diariamente en 5 municipios del departamento.

Se realizó la consulta sobre la cantidad de depósitos de plátano y banano que existen en los municipios a encuestar. Adicionalmente el instrumento pregunta sobre la procedencia del plátano, el tipo de embalaje que se usa para venderlo y la disposición final de los residuos, tales como vástago y cascara.

Se desarrolló el análisis descriptivo de la muestra que se va a tomar de población objetivo y se hizo una prueba para ajustar los elementos del instrumento. Se hicieron visitas a los diferentes

centros de acopio en las plazas de mercado de los municipios de Armenia, Calarcá, Montenegro, La Tebaida y Circasia, donde se aplicará el instrumento y se obtendrá la información. Luego en esta fase se analizaron los diferentes métodos de biodegradación anaeróbica mediante biodigestores, extrayendo el más apropiado para las características del plátano y sus residuos.

Fase dos - implementación del biodigestor: En esta fase se desarrolló un biodigestor instrumentado, censado de variables como temperatura y presión de prueba a pequeña escala en el cual se descomponen los residuos de plátano y banano, para extraer el gas.

Resultados esperados

Producción del plátano en el departamento del Quindío

En el Quindío, el 12.8 por ciento del territorio (24 mil hectáreas) está ocupado por cafetales, ya sea en plena exposición, con semisombra o sombra. Por su parte, el 6.5 por ciento está ocupado por el plátano (12,5 mil hectáreas), lo que lo convierte en la segunda cobertura de cultivos más predominante en el departamento, los campesinos y agricultores mezclan estos dos productos en sus cultivos para percibir más ingresos. Al plátano le sigue el cultivo de banano, que se da en el 0,7 por ciento del departamento (1,340 hectáreas). En menor proporción están cultivos permanentes arbóreos como la naranja, el limón y la mandarina.

En el documento llamado “Evaluaciones agropecuarias municipales”, se presenta un informe sobre la producción agro del departamento allí resaltan que el cultivo de plátano, continua siendo por tradición uno de los principales generadores de ingresos en los campesinos y en la generación de empleo en el sector rural; para el año 2014 se presentó un área de 24.508 Has, la cual se incrementó en el año 2015, donde se reportó un valor de 26.310 Has, de las aproximadamente el 50% de esta área corresponde a plátano asociado con café y otros cultivos de pan coger.

Los cultivos de mayor representatividad en el departamento del Quindío, en cuanto a mayor área sembrada, como a su importancia económica y generación de empleo a nivel rural, son los cultivos de café con un área sembrada de 27094.7 Has; plátano con 26310 Has; críticos 7232.8 Has; Aguacate con 2578.3 Has; banano 2021,6 Has y el cultivo de piña con 1267 Has, ver Anexo[6].

Información recolectada sobre la cantidad de plátano y banano

Esta herramienta se utilizó para determinar si existe y que hacen con los residuos, además de estimar el peso en promedio del vástago del plátano; los datos recolectados se realizaron con ayuda de dos auxiliares aplicando siguiente instrumento:

Lugar:

1. Cuantos racimos de Plátano reciben o vende diarios en Kg.
2. Zona o municipio del Proveedor del plátano.
3. Como vende el plátano
 - a. Racimo
 - b. Canastilla
 - c. Bolsa.

Si en la pregunta anterior contesto b o c responda:

4. Que uso le da al vástago.
5. conoce algún centro donde almacenen ese vástago.

Además de manera experimental en cada lugar encuestado se procedió a pesar el vástago y racimos. Este instrumentos se aplicó a los siguientes lugares:

- Armenia
- Fincas
- Mercar
- Chispero.
- Montenegro.
- Circasia.
- Calarcá.
- Pueblo Tapado.
- Caicedonia.
- La tebaida.
- Pijao.
- Génova

Tabla 1. Relación de las encuestas aplicadas.

Lugar	Cantidad
Fincas (Armenia)	14
Mercar (Armenia)	4
Chispero (Armenia)	10
Montenegro	5
Circasia.	7
Calarcá	2
Pueblo Tapado.	2
Caicedonia	2
La tebaida	1
Pijao	1
Génova	1
Total	49

Encontrando lo siguientes:

- Pregunta 1 ¿Cuántos racimos de Plátano reciben diarios en Kg?, se tiene lo siguiente:

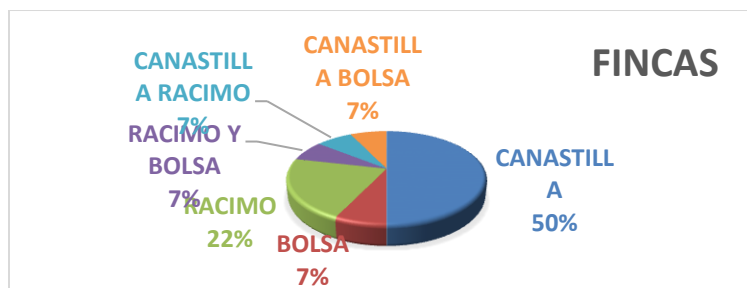


Gráfico 1. Armenia-Fincas

Los resultados obtenidos gráfical, indican que el residuo que se genera al vender el plátano es grade, ya que la forma de proveer el producto es en canastilla contribuye con el 50% de las fincas encuestadas, la segunda forma de venta es en racimo 22 % y por último se tiene que las formas combinadas como canastilla bolsa, canastilla racimo, bolsa y racimo bolsa, representan cada una el 7 %.

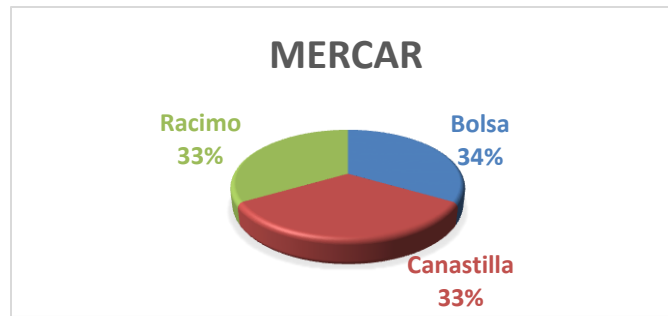


Gráfico 2. Armenia-Mercar

En la gráfica 2, se demuestra que en mercar se tiene una relación muy cercana entre las tres formas de vender el plátano ya que el porcentaje más alto se encuentra en la venta por medio de bolsa con 34%, seguidos de las ventas en forma de racimo y canastilla con un porcentaje de 33% cada uno.



Gráfico 3. Armenia-Chispero

En la Gráfica 3 se muestra que el 50% de los establecimientos encuestados vende el plátano en bolsa, seguido de la modalidad combinada de canastilla bolsa y racimo, canastilla, bolsa, presentando porcentajes del 30 y 20 respectivamente

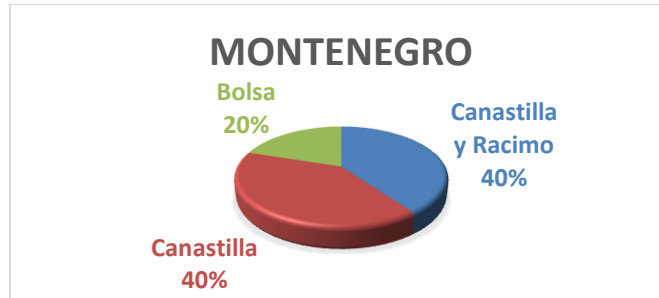


Gráfico 4. Montenegro

La gráfica 4, indica que las ventas en canastilla y canastilla racimo tiene el 40% cada una y las ventas en bolsa un 20%

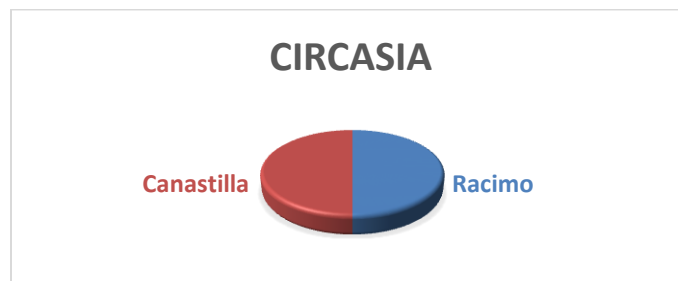


Gráfico 5. Circasia

En la gráfica 5 se muestra que las ventas en canastilla y racimo son proporcionales y comparten el 50%, es decir se produce la mitad residuos

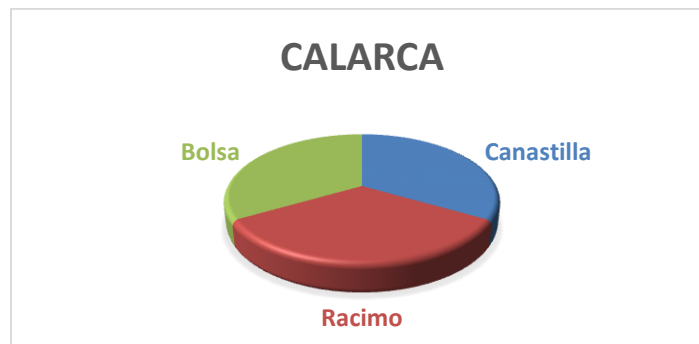


Gráfico 6. Calarcá

Gráfica 6, allí ocurre algo parecido que en la anterior, lo que cambia es que las tres modalidades de venta están en el mismo rango 33,33%.

Vástago y Racimo

Adicionalmente se realizaron la recolección sobre el peso del racimo y vástago del plátano, en mercar encontrando lo siguientes datos, tabla 2.

Tabla 2. Información Adicional

Peso promedio del vástago:	1.5 kg
Peso promedio del racimo:	25 kg
Días de comercio del plátano en mercar:	Lunes, miércoles y viernes

En la tabla 2, se puede observar que en promedio el peso del vástago es de 1.5 Kg, para el racimo se tiene un promedio de 25 Kg y los días de mayor flujo de venta en mercar son los lunes, miércoles y viernes.

Construcción del Biodigestor

Como se planteó líneas atrás, por las condiciones donde se ubica y la dinámica del proyecto, este biodigestor se construyó de forma flexible. Para esto se usaron tres canecas plásticas, dos de 150 litros y una de 60 Litros. Una de las de mayor capacidad se usa como depósito de residuos y la otra como depósito principal de gas, en la cual se puede obtener una presión máxima de 60 PSI, para que pase a la siguiente caneca que tiene 60 Litros de capacidad. Entre ambos depósitos de gas se instaló un manómetro de gel para controlar manualmente el paso de gas y la presión dentro de las canecas. Cada una tiene una válvula de alivio la cual permite que en el momento que se exceda la capacidad este pueda liberar el gas sobrante, tal como se usa en las ollas a presión, siendo este una medida de seguridad por el sitio donde está alojado el biodigestor. En las figuras se puede ver el montaje del biodigestor.



Figura 1. Montaje del Biodigestor

Acondicionamiento.

Presión

Para la variable presión se empleó el sensor MPX5010 más la adquisición de un Arduino Mega, para su implementación, El sensor de presión mide la diferencia de presión entre sus dos terminales superiores de entrada; su voltaje de salida diferencial es directamente proporcional a esta presión. Después de ello se debe realizar una ecuación donde se tiene encuentra la presión offset para restarlo al valor leído y de esta manera proyectar la medida. La señal de salida se conectara a una entrada análoga del Arduino. Después de ello se hace la caracterización del sensor que consta en comprobar el comportamiento según el datasheet de fabricación, tomando la salida el pin donde se conectará al arduino.

Temperatura

Allí se implementó el sistema con un sensor RTD ya que tiene una alta linealidad en todo su rango de trabajo y su estabilidad con el pasar del tiempo para la transmisión de la información se utilizó un Transmisor PT100 a 4 -20 mA ya que soluciona inconvenientes de la resistencia resultante cuando la distancia requiere de largos cables de la conexión, la cual pueden disminuir el voltajes y de esta manera afectar considerablemente la medida de temperatura. Este transmisor convierte las señales del sensor de temperatura, en señales de corriente, que van en el rango de 4 a 20 miliamperios. Al ser ya una señal de corriente, esta puede enviarse por cables de gran longitud, sin que la resistencia de estos afecte la señal.

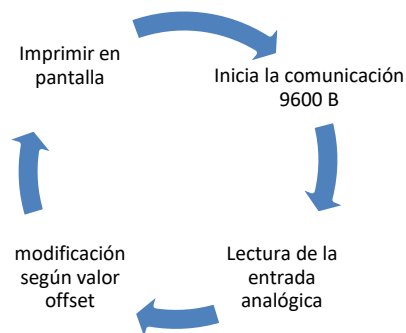


Figura 2. Algoritmo para presión y temperatura

Conclusiones y discusión

1. El instrumento que se aplicó en forma de encuesta se diseñó y se implementó con el fin de caracterizar la disposición final de los residuos y el peso del vástago del plátano; no se realizó un análisis de inferencia puesto que esta debe estar en relación con el objeto de estudio del proyecto de investigación, el cual es conocer el poder calorífico y la cantidad de toneladas para ello, por lo cual solo se llevará acabo cuando se realice el biodigestor y se extraiga la relación de poder calorífico vs toneladas de residuos.

2. En algunos casos solo se tiene un instrumento aplicado al municipio, es decir falta la aplicación de más lugares a encuestar, esto se debe a que en ocasiones se hace engorroso la recolección de datos debido a factores de miedo, tendencia de los establecimiento de venta de que los datos pueden ser filtrados a alguna autoridad ambiental y estas pueden proceder a sancionar, poner infracciones, o iniciar a algún proceso penal por mal uso de residuos; por otro lado, de más de creer que esta información es para la competencia.
3. Se tiene poca homogeneidad en los datos, esto debido a que en la producción y venta existen sitios de gran producción, otros de pequeña, establecimientos comerciales grandes hasta las revuelterías elites y de barrio.
4. Por otro lado, de la tabla dos se puede justificar el caso cuando una finca vende plátano a un establecimiento público el cliente le descuenta un 1Kg al peso total del racimo y sobre este valor se realiza la liquidación.
5. Se puede observar que se cuenta con producción de residuos de plátano en grandes proporciones, debido a su comercialización, en canastilla o bolsa, los cuales son recolectados por camiones de basura común, sin separación en la fuente, exponiendo la falencia de un sistema o medio de recolección establecido para ellos; abriendo la posibilidad de recolectar estos residuo y hacer uso eficiente de ello, como abono, estudio para la generación de energía por descomposición anaeróbica, entre otros.
6. El biodigestor flexible da la facilidad de ubicarlo en cualquier sitio y de transportarlo con sencillez, para hacer las pruebas necesarias, aunque al hacer la descomposición se debe tener en cuenta el volumen de materia orgánica que se puede depositar para generar el gas suficiente y hacer la relación tonelada por litro de gas producido.
7. En esta etapa del proyecto se procedió a la construcción del biodigestor de canecas en serie, con un residuo de plátano de 20 kg, con la tubería de transporte del biogás, válvula de alivio para seguridad, manómetro y censado de variables físicas como temperatura y presión; iniciando su proceso el día 7 de diciembre del 2017. En este momento se encuentra en el proceso de producción del biogás, aproximadamente se tiene estimado su producción entre marzo y abril del 2108, con el fin de determinar la eficiencia de este sistema y realizar las pruebas de laboratorio pertinentes a parámetros fisicoquímicos de la mezcla.
8. Para las pruebas de laboratorio se comprueba la existencia de biogás evaluando variables Físico-Químicas como los Sólidos Suspendidos Volátiles que indican la eficiencia en el proceso de biodigestión, concentración de biogás, microorganismos en el ambiente anaeróbico y la actividad metanogénica. Todos estos parámetros dependen del sustrato digerido, condiciones de operación y del tipo de tecnología utilizada, encontrando parámetros como: metano CH₄, dióxido de carbono CO₂, dihidrogeno H₂, ácido sulfhídrico (H₂S), y otros gases
9. Se espera que el gas metano generado por la biodegradación del plátano, tenga un poder considerable ya que según la literatura los gases producidos por biomasa tiene un poder calorífico mayor que la del gas natural.

Referencias bibliográficas

- [1] O. Buenrostro, S. Cram, G. Bernache, and G. Bocco, “La Digestión Anaerobia Como Alternativa De Tratamiento a Los Residuos Sólidos Generados En Los Mercados Municipales,” *Int. Contam. Ambient.*, vol. 16, no. 1, pp. 19–26, 2000.
- [2] C. A. Vergara Tamayo and D. C. Ortiz Motta, “Contribución al desarrollo sostenible local de los proyectos MDL en el sector de generación eléctrica por biomasa: caso INCAUCA S.A.,” *Rev. Fac. Ciencias Económicas*, vol. 24, no. 2, pp. 161–182, 2016.
- [3] J. A. Villanueva Hernández, H. A. Nájera Aguilar, J. M. Gómez Ramos, T. G. Hernández Lárraga, and A. F. Velasco Ortiz, “Generación, caracterización y uso del biogás, producto de la digestión anaerobia de las excretas de ganado bovino,” *Lacandoni*, vol. 5, no. 2, pp. 149–158, 2011.
- [4] R. Lesme *et al.*, “Evaluación Teórico Experimental De Un Sistema Avanzado Gasificador De Biomasa / Motor Reciprocante Para La Generación De Electricidad Parte 1,” *Tecnol. Química*, vol. XXXI, no. 3, pp. 23–30, 2011.
- [5] J. L. Oviedo Salazar, M. Badii, A. Guillen, and O. Lugo Serrato, “Historia y Uso de Energías Renovables History and Use of Renewable Energies,” *Int. J. Good Conscienc.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–18, 2015.
- [6] G. Firme, “Informe Agropecuario Años 2014 -2015 Diciembre De 2015.” pp. 1–111.