

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS, A PARTIR DE UN BIODIGESTOR UTILIZANDO RESIDUOS ORGÁNICOS Y AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LA CENTRAL DE ABASTOS DE VALLEDUPAR - CESAR

Ingris Johanna Morales Miranda¹, María Alejandra Vega Ochoa², Angelica Patricia Vanegas Padilla³, Eberto Rafael Ortega Sinning⁴ Diana Lucía Vanegas Padilla⁵

¹Ingeniera Ambiental y Sanitaria Valledupar, Colombia. Contacto: ingris.11@hotmail.com

²Ingeniero Ambiental y Sanitario Valledupar, Colombia. Contacto: gemevega@hotmail.com

³Ingeniera Ambiental y Sanitaria, Esp. Gestión Ambiental. Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Contacto: angelicavanegas@unicesar.edu.co. <https://orcid.org/0000-0001-5087-6172>

⁴Ingeniero Civil, Magíster en Geotecnia. Esp. En Vías y transporte, Msc. Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Esp. Análisis y Diseño de Estructuras, Esp. Diseño y Construcción de Pavimentos. Docente de la Universidad Popular del Cesar. Valledupar, Colombia. Contacto: ebertoortega@unicesar.edu.co.

⁵Microbióloga, Esp. En Pedagogía ambiental. Contacto: dianavanegas1691@hotmail.com

RESÚMEN

El presente artículo evaluó la producción de metano a partir de un biodigestor, con una capacidad de trabajo de 48 litros, tiempo de residencia de 40 días y altura útil de 49,6 cm. El biodigestor fue alimentado con residuos orgánicos y agua residual, con previa caracterización fisicoquímica. La mezcla del biodigestor, se neutralizó con una solución de CaO al 5% para aumentar el pH de 4 a 7,2. La producción de gas metano, se efectuó desde el día 9 obteniéndose un desplazamiento máximo de 200 ml al día 14. La producción total de metano fue de 0,802 L, medido por desplazamiento o botella de mariotte con contenido de solución de NaOH al 3%, con el fin de eliminar el CO₂. Se estimó una correlación de Pearson entre la producción de metano (CH₄) y el pH, obteniéndose una correlación de 0,96, lo que indica una correlación fuerte positiva entre las variables.

Palabras clave: Biodigestor, metano, residuos orgánicos, metanogénesis.

Recibido: 12 de diciembre de 2022. Aceptado: 13 de febrero de 2023

Received: December 12, 2022. Accepted: February 13, 2023



EVALUATION OF THE PRODUCTION OF BIOGAS, FROM A BIODIGESTOR USING ORGANIC WASTE AND RESIDUAL WATERS GENERATED IN THE VALLEDUPAR SUPPLY CENTER

ABSTRACT

In this article, methane production was evaluated from a biodigester, with a working capacity of 48 liters, residence time of 40 days and useful height of 49.6 cm. The biodigester was fed with organic waste and wastewater, with previous physical and physicochemical characterization, respectively. The biodigester mixture was neutralized with a 5% CaO solution to increase the pH from 4 to 7.2. Methane gas production was carried out from day 9 obtaining a maximum displacement of 200 ml per day 14. Total, methane production was 0.802 L, measured by displacement or mariotte bottle containing 3% NaOH solution content, in order to remove CO₂. A Pearson correlation between methane production (CH₄) and pH was estimated, obtaining a correlation of 0.96, indicating a strong positive correlation between the variables.

Keywords: *Biodigester, methane, organic waste, methanogenesis.*

Cómo citar este artículo: Miranda, I.J.M., Ochoa, M.A.V., Padilla, A.P.V., Sinning, E.R.O., & Padilla, D.L.V. (2023). "Evaluación de la producción de biogas, a partir de un biodigestor utilizando residuos orgánicos y aguas residuales generadas en la central de abastos de Valledupar," *Revista Politécnica*, 19(37), 09-19. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v19n37a1>

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la demanda energética global es satisfecha principalmente por combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), estas fuentes de energía generan contaminación atmosférica en niveles importantes, y en un futuro están propensas a desaparecer. Múltiples desarrollos tecnológicos e investigaciones desarrolladas, han conducido a una tendencia mundial en la utilización de energías alternativas [2].

Los residuos orgánicos son un factor muy importante, porque a partir de varios procesos llegan a disminuir los impactos ambientales y económicos generados por el hombre, reduciendo los niveles de contaminación de residuos orgánicos y aprovechando el metano como fuente de energía alternativa; ya que este gas es precursor del calentamiento global. El aumento en la generación de residuos orgánicos está asociado con el crecimiento poblacional y la calidad de vida en los asentamientos urbanos, lo cual ha llevado a la aplicación de tecnologías apropiadas para la disposición final de residuos orgánicos, que permitan una reducción racional de los impactos producidos por los residuos, sin afectar el ambiente y la salud pública.

Algunos aportes realizados asociados al aprovechamiento de residuos orgánicos en la producción de metano, tal y como lo expone textualmente Rodríguez, 2014 [3]. "*Este proyecto presenta tecnologías empleadas mundialmente para la gestión de los residuos sólidos urbanos y la fracción orgánica, haciendo uso de procesos termoquímicos, biológicos, bioquímicos y físicos, para la cogeneración de energía térmica con: incineración en parilla, lecho fluidizado, circulante, horno rotativo, y otro sistema como la fermentación. Así mismo, se expone como la FORSU puede ser degradada por métodos aeróbicos o anaeróbicos como el compostaje*".

A menudo, los sistemas anaerobios para descomponer residuos orgánicos de origen vegetal, empleando biodigestores requieren evaluar parámetros fisicoquímicos y biológicos [2]. En este orden de ideas se llevó a cabo la evaluación de variables como: la temperatura, la humedad, el pH, tiempo de retención, entre otras, que influyen directamente en la producción del biogás. También, se realizó un diagnóstico y acondicionamiento de los digestores disponibles a escala piloto en instalaciones de la central de abastos.

2. MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio: La investigación se situó en la ciudad de Valledupar - Colombia sin contemplar veredas, corregimientos y/o área metropolitana, específicamente en la zona de MERCABASTOS, la cual se encuentra ubicada en el costado Norte de la vía, que de Valledupar conduce al municipio de Bosconia - Cesar, aproximadamente a 500 metros del obelisco a la vía nacional. La línea de investigación a la cual está sujeta la investigación es: Tratamiento de residuos sólidos y líquidos. El desarrollo metodológico, se efectuó en cinco (5) etapas de la siguiente manera:

Etapa N°1: Caracterización de los residuos

Para caracterizar los residuos orgánicos, primero se determinó la producción de residuos orgánicos y a su vez, la caracterización física de los residuos. Para la caracterización de los residuos orgánicos, se clasificaron los residuos en frutas y verduras para determinar la composición nutricional de cada residuo orgánico. La

composición y propiedades físicas de los residuos orgánicos que utilizamos, son las siguientes y están en base al aporte nutricional por cada 100g de porción comestible.

a. Determinación de la producción de los residuos orgánicos

Para determinar la producción de los residuos orgánicos, se tomó la muestra calculada para realizar la recolección durante un día, estos residuos se recolectaron en bolsas y se pesaron para determinar la cantidad de residuos generados en cada bloque. Se tomó un espacio libre, justamente el punto de recolección de las bolsas hasta obtener la cantidad necesaria de residuos para la producción del biogás.

b. Caracterización física de los residuos orgánicos

Para determinar la composición física de los residuos sólidos, se utilizó la metodología de cuarteo y se realizaron las siguientes tareas: Luego de conseguir la cantidad de residuos sólidos producidos en MERCABASTOS, se trasladaron las bolsas a un sitio adecuado, dichas bolsas se rasgaron, se vaciaron y se mezclaron, con el fin de conseguir una mezcla homogénea. Teniendo en cuenta que el tamaño de las partículas no superara la medida de 15 cm por 15 cm o menos; seguidamente se efectuó el cuarteo que tuvo como función dividir la muestra en cuatro (4) partes iguales, de las cuales se escogieron dos opuestas para formar otra muestra representativa. La muestra menor se volvió a mezclar y se dividió nuevamente en cuatro partes, por último, se escogieron dos opuestas y se formó otra muestra. Esta operación, se repitió hasta obtener una muestra con un valor aproximado de 16 Kg. Para finalizar, se clasificaron los residuos sólidos de acuerdo al tipo y origen.

c. Densidad de los residuos orgánicos recolectados

Densidad de residuos sin compactar: Se determinó el peso volumétrico de los residuos, luego de ser eliminados en el cuarteo, se depositaron en el contenedor hasta que éste se llenó. Posteriormente, el recipiente fue golpeado contra el suelo tres veces desde una altura no superior a los 10 centímetros. Nuevamente se vertieron los residuos al contenedor hasta llenarlo, evitando hacer presión para no alterar el valor del peso volumétrico; cuando no se llenaba el recipiente con los residuos, se anotaba el volumen alcanzado en el contenedor.

Densidad de residuos compactada: Se determinó el peso volumétrico de los residuos. Los residuos eliminados en el cuarteo se depositaron en el contenedor hasta que éste se llenó. Posteriormente, el recipiente fue golpeado contra el suelo tres veces desde una altura no superior a los 10 centímetros. Nuevamente se vertieron los residuos al contenedor hasta llenarlo, haciendo presión para compactar los residuos hasta llenar el recipiente. Una vez que el contenedor estuvo listo para pesarse, se colocó en una balanza electrónica y se anotó su valor en peso.

Etapa N°2: Caracterización fisicoquímica del agua residual

Para la caracterización del agua residual, primero se determinó el punto de la caja de registro donde llegaron todas las aguas residuales de la central de abastos MERCABASTOS, luego se tomó la cantidad de agua necesaria para determinar los parámetros químicos (DQO, DBO y SST), posterior a la toma del agua residual se refrigeró la muestra durante 24 h.

Etapa N°3: Construcción del biodigestor

Para el diseño se construyó un biodigestor hermético a escala piloto para la evaluación del aprovechamiento de la producción de biogás. Simultáneamente, su procedimiento comenzó en cuantificar los residuos orgánicos para luego ser llevado al biodigestor anaerobio, donde al ser mezclados con el agua residual institucional después fueron transportados de la cámara de entrada hacia el reactor; luego comenzó su actividad

autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradaron la materia orgánica y se desarrollaron en forma interactiva, comenzando una fase de separación biológicamente activa en el reactor.

Técnicamente, este tipo de reactor reside en un dispositivo situado en la parte superior del mismo, el que permitió separar internamente la biomasa, el efluente tratado y el biogás. El gas que provino del Biodigestor se almacenó en un depósito muy simple y seguro. Aquí el gas quedó almacenado entre el agua y el contenedor. Fue importante la existencia de agua ya que cumplió varias funciones, la más importante fue la de permitir escapar el gas cuando estuviera en exceso y también permitió la salida del oxígeno.

Etapa N°4: Cantidad de biogás producido

Esta composición fue un aspecto importante a considerar al momento de seleccionar los residuos para su aprovechamiento mediante un proceso determinado, en este caso digestión anaerobia. Por lo tanto, las principales propiedades que se tuvieron en cuenta fueron la humedad, el pH, y la temperatura, ya que el proceso de conversión energética de la biomasa se vio afectado por estas variables [1].

Etapa N°5: Análisis de los parámetros fisicoquímicos

Se realizó un análisis estadístico entre la relación directa del gas metano (CH₄) y el PH. Así mismo, se analizaron los resultados obtenidos de DQO, SST, DBO₅ y la relación de esos valores con literatura científica.

3. RESULTADOS

Etapa N°1: Caracterización de los residuos

El objetivo de la caracterización fue realizar un estudio que permitiera identificar las principales características (componentes, propiedades y producciones) de los residuos sólidos para poder definir, planificar y/o implementar mejoras y acciones de los sistemas de manejo de residuos sólidos [8].

Los residuos orgánicos se tomaron por los bloques en donde estuvieron ubicados los locales (Perecedero I, Perecedero II y Grana y abarrotes II). De acuerdo a las muestras tomadas de los residuos en cada bloque se obtuvieron los siguientes resultados:

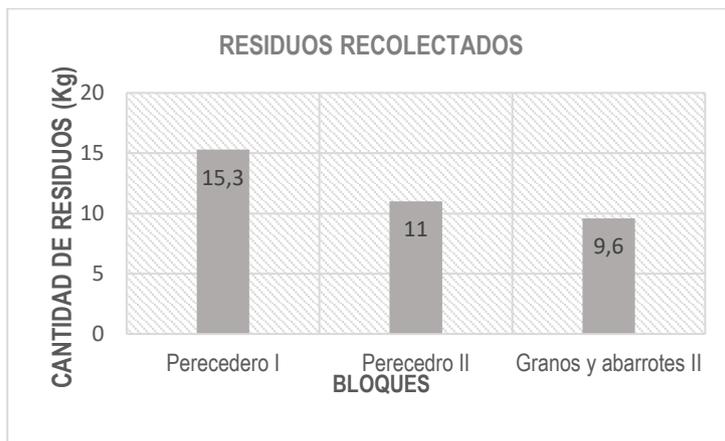


Fig 1. Cantidad de residuos recolectados

El bloque que corresponde a perecedero 1 es el bloque más grande, ya que posee el mayor número de locales dedicados a la comercialización de frutas y verduras. De esta manera, el bloque de perecederos 1, se convierte en el de mayor producción de residuos orgánicos de la central de abastos. Así se muestra en la Fig 1. Cantidad de residuos recolectados, que correspondió a la cantidad de residuos recolectados en kg, por cada bloque

respectivamente. Los residuos recolectados principalmente, a restos de verduras y frutas tales como: tomate, pimentón, cebollín, guayaba, entre otros.

a. Densidad de los residuos orgánicos recolectados

Para estimar la densidad de los residuos orgánicos recolectados, se usó la siguiente expresión:

$$\delta = \frac{m (kg)}{vol (m^3)} \quad (1)$$

Donde:

$$m = \text{Masa de residuos (Kg)}$$

$$\forall = \text{Volumen ocupado por los residuos (m}^3\text{)}$$

$$\delta = \text{Densidad de residuos Kg/m}^3$$

Tabla 1. Densidad de residuos sin compactar y compactados

Densidad de residuos	Unidad (Kg/m ³)
Densidad de residuos sin compactar	562,96
Densidad de residuos compactada	733,33

Los cálculos muestran que la densidad de residuos compactados es cerca de un 23% mayor que la densidad de residuos sin compactar, ya que la compactación disminuyó los espacios o vacíos de los residuos en el contenedor, admitiendo mayor cantidad de residuos.

b. Humedad de los residuos orgánicos recolectados

Usando el método empírico denominado la prueba de puño, se observó como resultado al realizarla, un hilo de agua continuo del material. Se comprobó que la humedad con la que se trabajó es >40%, lo que quiere decir que con la humedad que se trabajó es esencial para realizar la actividad biológica.



Etapa N°2: Caracterización fisicoquímica del agua residual

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos del agua residual

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	UNIDADES	VALOR EN EL AFLUENTE O ENTRADA	VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES SEGÚN RESOLUCIÓN 0631 DE 2015	OBSERVACIÓN
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	960	180	No Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	105	90	No cumple
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	100	90	No cumple
PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	UNIDADES	VALOR EN EL AFLUENTE O ENTRADA	VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES SEGÚN RESOLUCIÓN 0631 DE 2015	OBSERVACIÓN
pH	Unidades de pH	7,2	5,00 a 9,00	Cumple

La tabla muestra los valores obtenidos en la caracterización de los parámetros DQO, DBO5, sólidos suspendidos totales y pH. Estos parámetros fueron comparados con los de la resolución 0631 de 2015. Notamos que ningún parámetro cumplió con los valores máximos permisibles según la resolución, a excepción del pH que se encuentra dentro del rango 5 a 9.

Etapa N°3: Construcción del biodigestor

Tabla 3. Consideraciones de diseño del biodigestor

Características	Valor	Unidad
Volumen total	60	Litros
Altura total	62	cm

Volumen útil

$$V(\text{útil}) = V(\text{total}) * 80\%$$

Donde:

$V(\text{útil})$ = Volumen útil

$V(\text{total})$ = Volumen total

$$V(\text{útil}) = 60\text{lit} * 0,8 = 48\text{lit}$$

Ahora se estima la carga diaria CD;

$$CD = \frac{Vol(\acute{u}til)}{TRH}$$

Donde:

CD= Carga diaria

Vútil=Volumen útil

TRH= Tiempo de retención hidráulico

$$CD = \frac{48 \text{ litros}}{40 \text{ días}} = 1,2 \text{ litros/día}$$

El biodigestor se operó con una relación 1:2

Etapas N°4: Cantidad de gas producido

La cantidad de metano producido, se midió por desplazamiento de solución de NaOH de concentración al 3%. El método utilizado es la botella de mariotte, la cual contiene la solución de NaOH por el cual pasa el gas, capturando el CO₂ y convirtiéndolo en carbonato. El metano pasa a través de la solución y el volumen equivalente de metano almacenado, es expulsado de la botella.

Se estimó la concentración al 3% de NaOH así:

$$\%P/V = \frac{gr \text{ soluto}}{1000 \text{ ml solución}} \times 100$$

Se calculó la cantidad de NaOH (soluto), por cada 1000 ml de solución:

$$gr \text{ soluto (NaOH)} = \frac{3 \frac{gr}{ml} * 1000ml}{100} = 30gr \text{ NaOH}$$

Se puede calcular el volumen de metano producido, cuando se requiere reemplazar la solución alcalina, así:



$$[Vol\ min * Conc\ NaOH] * \frac{0,7}{2,0} = Vol\ CH4\ (1)$$

Donde:

Vol min = El mínimo tolerado de solución alcalina dentro de la botella de Mariotte. (ml)

Conc NaOH = La concentración de NaOH de la solución alcalina, cuando se preparó. (g/ml)

Vol CH4 = Volumen de metano medido en la botella de Mariotte, cuando es tiempo de reemplazar la solución alcalina.

Reemplazando valores y calculando para la primera botella de solución de NaOH:

$$\left[0,41L * 3 \frac{gr}{L}\right] * \frac{0,7}{2,0} = 0,43L\ de\ CH4$$

Reemplazando valores y calculando para la segunda botella de solución de NaOH. El biodigestor obtuvo una producción de 0,802 Litros de gas metano durante su operación

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

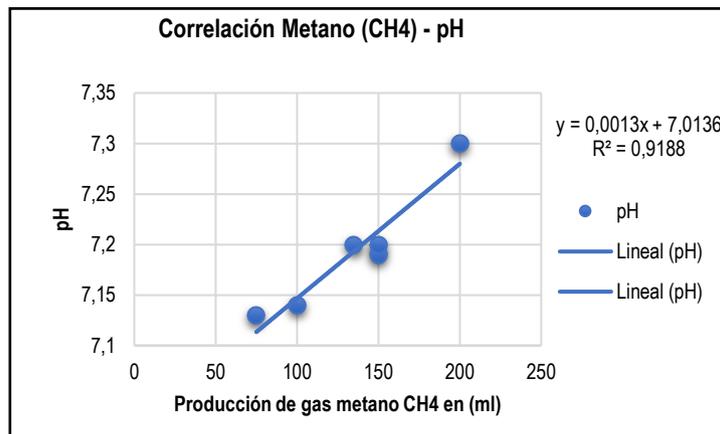


Figura 2. Correlación entre la producción de metano y pH

Los resultados presentados en la figura 2, evidencian una correlación directa entre la producción de metano (CH4) y el pH. Los resultados, arrojaron una *correlación de Pearson (r)* de 0,96; lo que indica una correlación fuerte positiva, ya que el valor de r es mayor a cero: $r > 0$; es decir $0,96 > 0$. Esto indica que la dependencia de las dos variables es directamente proporcional.

Lo que significa que a medida que el pH se mantiene en un rango neutro, existe una máxima producción de metano (CH₄). Así mismo, cuando el pH disminuye, la producción de gas cae.

De acuerdo a los criterios de selección para el control del seguimiento del monitoreo de pH, se tomaron 4 mediciones durante 1 mes, una por semana, durante el tiempo estipulado no se presentó ningún cambio en el indicador de pH.

El seguimiento a la temperatura, se realizó por treinta días, de donde se tomaron 4 mediciones, tomando una por semana. Durante todo este tiempo, la temperatura no varió, se mantuvo a temperatura ambiente sin presentar ningún cambio.

La demanda química de oxígeno (DQO), arrojó un valor de 960 mg O₂/L; los sólidos suspendidos totales, arrojó un valor de 100mg/L y la DBO₅, un valor de 105 mg O₂/L. Al comparar estos valores con la Tabla 3, se notó que la DQO del efluente utilizado, es de una concentración alta. El resultado de la prueba para sólidos suspendidos totales, demuestra que el agua residual posee una concentración baja.

Para el caso de la DBO₅, el valor obtenido, comparándolo con los valores de la tabla, se observó que este parámetro es de una concentración baja en el efluente utilizado para el montaje del biodigestor.

Tabla 3. Composición química de un agua residual doméstica

PARÁMETRO	ALTA	MEDIA	BAJA
DQO (mgO ₂ /L)	1000	500	250
SST (mg/L)	350	220	100
DBO ₅ (mg/L)	400	220	110

Fuente: Metcalf-Eddy, 1991

5. CONCLUSIONES

Se construyó un biodigestor para la obtención de metano (CH₄), a partir de residuos orgánicos de fruta y verdura de la central de abastos de Valledupar (MERCABASTOS), con una capacidad de 60 L, una altura total de 62cm y una altura útil de 49,6cm.

El biodigestor fue alimentado durante 40 días, con una carga diaria (CD) de 1,2 L/día, a una relación 1:2. El biodigestor se sometió a un periodo de adaptación de 7 días, en el que se esperó que los microorganismos se aclimataran. Inicialmente, durante el periodo de adaptación, se tomaron lecturas de pH y temperatura. El pH mostró un comportamiento ácido durante esta etapa, con lecturas de 4. Para neutralizar el pH y permitir que la actividad metanogénica se efectuara, se agregó una solución de CaO al 5%.

Las aguas residuales se caracterizaron con el fin de obtener una relación de metano producido en función de la materia orgánica descompuesta. Los resultados obtenidos de DQO, SST y DBO₅ fueron de 960 mg O₂/L, 100 mg O₂/L y 105 mg O₂/L, respectivamente. Los residuos sólidos usados en la alimentación diaria del biodigestor, fueron tomados del bloque de perecederos 1, estos residuos son principalmente de tomate, pimentón, cebollín, guayaba, entre otros.

La producción de gas metano, se efectuó desde el día 9 obteniéndose un desplazamiento máximo de 200 ml al día 14. La producción total de metano fue de 0,802 L, medido por desplazamiento o botella de mariotte con contenido de solución de NaOH al 3%, con el fin de eliminar el CO₂ producido en la descomposición de la materia orgánica.

Se estimó una correlación de Pearson entre la producción de metano (CH₄) y el pH, obteniéndose una correlación de 0,96, lo que indica una correlación fuerte positiva entre las variables, indicando que hay una relación directamente proporcional entre las mismas.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A la Empresa VYO INGENIERÍA SAS, por prestar el apoyo y la ayuda necesaria para la realización de este proyecto, por su dedicación y esfuerzo; ella supo cómo guiarnos en tan arduo trabajo, por eso, se expresa gratitud, éxito y el mayor de los augurios en su trayectoria técnica en la región.

A la UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR, por la formación académica en el proceso del pregrado, por la disponibilidad de infraestructura física, equipos y demás elementos necesarios para realizar el proyecto.

A la empresa CENTRAL DE ABASTOS MERCABASTO de la ciudad de Valledupar, la cual, fue fundamental para poder ejecutar el proyecto, por la apertura de las puertas en la empresa y la disposición prestada.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Escalante, H., Orduz, J., Zapata, H., Cardona, M. C., & Duarte, M. (2010). Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Obtenido de <https://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1058>

[2] García, A. M., & Gómez, J. D. (2016). EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS VEGETALES OBTENIDOS EN LA CENTRAL DE ABASTOS DE BOGOTÁ MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA. Obtenido de Repositorio fundación Universidad de América: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/667/1/6112733-2016-2-IQ.pdf>

[3] Rodríguez, L. A. (2014). VIABILIDAD TÉCNICA PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS-FORSU. Bogotá.

[4] Guerrero Fajardo, Carlos Alberto. (2014). Alternativa ambiental en el manejo de residuos para su uso como energético sustentable. España: academia española.

[5] Hernández Daniela, Zabaleta Rafael. (2016). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en la central de abastos Valledupar MERCABASTOS utilizando el proceso de compostaje. Valledupar.

[6] Hernández Evelyn, T. C. (2012). Estudio sobre potencial de desarrollo de iniciativas de biogás a nivel productivo en honduras. Honduras.

[7] Jaramillo Henao, Gladys y zapata Martínez, Liliana maría. (2008). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia.

[8] Manzanilla López, R. Y. (2014). Aspectos biológicos de la estabilización aeróbica II. España: mundo prensa libros.

