

Metodología para la determinación del potencial energético de los residuos sólidos generados en la plaza de mercado de la ciudad de Fusagasugá

Methodology for determining the energy potential of solid waste generated in the market square of the city of Fusagasugá

Metodologia para determinação do potencial energético de resíduos sólidos gerado na praça do mercado da cidade de Fusagasugá

Recibido: 24 de noviembre de 2020

Aceptado: 02 de junio de 2021

Andrés F. Guerrero-Guerrero^{1*},
Ing. Electro, MSc, PhD,
<https://orcid.org/0000-0003-0660-1061>

Rubiela Bello-Rodríguez^{2*},
Ing Electro, MSc,
<https://orcid.org/0000-0002-3056-8970>

Omar R. Torres-Osuna^{3*},
Ing Electro,
<https://orcid.org/0000-0002-4259-7146>

Gonzalo Lizcano-Guzmán^{4*},
Ing Electro,
<https://orcid.org/0000-0001-7393-1007>

Orlando Harker-Sánchez^{5*},
Ingeniero electrónico, MSc,
<https://orcid.org/0000-0002-8168-1519>

¹ Profesor asistente programa de Ingeniería Electrónica, Universidad de Cundinamarca.
Email: afguerrero@ucundinamarca.edu.co

² Profesor Tiempo Completo Universidad de Cundinamarca.
Email: rbello@ucundinamarca.edu.co

³ Ingeniero de proyectos, Axon Group.
Email: ricardo89osuna@gmail.com

⁴ Fuerza Aérea Colombiana,
Email: lizcanogonzalo2010@gmail.com

⁵ Universidad de Cundinamarca, Universidad Distrital.
Email: oharkers@ucundinamarca.edu.co

* Grupo de investigación GITEINCO, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Colombia.



Este artículo se encuentra bajo
licencia: Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-
SinObraDerivada 4.0 Internacional

Orinoquia, Enero-Junio 2021;25(1): 77-84
ISSN electrónico: 2011-2629
ISSN impreso: 0121-3709
<https://doi.org/10.22579/20112629.688>

Resumen

Este trabajo propone un método para determinación del potencial energético de los residuos sólidos de la plaza de mercado de la ciudad de Fusagasugá. Teniendo en cuenta que caracterizar la plaza de mercado para dicha separación implicaba un trabajo complejo en los tiempos estimados, se propuso el método de cuarteo basado en la norma mexicana NMX-AA-015-1985, que permite agilizar el proceso de caracterización con determinación de tamaño de la muestra. A la vez, se identificaron las principales actividades económicas de los locales comerciales y se realizó el pesaje diario de los residuos de la plaza de mercado durante una semana. A partir de la ecuación de determinación del tamaño de la muestra se seleccionan 34 locales para recolectar una muestra de 50 kg, con este método se obtiene una relación porcentual del total de residuos orgánicos aprovechables 90,15%, aprovechable 2,53% y no aprovechable 7,32%. Finalmente se establece que, a partir de los residuos sólidos orgánicos aprovechables de la plaza de mercado, mediante digestión anaeróbica, diariamente se producirían 217.12 kWh.

Palabras Clave: Residuos sólidos orgánicos, digestión anaeróbica, potencial energético, caracterización de residuos.

Abstract

This project proposes a method for determining the potential energy of solid waste in the marketplace of the city of Fusagasugá. Considering that characterizing the market for such separation implied an intricate work in the estimated times, the quarantine method based on the standard Mexican NMX-AA-015-1985 was proposed, which allows to speed up the characterization process with sample size determination. Simultaneously, the commercial premises' primary economic activities were identified, and the daily weighing of the residues of the market square was carried out for one week. Based on the equation for determining the sample's size, 34 stores were selected to collect a 50 kg sample. With this method, a percentage relation of the total organic waste that could be used was obtained of 90.15%, 2.53% and 7.32%. Finally, from the organic solid waste from the market, it is established that using anaerobic digestion, 217.12 kWh will be produced daily.

Keywords: organic solid waste, anaerobic digestion, energy potential, waste characterization.

Resumo

Esta pesquisa propor um método para determinar o potencial energético de resíduos sólidos da praça de mercado da cidade de Fusagasugá. Tendo em conta que caracterizar

Como Citar (Norma Vancouver):

Guerrero-Guerrero AF, Bello-Rodríguez R, Torres-Osuna OR, Lizcano-Guzmán G, Harker-Sánchez O. Metodología para la determinación del potencial energético de los residuos sólidos generados en la plaza de mercado de la ciudad de Fusagasugá. Orinoquia, 2021;(SUPLEMENTO 1): 57-63. <https://doi.org/10.22579/20112629.688>

o mercado para a dita separação exige um trabalho complexo nos tempos estimados, foi proposto o método de quarteamento baseado na norma mexicana NMX-AA-015-1985, o que permite agilizar o processo de caracterização com a determinação do tamanho da amostra. Paralelamente, foram identificadas as principais atividades económicas dos estabelecimentos comerciais e efetuada durante uma semana, a pesagem diária dos resíduos do mercado. A partir da equação de determinação do tamanho da amostra, são selecionados 34 locais para a coleta de uma amostra de 50 kg. Com este método obtém-se uma relação percentual do total de resíduos orgânicos aproveitáveis de 90,15%, aproveitável 2,53% e não aproveitável de 7,32%. Finalmente, estabelece-se que 217,12 kWh seriam produzidos diariamente a partir dos resíduos sólidos orgânicos aproveitáveis do mercado, por meio de digestão anaeróbia.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos, digestão anaeróbia, potencial energético, caracterização de resíduos

Introducción

La generación de residuos sólidos no es constante y varía considerablemente de un país a otro, esto debido a sus culturas de consumo y las políticas de aprovechamiento que aplica cada uno de los gobiernos (Márquez, 2008). En algunos países como Islandia, generan 685 kg de residuos sólidos por habitante en un año, en países como Uzbekistán generan 105 kg por habitante en un año, lo anterior representa un 14% de la cantidad de residuos sólidos generados en Europa (Sólidos, 2013). En América Latina existen ciudades con una generación de residuos por encima de las 20.000 toneladas diarias, como es el caso de Sao Paulo (Márquez, 2008), en Brasil. De acuerdo con el estudio realizado en (Márquez, 2008), en Colombia se generan 27.500 toneladas diarias de residuos sólidos, con Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla como las principales generadoras (Beltrán Vila, 2014). En Colombia se generan anualmente alrededor de 11,6 millones de toneladas de residuos sólidos (Superservicios, Planeación, y Colombia, 2019) Alcantarillado y Aseo, con el objetivo de mostrar el estado de la disposición final de residuos sólidos a nivel nacional para la vigencia 2018. Este documento presenta información prioritaria para el análisis de las entidades del orden nacional con competencias en el sector como el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT de los cuales más del 50% son residuos sólidos orgánicos que podrían ser aprovechados por el ser humano, contribuyendo a la vez con la reducción de su huella en el planeta (Hernandez, Niebles, y Feria, 2020; López y Franco, 2020). Esta gran posibilidad no es aprovechada, ocasionando que la totalidad del material termine en rellenos sanitarios, haciendo que estos depósitos alcancen rápidamente su máxima capacidad.

La ciudad de Fusagasugá no está exenta de que ocurra lo mismo que en el resto del país. Según el Plan de Gestión Integral de residuos Sólidos, existe un bajo porcentaje de aprovechamiento de residuos, y más aún en la plaza de mercado del lugar (Barbosa Sierra,

2017). La ciudad es epicentro económico y cultural de la región, lo que conlleva a tener un alto flujo de personas que provienen de otros municipios (Erazo Ávila, 2018). Por lo anterior, muchos productos agrícolas de municipios vecinos se comercializan en la plaza de mercado de la ciudad, situación que incrementa la cantidad de residuos sólidos orgánicos que se generan diariamente en el lugar.

Una alternativa de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos es la generación de energía eléctrica mediante tecnologías térmicas (incineración, pirólisis, gasificación) o biológicas como la digestión anaeróbica (Feo, Cuella, Pérez, Rubiano, y Valencia, 2010; Kumar y Samadder, 2017) natural gas, biomass residue, firewood, coal, animal dung, etc.. Esta última presenta mayor viabilidad de implementación en la plaza de mercado de la ciudad, sin embargo, se hace necesario determinar el potencial energético de los residuos sólidos como un insumo que permita definir las condiciones iniciales de diseño.

Para la determinación del potencial energético se hace necesario caracterizar los residuos sólidos que se generan en la plaza de mercado diariamente, de esta manera será posible identificar la cantidad total y porcentaje de residuos aprovechables en el proceso de digestión anaerobia (González-Díaz, Gato-Clavell, Guillot, y Pires-Araujo, 2015; Torres-Osuna, Lizcano-Guzmán, Guerrero-Guerrero, Bello-Rodríguez, y Harker-Sánchez, 2020). El proceso de caracterización requiere tiempos extensos de proceso e implica contacto prolongado con los residuos, situación que genera exposición a virus y bacterias perjudiciales para el ser humano (Ariza, 2016; Runfola, J. Gallardo, 2009). Considerando lo anterior, en este trabajo se propone una metodología para la caracterización de la totalidad de residuos sólidos orgánicos aprovechables a partir de la técnica de cuarteo basada en una muestra porcentual. A partir de la cantidad de residuos orgánicos aprovechables obtenida y mediante correlación

con los índices de producción de un biodigestor anaeróbico, se estima la producción de energía eléctrica.

Este artículo está dividido en 5 secciones, en la sección II se presenta la metodología propuesta para la caracterización de los residuos sólidos orgánicos, en la sección III se muestran los resultados obtenidos al aplicar la metodología propuesta en la determinación del potencial energético de los residuos sólidos orgánicos de la plaza de mercado de la ciudad de Fusagasugá, en la sección IV se discuten los resultados obtenidos en el proceso, finalmente, en la sección V se dan a conocer las conclusiones del trabajo desarrollado.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de este proceso se tomó como base la norma mexicana NMX-AA-015-1985 (Gobierno de la República, 1985), en el proyecto de fortalecimiento de la capacidad institucional en el manejo integral de los residuos sólidos a nivel nacional en la República Dominicana (Dominicana, 2017) y el RAS 2000 – Título F (F1.4.2.7, F1.4.2.8, F1.4.2.9, F1.4.3) (Ras, Mendez, Rivera, y Vargas, 2000). La metodología propuesta está constituida por seis etapas: en la primera se determina el tamaño de la muestra (cantidad de locales de la plaza de mercado a evaluar), la segunda etapa consiste en la identificación de la actividad económica de cada local, en la tercera fase se realiza rotulación de las bolsas, en la cuarta y quinta fase se realiza la caracterización y pesaje del total de residuos diarios y finalmente se establece la correlación entre los índices de producción de un biodigestor anaeróbico continuo alimentado por residuos sólidos orgánicos y la cantidad total de residuos sólidos orgánicos aprovechables.

Determinación del tamaño de la muestra

Los resultados de la caracterización estarán en función de la cantidad de muestras de la fuente de estudio, Se utilizará el método de muestreo estratificado proporcional. Para este caso, el tamaño de la muestra será determinado por la ecuación (Dominicana, 2017; Salud y OPS/CEPIS, 1982).

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 N \sigma^2}{(N-1)E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 N \sigma^2} \quad (1)$$

Donde n es el número de locales a muestrear, N es la cantidad total de locales de la plaza de mercado, $Z_{1-\alpha/2}$ es el coeficiente de confianza (1.96, con un nivel de confianza $1-\alpha = 95\%$), σ es la desviación estándar

(0,25 kg/día) y E es el error permisible (10% “0,0075 kg/hab/día”).

Identificación de las principales actividades económicas de la población

Se debe definir el tipo de establecimiento comercial según su índice de uso. Conociendo la proporción de las actividades comerciales, es posible distribuir la muestra de igual manera y garantizar que esta sea lo más representativa posible (Dominicana, 2017). Para la determinación de la distribución de la muestra es posible y viable la aplicación de la estratificación proporcional, puesto que conserva los porcentajes del tipo de actividad comercial en la población y por consiguiente el contenido de los residuos sólidos.

Rotulación de bolsas para recolección de residuos

Para contar con trazabilidad de los residuos sólidos recolectados respecto a su origen y cantidad por local, se propone rotular las bolsas que se utilizarán para la recolección. En la Tabla 1 se observa la codificación propuesta para el desarrollo de este trabajo. Las bolsas rotuladas se entregan en los locales seleccionados un día previo a la recolección.

Caracterización de los residuos

Se propone la caracterización mediante el método de cuarteo considerando los siguientes pasos:

- Recolección de las bolsas con residuos en cada local y depósito en el lugar de caracterización (terreno plano de 4 m x 4 m y bajo techo).
- Se traspalean los residuos hasta homogenizarlos y se divide la pila en 4 partes iguales, como se muestra en la Figura 1.
- Se toman las partes A y C o B y D de la pila.
- Con las partes seleccionadas se arma una nueva pila y se repite el proceso hasta obtener una muestra de 50 kg (Figura 1).
- Se toma la muestra de 50 kg y se separan los subproductos (Orgánicos Aprovechables, Aprovechables y No Aprovechables) (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2019).

- Se pesa cada subproducto y se calcula su porcentaje comparado con la muestra de 50 kg.

Tabla 1. Nomenclatura utilizada para la etiqueta de las bolsas.

Tipo de local	Código
Cafetería	CA
Cárnicos	CS
Desechables	DS
Frutas y verduras	FV
Hierbas	HS
Carbón y papa	CP
Ollas y plásticos	OP
Restaurante	RE
Salsamentaria	SA
Variado	VO
R.S.O.	RO
Otros	OS

Fuente: Autores.

Pesaje de residuos

Para conocer la cantidad total de residuos generados, se realizan pesajes diariamente en el lugar destinado por la empresa de aseo durante una semana. El valor promedio de residuos generados diariamente se multiplica por el valor porcentual de residuos orgánicos aprovechables de la muestra obtenida en el proceso de caracterización. Cabe aclarar que la cantidad y porcentaje de residuos sólidos orgánicos obtenidos en este análisis están sujetos a la época del año en que se realice el muestreo. Se recomienda complementar esta metodología con una correlación de producción agrícola de la región del Sumapaz, teniendo en cuenta los municipios que convergen a la plaza de mercado de Fusagasugá.

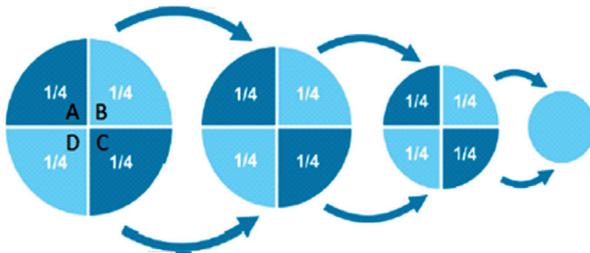


Figura 1. Explicación gráfica del método de cuarteo (Gobierno de la República, 1985). Fuente: Autores.

Índices de producción de energía eléctrica a partir de residuos sólidos orgánicos mediante digestión anaerobia

Con el fin de determinar la producción de energía eléctrica, se realiza una correlación entre los índices de producción de los biodigestores anaeróbicos y la cantidad promedio de residuos sólidos orgánicos generados diariamente en la plaza de mercado de la ciudad de Fusagasugá. Para este trabajo, los índices de producción se extraen de reportes experimentales identificados en la revisión del estado del arte (Balmant, Oliveira, Mitchell, Vargas, y Ordonez, 2014; Bharathiraja *et al.*, 2018; Kuo y Dow, 2017; Rosa Policena, Vogt, Frizzo Prante, Antônio Garlet, y Santos Martins, 2020).

Resultados

En las instalaciones de la plaza de mercado de la ciudad de Fusagasugá se identificaron 168 locales, estos locales se clasifican y distribuyen (estratifican) como se observa en la Tabla 2. Aplicando la Ecuación (Dominicana, 2017; Salud y OPS/CEPIS, 1982), se determina que la muestra con la que se debe trabajar es de 34 locales. Estos locales deben mantener la misma proporción de la distribución de los residuos en la totalidad de locales. Bajo las consideraciones anteriores, los locales seleccionados para tomar la muestra de residuos sólidos de la plaza de mercado de Fusagasugá se distribuyeron como se muestra en la Tabla 3.

En los locales seleccionados se entregaron bolsas para residuos un día previo a la recolección de la muestra. En cada local se entregaron hasta dos bolsas, una para residuos sólidos orgánicos y otra para el resto de los residuos. Las características y número de bolsas que se entregan dependen del tamaño y tipo de local incluido en el análisis, en algunos locales no se generan residuos orgánicos o aprovechables. Durante la recolección se rotularon las bolsas de acuerdo con la nomenclatura que se muestra en la Tabla 1. Una vez terminada la recolección, se realizó el proceso de mezclado y cuarteo de residuos. Con el proceso descrito se obtuvo finalmente una muestra de 50 kg. En la Figura 2 se observa a los operarios realizando mezclado y cuarteo de los residuos sólidos recolectados. La muestra final se separó en los 3 subproductos de acuerdo con la resolución 2184 de 2019 (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2019). Cada grupo de residuos fue pesado, obteniendo una relación porcentual sobre el total. Los resultados finales se muestran en la Tabla 4. Este proceso se repitió durante una semana en el

mes de febrero de 2020 y en el mes de abril de 2021, obteniendo resultados similares.

Tabla 2. Lista de clasificación de locales de la plaza de mercado de la ciudad de Fusagasugá.

Tipo de local	Cantidad	Porcentaje (%)
Cafeterías	11	6,5
Cárnicos	9	5,3
Desechables	3	1,8
Frutas y verduras	90	53,5
Hierbas	10	6
Papa y carbón	8	4,8
Remates y venta de ollas	4	2,4
Restaurantes	14	8,3
Salsamentarias	10	6
Tienda naturista	2	1,2
Tiendas esotéricas	2	1,2
Variedades metálicas, cauchos y demás	5	3
Total de los locales	168	100

Fuente: Autores.

Para la obtención de la información de cantidad total de los residuos generados en la plaza de mercado de la ciudad de Fusagasugá, se realizaron pesajes durante una semana, en los diferentes horarios de recolección definidos por la empresa de aseo de la ciudad. Los operarios y coordinadores de actividad se reunieron en el espacio destinado por la empresa de aseo para recoger los residuos de la plaza, utilizando los elementos de protección personal. Cada una de las canecas de residuos fue etiquetada con un número del 1 al 21, para poder relacionar su peso, como se evidencia en la Figura 3. La Tabla 5 contiene el pesaje total de los residuos sólidos orgánicos por cada día de la semana.

Al aplicar la relación porcentual de residuos orgánicos aprovechables de la Tabla 4 sobre el promedio diario de residuos reportado en la Tabla 5 se obtiene un valor de 1047.89 kg. De acuerdo con (Bharathiraja *et al.*, 2018; Hopwood, 2009), una tonelada de residuos sólidos orgánicos frescos produce 207.2 kWh de energía, por lo tanto, en la plaza de mercado se obtendría una energía promedio diaria de 217.12 kWh.

Tabla 3. Tipo y número de local, seleccionado para la muestra.

Tipo de local	Número de locales	ID del local
Cafetería	2	154 - 66
Cárnicos	2	172 - 179
Desechables	1	167
Frutas y verduras	18	125 - 94 - 90 - 184 (Primer piso) - 37 - 54 - 10 - 87 - 62 - 70 - 98 - 113 - 150 - 163 - 32 - 31 - 92 - 136
Hierbas	2	56 - 77
Carbón y papa	2	52 - 42
Ollas y plásticos	1	3
Restaurante	3	184(Segundo Piso) - 165 - 74
Salsamentaria	2	117 - 181
Variado	1	210

Fuente: Autores.

Tabla 4. Proporción de tipo de residuos obtenidos en la muestra.

Subproducto	Peso (kg)	Porcentaje (%)
Orgánico aprovechable	45	90.15
Aprovechable	1.3	2.53
No aprovechable	3.7	7.32
Total	50	100

Fuente: Autores.



Figura 2. Proceso de cuarteo de los residuos recolectados en los locales de la muestra.

Fuente: Autores



Figura 3. Operario marcando cada una de las canecas con su número de identificación.

Fuente: Autores.

El resultado obtenido arriba coincide con los resultados que se obtienen en los estudios realizados y presentados por (Kgomo, Ngobeni, Lencwe, y Chowdhury, 2019) donde propone lo siguiente:

Sobre la salida total de biogás, 1,8/3 (60%) de metano (CH₄) y 1/3 (33%) de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases en pequeñas cantidades (<7%). Desde la relación propuesta por (), se tiene:

Potencial promedio de producción por tonelada de residuos sólidos de biogás = 36,22 Nm³

Producción de gas metano = (36,22 Nm³)(0,6) = 21,73 Nm³

Evaluado sobre la base del valor calórico del metano = 10 KWh/ Nm³ /d, entonces se obtiene:

KWh total= 21,73 Nm³ X 10 KWh/ Nm³ /d = 217,3 KWh/d

Discusión

En el proceso de caracterización se identifican 168 locales en la plaza de mercado del municipio de Fu-

sagasugá, distribuidos y clasificados en las diferentes actividades económicas como se muestra en la Tabla 2. Con la Ecuación se determinó el tamaño de la muestra (cantidad de locales para realizar el proceso de caracterización de los residuos), obteniendo un valor de 34 locales distribuidos en los diferentes sectores económicos y manteniendo la misma proporción de distribución de los residuos en la totalidad de locales como se muestra en la Tabla 3. Al realizar el proceso de muestreo en 34 locales, se presenta una reducción en tiempos de proceso de aproximadamente un 80 %, lo cual implicaría menor exposición de los operarios a los residuos y reducción de costos de proceso (Runfola, J. Gallardo, 2009). Este trabajo pretende aportar en la caracterización de los residuos sólidos de la ciudad, soporte para el diseño y actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) (Beltrán Vila, 2014).

Analizando los resultados anteriores, los residuos en la plaza de mercado son aproximadamente de 1 ton. diaria compuestos en un 90% de residuos orgánicos. Con estos residuos se puede generar aproximadamente 217.12 kWh de energía (Bharathiraja *et al.*, 2018), y apoya la idea de crear una oportunidad de desarrollo socioeconómico para la población y a la vez aportar a la reducción de contaminación del medio ambiente, teniendo en cuenta que actualmente, todos los residuos de la plaza de mercado son dispuestos en el relleno sanitario. Este estudio permite la posibilidad de evaluar la viabilidad de implementación de un sistema de generación de energías limpias a partir de residuos sólidos.

Aunque la presencia porcentual de los residuos reciclables es baja, también podría generarse un proyecto para su aprovechamiento, creando así una posibilidad beneficiosa para la población.

La metodología fue aplicada al inicio de los años 2020 y 2021, obteniendo resultados similares, sin embargo, las proporciones de residuos pueden variar en otras épocas del año. En este análisis no se contempla la variación que se puede generar debido a la producción agrícola de la región en diferentes meses del año (FAO, 2010). Este estudio incluye únicamente los residuos

Tabla 5. Peso total de residuos sólidos por día.

Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Peso (kg)	1106,72	1011,46	1047,65	967,84	1039,84	1553,85	1409,28

Fuente: Autores.

generados en los locales internos de la plaza de mercado, las cantidades diarias serán mayores si se incluyen los residuos generados por los vendedores aledaños. La correlación para estimar la producción de energía eléctrica se realiza de forma global tomando los datos experimentales de otros autores, una alternativa a esta estrategia consiste en evaluar la producción a partir de modelos matemáticos de digestión anaeróbica que permiten ajustar parámetros que describen las condiciones de los residuos sólidos (Arenas-Trujillo, 2020; Marín-Rodríguez, 2021).

Conclusiones

Se propone, a partir de normativas nacionales e internacionales, una metodología para determinar el potencial energético de los residuos sólidos orgánicos de una plaza de mercado. La metodología se presenta como una herramienta fundamental en el estudio de viabilidad de implementación de un biodigestor anaeróbico.

Esta metodología de muestreo por cuarteo permitirá reducir los tiempos de proceso en la recolección y selección de residuos orgánicos para posterior análisis a una muestra de 34 locales y no de 168. Sus resultados permitirán realizar el estudio de viabilidad de implementación en un biodigestor anaeróbico.

Considerando el diagnóstico inicial de los residuos sólidos basado en normativas nacionales e internacionales para su caracterización, es posible establecer que aproximadamente se genera 1 ton. de residuos sólidos orgánicos aprovechables en la plaza de mercado de la ciudad de Fusagasugá. Con esta cantidad de residuos orgánicos se podrán generar, mediante su aprovechamiento en un biodigestor anaeróbico, alrededor de 217.12 kWh, lo que, según la proyección de consumo eléctrico del año 2019, es casi la mitad de la demanda de energía eléctrica de las áreas comunes y los locales internos de la plaza de mercado.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen al personal administrativo y propietarios de locales comerciales de la plaza de mercado “Corazón de Fusagasugá” por su apoyo y disposición en el desarrollo del proyecto, de igual manera agradecen a la Alcaldía Municipal de Fusagasugá. Esta publicación se desarrolló en el marco del proyecto “Prototipo de sistema de generación de energía eléctrica a partir de residuos sólidos orgánicos

de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá” aprobado en convocatoria 829 de 2018 y financiado con recursos provenientes del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías, administrados por el Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación “Francisco José de Caldas”. Los autores resaltan el apoyo brindado por Colciencias (actualmente Minciencias), el programa Colombia BIO y la Gobernación de Cundinamarca.

Referencias

- Arenas-Trujillo CA. (2020). *Simulación del Proceso de Digestión Anaeróbica como un Insumo para el Diseño de un Biodigestor en la Plaza de Mercado de la Ciudad de Fusagasugá*. Universidad de Cundinamarca.
- Ariza N. Manejo y separación de residuos sólidos urbanos. Análisis comparativo entre Madrid (España) y el distrito especial industrial y portuario de Barranquillas (Colombia). *Observatorio Medioambiental*, 2016;19:197-211. <https://doi.org/10.5209/OBMD.54168>
- Balmant W, Oliveira BH, Mitchell DA, Vargas JVC, Ordonez JC. (2014). Optimal operating conditions for maximum biogas production in anaerobic bioreactors. *Applied Thermal Engineering*, 2014;62(1):197-206. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.09.033>
- Barbosa-Sierra ID. (2017). Actualización del plan de gestión integral de residuos sólidos pgrs de Fusagasugá 2016-2027. Fusagasugá.
- Beltrán-Vila JE. (2014). Evaluación de la metodología de caracterización de los residuos sólidos de origen municipal dispuestos en el relleno sanitario parque ambiental los pocitos de la ciudad de barranquilla. Tesis pregrado, Universidad Autónoma de occidente. Santiago de Cali 28 de mayo.
- Bharathiraja B, Sudharsana T, Jayamuthunagai J, Praveenkumar R, Chozhavendhan S, Iyyappan J. Retracted: Biogas production - A review on composition, fuel properties, feed stock and principles of anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018;90:570-582. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.093>
- República Dominicana Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARENA). (2017). Proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad Institucional en el Manejo de Residuos Sólidos a Nivel Nacional en la República Dominicana. República Dominicana.Pp.1-298.
- Erazo-Ávila CT. (2018). Formulación del plan de manejo ambiental plaza de mercado del municipio de Fusagasugá. Tesis Tecnología, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogota Colombia. Pp. 103.
- FAO, O. D. L. N. U. P. L. A. Y. L. A. (2010). Análisis de los sistemas de producción agrícola de las Provincias de Soacha y Sumapaz (Cundinamarca). Bogotá.

- Feo D, Cuella E, Pérez M, Rubiano J, Valencia J. Energía de la basura. *Tecnura*, 2010;14(26):118-125.
- Gobierno de la República. NMX-AA-15-1985. Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Muestreo - Método de cuarteo, Diario Oficial de la Federación § (1985). Estados Unidos Mexicanos.
- Gonzalez-Diaz Y, Gato-Clavell T, Guillot R, Pires-Araujo L. Determinación del potencial energético de los Residuos Sólidos Urbanos en tres municipios de la provincia de Luanda , Angola. *Revista Tecnología Química*, 2015;35(1):35-44.
- Hernandez HG, Niebles WA, Feria JJ. La gestión de los residuos sólidos en la ciudad de Barranquilla, Colombia. *Espacios*, 2020;41(47):86-96. <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n47p07>
- Hopwood L. (2009). *Anaerobic Digestion* (Vol. 44).
- Kgomo J, Ngobeni A, Lencwe M, Chowdhury D. (2019). Design of Combined Heat and Power for Waste Water Treatment Plant. In *The 10th International Renewable Energy Congress (IREC 2019)* (pp. 1–5). IEEE.
- Kumar A, Samadder SR. A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste. *Waste Management*, 2017;69:407-422. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.046>
- Kuo J, Dow J. Biogas production from anaerobic digestion of food waste and relevant air quality implications. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 2017;67(9):1000-1011. <https://doi.org/10.1080/10962247.2017.1316326>
- López Y, Franco B. Gestión de residuos sólidos urbanos: Un enfoque en Colombia y el departamento de Antioquia. *Cuaderno Activa REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA*, 2020;11:133-154.
- Marín-Rodríguez LD. (2021). *Evaluación de la dinámica de un biodigestor anaeróbico como una estrategia que permita establecer las condiciones técnicas y operacionales para una mayor producción de biogás*. Universidad de Cundinamarca.
- Jaramillo-Henao G, Zapata-Márquez LM. (2008). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Tesis especialización, Universidad de Antioquia.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Resolución No. 2184 de 2019 (2019). Colombia.
- Ras SB, Mendez JM, Rivera M, Vargas A. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Sistemas de Aseo Urbano. TITULO F*.
- Rosa Policena I, Vogt R, Frizzo-Prante GA, Antônio-Garlet R, Santos-Martins ME. (2020). Analysis of the Technical Viability of Biogas Utilization in Compression Ignition Engines for Electric Power Generation. In *2019 SAE Brasil Congress & Exhibition*. SAE International. <https://doi.org/https://doi.org/10.4271/2019-36-0245>
- Runfola J, Gallardo A. (2009). Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos Urbanos Para Su Recolección Selectiva En Comunidades Urbanas. In U. del Norte (Ed.), *II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos* (p. 14). Barranquilla.
- Salud OP de la y OPS/CEPIS. Guía para Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios, OPS § (1982).
- Sólidos D. general de gestión integral de residuos. (2013). *Guía para el Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos*. Ministerio de Medio Ambiente y Agua.
- Superservicios S de SPD, Planeación DN de Colombia P de la R de. (2019). *Disposición Final de Residuos Sólidos. Informe Nacional - 2018*. Bogotá.
- Torres-Osuna OR, Lizcano-Guzman G, Guerrero-Guerrero AF, Bello-Rodríguez R, Harker-Sanchez O. (2020). Determinación del potencial energético de los residuos sólidos de la plaza de mercado del municipio de Fusagasugá. In *Congreso Internacional de Ciencias Básicas e Ingeniería CICI 2020* (pp. 1–5). Villavicencio.