

# Bioenergía a partir de biomasa residual estudio de Caso: Plaza de Mercado Trinidad Galán de Bogotá D.C<sup>i</sup>

## Bioenergy from Residual Biomass Case Study: Trinidad Galán Market Square in Bogotá D.C

**Carlos Yesid Varela Bernal**<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5037-9360>

**Germán Arturo López Martínez**<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3280-9026>

Fecha de recepción: 16 de julio de 2021

Fecha de aprobación: 8 de febrero de 2022

### Resumen

La biomasa residual producida a diario en las plazas de mercado de la ciudad de Bogotá está conformada por residuos orgánicos no procesados, que tienen potencial energético aprovechable para convertirse en bioenergía (calor o electricidad), mediante la biodigestión anaeróbica; además, de producir un sustrato estable que puede servir como enmienda agrícola. Se realiza un estudio de caso en la plaza de mercado Trinidad Galán, en el cual se indica que es posible instalar un sistema de aprovechamiento de este recurso para la producción de electricidad y suministro de calor. El sistema propuesto tiene como objetivo generar un ahorro energético y posibles rendimientos económicos mediante la comercialización de la enmienda producida. Estos ahorros y beneficios ayudarían a cubrir los costos de construcción, instalación y operación del sistema, haciéndolo autosostenible.

**Palabras clave:** *aprovechamiento de residuos orgánicos, biomasa residual, biodigestión anaeróbica, bioenergía, plaza de mercado.*

### Abstract

The residual biomass produced daily, in the marketplaces of the city of Bogotá, is made up of unprocessed organic waste and that has usable energy potential to become bioenergy (heat or electricity) through anaerobic biodigestion, in addition to producing a substrate stable that can serve as an agricultural amendment. A case study is carried out in the Trinidad Galán marketplace, which indicates that it is possible to install a system for using this resource to produce electricity and heat supply. The proposed system can generate energy savings and possible economic returns through the commercialization of the amendment generated. These savings and benefits would help cover the costs of construction, installation, and operation of the system, making it profitable.

**Keywords:** *Harnessing organic waste, Residual Biomass, Anaerobic Biodigestion, Bioenergy, Marketplace.*

### Citar como:

Varela, C. Y. y López, G. A. (2022). Bioenergía a Partir de Biomasa Residual en Plazas de Mercado de Bogotá Estudio de Caso: Plaza de Mercado Trinidad Galán. Letras ConCiencia Tecnológica. (19), 15-26. <https://doi.org/10.55411/26652544.229>

<sup>1</sup> Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

\* Autor para correspondencia: Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá, Colombia. [cyvarelab@correo.udistrital.edu.co](mailto:cyvarelab@correo.udistrital.edu.co)

<sup>2</sup> Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [galopezm@udistrital.edu.co](mailto:galopezm@udistrital.edu.co)

## 1. Introducción

La ciudad de Bogotá cuenta con 39 plazas de mercado, estas produjeron 24,476 toneladas de residuos sólidos en el año 2010, de los cuales se estima que el 88.5% corresponden a biomasa residual (representado por residuos de verduras, frutas y hortalizas). Estos residuos orgánicos de todas las plazas de mercado tienen un potencial energético de 4,650 kJ/kg (López, 2011), lo que equivale a 100,7 terajulios (TJ)/año de potencial energético teórico. Adicional a esto, el Instituto para la Economía Social (IPES) (2020), como administrador de las plazas públicas informa una producción mensual de 175.35 toneladas de residuos orgánicos durante 2019, una recuperación de estos en 1,185.7 y 775.5 toneladas en lo corrido del año.

La biomasa residual es un recurso que en la actualidad se desaprovecha desde el mismo lugar de origen, que todavía se está disponiendo en el relleno sanitario de la ciudad, lo que aumenta la presión sobre ese sitio. Debido a las características de alta humedad y baja concentración energética de esta biomasa residual, se considera que, para su aprovechamiento óptimo, la tecnología más apropiada es la biodigestión anaeróbica, que genera máxima potencia al menor costo posible (Ruiz y Rojas, 2018) (Varela, 2019). Su implementación corresponde a una propuesta de producción continua de bioenergía a partir de este recurso energético, la cual es adaptable a cualquier plaza de mercado en Bogotá.

- Los fenoles varían entre 14.3 y 316 mg/kg.
- Los nitratos entre 372 y 18,040 mg/kg.
- Los nitritos entre 5.2 y 32.8 mg/kg.
- El nitrógeno total varía entre 1.1 y 2.1%.
- Los sólidos totales varían entre un 8 y 20%.
- Los sólidos volátiles entre 78.4 y 89.7%.
- Los sulfatos entre 6,580 y 93,120 mg/kg.
- Los sulfitos entre 177 y 1,200 mg/kg.
- El pH (medido en campo) varía entre 6.1 y 7.

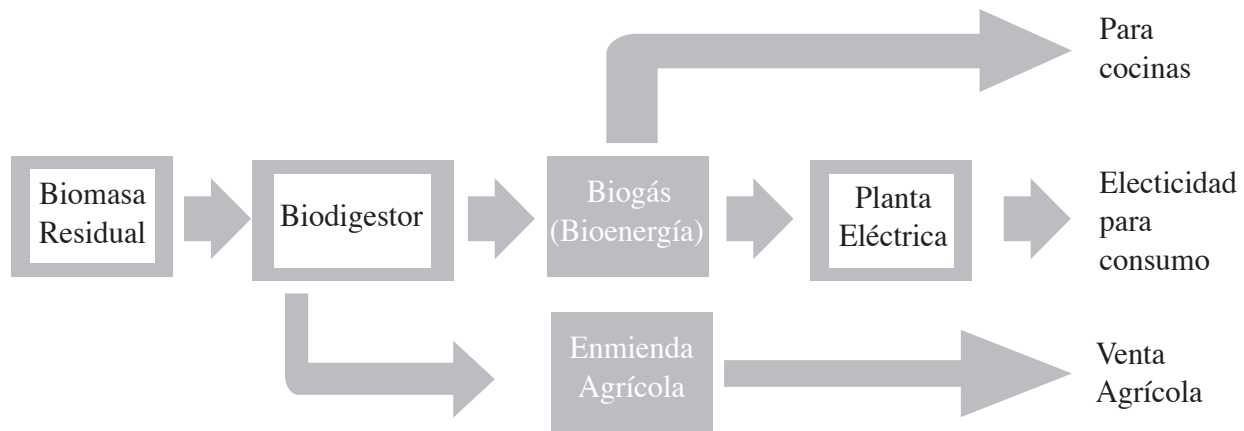
Este tipo de biomasa es apta para alimentar un biodigestor. Cada plaza de mercado produce diferentes variedades y cantidades de residuos. Es recomendable separar los residuos que contengan altos niveles de acidez como mora, toronja, naranja, maracuyá, piña, arándano, limón y kiwi (Bodegasplate, 2019). Sin embargo, la biomasa debe cumplir con unos estándares mínimos, entre estos, una alcalinidad superior a 1.5g/L de CaCO<sub>3</sub> (carbonato de calcio), y un potencial redox no superior a 350 milivoltios, para lograr una biodigestión eficiente, además de, contener los nutrientes suficientes (proteínas, vitaminas, minerales y grasas) para que las bacterias hagan su trabajo de forma integral en todas sus etapas (Agrogás Biogás, 2014).

## 2. Metodología

La Figura 1 muestra el paso a paso del tratamiento y aprovechamiento propuesto para la biomasa residual de las plazas de mercado en Bogotá, para entregar calor, electricidad y enmienda agrícola, que es toda sustancia cuya acción fundamental consiste en el mejoramiento de por lo menos una característica física, química o biológica del suelo (Rioclaor, 2021).

16 Según el Congreso Nacional de Medio Ambiente (2014), los residuos orgánicos de las plazas de mercado de Bogotá tienen las siguientes características físicas y químicas:

- La densidad promedio de los residuos es de 0.31t/m<sup>3</sup>.
- La humedad varía entre 80 y 92%.
- El contenido de carbono está entre 43.5 y 49.8%.



**Figura 1.** Esquema del modelo de aprovechamiento de la biomasa residual generada en plazas de mercado de Bogotá

Toda la biomasa –producida y apta para la biodigestión– entra al biodigestor junto con la cantidad de agua necesaria calculada para una correcta biodigestión. Este proceso de biodigestión requiere un tiempo de retención, en este caso, estimado de 55 días (Chaur, 1992). La biomasa se transforma en biogás (o bioenergía) por la acción de bacterias metalogénicas, porque necesitan un ambiente anaeróbico (libre de aire); adicionalmente, el sustrato, formado por la materia orgánica sólida, junto con el lixiviado (líquidos presentes), pueden ser empleados como una enmienda agrícola.

El biogás se puede disponer bien sea para abastecer las cocinas de los restaurantes dentro de la plaza de mercado o para alimentar la planta eléctrica y generar la electricidad de consumo interno. Como valor agregado, se cuenta con la enmienda agrícola que tiene propiedades naturales porque mejoran la fertilidad de suelos agrícolas (Rioclaro, 2021), por este motivo, se proyecta que sea susceptible para ser comercializada; además, puede generar recursos económicos para apoyar la viabilidad de la propuesta (ver Figura 1).

### **2.1. Potencia útil entregada a partir de la biomasa residual generada en las plazas de mercado de Bogotá**

Como se mencionó, la producción de residuos sólidos en las 39 plazas de mercado de Bogotá fue de 24,476 toneladas en 2010, de estos el 88.5% son residuos de verduras y frutas, estos componentes se aprovechan como un biodigestor, lo que corresponde a 21'661.260 kg/año. Se estimaría entonces un potencial teórico equivalente de  $2,4 \times 10^{10}$  kcal/año, o 100.7 TJ/año de acuerdo con (Tchobanoglous, 1994, citado por López, 2011), en referencia al potencial teórico de estos residuos de 1'111.12 Kcal/kg.

Con la biodigestión, se pretende aprovechar la mayor cantidad de ese potencial, siendo del biogás producido, el gas metano, el que representa el potencial energético a usar, se estima un volumen de gas metano de y de dióxido de carbono de , sumando un volumen de biogás generado de 2'075,939.8 N (m<sup>3</sup>).

Del biogás producido por la biodigestión, el metano compone el 53.46% y el dióxido de carbo-

no compone el 46.54%. Según KDM Energía S.A. (2019), que trabaja con fuentes de energía renovables no convencionales, calcula el potencial energético del metano mediante la Ecuación 1, aplicada a la biomasa residual de las plazas de mercado.

$$1'085,507.1 \text{ Nm}^3(\text{CH}_4) * 10 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} = 10,855.07 \frac{\text{MWh}}{\text{año}} \quad (1)$$

La energía eléctrica a partir del biogás se calcula mediante la Ecuación 2, por el uso de motores de combustión interna. Según Rovira (2015), estos tienen una eficiencia real aproximada del 30%, y claramente, el margen de energía útil es menor.

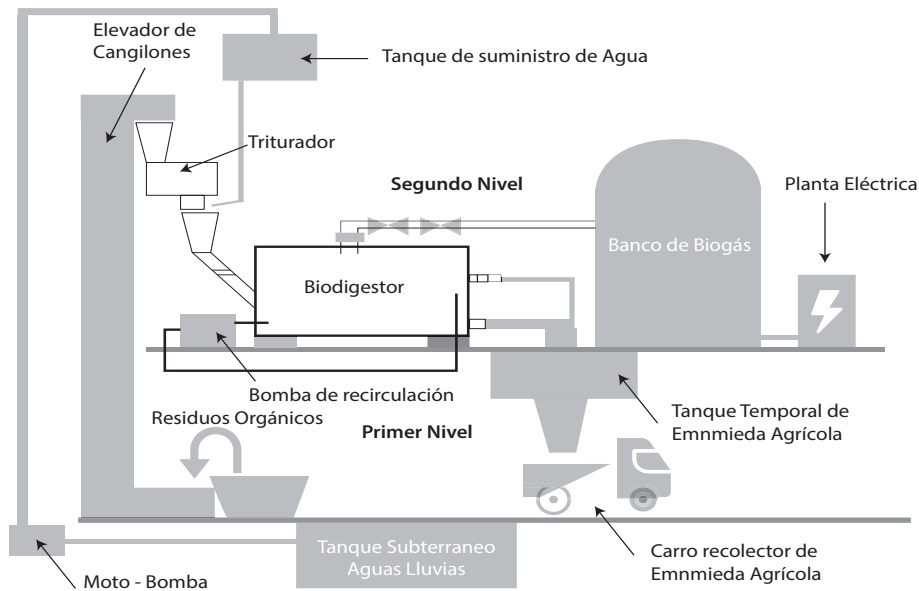
$$10,855.07 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} = *30\% = 3,256.52 \frac{\text{MWh}}{\text{año}} \quad (\text{energía eléctrica útil})^{(2)}$$

En Bogotá, el costo del kW-h durante el mes de mayo de 2018 fue de \$461.4 pesos (Enel Codensa, 2018) (U\$ 0.145/kW-h), los 3,256.52 MW-h/años estimados costarían \$1'502.558,328 millones COP /año (o 532'641.320 U\$/año); los costos en dólares cambian para interés de posibles inversionistas.

## 2.2. Caso de estudio en la plaza de mercado de Trinidad Galán

Se realizó una visita y entrevista a la administración del lugar para conocer su producción de residuos orgánicos, que correspondió a 15,910 kg de residuos sólidos para mayo de 2018. Además, se estimó un potencial energético teórico (sustentado sobre el papel) de 65.46 GJ/mes teórico (Varela, 2019), esto sin usar la biodigestión como tecnología de extracción de biogás.

En el primer piso de la plaza de mercado no hay un espacio apto para instalar el sistema de aprovechamiento energético planteado, por lo que se propone la construcción de un segundo nivel. La operación del sistema comienza con el envío hacia el biodigestor de los residuos, previamente separados y seleccionados en el cuarto de residuos, ubicado en el primer nivel de la plaza de mercado. Los residuos se suben al segundo piso por medio de un elevador de cangilones para alimentar una trituradora que reducen su tamaño. Antes de alimentar el biodigestor, se debe agregar agua para crear el ambiente propicio para que los microorganismos en los residuos realicen su desintegración y posterior formación natural de biogás y enmienda agrícola, este viene proveniente del tanque de suministro. La Figura 2, propone el modelo de aprovechamiento energético basado en el esquema ilustrado en la Figura 1, usando la biodigestión como la tecnología de conversión a bioenergía.



**Figura 2.** Modelo del sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos para la plaza de mercado Trinidad Galán (Varela, 2019).

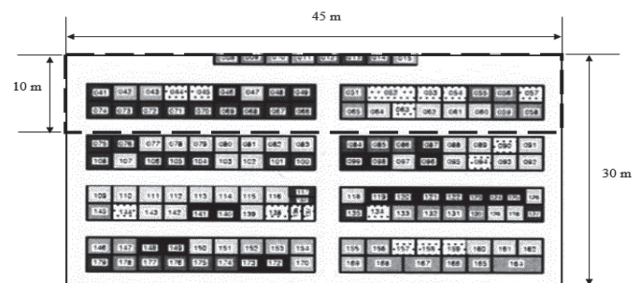
El tanque de suministro de agua se abastece del tanque subterráneo que recolecta aguas lluvia empleando una motobomba. Cabe aclarar que la plaza de mercado no contaba con canalización de aguas lluvias, ni mucho menos un tanque subterráneo, durante 2018, por lo que es necesario hacer algunas adaptaciones. Para garantizar el tránsito de la biomasa dentro del biodigestor se requiere una bomba de recirculación de la mezcla de biomasa y agua.

Después de los días de retención (55), el biogás se almacena en el banco de biogás; previo paso por los filtros de agua y azufre, mientras que la emmienda agrícola se dispone en el tanque temporal ubicado entre el primer y segundo piso, el cual se descarga por gravedad a un carro recolector.

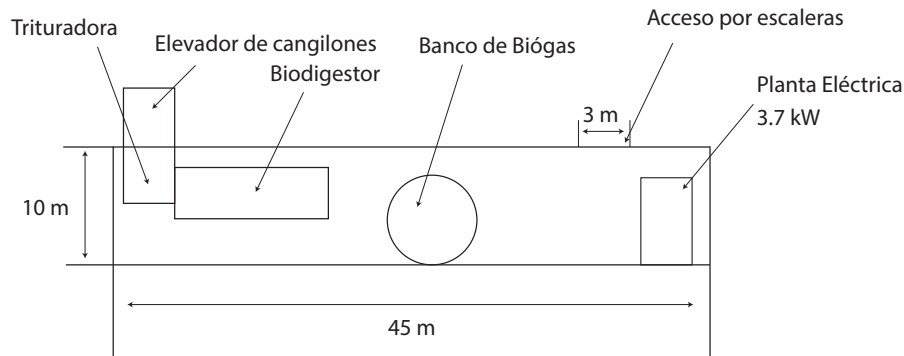
Dentro del banco de biogás, una vez haya una cantidad de volumen de biogás con el potencial suficiente para cubrir la demanda parcial o total de electricidad de la plaza de mercado, esto es después de los 55 días de su primer cargue, se alimenta la planta eléctrica.

### 2.3. Ubicación y distribución de los equipos en el segundo nivel en la plaza de mercado

En la Figura 3 se muestra el plano del primer nivel de esta plaza de mercado, y se ven numerados los locales comerciales; las líneas de trazo representan el segundo nivel que es necesario construir y donde trabajarán los equipos del plan de aprovechamiento y la Figura 4 presenta la distribución de los equipos del sistema de aprovechamiento en ese segundo nivel.



**Figura 3.** Área interior de Plaza de Mercado Pública de Trinidad Galán y ubicación de un segundo nivel marcado entre líneas (Varela, 2019).



**Figura 4.** Distribución de elementos en el segundo nivel (cuadro líneas de trazo de la Figura 3) para el plan de aprovechamiento (Varela, 2019).

### 3. Resultados

Las siguientes fórmulas y estimaciones usadas sustentan los hallazgos mencionados respecto al potencial de aprovechamiento en el sitio de la biomasa residual en las plazas de mercado de Bogotá; para el caso específico de la de Trinidad Galán, se realizan estimaciones adicionales para determinar su aporte ambiental y autosuficiencia.

#### 3.1. Estimación de generación de la bioenergía en la plaza de mercado Trinidad Galán

Se estima el volumen del metano con la Ecuación 3, para esta plaza de mercado, y asumiendo que la producción de residuos sólidos por mes fue de 15,910 kg, de los cuales según Tchobanoglous (1994), el 88.5% son residuos orgánicos.

Masa del peso seco M0: 1,126.4 kg (de 14,080.3 kg/mes de mayo de 2018 y estimando que los sólidos totales varían desde un 8% (Congreso Nacional de Medio Ambiente, 2014) y se multiplican estas cifras.

Masa Molar M0: 521 g/mol

Densidad Metano: 0.717 kg/m<sup>3</sup>

Reemplazando estas variables en la Ecuación 3, simplificando la expresión, se obtiene el volumen de gas Metano, ver Ecuación 4.

$$\text{Vol CH}_4 \text{ Nm}^3 = \frac{\left(\frac{234\text{g}}{\text{mol}}\right) (1,126.4 \text{ kg/mes})}{\left(\frac{521\text{g}}{\text{mol}}\right) \frac{0.717\text{kg}}{\text{m}^3}} = \frac{705.6 \text{ Nm}^3}{\text{mes}} \quad (4)$$

La estimación del volumen de dióxido de carbono se procede con la Ecuación 5, que se encuentra abajo.

$$\text{Vol CO}_2 \text{ Nm}^3 = \frac{\left(\frac{\text{Masa Molar CO}_2 \frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) (\text{Masa del peso seco M0 kg})}{\left(\frac{\text{Masa Molar M0} \frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) \left(\text{Densidad CO}_2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} \quad (5)$$

$$\text{Vol CH}_4 \text{ Nm}^3 = \frac{\left(\frac{\text{Masa Molar Metano} \frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) (\text{Masa del peso seco M0 kg})}{\left(\frac{\text{Masa Molar M0} \frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) \left(\text{Densidad Metano} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} \quad (3)$$

En donde:

Nm<sup>3</sup>: Metros cúbicos normales

Masa Molar Metano: 234 g/mol

En donde:

Nm<sup>3</sup>: Metros cúbicos normales



Masa Molar CO<sub>2</sub>: 589 g/mol

Masa o peso seco M0: 1,126.4 kg (de 14,080.3 kg/mes mayo de 2010 y estimando que los sólidos totales varían desde un 8% (Congreso Nacional de Medio Ambiente, 2014) y se multiplican estas cifras)

Masa Molar M0: 521 g/mol

Densidad CO<sub>2</sub>: 1.978 kg/m<sup>3</sup>

Reemplazando estas variables en la Ecuación 5, simplificando la expresión se obtiene el volumen de gas dióxido de carbono, ver Ecuación 6.

$$\text{Vol CO}_2 \text{ Nm}^3 = \frac{\left(\frac{589\text{g}}{\text{mol}}\right) (1,126.4 \text{ kg/mes})}{\left(\frac{521\text{g}}{\text{mol}}\right) \frac{1.978\text{kg}}{\text{m}^3}} = \frac{643.8 \text{ Nm}^3}{\text{mes}} \quad (6)$$

El porcentaje del volumen del dióxido de carbono es del 46.54% y el gas metano el 53.46 % del biogás, este último, tendría la doble finalidad de abastecer de combustible a los restaurantes en la plaza de mercado o de convertirse en electricidad aprovechable.

### **3.2. Utilización del biogás en la producción de electricidad**

Según la Ecuación 4, estos 705.6 de gas metano contenido en el biogás tienen un potencial energético de 7,056 MW-h/mes teórico, por la eficiencia del motor de combustión interna en la planta eléctrica de 30% (Rovira A, 2015), la energía o potencial técnico entregado a partir del biogás es de 2,117 kW-h/mes útil para aprovechar dentro de esta plaza de mercado.

Según el ente nacional para la energía eléctrica, (2021), el precio del kW-h en Bogotá, para un edi-

ficio público en el sector industrial, la tarifa es de \$ 504.7 pesos, entonces esos 2,117 kW-h de ahorro y autonomía valen \$ 1'068,449 pesos al mes, siendo que en ese mismo mes se consumieron 4,580 kW-h (Administración, 2018), comparándolos, se concluye una cobertura y autonomía de un 46.2%.

### **3.3. Uso del biogás como biocombustible en las estufas de los restaurantes de la plaza de mercado Trinidad Galán**

El consumo de gas natural de mayo de 2018 fue de 268.5 (Administración, 2018), con un precio por metro cúbico del mismo mes de \$ 299.18 pesos (grupovanti, 2021). Este gas es compuesto por el metano al 90% (Osinergmin, 2012), y que es el de interés energético, siendo entonces 241.65 N el volumen real de metano consumido en la plaza de mercado. Según la Ecuación 4, el volumen estimado de gas metano, lograría una cobertura y autonomía total en combustible para los restaurantes de la misma plaza de mercado; además, queda disponible el resto, para invertirlo en la generación de electricidad.

Quedando entonces 463.95 N de metano para generar electricidad dentro de la plaza de mercado, se estima un potencial en electricidad útil de 1.392 MWh/mes, que en el mercado costarían \$ 702,542.4 pesos, representando una autonomía de 30.4% en electricidad.

### **3.4. Costo de la construcción del sistema de aprovechamiento.**

Según Valera (2019), implementar un sistema de aprovechamiento energético con los equipos de la Figura 2, y construyendo el segundo nivel que no existe en el interior de las instalaciones de la plaza de mercado Trinidad Galán, costaría alrededor de \$ 342'500,000 (US \$ 89,099.8), incluida la mano de obra.

### **3.5. Costo de la operación diaria y mantenimiento del sistema**

---

Los costos de operación se representan en principio, con el sueldo de una persona capacitada en el manejo de todos los equipos del sistema; debe ser al menos un técnico en mecánica industrial certificado. Sus horarios se ajustarán después de la hora de recolección inicial de los residuos dentro de la plaza de mercado (11:00 a. m.), hasta la última hora de recolección, e ingresarlos al biodigestor (4:00 p. m.), y así garantizar el suministro necesario de electricidad hasta el otro día. Por lo anterior, se consideró, un turno de medio tiempo de 4 horas. Por este motivo, se ofrecería un salario mínimo legal vigente que para el empleador cancele este valor a pagar que sería de \$ 925.148 (Ministerio de Trabajo, 2018) siendo entonces esta cifra el costo de operación representado en las labores del técnico, con sus prestaciones de ley.

Los costos del mantenimiento preventivo del sistema (que incluye limpiezas rutinarias, ajustes, repuestos, controles programados e informes), se puede estimar en alrededor del 8% a 12% anual respecto del costo final del sistema (Valbor Soluciones, 2021), pero en sus partes operativas. De acuerdo con (Varela, 2019), en su tabla de costos totales y sumando solo los precios de los elementos funcionales e imprescindibles que se ilustran en las Figura 2 y 4, se tiene un costo de 79'869,660 pesos, si se considera un 12% para este propósito, este costo sería de 798,696.6 pesos mensuales. Además, cabe dentro de estos costos los consumos del agua y electricidad para ejecutar el plan de aprovechamiento.

### **3.6. Costo del agua consumida en el biodigestor**

---

Principalmente, se contempla usar aguas lluvia para alimentar el biodigestor. La ciudad de Bogotá tuvo una precipitación media de 61 mm durante el mes de mayo de 2018 (Observatorio Ambiental de Bogotá, 2019), adicional a esto, como dato constante hasta la fecha, se estima su precipita-

ción anual en 1091 mm (climate-data.org, 2021). Si se ajusta la precipitación de 61 mm a la extensión del área tejada de la plaza de mercado calculada en 1,350 , se estimaría un volumen recolectado de aguas lluvia de 82.35 m<sup>3</sup> al mes, según (Varela, 2019). Se estarían requiriendo 8.07 mensual de agua al biodigestor, por lo que no habría costos adicionales para adquirir el agua.

En caso de no hacer la recolecta del agua lluvia, o de encontrarse un mes de sequía, el costo de esos 8.07 de agua, sería de \$21,762.3, cifra que se sumaría como costo adicional, según la Empresa de Acueducto (Agua y Alcantarillado de Bogotá, 2021), cuyo precio del metro cúbico de agua es de \$2,696.7 pesos.

### **3.7. Consumo eléctrico requerido en el plan de aprovechamiento**

---

De acuerdo con Varela (2019), el consumo eléctrico de los elementos que componen este sistema de aprovechamiento en esta plaza de mercado es de 394.98 kW-h al mes, comprendiendo el uso de la trituradora, elevador de cangilones y bomba de recirculación, representando un costo de \$ 199,346.4 pesos al mes.

### **3.8. Apoyo económico por la venta de la enmienda agrícola**

---

Respecto a la venta de la enmienda agrícola, se encontraría en el mercado que 30 kg de abono orgánico cuesta \$55,000 pesos (Mercado Libre, 2018), equiparado con los precios que tengan los productos del biodigestor, se puede lograr un rendimiento económico adicional para apoyar el sistema de aprovechamiento y hacerlo más sostenible.

Al biodigestor entran y salen continuamente 14,146 kg de agua y 5,076 kg de materia orgánica sólida, que son la biomasa residual producida más el volumen de agua estimado, durante 55 días –tiempo de retención estimado– (Varela, 2019), se volverán la enmienda agrícola estimada en 13,146 kg.



Para venderlo todo en el menor tiempo posible y a un precio apropiado, si se ofreciera a un 35% del precio de referencia –ya que este punto se considerarían lo mínimo suficiente para apoyar la rentabilidad del sistema–, la enmienda agrícola tendría un precio comercial de \$8'435,350 de pesos donde el kilo costaría \$641.7 pesos; reduciendo esta cifra a 30 días se tiene un rendimiento por esta actividad de \$4'601,800/mes.

#### 4. Discusión

La presente investigación permite a abrir discusión sobre la presencia de Bioenergía a partir de

biomasa residual en plazas de mercado a través de los datos presentados a continuación.

#### Análisis costos y beneficios del sistema de aprovechamiento

En la Tabla 1 se presenta la relación de costo-beneficio de la propuesta, suponiendo que se utilizara solo aguas lluvia, se cubra primero la demanda de biogás en los restaurantes y el restante se convirtiera en electricidad para consumo interno; de esta manera se refleja la sostenibilidad económica del sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos en su máxima cobertura energética.

**Tabla 1**

*Costo-beneficio de la instalación del sistema de aprovechamiento*

Factor de costo-beneficio	Cantidad en pesos
Costo de la construcción y mano de obra	342'500,000
Costo en mantenimiento	798,696.6/mes
Costo de operación (operario)	1'382,285/mes
Costo en electricidad	199,346.4/mes
Beneficio ahorro gas natural por el Biogás	80,329.83/mes
Beneficio ahorro en electricidad	702,542.4/mes
Beneficio por venta de la enmienda agrícola	4'601,100/mes

Sumando el ahorro monetario en gas natural, electricidad y los ingresos de la venta de la enmienda agrícola, se tienen 5'383,972.2 pesos (que es el valor económico de la autonomía energética de la plaza de mercado), menos los costos de operación, mantenimiento y electricidad que suman 2'380,328 pesos, se logra una rentabilidad económica mensual de 3'003,644.2 pesos.

Para recuperar la inversión económica de la construcción del sistema de aprovechamiento, así como pagando una deuda con un banco, a una tasa de interés de 1.77% efectivo anual fijado por el Banco de la República (2019), pagar 342'500,000 de pesos en préstamo, tiene un pre-

cio de 32'795,736.97 pesos, tanto capital como intereses se pagarían a cuotas mensuales durante 125 meses o 10 años y 5 meses.

#### 5. Conclusiones

El plan de aprovechamiento propuesto puede suplir parte de la demanda de electricidad, porque podría genera hasta 2,117 kW-h de energía eléctrica por mes, lo que representa el 46.2% de la energía consumida en un mes típico, en contraste a como lo fue en mayo de 2018, en el cual se consumió 4,580 kW-h.

Por otro lado, si el biogás generado se usara primero como biocombustible para las cocinas de

los restaurantes, cubriría el 100% de la demanda térmica de la plaza de mercado Trinidad Galán, que tiene un consumo mensual de metano, contenido en el gas natural, de 241.65 N y en el mismo periodo de tiempo se estima una producción de gas metano a partir de los residuos orgánicos de 705.6 Nm<sup>3</sup>, dejando entonces libre 463.95 Nm<sup>3</sup> para la producción de electricidad. Si se usara esta cantidad de metano libre para producir bioelectricidad, esta tendría un potencial de 4,639 kW-h, que por transformación final con un motor de combustión interna se tendría una energía útil de 1,392 kW-h, la cual representa el 30.4% del consumo mensual de energía. Todo esto aporta a que la plaza de mercado ahorre en consumo externo de estos servicios públicos.

A su vez la implementación de un sistema de recolección de aguas lluvia, para este sistema de aprovechamiento puede cubrir la demanda de agua necesaria para su funcionamiento, porque con el área tejada actual de la plaza de mercado, se estarían recolectando mensualmente hasta 82.35 de agua con la precipitación de Bogotá estimada en 1.091 mm, y solo se requieren 8.07 al mes, quedando a libre disposición 74.28 que podrían ser usados en los baños públicos o para hacer aseo dentro del lugar. Se proyecta que el costo energético de electricidad en el sistema de aprovechamiento es de 18.7% respecto a su producción; ya que el consumo de energía eléctrica es de 394.98 kW-h/mes al mes y su producción útil es de 2,117 kW-h/mes.

modelo de sistema de aprovechamiento, dentro del resto de plazas de mercado, traería efectos positivos sobre el entorno ambiental del relleno sanitario, al cambiar el tratamiento final de los residuos orgánicos.

## 6. Referencias

- Agrogas Biogás. (20 de 1 de 2014). *Digestión Anaeróbica de Baja Concentración*. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=0X-FO4Unoew>
- Agua y Alcantarillado de Bogotá. (2021). *Tarifas\_EAAB\_ESP\_2021*. Bogotá.
- Banco de la República. (21 de 09 de 2021). *Tasas de interés y sector financiero*. Disponible en <https://www.banrep.gov.co/es/listado-archivos/2100>
- Bodegasplate. (2019). *No todas las frutas se caen bien: cómo combinarlas correctamente. Parte II*. Disponible en <http://bodegasplate.com/las-frutas-y-combinaciones/>
- Chaur (1992). *El Biogas*. Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario.
- Climate-data.org. (2021). *Clima Bogotá (Colombia)*. <https://es.climate-data.org/americadel-sur/colombia/bogota/bogota-5115/>
- Congreso Nacional de Medio Ambiente. (11 de 2014). *Plazas de mercado en Bogotá, generadoras de residuos y desarrollo*. Disponible en <http://www.conama2014.conama.org/conama2014/download/files/conama2014/CT%202014/1896711446.pdf>
- Ente Nacional para la Energía Eléctrica. (01 de 2021). *Tarifas energía eléctrica*. Disponible en <https://www.enel.com.co/content/dam/enel-co/espac3%B1o1/personas/1-17-1/2021/Tarifario-enero-2021.pdf>
- Ente Nacional para la Energía Eléctrica. (2018). *Codensa. Tarifario mayo 2018*. Disponible en

Finalmente, el apoyo económico por la venta de la enmienda agrícola producto de la biodigestión anaeróbica es otro aliciente para la plaza de mercado, porque siendo esta de excelente calidad y sin componentes artificiales, su comercialización sería más rápida. La biomasa residual es una fuente de energía renovable no convencional, que puede aportar al sistema energético nacional, además, atraer posibles inversionistas de la sociedad civil, para administrar y operar el sistema de aprovechamiento. Así como replicar este

- <https://www.enel.com.co/content/dam/enel-co/esp%C3%B1ol/personas/1-17-1/2018/Tarifario-mayo-2018.pdf>
- Gerencie (2021). *Cuánto cuesta un trabajador con salario mínimo?* Disponible en <https://www.gerencie.com/cuanto-cuesta-un-trabajador-con-salario-minimo.html>
- Grupovanti (2021). *Tarifas*. <https://www.grupovanti.com/comercio/servicios-para-comercios/revision-de-gas-natural-para-comercio/tarifas/>
- Instituto para la Economía Social. (2020). *Plan Institucional de Gestión Ambiental 2021-2024*. Disponible en <https://www.ipes.gov.co/images/informes/Planes/PE01-DE-006-PIGA%202021-2024%20V2.pdf>
- KDM Energía S.A. (3 de 2 de 2019). *Biogás : Un Combustible Sustentable*. Disponible en [https://drive.google.com/file/d/1c8APKy3SVK\\_IlrXOPAMUqW\\_T6lrALZQ/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1c8APKy3SVK_IlrXOPAMUqW_T6lrALZQ/view?usp=sharing)
- López, G. (2011). Producción de Biogás a partir de RSU.(pág. 68). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Mercado Libre (2018). *Abonos Orgánicos en Mercado Libre Colombia*. Recuperado el 28 de 10 de 2018, de <https://listado.mercadolibre.com.co/abonos-organicos>
- Ministerio de Trabajo. (2018). Mintrabajo es Noticia 2018. Disponible en [https://www.mintrabajo.gov.co/prensa/mintrabajo-es-noticia/2018/-/asset\\_publisher/nMorWd1x7tv1/content/salario-minimo-en-colombia-para-2019-queda-en-828-116](https://www.mintrabajo.gov.co/prensa/mintrabajo-es-noticia/2018/-/asset_publisher/nMorWd1x7tv1/content/salario-minimo-en-colombia-para-2019-queda-en-828-116)
- Plaza de Mercado Trinidad Galán. (6 de 2018). Entrevista Administración. (C. Varela, Entrevistador)
- Observatorio Ambiental de Bogotá. (2019). *Precipitación mensual*. Disponible en <http://www.oab.ambientebogota.gov.co/esm/indicadores?id=512&v=l>
- Osinermin. (2012). *El Gas Natural y sus diferencias con el GLP*. Disponible en <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/hm000661.pdf>
- Rioclaro. (2021). *¿Qué es una enmienda agrícola?* Disponible en <https://www.rioclaro.com.co/-que-es-una-enmienda-agricolar-content-66.html>
- Rovira, A. y Muñoz, M. (2015). *Motores de Combustión Interna*. Disponible en [https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=-EfLC-gAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA6&dq=motor+de+combustion+interna&ots=D17osGpy\\_w&sig=zH8FSgb4I90sr2wk1B4dE2K7Dps&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=-EfLC-gAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA6&dq=motor+de+combustion+interna&ots=D17osGpy_w&sig=zH8FSgb4I90sr2wk1B4dE2K7Dps&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Ruiz, D. y Rojas, E. (2018). *Determinación de grado de madurez y la capacidad de las Tecnologías existentes para la transformación de biomasa residual en energía eléctrica*. Bogotá: Universidad Distrital.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. Madrid: McGraw-Hill.
- Valbor Soluciones. (2021). *Costos del mantenimiento industrial y su clasificación*. Disponible en <https://www.valborsoluciones.com/mantenimiento/costos-mantenimiento/>
- Varela, C. (10 de 2019). *Plan de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos para la Obtención de Bioenergía en Plazas de Mercado Públicas en Bogotá*. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Notas

i Artículo de Investigación