

**Evaluación de un modelo sostenible para generar biogás a partir de  
residuos orgánicos en centrales de abasto en Bogotá**

**Elaborado por:**

Andrea Milena Parra

Juan Felipe Moreno

Yeimy Yohana González Barrero

**Universidad EAN**

**Facultad de Ingeniería**

**Seminario de Investigación**

**Elizabeth León Velásquez**

Bogotá

Noviembre 2025

## Tabla de Contenido

Introducción.....	1
1. Propuesta Proyecto Investigación .....	2
1.1. Resumen.....	2
1.2. Planteamiento del Problema.....	2
1.3. Antecedentes del problema. ....	3
1.4. Descripción del problema. ....	4
1.5. Pregunta de investigación. ....	5
2. Objetivos .....	5
2.1. Objetivo general. ....	5
2.2. Objetivos específicos.....	5
3. Justificación.....	6
4. Marco Teórico .....	8
4.1. Residuos orgánicos en plazas de mercado y centrales de abastos .....	8
4.2. Modelos de Conversión de residuos orgánicos .....	11
4.2.1 Conversión termoquímica.....	11
4.2.2 Conversión fisicoquímica.....	11
4.2.3 Conversión bioquímica .....	12

4.2.4 Conversión biológica .....	14
4.3. El biogás y su proceso de generación .....	16
4.4. Marco regulatorio del biogás en Colombia.....	18
5. Metodología de investigación .....	20
5.1. Enfoque, alcance y diseño de la evaluación. ....	20
5.2. Población y muestra .....	21
5.3. Técnicas de análisis de datos.....	27
6. Análisis y Discusión de resultados.....	29
6.1. Panorama del tipo de residuos orgánicos y potencial energético en centrales de Abasto de Bogotá. ....	29
6.2. Potencial energético de los residuos orgánicos generados en plazas de mercado y centrales de abasto. ....	30
6.3. Análisis de los procesos tecnológicos disponibles para la conversión de residuos orgánicos.....	32
6.4. Evaluación de la viabilidad técnica, económica, social y ambiental de implementar un modelo sostenible de conversión de biogás en centrales de abasto de Bogotá .....	38
6.5. Recomendaciones para la implementación de modelos sostenibles para la generación de biogás. ....	46
7. Conclusiones generales .....	48

8. Bibliografía .....	51
-----------------------	----

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Generación de residuos en plazas de mercado .....	10
<b>Figura 2</b> Mapa de Plazas Distritales de mercado Bogotá.....	22

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> Caracterización fisicoquímica de residuos agrícolas generados en la plaza distrital de mercado de El Restrepo (Bogotá D.C.).....	9
<b>Tabla 2</b> Proceso de degradación del compostaje.....	15
<b>Tabla 3</b> Caracterización de las plazas de mercado de Bogotá.....	22
<b>Tabla 4</b> Generación Residuos Corabastos.....	24
<b>Tabla 5</b> Definición de variables.....	25
<b>Tabla 6</b> Métodos e instrumentos de recolección de información.....	26
<b>Tabla 7</b> Tipos de residuos orgánicos y potencial energético estimado en plazas de mercado de Bogotá.....	31
<b>Tabla 8</b> Comparación aspectos técnicos, impactos ambientales, sociales y económicas de las tecnologías de conversión de residuos orgánicos.....	35
<b>Tabla 9</b> Matriz de valoración para la evaluación de la viabilidad de diferentes tecnologías de conversión.....	43
<b>Tabla 10</b> Análisis de viabilidad digestión para la conversión de residuos orgánicos en biogás en plazas de mercado y centrales de abasto de Bogotá.....	45

## Introducción

El consumo desmedido, acelerado y la sobre explotación de los recursos naturales nos lleva a reflexionar ¿cuántos planetas tierra necesitaran las futuras generaciones para vivir?, ¿a qué costo avanzamos y generamos progreso? El mundo tiene grandes desafíos sociales y ambientales ante la generación de residuos urbanos y es aquí donde nos surge la necesidad de esta investigación, la creciente generación de residuos orgánicos en las plazas de mercado y centrales de abasto del país, sumado a la inadecuada gestión y subutilización de estos que conlleva resultados negativos para los ecosistemas.

Por esto, esta evaluación abordará un análisis integral en aspectos técnico, económico y socio ambiental sobre la caracterización y composición de residuos, su potencial energético, así como las tecnologías existentes para su conversión y descomposición para la producción de diferentes energías renovables y de su aporte a la economía circular y al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible.

Una vez evaluadas estas variables se sugerirá de un modelo de sostenible, que se adecue a las condiciones reales de las centrales de abasto y plazas de mercado de la ciudad de Bogotá D.C, y que garantice la operatividad y eficiencia del tratamiento y recuperación de residuos orgánicos

## **1. Propuesta Proyecto Investigación**

### **1.1. Resumen**

Los entornos urbanos son generadores de residuos en un volumen importante, en la ciudad de Bogotá, por ejemplo, las centrales de abastos y plazas de mercado producen grandes cantidades de residuos orgánicos con un alto potencial para la generación de biogás. No obstante, su aprovechamiento aún es limitado y gran parte de estos materiales termina en los rellenos sanitarios de la ciudad, generando impactos ambientales y sociales. El proyecto que planteamos busca construir una propuesta de modelo sostenible que evalúa la viabilidad técnica, ambiental y económica de producir biogás a través de la generación de residuos orgánicos con base en estudios sobre energías renovables y gestión de residuos, contribuyendo a la transición energética y a la mitigación del cambio climático en el país.

### **1.2. Planteamiento del Problema**

En las centrales de abasto en Bogotá se generan de forma diaria cantidades importantes y diversas de residuos orgánicos de frutas, verduras, cáscaras y restos de alimentos con un alto potencial para producir biogás y otros subproductos útiles, sin embargo, su aprovechamiento es mínimo y el tratamiento final de la mayoría de estos residuos suele realizarse en rellenos sanitarios, ocasionando diferentes impactos ambientales y de salubridad como lo son emisiones de gases de efecto invernadero, proliferación de vectores, malos olores, contaminación de suelos, cuerpos de agua e insalubridad, desaprovechando una fuente importante de energía renovable basado en el estudio de (Cuasquer Pastas, 2025).

### **1.3. Antecedentes del problema.**

Según datos publicados por la (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP], 2018) en el relleno Sanitario Doña Juana llegan diariamente 6.300 toneladas de residuos sólidos aproximadamente, de los cuales el 53.22% (3.350 ton/día) son orgánicos que tienen un potencial de aprovechamiento. De acuerdo con el mismo estudio solo el 6% se utiliza para elaborar abono orgánico o realizar lombricultura. El restante de los residuos está generando un impacto ambiental debido al exceso de líquidos nocivos (lixiviados) los cuales propician la proliferación de plagas y roedores.

Estudios internacionales han mostrado que diferentes tipos de biomasa residual, como las cáscaras de coco y otros subproductos agrícolas (Liyanage y Pieris, 2015), presentan propiedades fisicoquímicas que favorecen su degradación anaerobia y el rendimiento energético del biogás. Asimismo, estudios nacionales realizados en centrales de abasto de Bogotá han señalado que, además del potencial técnico, el reaprovechamiento de residuos orgánicos para la generación de energía en entornos urbanos contribuye a reducir el nivel de residuos que llegan a los rellenos sanitarios y a mejorar las condiciones ambientales locales de acuerdo con el estudio realizado por (García y Gómez, 2016).

Sin embargo, a pesar de la oportunidad energética que se evidencia en los estudios previos mencionados, la implementación de modelos sostenibles para la generación de energías renovables como es el caso del biogás enfrenta varias barreras como lo son: la recolección, el tratamiento para realizar la separación de estos residuos directamente en la fuente, logística y transporte, adecuación tecnológica e infraestructura y la coordinación entre operadores, comerciantes y autoridades. Por esta razón se plantea la necesidad de proponer un modelo integral sostenible que tenga una

viabilidad, económica, técnica, social y ambiental para su aplicación en las centrales de abasto de Bogotá.

#### **1.4. Descripción del problema.**

A pesar del alto potencial energético que pueden tener los residuos orgánicos generados en plazas de mercado y centrales de abasto, en Colombia su aprovechamiento sigue siendo limitado. En la práctica, gran parte de estos materiales continúa siendo dispuestos en rellenos sanitarios, donde su degradación genera emisiones de metano, gases de efecto invernadero con un alto impacto en el calentamiento global superior que el dióxido de carbono y lixiviados que pueden contaminar aguas y suelos según (García y Gómez, 2016)

En el caso de Corabastos los autores (Gordillo y Vargas, 2024) desarrollaron estudios piloto que demuestran la viabilidad técnica de la digestión anaerobia para producir biogás, su implementación a escala comercial y las múltiples barreras que conlleva la implementación de estos modelos. A su vez en el estudio realizado por (Cuasquer Pastas, 2025) se identificó que una de las barreras más relevantes es la ausencia de un sistema de separación en fuente eficiente, la insuficiencia de infraestructura para el pretratamiento y manejo de sustratos, la escasa articulación entre los actores involucrados y las limitaciones de inversión inicial para plantas de biogás.

El aprovechamiento energético de estos residuos requiere considerar las variaciones en su composición, que cambia según la temporada, el tipo de producto y las condiciones de almacenamiento.

La falta de un modelo integral que aborde simultáneamente los aspectos técnicos, logísticos, económicos y de gestión en las centrales de abasto disminuyen la posibilidad de transformar un impacto ambiental en una oportunidad de generar energía renovable. Esto plantea la importancia de proponer un modelo sostenible que tenga aplicabilidad a las condiciones actuales de las plazas de mercado y centrales de abasto en Bogotá.

### **1.5. Pregunta de investigación.**

¿Cómo buscar un modelo sostenible para el aprovechamiento local de residuos orgánicos en centrales de abastos de Bogotá?

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general.**

Proponer un modelo sostenible para la generación de biogás a partir del aprovechamiento y conversión de residuos orgánicos en centrales de abastos de Bogotá

### **2.2. Objetivos específicos.**

1. Identificar los tipos de residuos orgánicos generados en las centrales de abastos y su potencial energético.
2. Analizar los procesos tecnológicos disponibles para la conversión de residuos orgánicos.
3. Evaluar la viabilidad técnica, económica, social y ambiental de implementar un modelo de conversión de energía sostenible de biogás en centrales de abasto de Bogotá.
4. Proponer un modelo sostenible para la generación y uso de biogás para las centrales de abasto de Bogotá.

### 3. Justificación

Esta investigación surge de la necesidad de encontrar un modelo de gestión sostenible de los residuos orgánicos y aprovechamiento del valor energético de los mismos en los entornos urbanos. En Bogotá el 53% de los residuos que ingresan diariamente al relleno sanitario Doña Juana pertenece a la categoría de materia orgánica, de los cuales solo un pequeño porcentaje es usado para otro tipo de proyectos (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP], 2018). De acuerdo con la evaluación realizada por (García y Gómez, 2016) esta situación representa no solo una pérdida de recursos valorizables, sino también un problema ambiental debido a la generación y emisión de gases efecto invernadero y a la contaminación de aguas y suelos aledaños a los lugares donde se hace la disposición de estos residuos.

Durante el desarrollo de este documento, se resalta la importancia de realizar una identificación de los tipos de residuos orgánicos generados en plazas de mercado y centrales de Bogotá, así como su alto potencial en procesos de compost, digestión anaerobia así como métodos biológicos y químicos que permiten la generación de energías renovables como el biogás, un combustible de diversos usos ya sea directamente en energía térmica y eléctrica o mediante procesos de transformación y purificación para la producción de biometano.

Así mismo, cómo el marco regulatorio y políticas de energías renovables no convencionales (FNCE) y economía circular y normatividad sobre la gestión de residuos, se integran para contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) que hemos trabajado durante el transcurso de la especialización en gerencia de proyectos, esta iniciativa articula metas clave como lo son : ODS 7 (energía asequible y no contaminante) impulsando la producción de biogás a partir de residuos

orgánicos como fuente renovable; el ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles), al mejorar la gestión urbana de residuos dentro de las plazas de mercado ; el ODS 13 (acción por el clima), al reducir emisiones de metano derivadas de la disposición inadecuada de residuos. Asimismo, se contribuye al ODS 8 (trabajo decente y crecimiento económico) mediante la generación de empleos verdes en la operación de sistemas de aprovechamiento y al ODS 15 (vida de ecosistemas terrestres) por la disminución de la presión que generan estos residuos sobre los suelos y cuerpos de agua circundantes.

Teniendo en cuenta los puntos descritos anteriormente este proyecto no solo busca presentar alternativas para el manejo de los residuos orgánicos generados en las plazas de mercado y centrales de abasto de Bogotá si no que busca evaluar bajo un enfoque sostenible como transformar estos residuos orgánicos, para generar y/o producir energías renovables y prácticas de economía circular alineadas a los ODS.

## **4. Marco Teórico**

### **4.1. Residuos orgánicos en plazas de mercado y centrales de abastos**

La gestión de los residuos orgánicos de plazas de mercado y centrales de abasto en Bogotá están enmarcados en la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos del (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2016) y en la Resolución 2184 del (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019) donde se establece el código de colores para realizar la separación en la fuente y aprovechamiento de estos residuos. En el marco de la economía circular, estos residuos deben ser vistos como insumos para compostaje, biogás y bio productos, reduciendo la dependencia final de su disposición en el Relleno Sanitario Doña Juana.

El estudio de clasificación de residuos en plazas de mercado realizado por (Sánchez et al., 2022) categoriza los residuos en seis categorías: R1 (cáscaras y semillas), R2 (residuos de tubérculos), R3 (residuos de frutas carnosas), R4 (vainas y verduras), R5 (residuos de hojas) y R6 (otros). En su estudio, encontraron altos contenidos de almidón en R2 (41,9%) y de celulosa en R4 (33-35%), lo que evidencia un alto potencial para procesos biológicos como el compostaje y la digestión anaerobia; la papa y yuca presentan altos contenidos de carbohidratos y fibra, mientras que tomate tiene mayor humedad.

**Tabla 1**

*Caracterización fisicoquímica de residuos agrícolas generados en la plaza distrital de mercado de El Restrepo (Bogotá D.C.)*

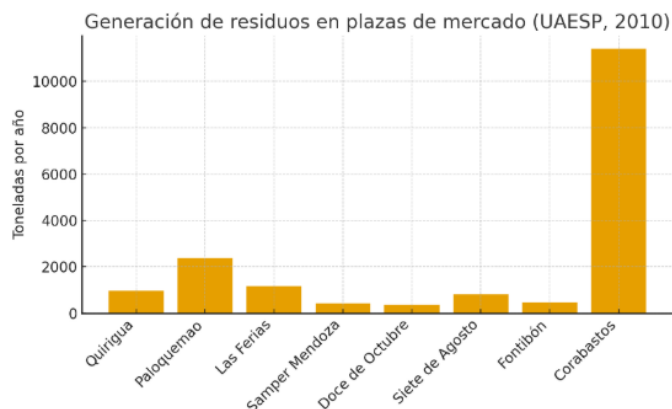
Análisis	R1 – Tubérculos	R2 - Frutas	R3 - Plantas ornamentales	R4 - Plantas aromáticas	R5 - Ameros y vainas	R6 - Verduras
Humedad (%)	64,12 ± 4,42	86,52 ± 3,36	79,19 ± 4,04	79,94 ± 6,67	77,12 ± 2,16	89,31 ± 1,65
Nitrógeno (%)	1,04 ± 0,10	1,22 ± 0,06	2,25 ± 0,07	2,87 ± 0,12	2,20 ± 0,14	1,38 ± 0,20
Proteína (%)	6,50 ± 0,57	7,61 ± 0,35	14,07 ± 0,42	13,45 ± 0,75	7,50 ± 0,78	11,49 ± 1,10
COT (%)	58,79 ± 0,47	44,98 ± 0,60	48,62 ± 0,33	65,97 ± 0,51	45,77 ± 0,17	47,90 ± 0,38
Relación C/N	57,01 ± 1,82	36,99 ± 0,92	21,61 ± 0,34	23,03 ± 0,44	38,64 ± 2,36	28,00 ± 1,44
Azúcares Reductores (%)	0,20 ± 0,14	6,11 ± 2,13	1,84 ± 0,06	1,11 ± 0,33	1,06 ± 0,19	5,04 ± 0,04
Grasas y aceites (%)	0,23 ± 0,05	0,69 ± 0,15	0,56 ± 0,16	0,72 ± 0,11	0,64 ± 0,12	1,16 ± 0,23
Almidón (%)	41,9 ± 1,18	1,44 ± 0,08	1,64 ± 0,34	1,78 ± 0,27	2,28 ± 0,24	1,92 ± 0,09
Pectina (%)	1,50 ± 1,12	12,95 ± 0,30	2,16 ± 0,63	2,69 ± 0,84	2,57 ± 0,68	4,02 ± 0,88
Hemicelulosa (%)	8,23 ± 0,36	8,62 ± 0,72	24,24 ± 1,24	26,47 ± 3,42	18,13 ± 0,63	32,81 ± 0,22
Lignina (%)	2,30 ± 0,62	6,70 ± 0,72	18,94 ± 1,22	26,43 ± 0,47	13,63 ± 0,81	8,21 ± 0,22
Celulosa (%)	3,16 ± 0,54	23,90 ± 1,44	27,11 ± 1,56	27,15 ± 0,43	35,29 ± 0,77	33,78 ± 0,91

*Nota:* Adaptado de (Sánchez et al., 2022)

En términos de generación la reportó que plazas como Paloquemao y Las Ferias producen más de 1.000 toneladas anuales, mientras que Corabastos, como central mayorista, supera las 11.000 toneladas al año, cifras que nos muestran el impacto que tiene el inadecuado manejo de estos residuos y la necesidad de definir alternativas para su manejo.

**Figura 1**

*Generación de residuos en plazas de mercado*



*Nota:* Adaptado la generación de residuos en plazas de mercado (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP], 2010)

Respecto al manejo actual la (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP], 2010) reporta que la mayor parte de los residuos orgánicos de plazas en Bogotá siguen siendo enviados al relleno sanitario. Sin embargo, iniciativas recientes como las descritas en el informe de viabilidad técnica para el tratamiento in situ realizado por (Agencia Alemana de Cooperación Internacional [GIZ], 2022) han impulsado proyectos piloto de compostaje y lumbricultura en plazas seleccionadas, buscando replicabilidad. Asimismo, el modelo de optimización para aprovechamiento realizado por (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP], 2018) plantea evaluar rutas como compostaje y lumbricultura con base en utilidad económica y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que puedan beneficiar las zonas aledañas al relleno sanitario.

Teniendo en cuenta los puntos anteriormente descritos la caracterización detallada de residuos (R1–R6) realizado por (Sánchez et al., 2022) permite seleccionar tecnologías adecuadas, mientras que los datos de generación reflejan el alto volumen

de orgánicos disponibles. El marco normativo impulsa la separación y el aprovechamiento, aunque persisten retos en la implementación. El manejo actual muestra avances hacia modelos circulares, pero aún predomina la disposición final, lo que abre la oportunidad de fortalecer el aprovechamiento energético y agrícola.

## **4.2. Modelos de Conversión de residuos orgánicos**

La conversión de residuos orgánicos en energía se enfoca en tres procesos principalmente: bioquímica, fisicoquímica y termoquímica.

### **4.2.1 Conversión termoquímica**

Este modelo se caracteriza por temperaturas y tasas altas de conversión, es adecuado para materias primas con menor porcentaje de humedad como lo refiere (EcoMENA, 2023) donde se incluyen tres métodos: la combustión controlada de residuos con la recuperación de calor para generar vapor y a su vez formar energía a través turbinas de vapor. Por otra parte, la pirólisis y la gasificación son procesos de tratamiento térmicos, se caracterizan por la transformación de los residuos en gas como vector energético para su posterior combustión.

### **4.2.2 Conversión fisicoquímica**

De acuerdo con el artículo publicado por (EcoMENA, 2023) esta tecnología busca mejorar las propiedades físicas y químicas de los residuos sólidos. La porción de combustible de los residuos se convierte en pellets (piezas compactadas de material orgánico) en combustible de alta energía y pueden usarse en la generación de vapor

Para compactar los residuos y convertirlos en CDR o pellets se reduce la humedad en la biomasa, esta se seca y luego se separa la arena, la gravilla y otros

materiales incombustibles Estos cilindros comprimidos fabricados a partir de biomasa residual contienen mayor humedad y cenizas, son más eficientes y limpios que la madera y el carbón.

#### **4.2.3 Conversión bioquímica**

##### **Digestión Anaeróbica**

De acuerdo con la literatura (La Cal Herrera, 2023) señala que la digestión anaeróbica es un proceso biológico que descompone los residuos orgánicos en ausencia del aire, y durante el cual la materia orgánica se degrada en productos como metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), proceso que tiene como resultado el biogás, y que debido a su alto contenido energético puede utilizarse para generar electricidad, calor o combustible para vehículos. Además, como subproducto del proceso de digestión se obtiene el digestato, con alto contenido en nutrientes que puede ser utilizado como abonos o fertilizantes en agricultura debido a su elevado aporte en nitrógeno y fosforo.

El proceso de digestión anaeróbica se lleva a cabo en digestores, que son tanques sellados donde los residuos orgánicos, como estiércol, residuos de alimentos y lodos de depuradora, son descompuestos por microorganismos anaeróbicos (Secular (s.f.), 2025) de igual manera señala los beneficios ambientales, en cuanto a la reducción de gases efecto invernadero, energías renovables y gestión y manejo de residuos orgánicos.

## **Fases del proceso de Biodegradabilidad**

En la investigación sobre generación de biogás a partir del proceso de digestión anaerobia de (Reyes Aguilera, 2017) se identifican las fases del proceso de biodegradabilidad:

Hidrolisis de partículas y moléculas complejas que son hidrolizadas mediante reacciones de oxidación y reducción, por enzimas extracelulares producidos por los organismos fermentativos, esta fase depende de la temperatura del proceso, el tiempo de retención hidráulico, de la composición del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del tamaño de la partícula, del PH, de la concentración de  $\text{NH}_4^+$  y de la concentración de los productos de hidrolisis. (Reyes Aguilera, 2017)

Acidogénesis y acetogénesis, El material orgánico es fermentado por varios organismos, formando así compuestos que pueden ser utilizados primeramente por los microorganismos metanógenos (acético, fórmico,  $\text{H}_2$ ), y compuestos orgánicos más reducidos (láctico, etanol, propiónico, butírico) que propiamente deben ser oxidados por las bacterias acetogénicas a pequeños sustratos, que le sean factibles de utilizar a las bacterias metanógenas. (Reyes Aguilera, 2017)

Metanogénesis En esta etapa los microorganismos metanogénicos son los responsables de la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , Formiato, metanol, y algunas metilaminas. (Reyes Aguilera, 2017)

#### **4.2.4 Conversión biológica.**

##### **El Compostaje**

Es un proceso de degradación aerobia, las características que influyen en este son la humedad, la temperatura, la porosidad, la relación carbono/ nitrógeno (C/N) y aireación, este método se enfoca en la transformación de materia orgánica mediante diferentes reacciones bioquímicas y que tiene como resultado el compost, un producto estable, libre de patógenos y semillas de malezas.

**Tabla 2***Proceso de degradación del compostaje*

Fase	¿Qué ocurre en la Fase?	Temperatura	Microorganismos	PH	Duración
Mesófila	Se visualiza un incremento de temperatura por la actividad microbiana, se genera calor ya que los microorganismos utilizan fuentes sencillas de Carbono y nitrógeno	Ambiente hasta 40°C	Hongos mesofílicos y termo tolerantes. Bacterias mesofílicas	5-5.5	Entre dos y ocho días
Termófila o de higienización	Los microorganismos mesófilos son sustituidos por bacterias filamentosas (actinomicetos) y hongos. Sobre los 45°C aparecen bacterias termófilas, las cuales facilitan la degradación de fuentes de carbono, la celulosa y la lignina (más complejas)	40 - 70°C o más	Bacterias Actinomicetos Hongos	8-9	Días o Meses
Enfriamiento	ocurre la degradación de polímeros como la celulosa, una vez agotadas las fuentes de carbono (nitrógeno), brotan algunos hongos	Desciende hasta 40°- 45°C	Bacterias Hongos Invertebrado	8.5	Varias semanas
Maduración	Se generan reacciones como la condensación y la polimerización	18-22°C	Bacterias Actinomicetos Hongos	8-9	Meses

*Nota:* Elaboración propia basado en Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP]), 2018)

### **4.3. El biogás y su proceso de generación**

El biogás es un gas combustible compuesto principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), generado mediante la digestión anaerobia de materia orgánica en ausencia de oxígeno. Este proceso es llevado a cabo por microorganismos que degradan residuos orgánicos como restos de frutas, vegetales y otros desechos biodegradables, transformándolos en biogás y en un efluente rico en nutrientes conocido como digestato. (Gordillo y Vargas, 2024)

En el contexto colombiano, estudios pioneros han demostrado la viabilidad técnica de transformar residuos orgánicos de plazas de mercado en productos de valor agregado. (Cardona et al., 2004) explican que “se llevó a cabo el estudio cinético de la hidrólisis de almidón con base en el modelo de Michaelis-Menten” y que, a partir de los residuos tratados, “se evaluó la producción de biogás y compost determinándose que por cada kilogramo de residuos tratados se producen aproximadamente 4 L de biogás” (p. 78). Esta evidencia sugiere que los residuos de centrales de abasto constituyen un sustrato viable para la producción de biogás a escala local.

Desde un enfoque internacional (Singh et al., 2024) destaca que “la proliferación de plantas de biogás descentralizadas (DBP) en economías emergentes ofrece una vía convincente para la producción de energía sostenible y la gestión de residuos” (p. 392), y que este tipo de sistemas, al ubicarse cerca de los centros de consumo, fortalecen la seguridad energética comunitaria y promueven el desarrollo sostenible.

#### **Usos del biogás**

El biogás posee múltiples aplicaciones energéticas que contribuyen a la diversificación de la matriz energética:

- **Generación de energía térmica**, al emplearse directamente como combustible en estufas, hornos y calderas industriales.
- **Generación de energía eléctrica**, mediante motores o microturbinas adaptadas a biogás, permitiendo suplir parcial o totalmente la demanda energética de instalaciones locales.
- **Producción de biometano**, tras procesos de purificación que eliminan CO<sub>2</sub> y otros gases traza, alcanzando contenidos superiores al 90% de metano, lo que permite su inyección en redes de gas natural o uso como combustible vehicular (Singh et al., 2024).

En el caso específico de Bogotá (Gordillo y Vargas, 2024) estimaron que un biodigestor de 20 000 litros instalado en plazas distritales podría generar aproximadamente 2,12 m<sup>3</sup> de biogás por cada kilogramo de residuo tratado, energía que puede emplearse en cocción o generación eléctrica interna.

Experiencias internacionales han demostrado que la conversión de residuos de mercado en biogás no solo genera beneficios ambientales, sino que también resulta financieramente rentable. En el estudio realizado por (Ghaffar et al., 2012) se señala que “el análisis beneficio–costo ilustra que, para el mercado seleccionado, convertir residuos orgánicos en biogás es ventajoso tanto ambiental como financieramente; además, la relación beneficio–costo es tres veces mayor tras la conversión” (p. 5423). De igual forma (Olawale y Oladapo, 2024) reportan que “los proyectos piloto de compostaje y producción de biogás han reducido con éxito el uso de rellenos sanitarios del 100% en 2019 al 60% en 2024” (p. 102), lo que confirma su eficacia tanto ambiental como económica.

#### **4.4. Marco regulatorio del biogás en Colombia**

La producción y aprovechamiento de biogás en Colombia se enmarca en el conjunto de políticas de energías renovables no convencionales, fuentes no convencionales de energía (FNCE) y economía circular, con instrumentos normativos que promueven tanto su desarrollo como el aprovechamiento de residuos orgánicos:

**Ley 99 de 1993** (Congreso de la República de Colombia) Título II, artículo 2-5:

En esta Ley se establece como función del Ministerio de Ambiente el promover la formulación de planes de reconversión industrial ligados a la implantación de tecnologías ambientalmente sanas y a la realización de actividades de descontaminación, de reciclaje y de reutilización de residuos.

**Ley 142 de 1994** (Congreso de la República de Colombia):

Esta ley establece que los municipios son responsables de la prestación del servicio público de aseo, lo que incluye la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos, promoviendo la adopción de estrategias de gestión integral de residuos.

**Ley 1715 de 2014** (Congreso de la República de Colombia):

Regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, otorgando incentivos tributarios, de depreciación acelerada y exclusiones de IVA y aranceles para equipos y proyectos de biogás.

**Decreto 348 de 2017** (Ministerio de Minas y Energía):

Reglamenta la Ley 1715 en materia de procedimientos para el otorgamiento de beneficios a proyectos de FNCE

**Resolución 045 de 2016 de** (Unidad de planeación minero energética [UPME], 2016) que establece el procedimiento para el reconocimiento de energía generada con FNCE.

**Resolución CRA 720 de 2015**, (Comisión de regulación de Agua potable y Saneamiento básico [CRA], 2015) (Instituto para la Economía Social – IPES, 2025):

Fomenta esquemas de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2015).

**Lineamientos del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS)** de Bogotá, que incluyen la separación y aprovechamiento de residuos orgánicos en plazas de mercado (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP], 2020). Este marco regulatorio tiene como objetivo incrementar la adopción y uso de tecnologías limpias, promover la valorización que tienen los residuos orgánicos y reducir las emisiones de gases efecto invernadero, contribuyendo así al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 7 (energía asequible y no contaminante) y el ODS 12 (producción y consumo responsables).

## 5. Metodología de investigación

### 5.1. Enfoque, alcance y diseño de la evaluación.

La investigación orientada a proponer un modelo sostenible para la generación de biogás a partir de residuos orgánicos se desarrollará bajo un **enfoque de investigación mixta**, el cual nos permite combinar e integrar la información de los análisis cuantitativos de la generación de residuos orgánicos y su potencial energético sumado al análisis cualitativo donde revisaremos las barreras normativas, sociales y organizacionales que actualmente limitan su aprovechamiento en las centrales de abasto y plazas de mercado de Bogotá. Con este tipo de metodología buscamos combinar la objetividad de los diferentes estudios realizados en centrales de abasto con la validación y aplicabilidad de los resultados como lo plantea el autor (Campos de Oliveira, 2020) en el estudio de integración de análisis en modelos investigación con métodos mixtos.

El alcance corresponde a un estudio descriptivo–correlacional; en el artículo Metodología de la investigación (Hernández et al., 2014) explican que los estudios descriptivos se centran en caracterizar variables en una población sin intervenirlas como lo es en esta evaluación donde analizaremos la caracterización de los residuos en centrales de abasto y plazas de mercado, mientras que los estudios correlacionales buscan identificar si existe una relación entre dos o más variables en donde lograremos identificar las variables técnicas, económicas, sociales y ambientales que determinan la viabilidad de un modelo sostenible de biogás. Este enfoque fundamenta la elección de un diseño descriptivo–correlacional, ya que permite tanto la descripción del comportamiento de los residuos generados como la exploración de las relaciones entre los factores técnicos, económicos, sociales y ambientales en el contexto de las centrales de abasto y plazas de mercado de Bogotá.

El diseño de investigación es no experimental, transversal y aplicado. No experimental porque no hay manipulación de variables, transversal porque se emplea información recolectada en un único periodo y aplicado porque busca generar un modelo con aplicación práctica en las centrales de abasto de Bogotá, especialmente Corabastos y algunas plazas distritales.

## **5.2. Población y muestra**

La población de este estudio se enfoca en las centrales de abasto y plazas de mercado de Bogotá, de acuerdo con el informe realizado por (Contraloría de Bogotá, 2025) ; Bogotá cuenta con dos centrales de abastos, y cuarenta y cuatro plazas de mercado públicas y privadas, de estas según el reporte de (Instituto para la Economía Social – IPES, 2025) las 19 plazas distritales de mercado realizan una diversidad de actividades económicas, principalmente asociadas a la comercialización de frutas, verduras y productos agrícolas, así como servicio de restaurantes y zonas de mascotas. El informe de la (Contraloría de Bogotá, 2025) resalta que de las centrales de abasto de Bogotá (Corabastos y Codabas) la Corporación de Abastos de Bogotá “Corabastos” desempeña un rol clave en la cadena de suministro nacional, ya que abastece tanto a Bogotá como a otros municipios del país, al ser un punto de comercialización masivo de distribución eficiente de productos alimenticios.

De acuerdo con el inventario de (Instituto para la Economía Social – IPES, 2025) las 19 plazas de mercado en Bogotá se ubican en las siguientes localidades:

**Figura 2**

*Mapa de Plazas Distritales de mercado Bogotá*



*Nota:* Adaptado de (Instituto para la Economía Social – IPES, 2025)

De acuerdo con el informe realizado por (Contraloría de Bogotá, 2025) las actividades principales de las plazas de mercado y el área en m<sup>2</sup> que tiene cada uno de estos puntos son los siguientes:

**Tabla 3**

*Caracterización de las plazas de mercado de Bogotá*

Plaza de Mercado	Actividades principales desarrolladas	Ubicación	Área m <sup>2</sup>	No. De Espacios
Las Cruces	Venta de frutas, verduras, granos, hierbas naturales, artesanías, comidas para mascotas.	Cll 1AF #4-60- Localidad Santa Fe.	1850	96
La Perseverancia	Alimentos procesados, bodegas para cafeterías, productos varios.	Cra. 5A #30-30 - Localidad Santa Fe.	1793	103
El Carmen	Carnes, pescado, frutas, verduras, alimentos preparados, baños públicos.	Diag. 49A #29-15 sur – Localidad Tunjuelito.	1219	102

Plaza de Mercado	Actividades principales desarrolladas	Ubicación	Área m2	No. De Espacios
San Carlos	Restaurantes, productos agrícolas, servicios varios.	Dra. 19C #50A-90 Sur- Localidad Tunjuelito.	1362	68
San Benito	Alimentos preparados, cuero y calzado, agrícolas, restaurantes.	Cra. 17 #56A-18 Sur – Localidad Tunjuelito.	1544	113
Kennedy	Frutas, verduras, carnes, restaurantes, flores, accesorios para mascotas.	Cll 42S #81A-50- Localidad Kennedy.	2296	215
Fontibón	Verduras, flores, carnes, bodegas, restaurantes, cafeterías.	Cra. 103 #26-71- Localidad Fontibón.	4008	333
Las Ferias	Mercado campesino, venta de frutas y verduras, pescado, condimentos.	Cll 74B #69Q-35- Localidad Engativá.	4852	251
Quiriguá	Papa, plátano, productos agrícolas, bodegas.	Cll 90 #91-51- Localidad Engativá.	3859	223
Siete de Agosto	Mercado campesino, productos varios.	Cll 66 #23-30 - Localidad Barrios Unidos.	3551	283
Doce de Octubre	Granero, frutas, carnicería, restaurantes.	Cll 72 #39-62 - Localidad Barrios Unidos.	5536	130
Samper Mendoza	Cafeterías, restaurantes, hojas de tamal, bodegas.	Cra. 25 #22A-13- Localidad Mártires.	7378	178
Carlos E. Restrepo	Frutas, verduras, aves ornamentales, artesanías, cafeterías.	Cr 19 #18-51 Sur- Localidad Antonio Nariño.	12805	640
Santander	Restaurantes, frutas, verduras, legumbres, artesanías.	Cll 26 Sur #30-51 - Localidad Antonio Nariño.	4247	164
Trinidad Galán	Frutas, restaurantes, productos varios.	Cra. 60 #5-00. Localidad Puente Aranda.	3679	185
La Concordia	Venta de productos varios, artesanías.	Cll 14 #1-40- Localidad Candelaria.	2603	48
Los Luceros	Frutas, verduras, restaurantes.	Cra. 17F #69A-50 Sur- Localidad Ciudad Bolívar.	6166	64
Veinte de Julio	Mercado campesino, productos varios.	Cra- 6 #24-60 Sur- Localidad San Cristóbal.	4429	336
Boyacá Real	Mercado campesino, productos varios.	Cll 68b # 73A-44 Localidad Engativá	1018	105

*Nota:* Adaptado de (Instituto para la Economía Social – IPES, 2025)

De acuerdo con el informe realizado por (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP], 2010) la central mayorista de abastos Corabastos comercializa en un día 12.500 toneladas de alimentos y genera a su entre 100 a 120 toneladas al día de residuos sólidos, con respecto a los residuos orgánicos este mismo estudio identificó la cantidad de residuos generados durante un semestre de los cuales un 76% son orgánicos y de acuerdo con el estudio tienen un manejo de parte de la unión temporal Residuos verdes que después de un proceso de reelección lo usa para compostaje.

**Tabla 4**

*Generación Residuos Corabastos*

Residuos solidos	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Total
Orgánicos	1.453	1.875,3	1.234	2.250	1.636	1.774	1.769
Basura entregada al Consortio - Ciudad Limpia con destino a Doña Juana	1.245	845	444	518	490	524	2.821
<b>Total</b>	<b>2.698</b>	<b>2.720</b>	<b>2.678</b>	<b>2.768</b>	<b>2.126</b>	<b>2.298</b>	<b>12.590</b>

*Nota: Adaptado de (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP], 2010)*

Con base en la información analizada de los diferentes estudios y fuentes, nuestro punto de referencia para la presente evaluación la realizaremos para la central de abastos CORABASTOS en Bogotá. Al no contar con entrevistas directas, se realizará un análisis documental cualitativo basado estudios relacionados reportados en la literatura, adicional de la revisión de artículos, libros e investigaciones que aborden las diferentes tecnologías para realizar la conversión de residuos orgánicos para la producción del biogás, cuáles son los usos y reglamentación, una vez comparada y analizada la información, se identificará cuáles son las ventajas y desventajas, los

impactos sociales, ambientales, financieros y técnicos para orientar esta investigación y proponer un modelo sostenible viable.

**Tabla 5**

*Definición de variables*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones
Generación de residuos orgánicos	Se refiere al conjunto de materiales biodegradables que se generan en plazas de mercado y centrales de abastos. Estos residuos provienen principalmente de frutas, verduras, tubérculos, hojas y restos de alimentos perecederos. El análisis de estos residuos permite medir su impacto ambiental y estimar el potencial de aprovechamiento energético. Diversos estudios que han realizado empresas como la (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP], 2010) y la evaluación realizada por (Reyes Aguilera, 2017) destacan que en plazas como Corabastos 75% aproximadamente de los residuos corresponden a la categoría de orgánica, lo cual representa un potencial para el desarrollo de tecnologías limpias.	Estos residuos se evalúan por la cantidad de toneladas/año mes o día y en porcentaje respecto al total de residuos sólidos generados en cada plaza. Para esta evaluación emplearemos datos históricos reportados por la (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP], 2018) y los registros institucionales públicos de Corabastos (Agencia Alemana de Cooperación Internacional [GIZ], 2022), los cuales detallan la generación mensual de residuos en sus reportes anuales. orgánicos frente a los inorgánicos.	Dentro de los estudios realizados por (Sánchez et al., 2022) se usará para esta evaluación los tipos de residuo generados en una central de abasto y su clasificación (R1–R6), volumen generado y estacionalidad en la generación de estos residuos.
Potencial energético	Se refiere a la capacidad de los residuos orgánicos para producir biogás mediante digestión anaerobia como lo explica en su estudio (Gordillo y Vargas, 2024) donde se detalla que los restos orgánicos de frutas y verduras presentan altos rendimientos energéticos convirtiéndolo en insumos claves para la producción de biogás y biofertilizantes.	Basado en los estudios de (Gordillo y Vargas, 2024) y (Cardona et al., 2004) el potencial se calcula mediante la estimación de metros cúbicos de biogás producidos por kilogramo de residuo tratado (m <sup>3</sup> /kg).	Rendimiento energético, composición fisicoquímica, biodegradabilidad y contenido de humedad.

<p>Eficiencia de la conversión de residuos</p>	<p>Corresponde a la comparación y análisis disponibles sobre tecnologías disponibles para transformar los residuos orgánicos en energía renovables, como el biogás como se detalla en el estudio de (Secular (s.f.), 2025) cuya evaluación permite identificar cuál tecnología ofrece mayor eficiencia, menor impacto ambiental y mejor adaptabilidad a las condiciones locales</p>	<p>Se realiza mediante la Identificación y comparación de procesos aplicados a la conversión de residuos: digestión anaerobia, compostaje, conversión biológica, termo o fisicoquímica que son aplicables a las condiciones de manejo de residuos orgánicos en plazas de mercado y/o centrales de abasto.</p>	<p>Eficiencia técnica, costos de operación y mantenimiento, aplicabilidad local, ventajas y limitaciones tecnológicas.</p>
<p>Viabilidad del modelo sostenible</p>	<p>Refiere la capacidad técnica, económica, social y ambiental para implementar un sistema para aprovechar los residuos orgánicos y transformarlos en biogás en centrales de abasto. Con base en los estudios de (Agencia Alemana de Cooperación Internacional [GIZ]), 2022) se evidencia que los modelos de gestión de residuos con enfoque circular contribuyen a disminuir el nivel de emisiones, a la creación de empleos verdes y al fortalecimiento de la economía local.</p>	<p>Se evalúa mediante el análisis documental de estudios técnicos, la revisión normativa vigente CONPES 3874 (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2016) la resolución 2184 de (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019), y la identificación de actores involucrados en la cadena de valor. Se comparan los beneficios y costos asociados a la inversión, operación y mantenimiento del sistema de biogás, considerando también su impacto social y ambiental.</p>	<p>Matriz correlacional de Aspectos técnicos (tecnología y capacidad instalada), económicos (costos, beneficios), sociales (empleo, participación) y ambientales (reducción de emisiones, aprovechamiento de residuos).</p>

*Nota:* Elaboración Propia

## Tabla 6

### *Métodos e instrumentos de recolección de información*

Instrumento	Descripción	Fuente
<p>Matriz de caracterización de residuos Orgánicos aprovechable (R1–R6)</p>	<p>A partir del estudio y clasificación realizada por esta herramienta cuantitativa nos permite registrar de manera sistémica el tipo, volumen y propiedades fisicoquímicas de los residuos orgánicos de plazas de mercado y centrales de abasto. La clasificación de este estudio abarca seis categorías principales: cáscaras y semillas (R1), tubérculos (R2), frutas carnosas (R3), verduras (R4), hojas (R5) y otros (R6). La matriz facilita el análisis comparativo entre tipos de residuos y su contribución al total generado.</p>	<p>(Sánchez et al., 2022)</p>

Matriz de potencial energético	De acuerdo con el estudio de (Cardona et al., 2004) por medio de instrumentos analítico se logra sistematizar los valores para la producción de biogás de acuerdo con el tipo de residuo y las condiciones del proceso de digestión anaerobia. La elaboración de esta matriz permite integrar datos de laboratorio, resultados experimentales y estudios técnicos previos para calcular el volumen estimado de biogás (m <sup>3</sup> /kg de residuo tratado) y su rendimiento energético. Con esta esta herramienta se logra hacer la comparación entre diferentes sustratos y escenarios tecnológicos, contribuyendo a determinar el potencial energético global de las plazas de mercado o centrales de Abasto.	(Cardona et al., 2004)
Revisión de información secundaria	En el estudio de (Reyes Aguilera, 2017) se diseñó una técnica de carácter documental que recopila, analiza y contrasta información proveniente de investigaciones previas, informes institucionales y estudios técnicos relacionados con la conversión de residuos orgánicos en biogás. Esto permite identificar modelos y experiencias de aprovechamiento que integren criterios técnicos, financieros, sociales y ambientales, aplicables a las condiciones locales de una plaza de mercado o central de abasto Bogotá.	(Reyes Aguilera, 2017)

*Nota:* Elaboración Propia

### 5.3. Técnicas de análisis de datos

El análisis combina estrategias cuantitativas y cualitativas:

- Cuantitativo: Estadística descriptiva para consolidar volúmenes de residuos, porcentajes de composición y potencial energético y estimación de indicadores de producción de biogás (m<sup>3</sup>/kg de residuo) de acuerdo con los estudios previos realizados en centrales de abasto y plazas de mercado de Colombia.

- Cualitativo: Análisis de contenido de documentos normativos y técnicos para lograr identificación retos y facilitar la implementación del modelo sostenible para la generación del biogás.

-Integración: Balance de resultados en una matriz de viabilidad sostenible que contemple las diferentes variables planteadas, técnica, económica, social y ambiental, respondiendo a los objetivos específicos planteados.

## **6. Análisis y Discusión de resultados**

### **6.1. Panorama del tipo de residuos orgánicos y potencial energético en centrales de Abasto de Bogotá.**

Basados en la revisión del marco teórico y los resultados obtenidos de los estudios realizados por la (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP]), 2018) y la (Agencia Alemana de Cooperación Internacional [GIZ], 2022) identificamos que el 76% de residuos generados en la central de abastos CORABASTOS y un 65% promedio generado en las diferentes plazas de mercado de Bogotá pertenecen a residuos orgánicos que son potencialmente aprovechables. Basados en este resultado podemos confirmar el alto potencial que estos residuos orgánicos biodegradables tienen para la transformación en energía limpia o procesos de fertilización donde actualmente el aprovechamiento no supera el 10% (Sánchez et al., 2022) y en la mayoría de los casos solo es usado para compostaje desaprovechando más del 60% de la recuperación de estos residuos para otro tipo de procesos de conversión energética.

De forma adicional a los resultados generales del valor energético que tienen los residuos orgánicos, el estudio realizado por (Sánchez et al., 2022) nos da un aporte relevante con respecto a cómo realizar la clasificación de los residuos para detallar a profundidad la diversidad de estos y definir el aprovechamiento y potencial energético de centrales de abasto o plazas de mercado, dentro de los cuales residuos como los tubérculos (R2) y verduras (R4) presentan un alto valor de almidón y celulosa componentes clave que favorecen la degradación de estos residuos por medio de la degradación anaerobia y por ende favorecen la producción de biogás.

## **6.2. Potencial energético de los residuos orgánicos generados en plazas de mercado y centrales de abasto.**

La composición de los residuos orgánicos que se generan en plazas de mercado y centrales de abasto nos permite estimar un potencial global de producción de biogás superior a 120 000 m<sup>3</sup> diarios si se procesaran los residuos orgánicos generados en todas las plazas de la ciudad. Este valor equivale a una reducción aproximada de 35 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por día, de acuerdo con las tasas de conversión propuestas por la (Agencia Alemana de Cooperación Internacional [GIZ], 2022)

Este cálculo proyectado de potencial de biogás respalda el enfoque planteado en este proyecto sobre que las plazas de mercado y centrales de abasto representan un punto estratégico para aplicar modelos descentralizados de generación de biogás, destacando de acuerdo los análisis de la (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP], 2010) que Corabastos, por su volumen de generación de residuos orgánicos diarios, podría tener una planta piloto de mayor capacidad para la generación de biogás, permitiendo a esta central de abasto avanzar hacia una gestión integral y sostenible del manejo de residuos orgánicos en Bogotá.

Con base en las diferentes fuentes consultadas, consolidamos los diferentes análisis de estos residuos y el potencial energético en la siguiente tabla.

**Tabla 7**

*Tipos de residuos orgánicos y potencial energético estimado en plazas de mercado de Bogotá*

Categoría Residuos (R)	Tipo de residuo principal	% sobre total de residuos orgánicos	Potencial de biogás (m <sup>3</sup> /kg)	Observaciones técnicas identificadas
R1	Cáscaras y semillas	14%	1	Alta disponibilidad, humedad media
R2	Tubérculos (papa, yuca)	22%	2.1	Alta biodegradabilidad
R3	Frutas carnosas	18%	1.4	Requieren control de pH
R4	Verduras y vainas	25%	1.8	Contenido de celulosa favorable
R5	Hojas	12%	0.8	Alta humedad, bajo rendimiento
R6	Otros	9%	0.9	Mezcla variable
<b>Total, promedio</b>	—	100%	—	—

*Nota:* Elaboración propia con base en (Cardona et al., 2004),(Sánchez et al., 2022),(Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP]), 2018) y (Gordillo y Vargas, 2024). Los valores son estimaciones derivadas de los estudios técnicos citados en este proyecto y consolidan información de distintas fuentes institucionales y académicas. No representan datos de medición directa, sino un análisis de potencial energético promedio para plazas de mercado y centrales de abasto de Bogotá.

### **6.3. Análisis de los procesos tecnológicos disponibles para la conversión de residuos orgánicos.**

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada a los diferentes estudios sobre las tecnologías para la conversión de residuos orgánicos en bioenergía, podemos destacar que, para transformar la biomasa, ésta debe someterse a altas temperaturas, con oxígeno controlado o en ausencia de este, algunas incorporan microorganismos y catalizadores que aceleran las reacciones químicas para la transformación de los residuos en tiempos determinados. La selección y eficiencia de tecnologías y la aplicación de las variables mencionadas, dependerá de la composición y clasificación de la materia orgánica.

Según los autores estas tecnologías pueden clasificarse en bioquímica, biológica, termoquímicas y fisicoquímicas; que su vez incluyen varios procesos que permiten llevar a cabo una gestión eficiente y descomposición de la biomasa y como resultado se obtienen productos y subproductos como el biogás, biodiesel, el compost, bioetanol, entre otros, que son de uso industrial o doméstico y que sus ingresos pueden compensar los altos costos de operación e inversión

Por ejemplo, los procesos termoquímicos son más ágiles debido a que se utilizan disolventes o catalizadores para generar reacciones químicas, generalmente estos procesos tratan residuos sólidos y se requiere un consumo de energía alto.

Por otra parte, para los procesos bioquímicos se requiere una cantidad moderada de energía, se transforman residuos sólidos, los costos de inversión y operación son relativamente bajos, pero su ciclo lleva más tiempo y emiten menos cantidades de dióxido de carbono.

Para el estudio realizado en la central de abasto Corabastos por parte de (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP]), 2018) y el análisis en plazas de mercado realizado por (Gordillo y Vargas, 2024) nos permitió determinar que la alternativa más ajustada a la realidad de las plazas de mercado y centrales de abasto en Bogotá es la digestión anaerobia, un proceso eficiente y enfocado en la recuperación de grandes cantidades de materia orgánica y estos espacios se caracterizan por generar los niveles de residuos orgánicos con la composición y características requeridas para este proceso, alta humedad y variabilidad en el sustrato obteniendo una mejor estabilidad in situ y rendimiento energético, además como objeto de nuestro estudio, la digestión anaeróbica o biometanización es la principal tecnología para la producción de biogás con un alto contenido de metano y un subproducto denominado digestato, un fertilizante que por su alto contenido de nutrientes es utilizado para el mejoramiento, regeneración de suelos y evitar la erosión. Cabe resaltar que para que la conversión mediante digestión anaerobia sea eficiente, deben controlarse variables como la humedad, la relación C/N, la temperatura, el PH, la carga orgánica y el tiempo.

Así mismo, el biogás puede purificarse hasta un 99% y obtenerse gas natural licuado, subproducto rico en metano CH<sub>4</sub> mediante la técnica de limpieza o depuración también conocida como upgrading. De lo anterior, podemos inferir que el desarrollo de las tecnologías de valorización energética en las plazas de mercado es fundamental para el tratamiento, reducción, eliminación, recuperación o reciclaje de los residuos que se generan y que la mayor parte del tiempo se llevan a vertederos, y que el aprovechamiento de la biomasa para generar energía, calor o gases combustibles, contribuirá con la economía circular y cumplimiento de los ODS en reducción del uso de combustibles fósiles y por consiguiente, en la disminución de gases efecto invernadero fomentando ecosistemas saludables; no obstante, si todos estos procesos no cuentan con el personal idóneo y capacitado, y no son monitoreados

adecuadamente en términos de temperatura, niveles de gases, PH, humedad y reactivos químicos, entre otros, pueden generar impactos negativos como la emisión de residuos tóxicos como dióxido de carbono y amoníaco, emisión de olores y vectores que pueden resultar perjudiciales para el bienestar de los ecosistemas y salud de las comunidades.

A continuación, se detallan y comparan los aspectos técnicos, ventajas y desventajas, emisión de CO<sub>2</sub> de cada proceso. Tabla 8, así como el uso energético de las tecnologías de conversión de residuos orgánicos en las plazas de mercado y centrales de abasto de la ciudad de Bogotá

**Tabla 8**

*Comparación aspectos técnicos, impactos ambientales, sociales y económicas de las tecnologías de conversión de residuos orgánicos.*

Tipo	Tecnología	Aspectos Técnicos	Escalabilidad urbana y madurez	Implicaciones ambientales sociales	Economía (cualitativa)	Productos
termoquímica	<b>Combustión/Incineración</b>	Acepta fracciones mezcladas, orgánicos húmedos reducen eficiencia Oxígeno contenido en el aire Calderas y turbinas de gran escala. Temperatura 750-1100 °C Tiempo estimado: 1 hora	Alta madurez, requiere grandes volúmenes y control ambiental estricto	Emisiones 600–1200 kg of CO2/MWh) Reduce hasta 90% en volumen y 80% en peso. Produce residuos contaminantes y tóxicos (CO2), dioxina. Controversia social; impacto visual y olfativo alto	Alto costo de inversión inicial y de mantenimiento; ingresos por energía y tarifa. Requiere filtros costosos imposibilidad de reutilizar residuos	energía térmica, vapor, aire caliente, cenizas
	<b>Gasificación</b>	Combustión incompleta, atmósfera reducida y controlada de oxígeno, Material Carbonoso Variables de operación: agente gasificante, temperatura y presión. Humedad <15%. Limpieza de gases Temperatura 800- 1100 °C Tiempo estimado: Minutos	Madurez media; aplicable en plantas centralizadas.	Emisiones (200–600 kg of CO2/MWh) Potenciales emisiones. requiere monitoreo de gases.	Inversión y operación altas.	Gas sintético o syngas (Combinación de gases (CH4-CO2-CO-H Y alquitranes).
	<b>Pirólisis</b>	Descomposición térmica de material carbonoso, ausencia de aire Principalmente Biomasa lignocelulósico (celulosa, hemicelulosa y lignina, debe ser homogénea y el grado de humedad <20%. Reactor cerrado: precalentamiento y control térmico Temperatura 400-800°C Tiempo estimado: 1-2 horas	Madurez media; exige secado previo (no viable in situ en plazas)	Emisiones 150–500 kg of CO2/MWh Sustancias químicas nocivas. Riesgo de emisiones si no hay control; aceptación social baja	Alta inversión y operación en infraestructura y equipos para el monitoreo y control de temperatura depende del valor del biochar. Los productos requieren refinación o purificación, lo que genera costos adicionales	Gas sintético o syngas, biochar, bio-oil o alquitrán

Tipo	Tecnología	Aspectos Técnicos	Escalabilidad urbana y madurez	Implicaciones ambientales sociales	Economía (cualitativa)	Productos
bioquímicas	<b>digestión anaerobia</b>	Biomasa Residual húmeda (BRH) Biodegradabilidad: (DBO/DQO > 0,2) Demanda biológica de Oxígeno DBO, Demanda química de Oxígeno Sólidos volátiles > 40% Metano y CH4 CN (25-30). Óptima para fracción húmeda y variada (R2-R4); requiere separación y pretratamiento mínimo. Temperatura 20-60°C Tiempo estimado: 30-60 días	Alta madurez tecnológica (TRL 8-9). Aplicaciones urbanas exitosas	Emisiones: 50-200 kg of CO2/kWh Reducción de CH <sub>4</sub> de disposición final; uso agrícola del digestato; aceptación comunitaria alta si se controla el olor. Procesa gran cantidad de residuos Genera energía renovable, reduciendo el impacto de la emisión de GEI	Inversión media, operación baja; ingresos por energía y biofertilizante. Es eficiente, consume solo un 10% de energía	Biogás (CH <sub>4</sub> 50-65%) y biofertilizante
	<b>Fermentación alcohólica</b>	productos ricos en almidón y/o azúcar Ausencia de oxígeno Temperatura 25-30 °C Tiempo estimado: 1-3 días	Alta madurez, es estable y desarrollada.	Emisiones: 300 a 500 kg de CO <sub>2</sub> por MWh Consumo alto de energía Los procesos requieren consumo de agua para la fermentación y limpieza	Inversión medio alta, Biorreactores más grandes, costos aumentan. Producto de alto valor en el mercado	Bioetanol, Biodiesel
	<b>Transesterificación</b>	lípidos renovables (aceites vegetales, grasas animales) Temperatura 40-60 °C Tiempo estimado: 30 minutos a 4 horas	Alta madurez, especialmente para pymes o plantas regionales	Emisiones: 80 y 200 kg CO <sub>2</sub> /MWh Uso de catalizadores químicos. Requiere manejo seguro de metanol.	Inversión medio alta en cuanto a costos de producción	Biodiesel
<b>Biológicos</b>	<b>Compostaje</b>	equilibrio entre C/N residuos (R1, R4, R5) restos de cocina Proceso aerobio, requiere oxígeno. Pilas de compost Temperatura 18-40°C Tiempo estimado: 1-6 meses	Alta madurez (TRL 9); tecnología ampliamente adoptada en Bogotá.	Emisiones: 50 a 150 kg CO <sub>2</sub> /MWh Riesgo de olores o contaminación, no contribuye significativamente a la reducción de Huella de carbono. Reduce lixiviados; control de olor y lixiviado necesario; impacto positivo en suelos.	Costos bajos; ingresos moderados por compost. Requiere energía para airear y voltear las pilas del compost	Abono, fertilizante

<b>Tipo</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Aspectos Técnicos</b>	<b>Escalabilidad urbana y madurez</b>	<b>Implicaciones ambientales sociales</b>	<b>Economía (cualitativa)</b>	<b>Productos</b>
<b>Fisicoquímicas</b>	Peletización de residuos (RDF/CDR)	Clasificación, triturado, y compactación y secado de residuos como madera y aserrín Eliminación de materiales inorgánicos y humedad	Madurez media; aplicable en corredores industriales	Traslada combustión fuera del entorno urbano	Costos medios; ingresos por venta de pellets	Pellets o combustible derivado de residuos, Combustible sólido recuperado, combustible de proceso

*Nota:* Elaboración propia con base en Cardona Álzate et al. (2004); GIZ (2022); UAESP (2018); EcoMENA (2023); Gordillo & Vargas (2024a); Singh et al. (2024); Secular.es (s. f.);

#### **6.4. Evaluación de la viabilidad técnica, económica, social y ambiental de implementar un modelo sostenible de conversión de biogás en centrales de abasto de Bogotá**

La evaluación de la viabilidad del modelo sostenible representa una etapa determinante dentro de este proyecto, ya que nos permite establecer las condiciones reales para la implementación de un sistema de conversión energética a partir de residuos orgánicos en las centrales de abasto y plazas de Bogotá.

La metodología para el cumplimiento de este objetivo se estructura en torno a la variable de investigación “Viabilidad del modelo sostenible”, la cual actúa como eje articulador de las dimensiones técnica, económica, social y ambiental. Esta variable permite cuantificar y cualificar el grado en que el modelo propuesto puede implementarse con éxito en un contexto real, midiendo su consistencia interna (capacidad técnica y operativa), su factibilidad financiera, su aceptación social y su aporte ambiental.

Tal como señalan (Olawale y Oladapo, 2024) los proyectos de biogás basados en la participación comunitaria logran *“incorporar factores económicos, ambientales y sociales en un modelo holístico de gestión de residuos vegetales”* (p. 103), lo cual demuestra la necesidad de considerar la interacción entre estos componentes para garantizar la viabilidad integral de las soluciones.

En este sentido, la matriz de evaluación de viabilidad propuesta permitirá representar cada dimensión mediante indicadores específicos y criterios de ponderación definidos a partir de la revisión documental y de la evidencia empírica disponible en estudios previos. La integración de los resultados de esta matriz ofrecerá un nivel global de viabilidad calificado de 1 a 5, proporcionando una base metodológica sólida para

valorar la sostenibilidad integral del modelo descentralizado de biogás en las centrales de abasto de Bogotá.

Según el (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2016) la sostenibilidad urbana requiere modelos flexibles, escalables y participativos. En ese sentido, este proyecto busca consolidar un modelo de biogás a escala de central de abasto, que funcione como ejemplo de autosuficiencia energética, contribuya a la transición hacia la economía circular y reduzca la dependencia de infraestructuras centralizadas de alto costo. El enfoque metodológico adoptado, por tanto, nos permite no solo evaluar la factibilidad técnica y económica, sino que promueve una visión territorial y descentralizada del aprovechamiento de residuos, coherente con el objetivo de reducción de emisiones y fortalecimiento en la sostenibilidad urbana en Bogotá.

#### **Viabilidad técnica.**

**Alcance:** En la viabilidad técnica analizamos las condiciones materiales y tecnológicas necesarias para implementar un sistema de conversión de residuos orgánicos en biogás dentro de las centrales de abasto. En este caso, se prioriza el análisis de tecnologías modulares y descentralizadas, adaptadas a la escala de una central de mercado como Corabastos por el nivel de residuos orgánicos y potencial energético que se evidencia en los estudios de (Singh et al., 2024) y (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP]), 2018)

**Resultados:** Existen tecnologías modulares probadas (biodigestores de media escala) que pueden adaptarse a espacios urbanos. A diferencia de los proyectos centralizados desarrollados en macroplantas de tratamiento este modelo local busca procesar los residuos in situ, aprovechando la cercanía de las fuentes de generación y reduciendo los impactos asociados al transporte y disposición final. Este enfoque técnico

se fundamenta en la revisión de estudios de (Singh et al., 2024) y (Agencia Alemana de Cooperación Internacional [GIZ], 2022) quienes demuestran que los biodigestores de escala media instalados en entornos urbanos pueden alcanzar eficiencias energéticas superiores cuando se optimiza la calidad del sustrato y se garantiza un flujo constante de residuos frescos. Esta dimensión garantiza la operatividad y eficiencia del sistema dentro de las condiciones reales de una central de abasto. La implementación descentralizada exige soluciones tecnológicas simples, confiables y de bajo mantenimiento, que puedan integrarse sin interferir con las actividades comerciales del lugar.

Además, el análisis técnico permite dimensionar correctamente la capacidad de tratamiento, el tipo de biodigestor y los requerimientos de pretratamiento, evitando sobredimensionamientos costosos o ineficiencias por carga excesiva. En suma, la viabilidad técnica valida que el modelo descentralizado sea factible, seguro y escalable.

### **Viabilidad Económica**

**Alcance:** La viabilidad económica permite establecer si el modelo descentralizado de biogás puede sostenerse financieramente en el tiempo. En este se evaluaron los costos de la inversión requerida, la operación y el mantenimiento frente a los beneficios económicos proyectados por el aprovechamiento energético local y la reducción de gastos en transporte y disposición final basado en la literatura.

**Resultados:** Los sistemas descentralizados presentan un perfil económico diferente al de las plantas centralizadas: su escala menor implica inversiones iniciales más bajas, tiempos de recuperación de capital más cortos y la posibilidad de autofinanciarse parcialmente mediante los ahorros internos del mercado o la venta de excedentes energéticos. Basado en los estudios de la (Agencia Alemana de

Cooperación Internacional [GIZ], 2022) y de (Olawale y Oladapo, 2024) se evidencia que los sistemas locales de biogás pueden alcanzar relaciones beneficio costo mayor a cuando se incorporan los beneficios indirectos del manejo de residuos orgánicos y la reducción de emisiones. La evaluación de la sostenibilidad financiera de un modelo descentralizado basado en la literatura previamente mencionada nos ayudó a determinar la capacidad que tienen estos modelos para mantenerse activos sin depender exclusivamente de subsidios o programas públicos. Además, al operar dentro de la central de abasto, el sistema puede generar ingresos complementarios por la venta de biogás o biometano, o por el uso del digestato como biofertilizante para productores locales. En términos de economía circular, la viabilidad económica refuerza el principio de autogestión energética, transformando los residuos en recursos con valor comercial.

### **Viabilidad Social.**

**Alcance:** En el análisis de la viabilidad fue analizado la recepción y disposición de los actores involucrados en torno al modelo descentralizado. Al no haber realizado entrevistas directas con los diferentes stakeholders involucrados en el proceso en plazas de mercado o centrales de abasto, este ítem fue analizado bajo un modelo documental cualitativo basado en las percepciones sociales reportadas en la literatura analizada.

**Resultados:** La experiencia recopilada por (Agencia Alemana de Cooperación Internacional [GIZ], 2022) y de (Gordillo y Vargas, 2024) nos muestra que los proyectos de biogás en plazas de mercado enfrentan barreras sociales asociadas a la falta de sensibilización y coordinación entre comerciantes, operadores y entidades públicas. No obstante, los estudios también evidencian que, cuando la gestión se realiza localmente, existe un mayor sentido de pertenencia, lo cual mejora la disposición a participar en actividades de separación en la fuente y mantenimiento del sistema. En los modelos

descentralizados, la viabilidad social adquiere una relevancia aún mayor, ya que la efectividad del proyecto dependerá de la colaboración y compromiso directo de los usuarios y administradores del espacio. Al ubicarse dentro de las centrales de abasto, el sistema requiere una apropiación comunitaria que garantice su operación continua. La aceptación social fortalece la gobernanza ambiental y fomenta el desarrollo de capacidades locales, permitiendo que la planta se perciba como un beneficio colectivo y no como una carga operativa.

### **Viabilidad Ambiental**

**Alcance:** En la viabilidad ambiental nos enfocamos en los beneficios ecológicos derivados de la implementación del modelo descentralizado ya que a diferencia de las plantas centralizadas que tratan residuos mezclados provenientes de múltiples fuentes, los sistemas locales permiten controlar mejor la calidad del sustrato, reduciendo contaminantes y optimizando la producción de biogás.

**Resultados:** Para evaluar el impacto de debe utilizar indicadores como la reducción de metano (kg CH<sub>4</sub> evitados), la disminución de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>eq) y el volumen de residuos desviados del relleno sanitario, siguiendo las metodologías aplicadas por la (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP], 2020) los estudios de (Gordillo y Vargas, 2024) Estos indicadores nos permitieron estimar que el impacto ambiental positivo del modelo, que busca evitar que más del 70 % de los residuos orgánicos de Corabastos continúen su disposición final en el Relleno Sanitario Doña Juana. Esta dimensión valida el aporte real del modelo descentralizado a la mitigación del cambio climático y a la reducción de emisiones locales. Asimismo, garantiza que el aprovechamiento energético no genere impactos secundarios negativos, como lixiviados o contaminación del aire. En coherencia con los Objetivos de

Desarrollo Sostenible (ODS 7, 11, 12 y 13), la viabilidad ambiental permite cuantificar cómo los beneficios ecológicos se alinean con las políticas nacionales de energía limpia y gestión de residuos.

La propuesta para la evaluación de la viabilidad del proyecto se fundamenta en un enfoque de sostenibilidad integral, que reconoce la interacción entre las variables técnica, económica, social y ambiental. En el contexto de este proyecto, la sostenibilidad se alcanza mediante la descentralización del aprovechamiento energético, reduciendo los impactos logísticos y fortaleciendo la gestión local de residuos. Con base en las variables mencionadas anteriormente, se elaboró una matriz de valoración para las diferentes tecnologías de conversión de residuos orgánicos calificando su nivel desempeño dentro de un rango de 1 a 5, donde 1 representa una viabilidad muy baja y 5 una muy alta. A fin de garantizar un análisis equilibrado entre eficiencia operativa, rentabilidad, aceptación social y sostenibilidad ambiental se realizó la ponderación de resultados con pesos iguales para cada aspecto.

**Tabla 9**

*Matriz de valoración para la evaluación de la viabilidad de diferentes tecnologías de conversión*

Aspecto / Tecnología	Digestión Anaerobia	Compostaje	Pirólisis	Gasificación	Incineración (WtE)	Peletización
Técnico	4.5	4.0	3.5	3.5	4.0	3.5
Económico	4.0	4.5	3.0	2.5	2.5	3.5
Social	4.0	4.5	2.5	2.5	2.0	3.0
Ambiental	4.5	3.5	3.5	3.0	2.5	3.0
Promedio general	<b>4.25</b>	<b>4.13</b>	<b>3.13</b>	<b>2.88</b>	<b>2.75</b>	<b>3.25</b>

*Nota:* Elaboración propia

Los resultados demuestran que la implementación de sistemas de digestión anaerobia en plazas de mercado se posiciona como la tecnología con mayor viabilidad de manera integral dentro de la valoración comparativa realizada.

Desde el punto de vista técnico, esta tecnología presenta una alta eficiencia en el proceso de tratamiento de residuos orgánicos húmedos como los generados en plazas de mercado y centrales de abasto, así como adaptabilidad a la variabilidad de los sustratos y la posibilidad de implementación mediante biodigestores modulares que requieren una infraestructura moderada y de bajo mantenimiento.

En el componente económico, la digestión anaerobia demuestra viabilidad financiera a mediano plazo, dado que los costos de operación son bajos una vez instalada la infraestructura básica, y el sistema puede generar ingresos sostenibles por la venta o uso del biogás y del digestato como biofertilizante. Además, al reducir los costos de transporte y disposición final de residuos, contribuye a la autogestión energética local y a la economía circular.

En la dimensión social, su implementación favorece la generación de empleos verdes en actividades de operación y mantenimiento, y promueve la participación comunitaria cuando se gestiona localmente, fortaleciendo la conciencia ambiental y el sentido de pertenencia entre comerciantes y operadores.

Finalmente, en la dimensión ambiental, la digestión anaerobia destaca por su alto potencial de mitigación de gases de efecto invernadero, al evitar la emisión directa de metano ( $\text{CH}_4$ ) procedente de los residuos dispuestos en relleno sanitario, y por la valorización del digestato como fertilizante natural, que reduce la necesidad de productos químicos en la agricultura.

En conjunto, estos resultados confirman que la digestión anaerobia constituye la opción más adecuada para un modelo descentralizado de conversión energética en Bogotá, ofreciendo una solución eficiente, ambientalmente responsable y socioeconómicamente sostenible para la gestión de residuos orgánicos en las centrales de abasto.

A su vez, esta tecnología se alinea directamente con los principios de economía circular definidos en el CONPES 3874 (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2016) y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 7, 11, 12 y 13).

El aprovechamiento energético local de residuos no solo ayudaría a reducir la presión sobre el Relleno Sanitario Doña Juana, sino que también permitiría crear nuevos modelos sostenibles para el uso de los residuos orgánicos como los son la generación de biogás, producción de biofertilizantes y reducción de costos operativos.

**Tabla 10**

*Análisis de viabilidad digestión para la conversión de residuos orgánicos en biogás en plazas de mercado y centrales de abasto de Bogotá*

Dimensión	Evidencia clave	Riesgos críticos	Medidas/Mitigantes	Lectura de viabilidad
Técnica	Alta coincidencia entre composición R2–R4, (alto contenido de humedad y carbohidratos). muestran factibilidad de biodigestores modulares in situ; TRL 8–9.	Falta de separación en fuente, control de pH, temperatura y carga orgánica.	Capacitación del personal; manuales SOP; pretratamiento simple; sensores de monitoreo.	Alta para piloto modular y para Corabastos
Económica	Costos CAPEX moderados, OPEX bajo y recuperación corta al incluir costos evitados	Variabilidad en flujos de residuos y precios de energía; financiamiento inicial.	Aprovechar incentivos FNCE; alianzas público-privadas; venta de digestato y biogás; contratos de suministro.	Media-alta en plazas distritales y alta en Corabastos (por economías de escala).

Social	Proyectos locales generan apropiación y sentido de pertenencia Percepción positiva cuando hay beneficios visibles (gas para cocción, ahorro en residuos).	Escasa articulación entre actores; temor a olores; baja disciplina de separación en fuente.	Programas de sensibilización; roles claros UAESP–IPES–comerciantes; protocolos de limpieza y comunicación ambiental.	Media en fase inicial y alta tras consolidación operativa.
Ambiental	Reducción de CH <sub>4</sub> y lixiviados; digestato como biofertilizante; alineación con PGIRS y ODS	Manejo inadecuado de lixiviados o digestato; emisión de olores.	Monitoreo de emisiones y efluentes; plan de manejo ambiental; control de ventilación y filtración.	Alta, si se cumplen controles ambientales y normas vigentes.

*Nota:* El análisis se basa en información técnica y normativa de UAESP (2010, 2018), GIZ (2022), Cardona et al. (2004), Sánchez et al. (2022), Gordillo y Vargas (2024), Singh et al. (2024), Ghaffar et al. (2012), Contraloría de Bogotá (2025), Departamento Nacional de Planeación (2016) y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019).

## 6.5. Recomendaciones para la implementación de modelos sostenibles para la generación de biogás.

Con base en la literatura revisada y el contexto actual del manejo de residuos orgánicos en plazas de mercado o centrales de abasto en Bogotá, resaltamos los siguientes puntos clave para lograr la implementación de este tipo de modelos sostenibles.

1. **Fortalecer la articulación institucional y comunitaria.** Es fundamental que la UAESP, el IPES y las alcaldías locales desarrollen programas conjuntos con los comerciantes y comunidad para mejorar la separación en la fuente y promover proyectos piloto de biogás en plazas distritales.

2. **Desarrollar proyectos descentralizados de menor escala.** Se recomienda iniciar con plazas de mercado intermedias como Kennedy, Las Ferias o Fontibón, donde la escala de residuos y el costo de inversión para la implementación de

biodigestores modulares es inferior y permite obtener resultados medibles en el corto plazo.

3. **Integrar incentivos para la inversión privada.** El aprovechamiento energético de residuos debe integrarse a los beneficios tributarios de la Ley 1715 de 2014, incentivando alianzas público-privadas que fortalezcan la economía circular.

4. **Implementar programas de educación ambiental.** La sostenibilidad del modelo depende en gran medida del comportamiento ciudadano; por tanto, se recomienda promover campañas de capacitación sobre separación, aprovechamiento y valorización de residuos.

5. **Fomentar la investigación aplicada y la replicabilidad.** Las universidades pueden desempeñar un papel clave mediante proyectos de innovación que adapten tecnologías de conversión a biogás a contextos urbanos latinoamericanos, fortaleciendo la transferencia de conocimiento y el trabajo interdisciplinario.

6. **Consolidar alianzas con organismos internacionales y empresa privada** en búsqueda de financiación que permitan la implementación y desarrollo de tecnologías avanzadas para la conversión de residuos en las plazas de mercado y centrales de abasto.

7. **Fomentar empleos verdes**, una vez implementada la tecnología de conversión es importante utilizar mano de obra local, capacitarla en la parte técnica, control de riesgos, gestión de residuos, fomentando la generación de empleos verdes y bienestar de la comunidad local.

## 7. Conclusiones generales

Los resultados que obtuvimos a partir del análisis de literatura desde el punto de vista integral y situacional nos permitieron confirmar que la generación de biogás a partir de residuos orgánicos en centrales de abasto y plazas distritales en la ciudad de Bogotá tiene una viabilidad técnica, económica, social y ambiental. Sin embargo, para la implementación de este tipo de modelos sostenibles se requiere fortalecer la coordinación institucional y la educación ambiental de los diferentes actores involucrados en la ruta de la generación, manejo y disposición de los residuos orgánicos.

De acuerdo con los objetivos específicos planteados en el desarrollo de este proyecto, logramos concluir:

- Para el objetivo uno, se identificaron los diferentes tipos de residuos orgánicos generados en las centrales de abasto, los cuales se clasificaron en seis categorías (R1–R6) según su composición fisicoquímica. Estas categorías presentan altos niveles de humedad y biodegradabilidad, características determinantes para su rendimiento energético y su potencial de aprovechamiento en procesos de generación de biogás.

- De acuerdo con el objetivo uno se determinó que la cantidad de residuos orgánicos aprovechables con un alto potencial energético generado en las centrales de abasto y plazas de mercado corresponden al 70 % del total de los residuos generados en el mes.

- Para el segundo objetivo se analizó las diferentes tecnologías de conversión de residuos orgánicos, como biológicas, fisicoquímicas, termoquímicas y bioquímicas, concluyendo que la digestión anaerobia es el proceso más eficiente para entornos

urbanos, debido a su adaptabilidad modular, bajo requerimiento de espacio y producción simultánea de biogás y biofertilizante.

- Para el objetivo dos se definió que aunque existen diversas tecnologías para generación de energías renovables, gases combustibles de diferentes composiciones y origen, orientadas a la mejora de gestión de residuos orgánicos y disminución de GEI, la digestión anaerobia puede maximizar la recuperación de residuos generados en las plazas de mercado de la ciudad de Bogotá, es la única que genera biogás con alto contenido de metano (CH<sub>4</sub>) y fertilizantes que contienen nutrientes para la recuperación de suelos.

- Para el objetivo tres, la implementación y adopción de estas tecnologías requiere una inversión inicial y costos de operación y funcionamiento significativos, debido a la adecuación de infraestructuras y equipamiento especializado para el monitoreo y evaluación, plantas de tratamiento, capacitación del personal, sistemas de recolección y separación de residuos; sin embargo, estas iniciativas traen consigo beneficios ambientales, como la contribución a la reducción de gases efecto invernadero, aprovechamiento de residuos orgánicos y aportes a la economía circular.

- De acuerdo con el objetivo tres, el análisis técnico nos permitió concluir que la instalación de biodigestores de media escala puede generar entre 0,8 y 2,1 m<sup>3</sup> de biogás por kilogramo de residuo tratado, contribuyendo a la autosuficiencia energética de las centrales de abasto y plazas de mercado de Bogotá D.C y en simultaneo generando un impacto ambiental positivo a los ecosistemas al reducir la emisión de gases efecto invernadero.

- Alineado al tercer objetivo analizamos la viabilidad técnica, económica, social y ambiental, de cada una de las tecnologías de conversión disponibles, concluyendo que la tecnología de digestión anaerobia tiene como resultado la viabilidad más alta, y

adecuada para los contextos urbanos específicamente plazas distritales y centrales de abasto que generan gran cantidad de residuos orgánicos diarios.

- Para el objetivo cuatro, los ingresos derivados de la venta de productos y subproductos pueden apalancar y compensar los altos costos de la inversión inicial y costos de operación y funcionamiento de la implementación del proceso de digestión anaerobia para que sea sostenible en el tiempo.

- Alineado al objetivo cuatro determinamos que la valorización de residuos como recurso energético es un paso concreto hacia el cumplimiento de los ODS 7, 11, 12 y 13 planteados en la justificación del proyecto y la consolidación de un modelo de economía circular y de empleos verdes para las plazas de mercado y centrales de abasto en Bogotá u otras ciudades con características similares en cuanto a niveles y tipos de residuos.

- A nivel general el desarrollo de este proyecto nos permitió fortalecer nuestras competencias en la búsqueda e interpretación de información secundaria, la gestión de fuentes académicas, aplicación de metodologías de investigación y fundamentalmente generar un pensamiento sostenible para el desarrollo de proyectos que generen un impacto social y ambiental.

## 8. Bibliografía

Agencia Alemana de Cooperación Internacional [GIZ]. (2022). *Análisis de la viabilidad técnico-económica para proyectos de tratamiento in situ de residuos orgánicos en las plazas distritales de mercado de Bogotá*.  
<https://conversapolis.org/web/wp-content/uploads/2023/11/Tratamiento-residuos-organicos-Plazas-de-Mercado-2.pdf>

Campos de Oliveira, J. L. (2020). INTEGRACIÓN DE DATOS EN INVESTIGACIÓN DE MÉTODOS MIXTOS: DESAFÍO Y OPORTUNIDAD PARA LA ENFERMERÍA. *Texto & Contexto - Enfermagem*, 29, e20200203.  
<https://doi.org/10.1590/1980-265X-TCE-2020-0002-0003>

Cardona et al. (2004). Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 6(2), 78–89.  
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/529>

Comisión de regulación de Agua potable y Saneamiento básico [CRA]. (2015). *Resolución 720 de 2015*.  
[https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion\\_cra\\_0720\\_2015.htm](https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_cra_0720_2015.htm)

Congreso de la República de Colombia. (n.d.). *Ley 99 de 1993*. Retrieved November 9, 2025, from  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>

Congreso de la República de Colombia. (1994). *Ley 142 de 1994*.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752>

Congreso de la República de Colombia. (2014). *Ley 1715 de 2014*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>

Contraloría de Bogotá, D. C. (2025). *Informe Situación de las plazas de mercado en Bogotá D.C.* <https://www.contraloriabogota.gov.co/sites/default/files/2025-05/Informe%20situaci%C3%B3n%20plazas%20de%20mercado%20en%20Bogot%C3%A1%20D%2CC.pdf>

Cuasquer Pastas, E. (2025). *Aprovechamiento de residuos orgánicos en plazas de mercado, desafíos y tecnologías hacia un desarrollo sostenible: una revisión*. [Universidad de Antioquia].

<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/26ce4b11-a5b8-41f7-8d88-2ebb8f0cf651/content>

Decreto 348 de 2017. Retrieved November 9, 2025, from

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=79793>

Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2016). *Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (CONPES 3874)*.

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/conpes-3874-de-2016.pdf>

EcoMENA. (2023). *Waste-to-Energy Pathways*. <https://www.ecomena.org/wte-pathways/>

García y Gómez. (2016). *Evaluación de la producción de biogás a partir de residuos vegetales obtenidos en la central de abastos de Bogotá mediante digestión anaerobia*. Fundación Universidad de América.

<https://hdl.handle.net/20.500.11839/667>

- Ghaffar et al. (2012). Green waste to biogas: Renewable energy possibilities for Thailand's green markets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 5423–5429. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.05.021>
- Gordillo y Vargas. (2024). *Aprovechamiento de residuos orgánicos mediante el uso de biodigestores para la generación de biogás, biofertilizantes y compost en las plazas de mercado de Bogotá, D.C.*  
<https://repository.udistrital.edu.co/items/09353b08-22d2-4b21-aca2-5ce8c63b4ac8>
- Hernández et al. (2014). *Metodología de la investigación (6.ª ed.)*. McGraw-Hill / Interamericana.
- Instituto para la Economía Social – IPES. (2025). *Listado de espacios disponibles en plazas distritales de mercado de Bogotá. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.*  
[https://Ipes.Gov.Co/Images/Plazas\\_de\\_Mercado/Locales-Disponibles/Listado-Espacios-Disponibles-2025.Pdf](https://Ipes.Gov.Co/Images/Plazas_de_Mercado/Locales-Disponibles/Listado-Espacios-Disponibles-2025.Pdf)  
<https://ipes.gov.co/index.php/programas/plazas-de-mercado>
- La Cal Herrera. (2023). *Aplicación de la bioenergía en el ámbito industrial: una visión práctica: valorización energética de biomasa residual bajo modelos de bioeconomía circular* (Díaz de Santos, Ed.; 1a ed.).
- Liyanage, C. D., & Pieris, M. (2015). A Physico-Chemical Analysis of Coconut Shell Powder. *Procedia Chemistry*, 16, 222–228.  
<https://doi.org/10.1016/J.PROCHE.2015.12.045>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Resolución 2184*.

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-2184-de-2019.pdf>

Olawale y Oladapo. (2024). Impact of community-driven biogas initiatives on waste vegetable reduction for energy sustainability in developing countries. *Waste Management Bulletin*, 2(3), 101–108.

<https://doi.org/10.1016/J.WMB.2024.07.001>

Reyes Aguilera, E. A. (2017). *Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos*.

<https://rcientificaesteli.unan.edu.ni/index.php/RCientifica/issue/view/91>

Sánchez et al. (2022). Evaluación de microorganismos y sustratos obtenidos a partir de residuos orgánicos para la producción de celulasas. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 21(2), 50–61.

<https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2165>

Secular (s.f.). (2025). *Tecnología de conversión de residuos en energía*.

<https://secular.es/tecnologias-verdes/tecnologia-de-conversion-de-residuos-en-energia-guia-completa/>

Singh et al. (2024). Technical and operational challenges in setting up a decentralized biogas plant: Opportunities and future perspective toward sustainable nation. *Process Safety and Environmental Protection*, 185, 392–

407. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2024.02.079>

Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP]. (2010). *Programa para la Gestión de Residuos Sólidos Orgánicos para la Ciudad de Bogotá D.C.* 1–323.  
[https://www.uaesp.gov.co/uaesp\\_jo/images/documentos/programaorganicos.pdf](https://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/images/documentos/programaorganicos.pdf)

Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP]). (2018). *Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura.*  
[https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP\\_SR.pdf](https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf)

Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP]. (2020). *Plan de gestión integral de residuos sólidos PGIRS DECRETO 345 DE 2020.*  
<https://www.uaesp.gov.co/content/plan-gestion-integral-residuos-solidos-pgirs-decreto-345-2020>

Unidad de planeación minero energética [UPME]. (2016). *Resolución 45 de 2016.*  
[https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion\\_upme\\_0045\\_2016.htm](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_upme_0045_2016.htm)