



PT1

Construir el modelo operativo y la estructura de costos  
fijos y variables para sistema de biodigestión en PDM  
Quirigua.



Implementado por  
**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Bogotá, Colombia

22 de septiembre de 2025

## Tabla de contenido

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abreviaturas .....                                                               | 2  |
| 1      Introducción .....                                                        | 3  |
| 2      Información actual del proyecto .....                                     | 5  |
| 2.1.1    Espacio disponible .....                                                | 5  |
| 2.1.2    Costos de tratamiento y transporte de residuos orgánicos .....          | 6  |
| 2.1.3    Generación de residuos orgánicos.....                                   | 6  |
| 2.1.4    Supuestos económicos.....                                               | 8  |
| 2.1.5    Información concepto tecnológico previo.....                            | 9  |
| 3      Recomendaciones para el biodigestor en la Plaza de mercado Quirigua ..... | 11 |
| 3.1.1    Capacidad del biodigestor .....                                         | 11 |
| 3.1.2    Requerimientos de obra civil .....                                      | 12 |
| 3.1.4    Estudio estructural y de suelos .....                                   | 12 |
| 3.1.5    Estudio Hidrosanitario.....                                             | 13 |
| 3.1.6    Estudio topográfico y arquitectónico .....                              | 13 |
| 4      Alternativas de usos para el biogás y digestato .....                     | 15 |
| 4.1.1    Alternativas de uso del biogás .....                                    | 15 |
| 4.1.2    Alternativas de uso del digestato.....                                  | 18 |
| 5      Conclusiones.....                                                         | 22 |

## Lista de ilustraciones

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1. Plazas de mercado seleccionadas .....                      | 4  |
| Ilustración 2. Área disponible - Plaza de mercado Quirigua .....          | 5  |
| Ilustración 3. Residuos orgánicos - Plazas de mercado .....               | 6  |
| Ilustración 4. Proceso de biodigestión - Residuos Plazas de mercado ..... | 11 |
| Ilustración 5. Área disponible para el proyecto .....                     | 13 |

## Lista de tablas

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Costos de tratamiento de RO .....                                                 | 6  |
| Tabla 2. Generaciones de RO - Periodo 2019 -2025 .....                                     | 7  |
| Tabla 3. Caracterización RO - Plazas de mercado .....                                      | 7  |
| Tabla 4. Generación Plazas de mercado (Enero - Agosto 2024).....                           | 7  |
| Tabla 5. Generación RO - Plazas de mercado según caracterización .....                     | 8  |
| Tabla 6. Variables económicas .....                                                        | 8  |
| Tabla 7. Tarifas de consumo y venta .....                                                  | 8  |
| Tabla 8. Parámetros prefactibilidad concepto tecnológico previo.....                       | 9  |
| Tabla 9. Variables macroeconómicas - prefactibilidad anterior .....                        | 10 |
| Tabla 11. Parámetros asociados - Biodigestor .....                                         | 11 |
| Tabla 12. Costos aproximados estudios técnicos .....                                       | 14 |
| Tabla 13. Marco regulatorio aplicable para biogás y autogeneración de energía eléctrica .. | 16 |
| <b>Tabla 14.</b> Ventajas y desventajas - Uso del biogás.....                              | 17 |
| Tabla 15. Marco regulatorio aplicable - Digestato.....                                     | 20 |
| Tabla 16. Ventajas y desventajas - Uso del digestato .....                                 | 21 |

## Abreviaturas

|       |                                                             |
|-------|-------------------------------------------------------------|
| CREG  | Comisión de Regulación de Energía y Gas                     |
| CH4   | Metano                                                      |
| CO2   | Dióxido de carbono                                          |
| GNV   | Gas Natural Vehicular                                       |
| H2    | Hidrógeno                                                   |
| H2S   | Sulfuro de hidrógeno                                        |
| ICA   | Instituto Colombiano Agropecuario                           |
| IPC   | Índice de Precio al consumidor                              |
| IPES  | Instituto para la Economía Social                           |
| kVA   | kilovatio amperio                                           |
| kWh   | kilovatio hora                                              |
| MS    | Materia seca                                                |
| NTC   | Norma técnica Colombiana                                    |
| PDM   | Plaza de mercado                                            |
| SMMLV | Salario mínimo mensual legal vigente                        |
| SPDBG | Servicio Público Domiciliario de Gas Combustible con Biogás |
| SNT   | Sistema Nacional de Transporte                              |
| t     | Tonelada                                                    |
| TRM   | Tasa representativa del mercado                             |
| UAESP | Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos        |
| USD   | United States Dollar                                        |

## 1 Introducción

La alta generación de residuos sólidos en los centros urbanos, en donde la fracción orgánica representa el mayor porcentaje (61%), constituye actualmente uno de los principales problemas ambientales que enfrentan las ciudades. El manejo inadecuado de estos residuos, centrado en su recolección y disposición final en rellenos sanitarios, ha generado múltiples impactos negativos como la reducción de la vida útil de los sitios de disposición, la emisión de gases contaminantes, y la producción de lixiviados con alta carga ambiental. Estas problemáticas reflejan tanto la carencia de estrategias de tratamiento y aprovechamiento como la necesidad urgente de implementar tecnologías que permitan reincorporar los residuos orgánicos a los ciclos productivos y energéticos.

En este contexto, el Gobierno Nacional y el Distrito Capital han promovido iniciativas para fortalecer las estrategias de reducción y tratamiento de residuos, tales como el Programa Basura Cero, contemplado en el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026, y las metas estratégicas del Plan de Desarrollo Distrital “Bogotá Camina Segura”. En línea con estos compromisos, el Instituto para la Economía Social (IPES) y la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP) han definido unir esfuerzos con el fin de estructurar soluciones que optimicen el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en las plazas de mercado.

Gracias al apoyo de la cooperación alemana, que previamente financió un estudio de prefactibilidad técnica y económica para un sistema de biodigestión en plazas de mercado, se busca desarrollar un modelo operativo y definir el tamaño y la estructura de costos fijos y variables del **sistema de biodigestión en la Plaza de Mercado Quirigua**. Este proceso será acompañado por la firma consultora **Ambire Global**, con los siguientes objetivos específicos:

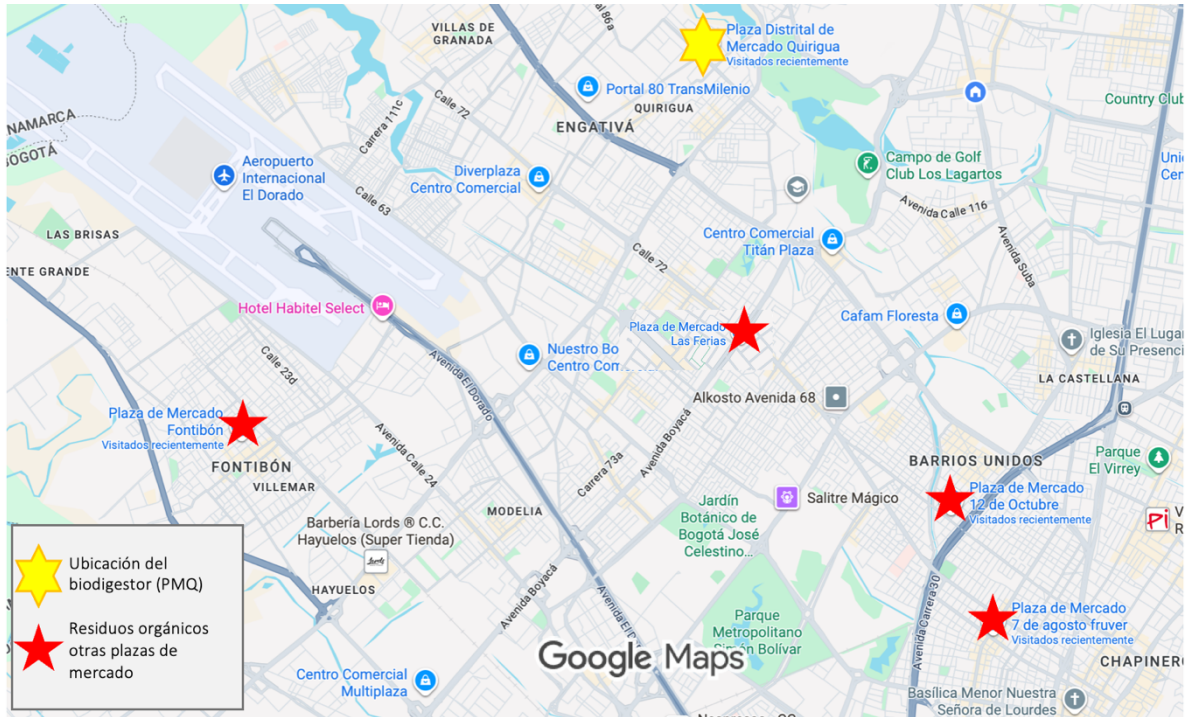
- Desarrollar del modelo operativo a partir de la actualización de información correspondiente a la generación y composición de residuos por plaza. Esto incluye el desarrollo conceptual de las alternativas de uso para el biogás y digestato, así como, los requerimientos para operación (operarios técnicos y operativos requeridos para el funcionamiento del biodigestor).
- Realizar la construcción de la estructura de costos fijos y variables, a partir de los insumos generados en el concepto tecnológico, la actualización de los costos de consumos (gas y energía) y disposición final, costos de transporte para la recolección, costos de operación, entre otros.

No obstante, su operación no estará limitada únicamente a los residuos generados en dicha plaza, sino que se contempla la vinculación de la fracción orgánica proveniente de plazas cercanas de **Fontibón, Las Ferias, Boyacá Real, 12 de octubre y 7 de agosto**; como se puede ver en la *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..* De esta manera, el proyecto no solo optimiza la capacidad instalada del sistema, sino que se constituye en un referente piloto para la transformación integral de residuos orgánicos.

Este documento tiene como propósito entregar un desarrollo conceptual integral que contemple las alternativas de uso del biogás y del digestato, los requerimientos técnicos y operativos necesarios para la puesta en marcha del sistema, así como la determinación del

tamaño del biodigestor en función de la generación de residuos orgánicos en la Plaza de Mercado Quirigua y plazas aledañas. Este alcance permite establecer los lineamientos básicos para la estructuración técnica y económica del proyecto, garantizando su viabilidad operativa y su potencial replicabilidad como modelo de gestión de residuos orgánicos.

Ilustración 1. Plazas de mercado seleccionadas



## 2 Información actual del proyecto

Con el fin de contar con un diagnóstico integral sobre la gestión de residuos en las PDM, este capítulo se centra en la identificación y análisis de la información entregada por el IPES, abarcando la generación de residuos en las cinco (5) plazas de mercado (Fontibón, Las Ferias, Quirigua, 12 de octubre y 7 de agosto), el área del proyecto y los recursos disponibles.

La recolección de la información se llevó a cabo mediante un formulario estructurado que incluía diversas preguntas relacionadas con la gestión de residuos y los costos asociados. Dentro de la información recopilada se destacan los siguientes elementos:

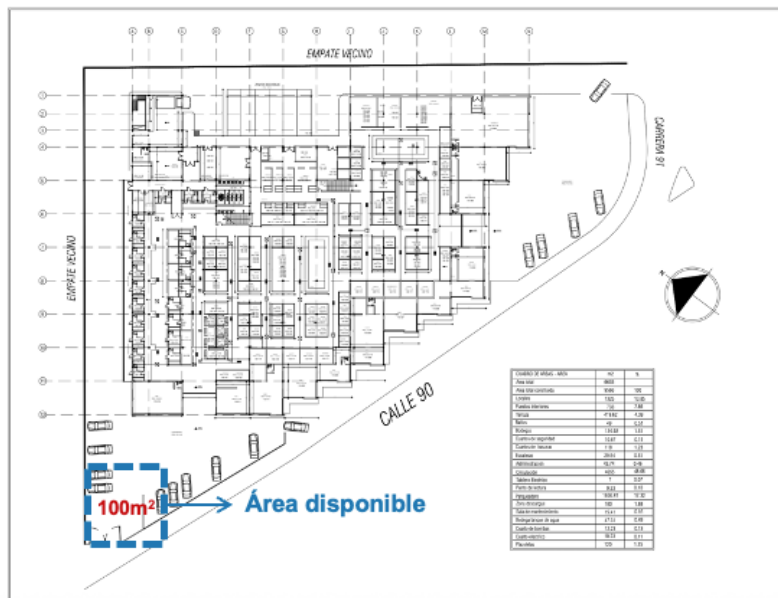
- Espacio disponible para la implementación del biodigestor.
- Costos de tratamiento y transporte de residuos orgánicos.
- Supuestos económicos.

Adicionalmente, se realizó una evaluación preliminar de los datos recibidos y se llevaron a cabo dos visitas de campo con el propósito de validar y complementar la información. A continuación, se expone en detalle la información disponible.

### 2.1.1 Espacio disponible

El espacio disponible, según la información suministrada por el IPES y la administración de la Plaza de Mercado Quirigua, corresponde al área delimitada en la Ilustración 2. Este espacio cuenta con una superficie aproximada de 100 m<sup>2</sup> y se encuentra colindante con el edificio de carnes Terdy Fresh y la Calle 90.

Ilustración 2. Área disponible - Plaza de mercado Quirigua



## 2.1.2 Costos de tratamiento y transporte de residuos orgánicos

Los residuos orgánicos generados en las plazas distritales de mercado son objeto de un esquema de recolección diferenciada, en el marco del contrato de prestación de servicios suscrito por el IPES y Área Limpia Servicios Medioambientales S.A.S. E.S.P. Dicho contrato contempla dos componentes principales:

- **Recolección y transporte:** incluye las actividades de cargue, transporte y descargue de los residuos orgánicos generados en las plazas y puntos comerciales hacia las locaciones destinadas y/o los sitios autorizados para su tratamiento, aprovechamiento y/o disposición final.
- **Tratamiento, aprovechamiento y disposición final:** comprende la prestación de los servicios requeridos para garantizar el tratamiento, aprovechamiento y/o disposición final adecuada de los residuos orgánicos recolectados en las plazas de mercado y demás puntos comerciales vinculados al sistema.

Considerando lo anterior, las tarifas aplicables en el marco del contrato vigente son las siguientes:

Tabla 1. Costos de tratamiento de RO

| Actividad                                   | Valor           |
|---------------------------------------------|-----------------|
| Tarifa de tratamiento de residuos orgánicos | \$79 COP/Kg RO  |
| Tarifa de transporte de residuos orgánicos  | \$206 COP/Kg RO |

## 2.1.3 Generación de residuos orgánicos

Considerando la actualidad contractual de la gestión de los residuos orgánicos en las plazas distritales de mercado, se reciben y analizan las generaciones promedio mensuales correspondientes al periodo comprendido entre los años 2019 y 2024, para cada una de las plazas de mercado.

Ilustración 3. Residuos orgánicos - Plazas de mercado



A partir de esta información, y con el fin de contar con una referencia representativa y actualizada, se toman en consideración los promedios registrados durante el año 2024, al ser el periodo más reciente y completo por analizar.

Tabla 2. Generaciones de RO - Periodo 2019 -2025

| PLAZAS DE MERCADO              | 2019      | 2020      | 2021      | 2022      | 2023      | 2024      | 2025  |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| PLAZA DE MERCADO 07 DE AGOSTO  | 10.976,00 | 7.063,00  | 13.449,00 | 12.821,00 | 15.774,00 | 13.572,00 | 7.983 |
| PLAZA DE MERCADO 12 DE OCTUBRE | 5.952,00  | 1.138,00  | 7.872,00  | 9.051,00  | 4.020,00  | 3.552,00  | 1.300 |
| PLAZA DE MERCADO FONTIBON      | 5.331,00  | 7.067,00  | 7.740,00  | 5.973,00  | 4.773,00  | 1.382,00  | 3.259 |
| PLAZA DE MERCADO LAS FERIAS    | 13.532,00 | 16.318,00 | 9.466,00  | 16.664,00 | 18.864,00 | 5.940,00  | 8.437 |
| PLAZA DE MERCADO QUIRIGUA      | 8.115,00  | 3.649,00  | 7.846,00  | 5.665,00  | 5.932,00  | 944,00    | 2.147 |
| Suma Total Mensual             |           |           |           |           |           | 25.390    |       |
| Generación diaria (kg)         |           |           |           |           |           | 846,3     |       |
| Generación diaria (ton)        |           |           |           |           |           | 0,85      |       |

En este sentido, la generación promedio diaria de residuos orgánicos entre todas las plazas de mercado en el año 2024 es de 0.85ton/día. De igual manera, en la Tabla 3 se puede ver la caracterización de los residuos orgánicos que están siendo generados y recolectados.

Tabla 3. Caracterización RO - Plazas de mercado

| Tipo de residuo    | Quirigua | Fontibón | Las Ferias | 12 de octubre | 7 de agosto |
|--------------------|----------|----------|------------|---------------|-------------|
| Residuos orgánicos | 62%      | 68%      | 75%        | 65%           | 70%         |
| Residuos cárnicos  | 10%      | 7%       | 15%        | 7%            | 12%         |

Fuente: IPES

No obstante, se ha considerado necesario analizar la generación total de residuos (periodo enero – agosto 2025), dado que una fracción predominante corresponde a residuos orgánicos, los cuales en su mayoría son enviados directamente a disposición final sin procesos de aprovechamiento. Con este enfoque, se plantean dos niveles de análisis: i) el cálculo de la generación total de residuos y ii) el cálculo específico por tipo de material potencialmente aprovechable.

Tabla 4. Generación Plazas de mercado<sup>1</sup> (Enero - Agosto 2024)

| Tipo de residuo         | kg        | %      |
|-------------------------|-----------|--------|
| <b>No aprovechables</b> | 1.162.279 | 99,90% |
| <b>Cartón</b>           | 857       | 0,07%  |
| <b>Plástico</b>         | 306       | 0,03%  |
| <b>Metal</b>            | 13        | 0,001% |

Fuente: IPES

Para este ejercicio se toma como referencia la Política Pública Distrital de Economía Circular 2022–2024, la cual establece que, en promedio, la composición de residuos en Bogotá corresponde a: 51,32% residuos orgánicos, 16,88% plásticos, 13,67% celulósicos (papel y cartón), 4,54% textiles, 3,67% vidrio y un 9,92% clasificado como otros materiales.

Con base en esta caracterización oficial, se procede a calcular la proporción estimada de residuos orgánicos generados en las cinco plazas de mercado objeto de estudio, permitiendo así una visión integral que no solo contempla los residuos aprovechables, sino también el peso relativo de los residuos orgánicos en la generación total.

<sup>1</sup> Cinco (5) plazas de mercado (Fontibón, Las Ferias, Quirigua 12 de octubre y 7 de agosto)

Tabla 5. Generación RO - Plazas de mercado según caracterización

| Parámetro              | Cantidad  | Unidades                |
|------------------------|-----------|-------------------------|
| Enero - Agosto         | 1.162.279 | kg/ enero-agosto        |
| mes                    | 145.285   | kg/mes                  |
| día                    | 4.843     | kg/día                  |
| Proporción RO (51.32%) | 2,5       | ton RO/día por 5 plazas |

## 2.1.4 Supuestos económicos

Considerando los principales supuestos económicos proyectados para el año 2025, el modelo de prefactibilidad incorpora las variables macroeconómicas, con el fin de reflejar de manera realista las condiciones de entorno que incidirán en los costos, ingresos y en la viabilidad financiera del proyecto. Estos parámetros permiten estructurar escenarios consistentes de evaluación y brindar una base sólida para la toma de decisiones, los cuales son:

Tabla 6. Variables económicas

| Variable     | Valor                       |
|--------------|-----------------------------|
| IPC 2024     | 5.2%                        |
| Impuestos    | 35%                         |
| SMMLV (2025) | \$ 1.300.000 COP            |
| USD a COP    | \$ 4.197,3 COP <sup>2</sup> |

Es importante comprender que la Tabla 6 son supuestos comprende información macroeconómica y tributaria reciente. Para el IPC 2024 (5,2%), se toma como referencia la inflación anual reportada por el DANE, la cual refleja el comportamiento de los precios en la economía. En cuanto a la tasa impositiva (35%), corresponde al régimen general vigente para el impuesto de renta aplicado a personas jurídicas en Colombia. El valor del SMMLV para 2025 (\$1.300.000 COP) se proyecta con base en el incremento aprobado por el Gobierno Nacional. Finalmente, la tasa de USD/COP (\$4.197,3) se asume con base en el comportamiento promedio del dólar en los últimos seis meses, lo cual permite utilizar un valor representativo y consistente con la tendencia cambiaria reciente.

Adicionalmente, dentro del modelo se incluyen los costos asociados a los servicios públicos, considerando tanto la tarifa de electricidad en sus componentes de compra y venta como la tarifa correspondiente al consumo por metro cúbico de agua.

Tabla 7. Tarifas de consumo y venta

| Variable                                       | Valor          |
|------------------------------------------------|----------------|
| Tarifa eléctrica – consumo (\$/kWh)            | \$ 836,28 COP  |
| Tarifa eléctrica – venta (\$/kWh) <sup>3</sup> | \$ 680 COP/kWh |

<sup>2</sup> Comportamiento de la TRM de los últimos 6 meses

<sup>3</sup> Para la tarifa de energía, se asume la tarifa comercial e industrial de la Tensión 1, dado que es el nivel de tensión en el que se encuentra más del 80% de los usuarios.

| Variable                                | Valor           |
|-----------------------------------------|-----------------|
| Aumento anual tarifa eléctrica          | 5% <sup>4</sup> |
| Precio de venta del digestato (\$/ ton) | \$ 50.000 COP   |
| Tarifa de agua (\$/m <sup>3</sup> )     | \$ 3636,3 COP   |
| Aumento anual tarifa de agua            | 5% <sup>4</sup> |

### 2.1.5 Información concepto tecnológico previo

En el marco del procedimiento de revisión y análisis del concepto tecnológico titulado “Análisis de la viabilidad técnico-económica para proyectos de tratamiento in situ de residuos orgánicos en las Plazas Distritales de Mercado de Bogotá, con especial énfasis en la Plaza Distrital de Mercado Quirigua”, elaborado por la consultora Black Forest, se identificó un conjunto de datos relevantes que constituyó la base para la formulación del estudio de prefactibilidad de un biodigestor con capacidad de hasta 1,5 toneladas diarias.

Dichos datos comprenden parámetros operativos, estimaciones de costos de tratamiento, proyecciones de generación de biogás y producción de abono orgánico, así como consideraciones logísticas y técnicas fundamentales para sustentar la evaluación de la viabilidad del proyecto en este contexto específico.

A continuación, se presentan los principales datos que fueron tenidos en cuenta en el desarrollo de dicha prefactibilidad:

#### Parámetros operativos

Considerados en el ejercicio de prefactibilidad anterior, estos valores corresponden a los supuestos de diseño y operación que permiten estimar la capacidad del sistema, su rendimiento en términos de aprovechamiento de residuos orgánicos y la generación de subproductos como abono orgánico y biogás. Asimismo, se incluyen los requerimientos asociados al recurso humano, consumo energético, transporte y espacio físico necesario para el funcionamiento del sistema.

Tabla 8. Parámetros prefactibilidad concepto tecnológico previo

| Parámetro                                          | Valor      | Unidad                             |
|----------------------------------------------------|------------|------------------------------------|
| Personal requerido                                 | 1 operario | Operario                           |
| Número de días de operación al año                 | 330        | Días                               |
| Residuos orgánicos suministrados                   | 446        | t/año                              |
| Rechazos del proceso al año                        | 23         | t/año                              |
| Tasa de generación de compostaje                   | 0,4        | (t/t de RO alimentados al sistema) |
| Generación de abono orgánico                       | 169        | t/año                              |
| Tasa de generación de biogás (m <sup>3</sup> /año) | 53         | m <sup>3</sup> /t                  |
| Generación de biogás (m <sup>3</sup> /año)         | 22.431     | m <sup>3</sup> /año                |
| Consumo energético estimado                        | 50         | kWh/día                            |
| Incluye recolección y transporte de RO             | Si         | N/A                                |
| Número de vehículos                                | 1          | Vehículo                           |
| Distancia por recorrer por los vehículos (km/día)  | 40         | Km/día                             |

<sup>4</sup> Promedio del porcentaje de incremento de la tarifa en un periodo de 5 años

| Parámetro                | Valor | Unidad         |
|--------------------------|-------|----------------|
| Espacio mínimo requerido | 88    | m <sup>2</sup> |

### Variables macroeconómicas

Consideradas en el ejercicio de prefactibilidad anterior, estos parámetros constituyen la base de los supuestos económicos y financieros aplicados al modelo, dado que inciden directamente en la estimación de ingresos, costos operativos y proyecciones de rentabilidad del sistema.

Tabla 9. Variables macroeconómicas - prefactibilidad anterior

| Parámetro                                                    | Valor   | Unidad  |
|--------------------------------------------------------------|---------|---------|
| Precio venta de abono orgánico                               | 150 000 | COP/t   |
| SMMLV 2021                                                   | 908 526 | COP     |
| IPC 2021 (promedio mensual entre enero y noviembre del 2021) | 3,3     | %       |
| Tarifa electricidad – consumo                                | 520     | COP/kWh |
| Tarifa electricidad – venta                                  | 400     | COP/kWh |
| Precio venta de gas natural                                  | 1825    | COP/ m3 |
| Costo gestión de residuos                                    | 215 000 | COP/t   |

De igual manera los costos más representativos corresponden principalmente a los asociados a la nómina de un operario de tiempo completo, encargado de la operación del sistema de tratamiento, así como a los costos derivados del uso de vehículos para la recolección y transporte de los residuos generados en las diferentes PDM.

En cuanto a los ingresos, estos se estimaron considerando los siguientes aspectos:

- **Ventas de abono orgánico:** comercialización del 20 % del abono generado anualmente, con un precio de **150.000 COP por tonelada**.
- **Residuos tratados:** procesamiento de **446 toneladas anuales de residuos orgánicos** provenientes de la PDM Quirigua en conjunto con otras cinco PDM.
- **Ahorro por disposición final:** pago de **215.000 COP por tonelada** de residuos no enviados a disposición final, asumido actualmente por los comerciantes de las PDM.
- **Biogás generado:** producción de **22.400 m<sup>3</sup> de biogás anuales**, de los cuales **11.200 m<sup>3</sup>** son comercializados a un valor de **1.825 COP por m<sup>3</sup>**.
- **Digestato:** obtención de **169 toneladas anuales** de digestato, utilizado posteriormente como abono orgánico.

### 3 Recomendaciones para el biodigestor en la Plaza de mercado Quirigua

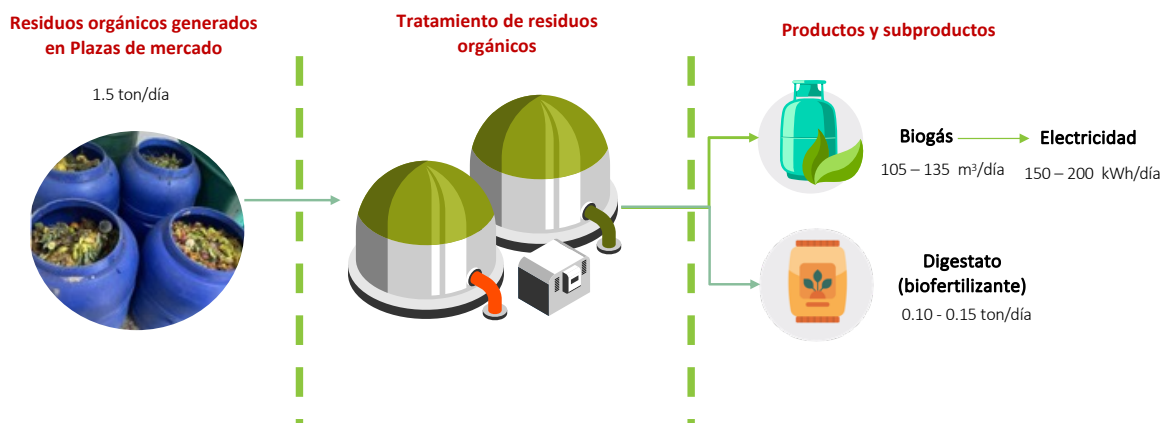
En este capítulo se hablará de los requerimientos necesarios para el funcionamiento de un biodigestor, considerando su capacidad, sus requerimientos de infraestructura, consumos requeridos para su funcionamiento y las generaciones estimadas por el tratamiento de ellos residuos orgánicos.

#### 3.1.1 Capacidad del biodigestor

Considerando los resultados analizados en el capítulo anterior, se establece que la generación actual de residuos orgánicos corresponde a **0.85 ton/día**, integrada al programa de recolección diferenciada que el IPES desarrolla en coordinación con Área Limpia Servicios Medioambientales S.A.S. E.S.P. No obstante, durante la visita técnica realizada el 19 de septiembre de 2025, se constató la disponibilidad de un área útil de **189 m<sup>2</sup>**, así como la posibilidad de alcanzar una generación de hasta **1.5 ton/día** con el equipo operativo del IPES, las cuales pueden. Este incremento está relacionado con la potencial capacidad de la separación en la fuente que el IPES puede incorporar con relación a la generación total de residuos generados en las plazas de mercado y al espacio disponible.

Considerando lo anterior, a continuación, se puede observar el balance de masas para un biodigestor de **1.5 ton/día**:

Ilustración 4. Proceso de biodigestión - Residuos Plazas de mercado



De igual manera, para el funcionamiento del biodigestor a continuación se detallan los consumos asociados de electricidad, agua y los requerimientos operativos correspondientes.

Tabla 10. Parámetros asociados - Biodigestor

| Parámetro         | Valor                              |
|-------------------|------------------------------------|
| Espacio requerido | 150 – 180 m <sup>2</sup>           |
| Agua requerida    | 300 - 1000 litros/día <sup>5</sup> |
| Energía requerida | 35 - 60 kWh/día <sup>6</sup>       |

<sup>5</sup> Depende de la tecnología y eficiencia de re-circulación del agua

<sup>6</sup> Depende del tipo de tecnología y condiciones climáticas

| Parámetro                  | Valor                         |
|----------------------------|-------------------------------|
| Personal requerido         | 1 persona <sup>7</sup>        |
| Generación biogás          | 105 – 135 m <sup>3</sup> /día |
| Generación de electricidad | 150 - 200 kWh/día             |
| Generación Digestato       | 0.10 - 0.15 ton/día           |

### 3.1.2 Requerimientos de obra civil

En la visita realizada se observaron aspectos que requieren un análisis especializado, por lo cual se plantea la necesidad de un diseño integral que incorpore estudios eléctricos, estructurales, de suelos, hidrosanitarios y topográficos. Estos estudios resultan fundamentales para respaldar la viabilidad técnica del proyecto y garantizar que su implementación se ejecute bajo parámetros de seguridad, funcionalidad y sostenibilidad. Dichos estudios permitirán garantizar la viabilidad técnica del proyecto y asegurar que su implementación cumpla con las condiciones de seguridad, funcionalidad y sostenibilidad; estos requerimientos técnicos identificados son los siguientes:

### 3.1.3 Estudio eléctrico

Durante la visita al cuarto eléctrico, el personal administrativo de la plaza informó que el transformador existente abastece tanto a la plaza como al barrio contiguo. Actualmente, la capacidad instalada se encuentra al límite debido a la alta demanda, lo cual imposibilita la realización de una conexión adicional al sistema eléctrico existente.

Lo anterior teniendo en cuenta que la carga necesaria para el funcionamiento del biodigestor es de aproximadamente **15 - 25 kVA (415 – 440 V)**, el cual dependerá de la tecnología y el proveedor seleccionado. En este sentido, se hace necesario:

- Solicitar una visita técnica al operador de red, con el fin de evaluar la factibilidad de implementar un nuevo punto de conexión exclusivo para el proyecto.
- Contratar un estudio eléctrico especializado, elaborado por un profesional idóneo, que determine la carga requerida por el biodigestor y sustente técnicamente la gestión de la solicitud ante el operador de red.

### 3.1.4 Estudio estructural y de suelos

El sistema de biodigestores a instalar tiene un peso aproximado de **35 - 45 toneladas**, por lo que es indispensable construir una placa de contrapiso que soporte dicha carga. Se requiere:

- Un estudio de suelos que determine la capacidad portante del terreno, así como los parámetros técnicos necesarios para el diseño estructural.
- Un diseño estructural que establezca el espesor adecuado del concreto, la disposición del acero de refuerzo y demás especificaciones técnicas para garantizar estabilidad y seguridad.

---

<sup>7</sup> Operacional y técnico medio tiempo

### 3.1.5 Estudio Hidrosanitario

Para el funcionamiento del biodigestor es necesario contar con un suministro de agua potable (**300 - 1000 litros/día**) y de disponer de un sistema eficiente para la evacuación de aguas residuales. Para ello se requiere:

- Evaluar los puntos de conexión disponibles (cajas de inspección, acometidas, redes existentes).
- Diseñar las soluciones técnicas que garanticen la operación hidráulica y sanitaria del sistema de manera segura y conforme a normativa vigente.
- Es importante entender que entre el 60 y el 80% del agua del biodigestor se recircula, esto depende de la tecnología y de la eficiencia.
- Se requieren aproximadamente 18 ML de tubería para aguas residuales y 80 ML para agua potable.

### 3.1.6 Estudio topográfico y arquitectónico

Con el fin de garantizar la adecuada ubicación y coordinación del proyecto dentro de la plaza, se requiere:

- Levantamiento topográfico del área de intervención.
- Levantamiento arquitectónico de las construcciones existentes para definir empalmes y verificar cotas de diseño.
- Identificación de cotas clave de aguas residuales y demás referencias que aseguren la correcta integración del sistema.

Así mismo, se constató que el área destinada a la instalación del sistema de biodigestores es de aproximadamente **189 m<sup>2</sup>**, como se puede ver en la Ilustración 5.

Ilustración 5. Área disponible para el proyecto



De esta manera y con base en los valores de referencia del mercado para obras civiles, se ha establecido un costo unitario de **\$1.750.000 COP** por metro cuadrado, lo que corresponde a

un valor estimado de **\$330.750.000 COP** para la ejecución total del proyecto en su fase constructiva. Cabe señalar que esta cifra constituye una estimación preliminar, susceptible de variaciones una vez se disponga de los resultados de los estudios y diseños detallados.

Nota: En este sentido, el monto indicado debe entenderse como un presupuesto referencial inicial, el cual será objeto de ajuste y validación durante la fase de diseño definitivo y la planeación de la obra, con el fin de garantizar una proyección económica coherente con las condiciones técnicas reales del proyecto.

Finalmente, y con base a las condiciones actuales el valor aproximado de los estudios son los siguientes:

Tabla 11. Costos aproximados estudios técnicos

| ITEM              | DESCRIPCION                                    | UN | CANT. | V/UNIT.       | V/TOTAL              |
|-------------------|------------------------------------------------|----|-------|---------------|----------------------|
| <b>1</b>          | <b>DISEÑOS</b>                                 |    |       |               |                      |
| 1.1               | Levantamiento topografico                      | UN | 1     | 1,500,000.00  | 1,500,000.00         |
| 1.2               | Diseño de suelos                               | UN | 1     | 2,500,000.00  | 2,500,000.00         |
| 1.3               | Diseño arquitectonico                          | UN | 1     | 7,000,000.00  | 7,000,000.00         |
| 1.4               | Diseño estructural                             | UN | 1     | 7,000,000.00  | 7,000,000.00         |
| 1.5               | Diseño Hidrosanitario                          | UN | 1     | 7,000,000.00  | 7,000,000.00         |
| 1.6               | Diseño electrico incluye tramites ante codensa | UN | 1     | 18,000,000.00 | 18,000,000.00        |
| Sub total diseños |                                                |    |       |               | 43,000,000.00        |
| IVA               |                                                |    |       | 0.19          | 8,170,000.00         |
| <b>Total</b>      |                                                |    |       |               | <b>51,170,000.00</b> |

## 4 Alternativas de usos para el biogás y digestato

El proceso de digestión en condiciones anaeróbicas es controlado por la descomposición de la materia orgánica por diferentes microorganismos presentes en el biodigestor a temperaturas que oscilan entre los 30° a 40°C. Este proceso de metanización, producto de la degradación biológica de los residuos orgánicos, produce biogás el cual puede ser empleado para generar electricidad y/o calor, o biometano. Así mismo, otro coproducto generado durante este proceso es el digestato el cual puede ser empleado como mejorador de suelo dada sus cualidades agronómicas.

El biogás está constituido principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ) en un 45-70%, seguido de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) con una composición promedio que oscila entre el 25-55% y finalmente presenta una menor composición de otros gases, especialmente sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ). La composición de este gas presenta un atractivo para el incremento de las tecnologías como la metanización la cual está brindando nuevas oportunidades a gobiernos locales para descentralizar la energía y suplir las demandas energéticas actuales.

Por otro lado, el digestato rico en contenido de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio contenidos con el carbono estable no digerido en el digestato puede ser empleado como sustituto de los fertilizantes sintéticos para mejorar la estructura del suelo y la retención del agua. Por tanto, es un coproducto importante para generar una economía circular entorno al tratamiento de los residuos orgánicos mediante biodigestores.

### 4.1.1 Alternativas de uso del biogás

El biogás es un producto de la degradación controlada de la materia orgánica en un ambiente anaeróbico. Este biogás puede ser empleado a través de un proceso de cogeneración para producir electricidad y/o calor. Sin embargo, puede emplearse también para reemplazar el gas natural a través de un proceso de purificación y mejora para obtener biometano. Este biometano, el cual es un gas compuesto por altas concentraciones de metano, puede ser empleado tanto para inyección a la red de gas natural o como combustible en reemplazo del Gas Natural Vehicular (GNV). En este sentido, a continuación, se presentan las principales opciones de uso del biogás proveniente del tratamiento de residuos orgánicos, considerando sus ventajas y desventajas en términos de eficiencia energética, viabilidad técnica y aplicabilidad en distintos contextos.

- **Valorización del biogás mediante generación de electricidad:** consiste en emplear un motor generador que acciona un alternador para producir electricidad. El rendimiento eléctrico de este proceso se encuentra entre el 35% y el 38%. Esto implica que la eficiencia eléctrica es relativamente baja, ya que 1  $\text{m}^3$  de biogás permite generar aproximadamente de **1.5 a 2.4 kWh** de energía eléctrica. Además, este tipo de valorización presenta la ventaja de generar ingresos constantes gracias a la venta de la electricidad producida.
- **Valorización del biogás mediante cogeneración:** el biogás generado a través de la metanización puede ser empleado para producir tanto energía eléctrica como energía térmica a través de un proceso de cogeneración. El rendimiento eléctrico del

proceso es el mismo mencionado anteriormente. Por otro lado, el rendimiento térmico puede variar del 40 al 47%. Así mismo, esta energía térmica presenta una ventaja ya que puede recuperarse en el sistema de refrigeración del motor y en los gases de escape.

- **Biogás como cocción o inyección a la red de gas natural:**

El biogás generado puede emplearse directamente como sustituto de gas natural para cocción. Sin embargo, este biogás antes de su uso debe realizarse una depuración del biogás para su purificación removiendo impurezas como el sulfuro de hidrogeno ( $H_2S$ ), contenido de humedad ( $H_2O$ ); entre otros.

En el caso de biometano, es necesario realizar un proceso de acondicionamiento previo que permita adecuar sus características técnicas a los parámetros exigidos por la red. Entre los ajustes requeridos se encuentran la presión, la densidad, el contenido total de azufre, la proporción de oxígeno, la humedad y el índice de Wobbe. Una vez alcanzados estos estándares, el biometano puede integrarse de manera eficiente al sistema de distribución de gas natural.

- **Combustible para vehículos:** El empleo del biogás como combustible vehicular es técnicamente viable, para esta aplicación, es necesario que el biogás alcance una calidad equiparable a la del gas natural (biometano), de modo que pueda ser utilizado en vehículos adaptados para operar con dicho combustible. En la mayoría de los casos, estos automotores están equipados con un tanque de almacenamiento y un sistema de suministro de gas, además del sistema convencional de gasolina.). Una de sus principales ventajas es su elevado número de octano, que varía entre 100 y 110, lo cual lo hace especialmente adecuado para motores con altas relaciones de compresión. No obstante, presenta como limitación una velocidad de ignición relativamente baja (FAO, 2011).

Sin embargo, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) establece en la Resolución 240 del 2016 las condiciones de calidad para usuarios regulados bajo el régimen del Servicio Público Domiciliario de Gas Combustible con Biogás (SPDBG) a través de redes aisladas; es decir, los proyectos encaminados a distribuir biogás de manera exclusiva, sin mezclarse con otros combustibles, desde el sitio de generación hasta el domicilio de los usuarios.

A continuación, se presenta un resumen estructurado del marco regulatorio aplicable al biogás y al biometano en Colombia, en el cual se destacan las principales disposiciones normativas, las entidades competentes y las condiciones técnicas exigidas para su aprovechamiento y comercialización.

Tabla 12. Marco regulatorio aplicable para biogás y autogeneración de energía eléctrica

| Norma                                        | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Resolución 240 del 2016 expedida por la CREG | <b>Biometano</b><br>Introdujo las condiciones para su suministro empleando las redes de transporte y distribución de gas natural. Sin embargo, antes de ser inyectado a la red de gas natural, este debe cumplir con las especificaciones de calidad del gas natural, establecidas en el RUT y otras especificaciones adicionales a las establecidas en el RUT como una |

| Norma                                                                                | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                      | <p>cantidad máxima de siloxanos (<math>&lt;10/m^3</math>) y compuestos halogenados (<math>&lt; 1 \text{ mg (Cl)}/m^3</math>).</p> <p><b>Biogás</b><br/>         Determina las condiciones de calidad y seguridad para el suministro del servicio domiciliario del biogás a usuarios regulados y no regulados restringiendo esta disposición para redes aisladas o no interconectadas con el Sistema Nacional de Transporte (SNT) de gas natural.</p>                                      |
| Ley 2099 de 2021<br>Transición energética,<br>dinamización del<br>mercado energético | <p>Esta ley tiene por objetivo actualizar la legislación sobre las disposiciones para la transición energética y la dinamización del mercado energético. En su artículo 7 establece que se financiarán parcial o totalmente proyectos vinculados tanto al Sistema Interconectado Nacional (SIN) y en Zonas No Interconectadas (ZNI) que estructure y desarrollen soluciones en micro redes de autogeneración a pequeña escala para la prestación de servicios públicos domiciliarios.</p> |

Considerando lo anterior, a continuación, se pueden ver cuáles son las ventajas y desventajas de los usos del biogás generado:

**Nota:** Una alternativa de aprovechamiento del biogás es su purificación para la inyección de biometano a la red de gas natural. No obstante, este sistema implica elevados costos de inversión (CAPEX), ya que requiere tecnologías avanzadas para alcanzar una calidad de gas equivalente al gas natural. Además, su viabilidad técnica y económica se considera a partir de biodigestores con una capacidad mínima de 30 toneladas diarias.

Tabla 13. Ventajas y desventajas - Uso del biogás

| Uso del biogás                      | Ventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Desventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Biogás empleado para cocción</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología simple y de bajo costo.</li> <li>• Adecuado para biodigestores pequeños.</li> <li>• Sustituye combustibles fósiles escasos o costosos (leña, carbón, GLP).</li> <li>• Requiere pocas exigencias en la calidad del biogás.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación limitada a nivel local (cocción, calentamiento de agua).</li> <li>• No aprovecha todo el potencial energético del biogás.</li> <li>• Baja eficiencia en usos a gran escala.</li> <li>• Construcción de una red aislada para distribuir el biogás generado a partir del biodigestor.</li> <li>• Mayor inversión debido a las compras de nuevas estufas diseñadas para operar con el biogás del biodigestor dado que la calidad de este gas difiere al gas natural empleado (ej., menor concentración de metano, mayor concentración de oxígeno).</li> </ul> |

| Uso del biogás                    | Ventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Desventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Generación de electricidad</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor eficiencia energética global (aprovechamiento de calor residual).</li> <li>• Permite generación eléctrica para autoconsumo o inyección a red.</li> <li>• Tecnologías disponibles (motores, microturbinas, turbinas de gas, celdas de combustible).</li> <li>• Escalable a distintas capacidades.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere mayor inversión inicial.</li> <li>• Necesidad de depuración del biogás (<math>\text{H}_2\text{S} &lt; 100</math> ppm, deshumidificación).</li> <li>• Costos de operación y mantenimiento más altos.</li> <li>• Menor eficiencia si no se aprovecha el calor residual.</li> </ul>                                 |
| <b>Cogeneración</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor eficiencia térmica durante el proceso de generación de electricidad y calor por reutilización del calor residual.</li> <li>• Tecnologías disponibles como motores de combustión interna, turbinas de gas; entre otros.</li> </ul>                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere una mayor inversión inicial comparada a la generación de electricidad.</li> <li>• Es un sistema que suele aplicarse a áreas que tienen necesidad de calefacción o refrigeración y electricidad simultáneamente.</li> <li>• Costos de mantenimiento altos.</li> </ul>                                             |
| <b>Combustible para vehículos</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alternativa a combustibles fósiles en transporte.</li> <li>• Alto número de octano (100–110), adecuado para motores de alta compresión.</li> <li>• Reduce emisiones en comparación con diésel y gasolina.</li> </ul>                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere purificación y compresión a alta presión (200–300 bar).</li> <li>• Conversión de motores es costosa.</li> <li>• Los cilindros reducen la capacidad de carga útil.</li> <li>• Limitada infraestructura de abastecimiento.</li> <li>• Baja velocidad de ignición en comparación con otros combustibles.</li> </ul> |

En contraste, la generación de electricidad a partir del biogás con **inyección a la red eléctrica se presenta como una opción más factible** debido a un potencial de costo evitado por consumo de energía eléctrica. Si bien el uso in situ del biogás para cocción es otra alternativa, en la práctica resulta limitada, dado que no todos los comerciantes de la plaza de mercado cuentan con equipos de cocción; como estufas, lo que restringe el acceso generalizado a esta fuente renovable.

#### 4.1.2 Alternativas de uso del digestato

Uno de los principales desafíos, a lo largo de la cadena de valor del biogás es la identificación de los usos y mercados potenciales para el digestato o biofertilizante. Existe una oportunidad

en fortalecer este mercado de biofertilizantes, el cual actualmente es prácticamente inexistente, dado en gran parte por la importación de fertilizantes minerales.

El contenido del biofertilizante depende del sustrato o materia prima que se emplee durante el proceso de digestión anaeróbica. Además, el biofertilizante contiene todos los nutrientes que las plantas necesitan como nitrógeno (N) empleado para fertilizar el cultivo, mientras que el fósforo (P) y potasio (K) son usados para fertilizar el suelo.

Sin embargo, la composición de nutrientes de N, P, K difícilmente se encuentran en condiciones óptimas desde el punto de vista de la producción de cultivo. Por tanto, en algunas ocasiones este es empleado para complementar a los fertilizantes minerales o en el mejor de los casos, para reemplazarlos.

El biofertilizante en general presenta un alto contenido de agua donde la materia seca (MS) presenta un contenido del 3 al 7%. Este tipo de biofertilizantes procedentes de biodigestores se emplean en tierras agrícolas sin drenar. Además, limita su distribución debido a su alto costo por transporte este producto a largas distancias.

Asimismo, el digestato se presenta en dos formas principales:

- **Digestato sólido:** Corresponde a la fracción con mayor proporción de materia orgánica estabilizada, fibras y un contenido elevado de fósforo y sólidos totales. Se distingue por su consistencia más compacta y su alta densidad de nutrientes, lo que lo hace apropiado para su aprovechamiento como enmienda orgánica, incrementando el carbono orgánico y optimizando la estructura del suelo.
- **Digestato líquido:** Representa la fracción con mayor contenido de agua, caracterizada por la concentración de nutrientes minerales fácilmente disponibles, principalmente nitrógeno en forma amoniacal y potasio. Debido a su naturaleza, se emplea preferentemente como fertilizante líquido de aplicación directa en los cultivos. Generalmente se obtiene a través de procesos de separación mecánica del digestato integral, lo que facilita su manipulación, almacenamiento y distribución.

Por tanto, **es óptimo realizar la separación de la fracción líquida para obtener un biofertilizante más sólido.** Esto facilita el transporte del biofertilizante sólido debido a que puede contener mayores nutrientes en un menor volumen facilitando su almacenamiento. La separación líquida/sólido puede ser realizado con presa de tornillo la cual separa mecánicamente las fracciones sólidas y líquidas comprimiendo el biofertilizante. También puede realizarse la separación a través de una centrifuga empleando la fuerza centrífuga para separar la fracción sólida y líquida en salidas separadas.

Las características de ambos tipos de biofertilizantes también difieren. En el caso del biofertilizante líquido, la mayoría del nitrógeno amónico y el potasio (K) se encuentra en este producto; sin embargo, en el caso del biofertilizante sólido, la MS presenta una composición del 20-30% mayoritariamente de fósforo (P), nitrógeno orgánico y el material fibroso. Así mismo, la composición del sustrato o materia prima y la elección de la tecnología afectaran las fracciones líquidas-sólidas del proceso de separación.

Existen otras técnicas de separación que son empleadas posteriormente obtenidas las fracciones líquidas y sólidas de biofertilizante. Estas técnicas tienen como objetivos

augmentar la concentración de nutrientes valiosos como fósforo (P), potasio (K); entre otros. Algunas de estas técnicas son el decapado-fregado con amoníaco, evaporación y secado térmico.

El transporte del biofertilizante sólido se realiza en contenedores y se almacena en silos de piso. Sin embargo, el biofertilizante líquido se esparce con sistemas de remolque cisterna o es almacenado en pozos de estiércol para luego ser esparcidos directamente a través del sistema de mangueras.

De igual manera, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) ha establecido un marco regulatorio para el uso y la comercialización de los biofertilizantes a través de las siguientes resoluciones:

Tabla 14. Marco regulatorio aplicable - Digestato

| Norma                                      | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Resolución 150 de 2003:</b>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Esta resolución adopta el Reglamento Técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelos para Colombia. En esta se detallan los siguientes puntos clave:               <ul style="list-style-type: none"> <li>Procedimiento para todas las personas naturales y jurídicas que deseen fabricar, formular, envasar o empacar fertilizantes y acondicionadores de suelos. Estas personas deberán registrarse ante el ICA mediante el diligenciamiento y presentación de la Forma ICA 3-894.</li> <li>Así mismo menciona que para el uso de los fertilizantes y acondicionadores de suelo en cultivos agrícolas se requerirá un ensayo de eficacia previo que aplica para cultivos de alimentos, flores y otros.</li> </ul> </li> </ul> |
| <b>Resolución 068370 de 2020</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Establece que toda persona debe registrar el producto para su comercialización. Este requerimiento aplica para un productor, productor por contrato e importador de biofertilizantes (ej., bioabonos e inoculantes biológicos) para uso agrícola.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Norma Técnica Colombiana (NTC) 5167</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Establece los requisitos y ensayos que deben ser sometidos los productos orgánicos como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo los productos orgánicos como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo los cuales son obtenidos a partir de la materia orgánica en procesos como compostaje o fermentación.</li> <li>Estos productos orgánicos que menciona la NTC 5167 deben ser caracterizados y analizados en laboratorios acreditados por el ICA. Los parámetros analizados son los fisicoquímicos, microbiológicos, metales pesados y nutrientes que deben cumplir los productos orgánicos.</li> </ul>                                                                               |

El digestato, tanto en su fracción sólida como líquida, ofrece un importante potencial de aprovechamiento agrícola y ambiental. No obstante, su aplicación también implica ciertos retos que deben ser considerados. A continuación, se presentan las principales ventajas y desventajas asociadas a cada tipo de digestato, con el fin de evaluar sus beneficios como insumo para el suelo y los cultivos, así como las limitaciones técnicas y de gestión que pueden surgir en su uso.

Tabla 15. Ventajas y desventajas - Uso del digestato

| Tipo de digestato | Ventajas                                                                                                                                                                                                                                                                      | Desventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Sólido</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Menor volumen, facilidad de transporte y posibilidad de peletización y comercialización.</li> <li>Viabilidad técnica para su aprovechamiento como enmienda orgánica dada su alta cantidad de materia orgánica estabilizada.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Necesidad de procesamiento adicional (secado) para mejorar su estabilidad.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Líquido</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Puede emplearse como complemento de los fertilizantes minerales de alto costo.</li> <li>Fácil aplicación en sistemas de riego o aspersión.</li> </ul>                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Elevado costo de transporte por alto contenido de agua requiere tanques de almacenamiento.</li> <li>Posible contaminación de agua subterráneas por mal manejo.</li> <li>Mayor dificultad en su comercialización por sus precios no competitivos frente al fertilizante sintético.</li> </ul> |

En esta etapa se opta por priorizar el aprovechamiento del **digestato sólido**, dado que ofrece ventajas logísticas, técnicas y comerciales frente al digestato líquido. Debido a que el digestato sólido requiere un aporte significativo en nutrientes como nitrógeno (N), y fósforo (P), este no puede reemplazar directamente a los fertilizantes sintéticos, sino que suelen emplearse como un complemento o se pueden procesar y estabilizar para uso como biofertilizante.

Su menor volumen facilita el transporte y abre la posibilidad de procesos de valorización como la peletización, además de contar con un uso comprobado como enmienda orgánica por su alto contenido de materia estabilizada.

Si bien requiere acondicionamiento adicional, como el secado, esta opción resulta más viable que el digestato líquido, el cual enfrenta limitaciones asociadas a su elevado contenido de agua, mayores costos de manejo, riesgos ambientales y ausencia de un mercado consolidado. Por tanto, el digestato sólido representa la alternativa más práctica y eficiente en esta fase inicial de implementación.

## 5 Conclusiones

- **Capacidad del biodigestor:** La capacidad de tratamiento del biodigestor adecuada según las generaciones de residuos orgánicos de las plazas de mercado y el espacio disponible ( $189\text{m}^2$ ) es: **1.5 ton/día**.
- **Uso de productos:** La valorización del biogás recomendada es a través de la **generación de energía eléctrica para inyección a la red**. Por otro lado, se recomienda el uso de **digestato sólido** como un complemento al uso de fertilizantes al tener más facilidad al transportarlo y un mercado más estable.

Este proceso de biodigestión estima una producción de los siguientes productos:

- Generación de biogás: **105 135 m<sup>3</sup>/día**
- Generación de electricidad: **150 – 200 kWh/día**
- Generación de digestato: **0.10 – 0.15 ton/día**
- **Obra civil:** Se tiene un valor aproximado de **\$ 1.750.000 COP/ m<sup>2</sup>** correspondiente a las obras civiles; cabe resaltar que estos valores son estimados y susceptible de variaciones económicas después del desarrollo de los estudios preliminares.  
Los costos aproximados de diseños previos para el desarrollo de la obra civil es de **\$51.170.000 COP**.
- **Electricidad:** Para el funcionamiento del biodigestor, se requiere aproximadamente 15 - 25 kVA (415 – 440 V), la cual debe evaluarse directamente por el operador de red para la evaluación de un nuevo punto de conexión exclusivo.
- **Agua y agua residual:** Se debe contar con un suministro de agua potable con capacidad de **300 – 1000 litros/día**. Es importante resaltar que del 60 y el 80% del agua empleada para las operaciones del biodigestor se pueden recircular. Este rango dependerá de la tecnología y su eficiencia.
- **Impacto:** Este proyecto puede tener lo siguientes impactos ambientales aproximadas:
  - Generación de biogás: **40.500 m<sup>3</sup>/año**
  - Generación de electricidad: **57.000 kWh/año**
  - Generación de digestato: **37 ton/año**
  - Se puede suministrar el **100%** de energía en la plaza de mercado, considerando que hay un uso de energía aproximado por la plaza de mercado de **55.351 kWh/año**.
  - Las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> son aproximadamente **300 ton CO<sub>2</sub>eq**