

# Prefactibilidad: sistema de tratamiento de residuos orgánicos de la plaza de mercado Bazurto en Cartagena

Bogotá, Colombia Marzo, 2024



Alcaldía Mayor de  
Cartagena de Indias

**WASTEMAP**



ambire  
GLOBAL



---

El presente reporte fue preparado por Ambire Global como parte del proyecto Waste Methane Assessment Platform (Waste MAP) de Clean Air Task Force (CATF), junto con RMI, con financiamiento del Global Methane Hub y apoyo de la Alcaldía de Cartagena.



# Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>8</b>
2.1 Objetivo general	8
2.2 Objetivos específicos	8
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>9</b>
<b>4. INFORMACIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>10</b>
4.1 Visita a la Plaza de mercado	10
4.2 Generación de residuos en la plaza de mercado Bazurto	11
4.3 Barreras identificadas	12
<b>5. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS</b>	<b>13</b>
5.1 Compostaje	13
5.2 Digestión anaeróbica	14
5.3 Evaluación y selección de la tecnología	15
5.3.1 <i>Compostaje</i>	15
5.3.2 <i>Digestión anaeróbica</i>	16
<b>6. MODELO FINANCIERO</b>	<b>18</b>
6.1 Supuestos	19
6.1.1 <i>Económicos</i>	19
6.1.2 <i>Eficiencia</i>	20
6.1.3 <i>Inversión</i>	20
6.1.4 <i>Costos de operación</i>	21

6.1.5 Ingresos	22
6.2 Escenarios	23
6.3 Análisis de sensibilidad	25
6.3.1 Tarifa de gestión de residuos	26
6.3.2 Variaciones descuento CAPEX	27
<b>7. HOJA DE RUTA PARA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS</b>	<b>29</b>
7.1 Recolección de información	29
7.2 Prefactibilidad	30
7.3 Factibilidad	30
7.4 Capacitaciones e implementación de sistemas de gestión de residuos	32
7.4.1. Capacitación a la comunidad	32
7.4.2 Sistemas de gestión de residuos	33
7.5 Estructuración del proyecto	34
<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>37</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>40</b>
<b>10. ANEXOS</b>	<b>41</b>

## Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Metodología	9
Ilustración 2. Zona de descargue de alimentos y residuos llamada como la "Rampa"	11
Ilustración 3. Generación de residuos en plaza de mercado Bazurto	11
Ilustración 4. Espacio disponible identificado para un proyecto de aprovechamiento de residuos orgánicos	12
Ilustración 5. Compostaje en pilas	14
Ilustración 6. Digestión anaeróbica - Biodigestor	15
Ilustración 7. Procesos de evaluación financiera	18
Ilustración 8. Costos de operación	21
Ilustración 9. Ingresos del proyecto	22
Ilustración 10. Tarifa de disposición final	25
Ilustración 11. Valor descuento CAPEX	25
Ilustración 12. Análisis de sensibilidad - tarifa de gestión de residuos	26
Ilustración 13. Análisis de sensibilidad - descuento CAPEX	28
Ilustración 14. Hoja de ruta	29

## Lista de tablas

Tabla 1. Criterios de evaluación de las tecnologías	17
Tabla 2. Variables económicas	19
Tabla 3. Tarifa de electricidad, precios de venta digestato y costo manejo de residuos	19
Tabla 4. Supuestos de eficiencia	20
Tabla 5. Valor de la inversión, operación e ingresos del sistema	20
Tabla 6. Escenarios de deuda e inversión	23
Tabla 7. Escenarios seleccionados	24
Tabla 8. Comportamiento de la TIR y VNA para escenarios seleccionados	24
Tabla 9. Variaciones de tarifa y descuento CAPEX	25
Tabla 10. Aumento tarifa por costo de gestión de residuos - 15 años	27
Tabla 11. Aumento descuento CAPEX	28

## Abreviaturas

<b>CAPEX</b>	Gastos de capital
<b>CATF</b>	Clean Air Task Force
<b>DTF</b>	Depósito a Término Fijo
<b>EBIDTA</b>	Beneficios antes de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero
<b>IPC</b>	Índice de Precios de Consumo
<b>KWh</b>	Kilovatio hora
<b>OPEX</b>	Gastos operacionales
<b>RO</b>	Residuos orgánicos
<b>ROI</b>	Retorno de inversión
<b>SMMLV</b>	Salario mínimo mensual legal vigente
<b>TIR</b>	Tasa interna de retorno
<b>TRM</b>	Tasa Representativa del Mercado
<b>VNA</b>	Valor presente actual
<b>Waste MAP</b>	Waste Methane Assessment Platform

# 1. INTRODUCCIÓN

En el 2018, el sector de residuos (incluyendo residuos sólidos y tratamiento de aguas residuales) de Colombia representó el 7% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y 22% de las **emisiones de metano** del País (IDEAM et al., 2021). En específico, las emisiones de metano representaron 93.4% de las emisiones de GEI del sector residuos de Colombia (IDEAM et al., 2021). Esto es significativo ya que el metano tiene un potencial de **calentamiento global** al menos 80 veces mayor al dióxido de carbono durante su tiempo de vida atmosférica (IPCC, 2021) y su reducción es una de las mejores oportunidades disponibles para reducir el ritmo del calentamiento global en las siguientes dos décadas.

Con el propósito de proporcionar una vía clara para mitigar las emisiones de metano del sector residuos y avanzar hacia el cumplimiento del Compromiso Global de Metano, así como otros objetivos nacionales y subnacionales de reducción de gases de efecto invernadero, en 2023, se lanzó el proyecto Waste Methane Assessment Platform (**Waste MAP**) de Clean Air Task Force (**CATF**) en colaboración con RMI y financiamiento del Global Methane Hub. Waste MAP proporcionará una herramienta en línea y de datos abiertos que destaque las emisiones de metano de residuos sólidos, oportunidades de mitigación y mejores prácticas para reducirlas. Adicionalmente, bajo el proyecto de Waste MAP, se realizarán colaboraciones nacionales para promover la asistencia técnica local y el intercambio de información. Como parte de Waste MAP en Colombia, CATF – en colaboración con los servicios de consultoría de **Ambire Global** – está apoyando a la **Alcaldía de Cartagena** en la gestión adecuada de los residuos orgánicos en su **plaza de mercado** y para ello desarrolló este **modelo de prefactibilidad**.

La gestión adecuada de los residuos orgánicos es un aspecto crucial en la búsqueda de soluciones ambientales en Colombia y el mundo; en donde también se ven relacionados aspectos sociales y económicos. Los residuos orgánicos constituyen una fracción considerable de los residuos generados en la comunidad, especialmente en **Colombia**, donde podemos hablar de un **61%** (MAG, 2021). Su gestión inadecuada no solo contribuye a la contaminación ambiental, sino que también desaprovecha la oportunidad de convertirlos en recursos valiosos, como compost o biogás.

En este contexto, la identificación de estrategias efectivas para la separación, recolección, tratamiento y aprovechamiento de los **residuos orgánicos** se presenta como una necesidad imperante; en donde la prefactibilidad se centra en explorar la viabilidad de un proyecto destinado a la gestión eficiente de residuos orgánicos y su consecuente mitigación de las emisiones de metano.

El propósito de este documento es presentar los resultados de la **evaluación de la prefactibilidad** de implementar un sistema integral de gestión de residuos orgánicos en la **plaza de mercado Bazurto**, considerando aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales. Se examinarán dos opciones de tratamiento, el compostaje y la digestión anaeróbica, así como se analizarán los posibles beneficios en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y financiamiento.

Finalmente, a través de un enfoque multidisciplinario, se pretende proporcionar una visión integral de la viabilidad y las oportunidades asociadas con la **implementación de un proyecto de gestión de residuos orgánicos** en la **plaza de mercado Bazurto**. Este análisis contribuirá a la toma de decisiones informada y al diseño de estrategias eficaces para abordar los desafíos relacionados con los residuos orgánicos, promoviendo al mismo tiempo la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

El objetivo principal de este estudio de prefactibilidad es evaluar la viabilidad de implementar un sistema integral de tratamiento de residuos orgánicos en la **plaza de mercado Bazurto** en la ciudad de Cartagena, con el propósito de aprovechar de manera eficiente los residuos orgánicos generados en dicho espacio y mitigar las emisiones de metano.

### 2.2 Objetivos específicos

Con el fin de alcanzar el objetivo general del proyecto, se delinear los siguientes objetivos específicos:

- 1 Realizar Diagnóstico de la situación actual sobre la gestión de residuos orgánicos en la **plaza de mercado Bazurto** de la ciudad de Cartagena.
- 2 Evaluación técnicamente de los sistemas de tratamiento para el manejo de residuos orgánicos en la **plaza de mercado Bazurto**.
- 3 Desarrollar de modelo financiero del sistema de tratamiento escogido.
- 4 Desarrollar de modelos de negocios para viabilizar el proyecto.
- 5 Desarrollar de una hoja de ruta para implementación del proyecto.

### 3. METODOLOGÍA

Se usó una metodología integral que busca proporcionar un enfoque sistemático y completo para la evaluación de la viabilidad y el diseño de un sistema eficiente y sostenible de tratamiento de residuos orgánicos en la **plaza de mercado Bazurto** en la ciudad de Cartagena.

La metodología para llevar a cabo el estudio de prefactibilidad del tratamiento de residuos orgánicos en la **plaza de mercado de Cartagena** se estructuró de la siguiente manera:

Ilustración 1. Metodología



Fuente: Ambire Global

- 1 Recolección de información:** Levantamiento de datos sobre el manejo actual de residuos orgánicos en la **plaza de mercado Bazurto** en la ciudad de Cartagena. Se emplearon métodos de envío de formularios, visitas al lugar y entrevistas con actores relevantes para obtener información detallada sobre la cantidad, composición y gestión de los residuos orgánicos. Encuentre en el Anexo 1 el formulario de solicitud de información.
- 2 Análisis de información:** La información obtenida se analizó, identificando los desafíos y áreas de mejora en el manejo actual de los residuos orgánicos en las **plazas de mercado**. Este análisis proporcionará una comprensión profunda de la situación actual y fungió como punto de partida para la propuesta de soluciones.
- 3 Análisis de tecnologías:** Evaluación de las tecnologías como el compostaje y digestión anaeróbica para el tratamiento de residuos orgánicos, considerando aspectos como la eficiencia, espacio, aspectos ambientales y la viabilidad económica. Este análisis permitió seleccionar las tecnologías más adecuadas para la implementación en la **plaza de mercado Bazurto** en la ciudad de Cartagena.
- 4 Modelo financiero:** Desarrollo de modelo financiero que evaluó los costos asociados con la implementación y operación del sistema de manejo de residuos orgánicos propuesto. Este modelo se utilizó para realizar un análisis de prefactibilidad, considerando aspectos financieros, sociales y ambientales. Se evaluó la rentabilidad del proyecto y su impacto positivo en la gestión de los residuos orgánicos.
- 5 Socialización de los resultados:** Los resultados obtenidos se compartieron y discutieron con las partes interesadas, incluyendo autoridades locales y representantes de empresas de aseo.

## 4. INFORMACIÓN DEL PROYECTO

La recopilación de información de la **plaza de mercado Bazurto** en la ciudad de **Cartagena** se realizó mediante un formulario diligenciado y enviado a la Alcaldía y los responsables locales, además del levantamiento de información relevante durante la visita en campo; encontrando:

- Visita a la **plaza de mercado Bazurto**
- Generación de residuos en la **plaza de mercado Bazurto**
- Identificación del espacio disponible para el aprovechamiento de residuos orgánicos
- Análisis de barreras identificadas

### 4.1 Visita a la Plaza de mercado

Durante las visitas de campo, se llevaron a cabo recorridos exhaustivos en las diferentes secciones de la **plaza de mercado Bazurto**. Esta visita se enfocó en la observación detallada de las operaciones, la infraestructura existente, la generación de residuos y otros aspectos relevantes para obtener una comprensión integral de la dinámica de gestión en estas locaciones específicas.

Este enfoque permitió obtener datos precisos y contextualizados que fueron fundamentales para el análisis y diseño de estrategias efectivas en el manejo de residuos orgánicos en esta **plaza de mercado**. Algunos de los datos generales identificados son:

- Área total de la plaza **40.000 m<sup>2</sup>**
- Veolia es la empresa encargada del servicio de recolección de residuos.
- Existe un lugar denominado la "**Rampa**" el cual es destinado para la descarga de mercancía, selección y descarte de alimentos por parte de los comerciantes.
- Los comerciantes llevan los residuos a la rampa en carretillas, bolsas, cajas o canecas en donde son recolectados por la empresa prestadora del servicio de aseo Veolia dos veces al día.
- La empresa prestadora del servicio de aseo Veolia lleva los residuos recolectados en la **plaza de mercado** al relleno sanitario Loma de los Cocos el cual queda ubicado aproximadamente a 27 km de distancia.
- La plaza de mercado se divide en **16 secciones**, entre las cuales están: carbonera, tela y farmacia, cristalería, pescado frito, parqueadero interior, ropa, boca, hueco, anillo 9, cobertizo, pescado fresco, carnicería, túnel y rampa, bayura, Acoviba y naranjas la L.

Ilustración 2. Zona de descargue de alimentos y residuos llamada como la “Rampa”



Fuente: (Elaboración propia, 2023)

## 4.2 Generación de residuos en la Plaza de mercado Bazurto

En la **plaza de mercado Bazurto**, en base a lo reportado por el personal de la Alcaldía se registra una generación diaria de aproximadamente **31,4 toneladas** de residuos orgánicos<sup>1</sup>.

Ilustración 3. Generación de residuos en plaza de mercado Bazurto



Fuente: (Elaboración propia, 2023)

<sup>1</sup> El valor corresponde al dato levantado e informado en la visita de campo. El Establecimiento Público Ambiental (EPA) estableció un valor menor de generación de residuos orgánicos en el mercado de Bazurto, sin embargo este correspondía para la construcción de un piloto de compostaje.

- La **Fundación Aliméntate por Colombia** canaliza una **tonelada** diaria de alimentos rescatados de la rampa, destinándolos a un banco de alimentos que beneficia a **1.540** niños.
- Una empresa privada que implementa el uso diario de **300 kilogramos** de alimentos descartados como fuente de **alimentación para la porcicultura**.

Finalmente, durante la visita de campo se identificó un espacio disponible (Ilustración 4) que pertenece a la plaza de mercado con un espacio aproximado de 200 m<sup>2</sup> el cual se encuentra en las proximidades del mercado. Este espacio podría ser utilizado a futuro para algunas de las actividades de manejo de los residuos en el mercado, sin embargo, el área requerida es mayor y es explicada en el capítulo 6.1.3 de este documento.

Ilustración 4. Espacio disponible identificado para un proyecto de aprovechamiento de residuos orgánicos



Fuente: (Elaboración propia, 2023)

### 4.3 Barreras identificadas

Al recopilar la información para el estudio de prefactibilidad, se han identificado diversas barreras que engloban aspectos técnicos, sociales y ambientales. Estas barreras representan desafíos cruciales que deben ser abordados de manera integral para garantizar el éxito y la sostenibilidad del proyecto. A continuación, se describen las barreras identificadas:

**Recolección de residuos:** Se identificó un área designada por la empresa encargada del servicio de aseo, Veolia, para la disposición de residuos, donde los residuos se encuentran depositados directamente en el suelo. Esto ha dado lugar a la creación de un punto crítico de generación de olores y vectores, presentando un riesgo evidente para la salud de la comunidad y el ambiente, así como la emisión de gases de efecto invernadero e impactando negativamente la biodiversidad local.

**Clasificación de residuos:** Se observó que no existe una clasificación adecuada de los residuos sólidos, lo que resulta en la inexistencia de un sistema de recolección diferenciada para los residuos orgánicos, aprovechables y no aprovechables. La ausencia de este proceso de segregación en la fuente se transforma en una gestión ineficiente de los residuos, ya que todos los diferentes tipos de residuos se mezclan.

La identificación de los tipos de residuos se ve comprometida en la actualidad debido a la carencia de un proceso de separación desde el momento mismo de su generación. Resultando en una composición contaminada por

la presencia de diversos tipos de residuos y aumentando la gestión y tratamiento posterior de los residuos. Es importante resaltar, que, aunque no se allegó un informe de caracterización con la información verificada durante la visita, se constató que la mayor parte de los residuos generados en la **plaza de mercado Bazurto** son orgánicos.

**Educación ambiental:** Ante la ausencia de clasificación de los residuos que se evidenció en la visita, se identificó la necesidad e importancia de llevar a cabo programas ambientales que contemplen capacitaciones sobre la separación en la fuente de residuos a la comunidad, principalmente a los usuarios del mercado, así como al personal administrativo y los propios vendedores. Lo anterior, con la finalidad de proporcionar a la comunidad el conocimiento necesario sobre los beneficios que tiene la separación y el manejo adecuado de los residuos en las plazas de mercado, facilitando, así, la implementación de un sistema integral de tratamiento de residuos orgánicos..

## 5. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Las tecnologías de procesamiento de **residuos orgánicos** transforman estos materiales en potenciales productos nuevos, ofreciendo beneficios significativos como la prolongación de la vida útil de los **rellenos sanitarios**, la disminución de las **emisiones de gases de efecto invernadero** y la generación de **energías renovables** como la producción de **biogás** a través de sistemas de digestión anaerobia. Entre las principales metodologías de tratamiento de residuos orgánicos que se deben evaluar para determinar la más adecuada, se encuentran el compostaje y la digestión anaeróbica.

Estas tecnologías proporcionan una oportunidad clave para la **valorización** de los residuos orgánicos, permitiendo la **producción de energía, combustibles y/o compost**, contribuyendo así a un enfoque más sostenible y eficiente en la gestión de estos recursos; encontrando de manera detallada lo siguiente:

### 5.1 Compostaje

El compostaje es un proceso de **descomposición de la materia orgánica** por la acción de **microorganismos** permitiendo obtener **compost** como **abono orgánico**. En condiciones aeróbicas (con oxígeno), los microorganismos descomponen la materia orgánica produciendo **dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)** el cual es un subproducto natural de la respiración de los microorganismos y de la **descomposición de la materia orgánica**, y es liberado a la atmósfera durante el proceso;; de igual manera el **amoniaco (NH<sub>3</sub>)** es liberado en forma de gas y puede contribuir al olor característico del compost en descomposición, y **humus** el cual es el resultado de la descomposición completa de la materia orgánica durante el proceso.

El compostaje ocurre en cuatro fases bajo condiciones óptimas:

- **Mesófila:** La descomposición de la materia orgánica se efectúa mediante bacterias mesófilas donde pueden alcanzar temperaturas que alcanzan hasta los 45 °C. Esta fase tiene un tiempo de duración corta alcanzando máximo ocho días.
- **Termófila:** En la segunda fase, las bacterias termófilas descomponen materiales orgánicos a temperaturas elevadas (50-60 °C) facilitando la degradación de fuentes como la celulosa y la lignina.
- **Mesófila II:** La temperatura en esta fase comienza a descender hasta los 40 °C. Esta fase tiene una duración de varias semanas.
- **Maduración:** Con la disminución de moléculas de alta energía, la temperatura baja y las bacterias mesófilas prevalecen en la fase de maduración formando ácidos húmicos y fúlvicos.

El **compost**, resultado del compostaje, es un material similar al humus sin patógenos detectables; teniendo en cuenta que el humus es el **producto final** y estable de la descomposición orgánica en el suelo, el compost es el producto intermedio de un proceso de descomposición activo y controlado de materiales orgánicos. Se emplea como **condicionador de suelos** y fertilizantes en jardines, cultivos y forrajes, aportando material orgánico, nitrógeno, potasio, mejorando la textura y elevando los cationes del suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2013).

La tecnología seleccionada para este escenario es el compostaje en pilas, la cual es la forma más sencilla de compostaje. Estas pilas tienen dimensiones que alcanzan hasta 2,5 metros de altura y 3,5 metros de ancho en su base, con longitudes variables. La descomposición se lleva a cabo específicamente en la zona de **tratamiento de residuos**, donde los residuos orgánicos provenientes de la cámara de recepción son triturados y dispuestos en estas pilas (Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico, 2012).

La Ilustración 5 es un ejemplo sobre pilas tradicionales de compostaje.

Ilustración 5. Compostaje en pilas



Fuente: (Ibañez, 2015)

## 5.2 Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es una tecnología para la **degradación** controlada de la **materia orgánica** en un **entorno anaeróbico** (en ausencia de oxígeno). La metanización **produce biogás** (aunque sus componentes dependen del material entrante, aproximadamente está constituido por un 55% de metano, un 40% de dióxido de carbono y un 5% de otros gases), para generar **electricidad** y/o calor, o **biometano** y un coproducto llamado **digestato**, que puede utilizarse para mejorar el suelo gracias a sus valores agronómicos (Chareyron, D., Horsin-Molinario, H., & Multon, B., 2021). Además, el biogás puede mejorarse para producir biometano eliminando el dióxido de carbono y otras impurezas, que puede inyectarse en sustitución del gas natural.

La **materia orgánica** puede obtenerse del estiércol del ganado, los residuos de cultivos, residuos verdes (ej., residuos de jardinería) y biorresiduos (ej., residuos sólidos municipales orgánicos, residuos orgánicos de plazas de mercado). Por lo general, el **porcentaje de materia seca** (ej., residuos alimentarios, corte de césped, residuos agroforestales) en un biodigestor debe rondar el **20%**. Un proceso anaeróbico está controlado por diferentes cepas de microorganismos, contenidos en el biodigestor anaeróbico, normalmente a una **temperatura de 30 a 40 °C**.

El **tiempo** necesario para la **transformación de la materia prima** puede durar desde **varias horas** (como en el caso de los azúcares y el alcohol) hasta **varias semanas** (en el caso de materiales como las grasas y las proteínas) (Chareyron, D., Horsin-Molinari, H., & Multon, B., 2021).

En el proceso de elegir la tecnología más apropiada, se lleva a cabo una evaluación comparativa (Tabla 1) de las metodologías más comúnmente utilizadas en el aprovechamiento de residuos orgánicos, considerando los criterios más determinantes para su elección.

Ilustración 6. Digestión anaeróbica - Biodigestor<sup>2</sup>



Fuente: (Virapura, 2023)

## 5.3 Evaluación y selección de la tecnología

Estas tecnologías ofrecen beneficios ambientales y económicos significativos, su implementación efectiva requiere considerar cuidadosamente tanto las ventajas como las desventajas para garantizar un equilibrio adecuado entre sostenibilidad, viabilidad económica y aceptación comunitaria, encontrando:

### 5.3.1 Compostaje

#### VENTAJAS

- ^ El costo asociado con esta tecnología resulta **más económico** en comparación con los otros métodos de tratamiento.
- ^ El compost es un excelente **mejorador de suelo** aportando nutrientes a los suelos.
- ^ El reúso de **nutrientes es mayor**, al ser un proceso esencial que permite la recuperación y reintegración de valiosos elementos nutritivos presentes en los residuos orgánicos.
- ^ La complejidad de **operación es baja**, al no requerir de personal técnico para su operación.

<sup>2</sup> En la Ilustración 6 se presenta un modelo de biodigestor utilizado para el aprovechamiento de residuos orgánicos. Sin embargo, con esta ilustración no se pretende indicar que sea la configuración que deba aplicarse en Cartagena.

- ^ **Disminución** de los residuos orgánicos destinados a **rellenos sanitarios**.
- ^ Al implementar tecnologías para el aprovechamiento de residuos orgánicos, se logra reducir significativamente la cantidad de estos residuos que son enviados a los **rellenos sanitarios**, dado que los residuos orgánicos constituyen la mayor parte del volumen total de residuos generados y dispuestos, contribuyendo a prolongar la vida útil de los sitios de disposición final. Además, al disminuir la cantidad de residuos orgánicos enviados a estos **rellenos**, se reduce la contaminación por lixiviados.
- ^ La **generación de lixiviados** en las zonas de compost también puede ser usados como recuperadores de suelos y abonos concentrados, ya que no se encuentran contaminados con sustancias tóxicas.

## DESVENTAJAS

- ✓ Se requiere de **más personal** para el funcionamiento operativo de la planta en comparación de digestión anaeróbica, al contemplar actividades de volteo, manejo de lixiviados y temperatura.
- ✓ En caso de prácticas inadecuadas puede haber riesgo de generación de malos olores y vectores.
- ✓ El **mercado para el compost** es bajo en el país, dificultando su venta.
- ✓ **Tiempo de degradación** de materia orgánica **prolongado** en comparación con otras tecnologías.
- ✓ Requiere una **mayor área de superficie** debido a los diversos procesos establecidos para la descomposición de la materia orgánica (ej., cámara de recepción, área de descomposición, área de maduración y área de post-tratamiento) lo cual podría resultar en mayores costos y limitaciones en la selección de ubicaciones para la implementación del sistema.
- ✓ La gestión de los lixiviados generados durante el proceso en ausencia de una cobertura adecuada en la planta puede dar lugar a la contaminación ambiental aumentando así los riesgos operativos.

### 5.3.2 Digestión anaeróbica

#### VENTAJAS

- ^ **Disminución** en la generación de **olores** y vectores en comparación con otros sistemas de tratamiento.
- ^ Ayuda a reciclar los nutrientes.
- ^ Se **generan productos** como **electricidad** o gas a partir del biogás generado aportando a la matriz energética del país.
- ^ Ocupación de **espacio menor** al compostaje.
- ^ Minimiza el riesgo de lixiviados porque el ambiente anaeróbico restringe la liberación de sustancias solubles en agua.

## DESVENTAJAS

- ✓ Alto **costo de inversión** y operación de la tecnología en comparación con el compostaje.
- ✓ La falta de un manejo preciso en el control de gases contaminantes puede resultar en la producción no deseada de ácido sulfhídrico (SH<sub>2</sub>), un subproducto tóxico. Residuos leñosos poco aptos para la metanización o para finalizar la maduración del digestato.
- ✓ **Alta inversión** comparada con el compostaje dependiendo de los tratamientos a realizarse (ej., deshumidificación)
- ✓ Se requiere incurrir en costos para capacitar al **personal** en la operación de la tecnología.
- ✓ Hay **pocos proveedores** de la tecnología en el país.

Estas tecnologías fueron **evaluadas** teniendo en cuenta **parámetros** que se destacan como elementos primordiales en la selección de tecnologías, asegurando que la elección final cumpla con estándares rigurosos en áreas cruciales que abarcan desde la eficacia operativa hasta el impacto en la comunidad y el entorno.

Estos parámetros se categorizaron mediante códigos de colores, asignando el color verde a los **más favorables**, azul a los **intermedios** y rojo a los **menos propicios**, facilitando así una identificación visual y clara de las opciones más acordes con el proyecto.

Tabla 1. Criterios de evaluación de las tecnologías

Parámetro	Compostaje	Digestión anaeróbica
Costos de tecnología	Más favorable	Menos favorable
Generación de empleo	Más favorable	Intermedio
Reciclaje de nutrientes	Más favorable	Más favorable
Riesgo de olores	Intermedio	Más favorable
Riesgo de vectores	Intermedio	Más favorable
Facilidad de operación	Más favorable	Intermedio
Proveedores locales de tecnología	Más favorable	Intermedio
Facilidad de operación	Más favorable	Intermedio
Retorno de inversión para sistemas descentralizados	Intermedio	Más favorable
Mercado para productos generados	Menos favorable	Más favorable
Espacio requerido	Menos favorable	Más favorable

Menos favorable

Intermedio

Más favorable

Una vez realizado el análisis comparativo exhaustivo de cada tecnología, mencionada anteriormente, y al evaluar las ventajas y desventajas asociadas con la valorización de residuos orgánicos, se concluye que la opción más idónea para implementar en la **plaza de mercado Bazurto** en la ciudad de **Cartagena** es el **tratamiento anaeróbico**.

Esta elección se fundamenta en su facilidad de manejo, disponibilidad del espacio requerido y los bajos riesgos relacionados con la generación de olores y vectores, factores críticos para el desarrollo exitoso de este proyecto.

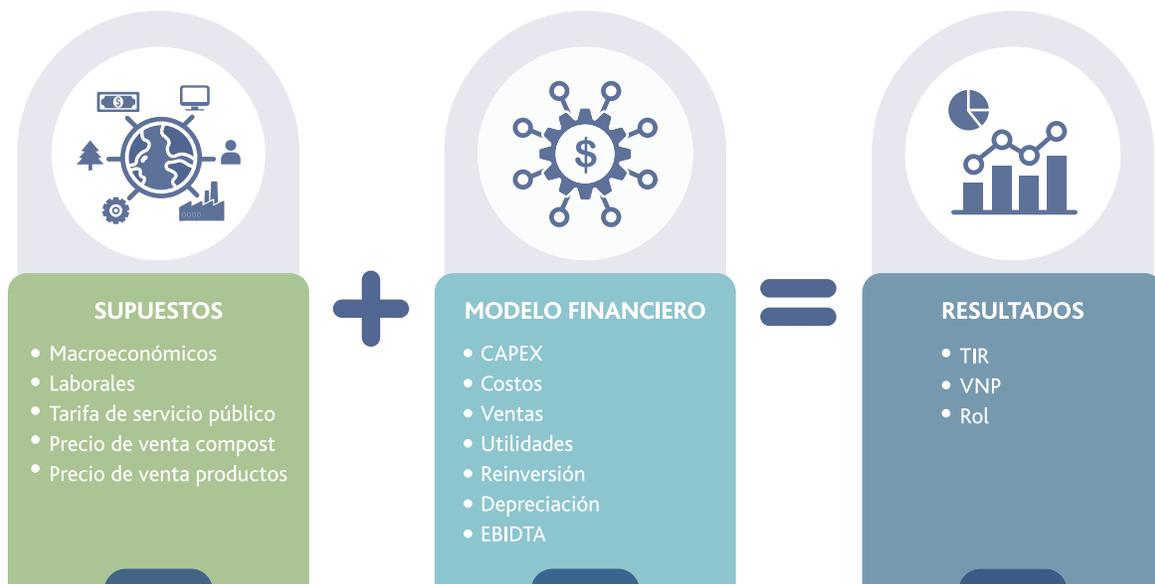
## 6. MODELO FINANCIERO

La evaluación financiera Ilustración 7 del proyecto implica la consolidación de todos los parámetros y variables relevantes al mismo, examinando detenidamente el modelo financiero con el objetivo de determinar su viabilidad económica, considerando:

- Costos de operación
- Costos de inversión
- Ingresos por venta de productos, energía y manejo de residuos
- Tarifas de aseo
- Deuda e inversión
- Mano de obra requerida
- Costos de mantenimiento

Además, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad para evaluar cómo las posibles variaciones en ciertos factores clave podrían afectar los resultados financieros del proyecto, en diferentes escenarios.

Ilustración 7. Procesos de evaluación financiera



Fuente: (GIZ, 2022)

Antes de abordar el análisis financiero, es crucial considerar los siguientes significados:

- **CAPEX:** inversión destinada a bienes de capital para mejorar la productividad de la empresa, esto es, el gasto destinado a la adquisición o renovación del inmovilizado (Boronat, 2019).
- **OPEX:** Gasto destinado al funcionamiento de lo operativo (o bienes de capital) para poder desarrollar la actividad de la empresa o proyecto (Boronat, 2019).
- **TIR:** es la tasa de rentabilidad que aporta una inversión teniendo en cuenta el porcentaje de pérdida o ganancia que tendrá el negocio de acuerdo con lo invertido (Boronat, 2019).

- **VNA:** Medida financiera que evalúa la rentabilidad de una inversión al calcular la diferencia entre los flujos de efectivo presentes (ingresos y egresos) y el costo inicial de la inversión (Boronat, 2019).

## 6.1 Supuestos

Los supuestos son esenciales para establecer un marco de referencia y proporcionan las condiciones iniciales sobre las cuales se desarrollan evaluaciones y escenarios. Los supuestos considerados son:

### 6.1.1 Económicos

Como se puede ver en Tabla 2 los supuestos económicos abarcan indicadores clave a nivel nacional, impactando directamente el desempeño económico y la toma de decisiones a nivel empresarial.

Tabla 2. Variables económicas

Variable	Valor	Unidad
IPC 2023	11,4%	%
DTF	13,07%	%
Impuestos	35%	%
SMMLV 2023	\$1.160.000	\$
USD a COP	\$4.086	COP <sup>3</sup>

Así mismo, es importante incorporar los costos asociados a las tarifas de electricidad, costos de la disposición en **relleno sanitario**, recolección de los residuos y venta de digestato Tabla 3 , ya que estos elementos son determinantes para calcular tanto los ingresos como los costos del proyecto.

Tabla 3. Tarifa de electricidad, precios de venta digestato y costo manejo de residuos

Variable	Valor (COP)	Unidad
Tarifa eléctrica - consumo (\$/kWh)	\$ 1.035	COP
Tarifa eléctrica - consumo (\$/kWh)	\$ 724	COP
Tarifa eléctrica - consumo (\$/kWh)	\$ 50.000	COP
Costo disposición de residuos (\$/ton): vosto de disposición final + costo de recolección y transporte	\$ 141.046	COP

El costo de disposición final de residuos corresponde al valor cobrado por la empresa de aseo Veolia S.A.; así mismo la tarifa de consumo eléctrico es de la empresa Afinia. Sin embargo, es importante resaltar que según la administración y el equipo ambiental la **plaza de mercado Bazurto** tiene un contrato especial de recolección y disposición de residuos por \$85.000.000 COP.

### 6.1.2 Eficiencia

A continuación, se estima un sistema de tratamiento de residuos orgánicos de 31,4 t/día con los diferentes valores relacionados a consumos y generaciones de los diferentes subproductos.

Tabla 4. Supuestos de eficiencia

Variable	Valor (COP)	Unidad
Generación de residuos orgánicos	31,4	t/día
Generación de digestato	0,1	t digestato / t Residuos Orgánicos (RO) procesada
Consumo de energía	120	kWh/d
Residuos orgánicos procesados	9.352	t/año
Biogás generado al año	654.619	m <sup>3</sup> /año
Electricidad generada	949.198	kWh/año
Equivalente de gas natural	327.310	m <sup>3</sup> /año
Generación de abono orgánico	935	t/año

### 6.1.3 Inversión

A continuación, en la Tabla 5 se incluyen los valores de la tecnología y los costos de obra civil, los cuales funcionan para cualquier escenario de inversión planteado más adelante. Este valor inicial es resultado del costo de materiales, adecuación del lugar, el costo de importación y puesta en marcha del biodigestor para la **plaza de mercado Bazurto** en la ciudad de **Cartagena**.

Tabla 5. Valor de la inversión, operación e ingresos del sistema

Variable	Valor	Unidad
Costo de biodigestor (USD) <sup>a</sup>	6.129.000.000	\$ COP
Espacio requerido para implementación de la tecnología <sup>b</sup>	1.800	m <sup>2</sup>
Obra civil (ductos + conexiones gas) (COP)	1.308.000.000	\$ COP
Estudios de placa	100.000.000	\$ COP
Técnicos (2 personas, 1 semana)	15.000.000	\$ COP
Alquiler de maquinaria (3 días)	15.000.000	\$ COP
Imprevistos	379.150.000	\$ COP
Costo redes eléctricas (COP)	15.000.000	\$ COP
CAPEX total sin beneficios tributarios (COP)	7.961.150.000	\$ COP
CAPEX total sin beneficios tributarios (COP) <sup>c</sup>	6.690.042.017	\$ COP

<sup>a</sup> TRM – Banco de la República (8 nov 2023)

<sup>b</sup> El espacio estimado en este estudio de prefactibilidad no aumenta linealmente, este ha sido calculado teniendo en cuenta la implementación del sistema total de biogás incluyendo el procesamiento, tanques de digestión, almacenamiento de biogás y otros componentes electromecánicos del sistema. El espacio no tiene en cuenta el espacio requerido para el almacenamiento y separación de los residuos, área para la expansión, entre otras infraestructuras auxiliares. Para estimar el área exacta para la gestión integral de residuos orgánicos en largo plazo, es necesaria el proceso de factibilidad en donde se hacen la proyección de gestión de residuos a largo plazo y la evaluación de otros supuestos como la eficacia de la separación en la fuente, disponibilidad de servicios públicos, entre otros.

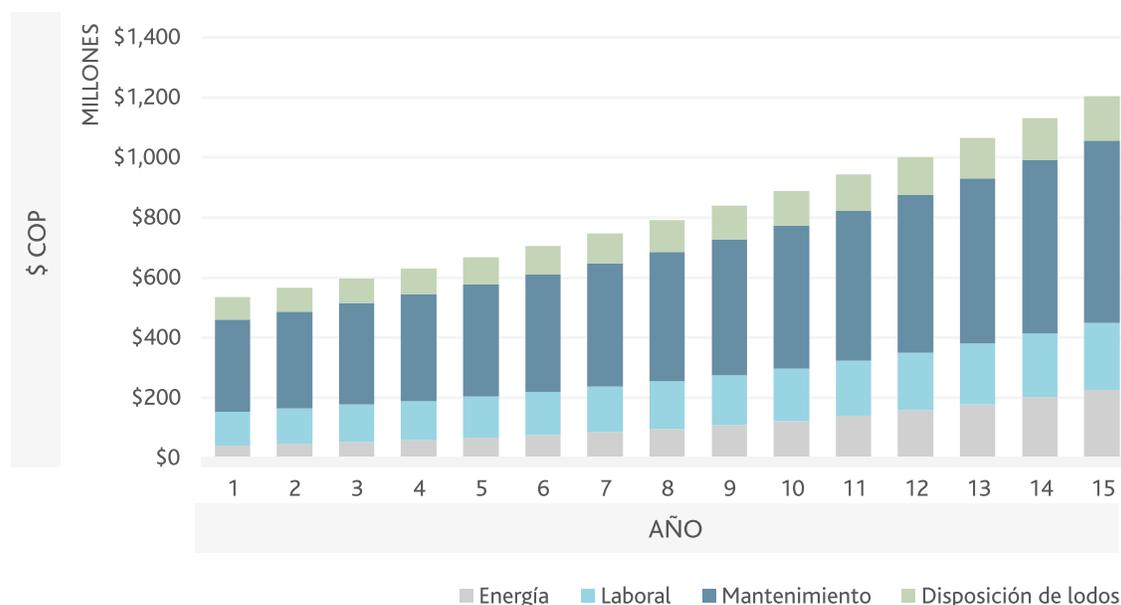
<sup>c</sup> Para Colombia si los proyectos son sostenibles y benefician el medio ambiente tienen incentivos en materia tributaria, conocidos como Beneficios Tributarios Ambientales. La normativa de cubre este tipo de proyectos es la Ley 1715 de 2014 y el Decreto 2205 de 2017 y se deben certificar ante el ANLA, UMPE o CAR. Este valor es aproximado.

### 6.1.4 Costos de operación

En la Ilustración 8 a continuación se pueden observar los costos asociados al proyecto, los cuales varían desde 580 millones en el primer año hasta alcanzar los 1.200 millones en el año 15; encontrando:

- **Costos de energía:** energía requerida para el funcionamiento del biodigestor.
- **Costos laborales:** remuneración periódica a operarios y técnicos para operar y mantener el sistema en condiciones adecuadas; incluyendo prestaciones legales obligatorias por el gobierno.
- **Costos de mantenimiento:** las cuales incluyen reparaciones periódicas, la sustitución de partes y el mantenimiento regular del equipo.
- **Costos de disposición de lodos:** se generan lodos como subproducto del proceso de descomposición de residuos orgánicos; sin embargo, de tener un mercado establecido para el digestato, este se identifica como un ingreso adicional para el proyecto.

Ilustración 8. Costos de operación

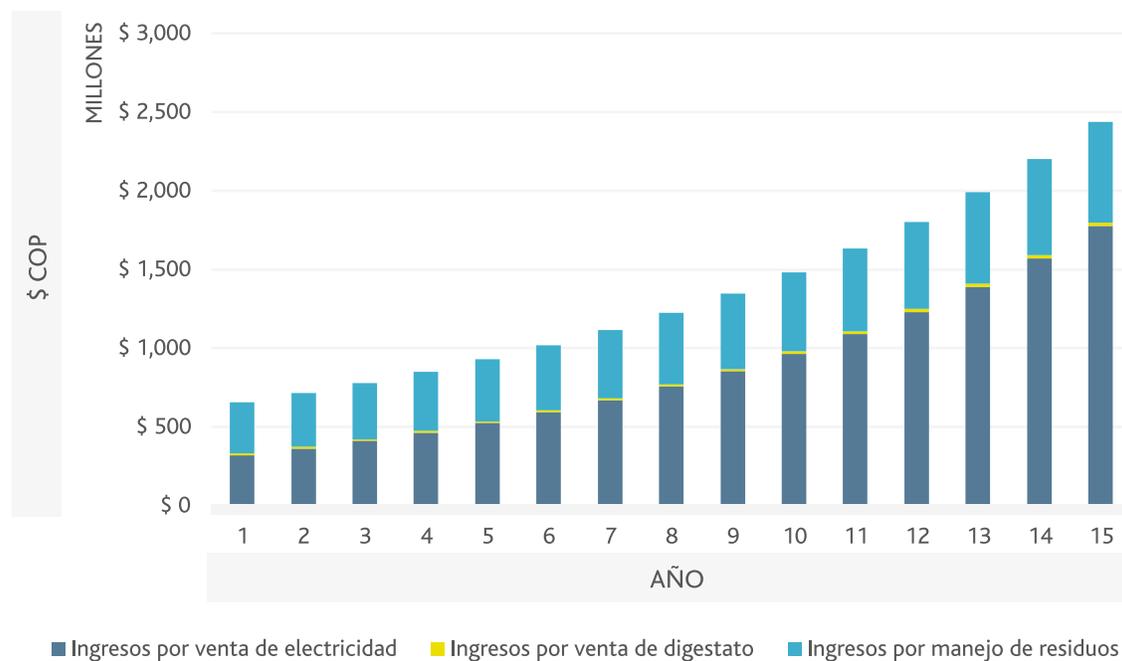


## 6.1.5 Ingresos

Como se visualiza en la Ilustración 9, los ingresos generados a lo largo del proyecto son notablemente significativos, aumentando desde alrededor de 2.000 millones en el primer año hasta alcanzar los 6.500 millones en el año 15. Estos ingresos recibidos son:

- **Venta de digestato:** no hay un mercado establecido para su comercialización, sin embargo, puede ser usado como fertilizante el cual contiene todos los nutrientes y micronutrientes necesarios para la agricultura, incluidos el nitrógeno fósforo y potasio. Este requiere de tratamiento para ser usado como un compost (Association, 2015).
- **Venta de electricidad:** generación de energía eléctrica a partir de los residuos orgánicos aprovechados mediante un biodigestor.
- **Tarifa por manejo de residuos:** tarifa mensual recibida por la comunidad por manejo y gestión de los residuos orgánicos.

Ilustración 9. Ingresos del proyecto



## 6.2 Escenarios

Se ha desarrollado un modelo financiero que abarca un total de 11 escenarios, cada uno de los cuales implica variaciones en el endeudamiento destinado a financiar el proyecto. Para cada uno de estos escenarios, se han evaluado aspectos macroeconómicos, tales como el VNA y la TIR, los cuales se encuentran en la Tabla 6 , y se detallan en el Anexo 2 .

En el Anexo 2 los resultados de la evaluación financiera de los **11 escenarios** de inversión revelan un panorama integral de las posibles trayectorias económicas del proyecto. La variación en estas cifras entre los diferentes escenarios ofrece una visión crítica sobre la sensibilidad del proyecto a distintos factores, como costos, ingresos y condiciones del mercado.

Tabla 6. Escenarios de deuda e inversión

Escenarios	Deuda	Inversión
<b>1</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>
<b>2</b>	<b>10%</b>	<b>90%</b>
<b>3</b>	<b>20%</b>	<b>80%</b>
<b>4</b>	<b>30%</b>	<b>70%</b>
<b>5</b>	<b>40%</b>	<b>60%</b>
<b>6</b>	<b>50%</b>	<b>50%</b>
<b>7</b>	<b>60%</b>	<b>40%</b>
<b>8</b>	<b>70%</b>	<b>30%</b>
<b>9</b>	<b>80%</b>	<b>20%</b>
<b>10</b>	<b>90%</b>	<b>10%</b>
<b>11</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>

\*En **negrilla** los escenarios descritos a lo largo de este documento

De los **11** escenarios contemplados, se seleccionan **4** (escenario 1, 4, 6 y 8) que presentan un comportamiento diferenciado en comparación con los demás; de igual manera, estos escenarios representan los esquemas de deuda e inversión más comunes en el país.

Este modelo de prefactibilidad ha sido evaluado en un periodo de 15 años al planear un proyecto a largo plazo, vida útil y depreciación de los equipos. Esto implica un análisis detallado de la TIR en donde se espera al menos un **12%** y el VNA positivo, destacando una tasa de interés de la deuda del **13%**.

Para la **TIR** se considera una expectativa mínima del **12%**, orientada hacia los inversionistas interesados en proyectos de impacto. De igual manera, la elección de la **tasa de interés del 13%** se basa en el promedio del comportamiento financiero de los años previos. Sin embargo, es importante destacar que la tasa de interés del año 2023 ha sido afectada por la situación económica actual del país, lo que puede generar variaciones significativas y se deben tener en cuenta para los estudios definitivos.

De esta manera, este análisis permite la identificación de los escenarios más importantes, tal y como se muestra en la Tabla 7 desde una perspectiva financiera la cual facilita la toma de decisiones para optimizar la inversión y garantizar la sostenibilidad económica del proyecto a lo largo del tiempo.

Tabla 7. Escenarios seleccionados

Escenarios	Deuda	Inversión
1	0%	100%
4	30%	70%
6	50%	50%
8	70%	30%

En el comportamiento de la TIR y el VNA para la inversión y el proyecto para los escenarios seleccionados para el **año 8** se observa que tanto la TIR como el VNA mantienen valores consistentes y favorables en todos los escenarios analizados.

Este resultado indica que, sin importar las fluctuaciones en las condiciones y variables evaluadas, la rentabilidad del proyecto se mantiene alineada con las proyecciones a largo plazo. **Estos indicadores consistentemente favorables para todos los escenarios proyectan una imagen sólida y sostenible para el proyecto al año 15.**

Tabla 8. Comportamiento de la TIR y VNA para escenarios seleccionados<sup>4</sup>

		Escenario			
Escenario		15 años	10 años	8 años	7 años
1	VNAproyecto	\$ 5.047.843.653	\$ 1.921.488.789	\$ 553.799.283	-\$ 161.775.970
	TIRproyecto	23%	18%	14%	11%
	TIRinversión	23%	18%	14%	11%
4	VNAproyecto	\$ 6.408.568.735	\$ 2.767.922.902	\$ 1.217.027.876	\$ 411.101.858
	TIRproyecto	24,02%	19,79%	15,89%	12,87%
	TIRinversión	27,54%	23,57%	19,79%	16,83%
6	VNAproyecto	\$ 7.411.153.137	\$ 3.378.714.890	\$ 1.691.933.955	\$ 819.632.536
	TIRproyecto	24,73%	20,68%	16,91%	13,96%
	TIRinversión	35,34%	32,29%	29,06%	26,43%
8	VNAproyecto	\$ 8.498.789.816	\$ 4.029.898.535	\$ 2.195.023.455	\$ 1.250.949.080
	TIRproyecto	25,45%	21,56%	17,91%	15,04%
	TIRinversión	44,31%	42,03%	39,43%	37,20%

Nota: Valores negativos en paréntesis. Escenarios en los cuales el VNA del proyecto es positivo y la TIR es mayor al 12% se resaltan en verde. Por otro lado, aquellos escenarios en los que la TIR del proyecto es menor al 12% y el VNA es negativo se destacan en rojo.

<sup>4</sup> Los valores que se encuentran en paréntesis son de valor negativo y los valores están en COP

## 6.3 Análisis de sensibilidad

Para cada uno de los escenarios, se llevó a cabo un **análisis de sensibilidad al año 15<sup>5</sup>** que involucra la modificación de la **tarifa de disposición de residuos** y el **porcentaje de descuento de CAPEX**. Este análisis tiene como objetivo determinar el porcentaje del proyecto que debe ser financiado para lograr la viabilidad del modelo financiero a distintos periodos.

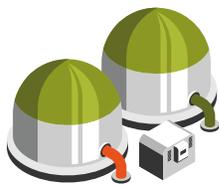
Ilustración 10. Tarifa de disposición final



VARIACIÓN TARIFA  
COSTO DE DISPOSICIÓN  
FINAL DE RESIDUOS

Variación de la tarifa de gestión de residuos sólidos evaluando que tan viable sería esto para el desarrollo del proyecto en términos económicos.

Ilustración 11. Valor descuento CAPEX



VALOR DE  
DESCUENTO CAPEX

Al aplicar un **descuento de CAPEX**, se reduce el monto total de los gastos de capital requeridos para el proyecto. Este descuento puede provenir de diversas fuentes, como subsidios gubernamentales, inversionistas estratégicos, acuerdos con proveedores o socios comerciales y se busca con el fin de cerrar el modelo y ver el comportamiento del proyecto.

De esta manera, la Tabla 9 muestra el comportamiento de la tarifa de gestión de residuos y descuento CAPEX en un 5%, 10% y 15%. Es importante tener en cuenta que, el **descuento CAPEX** representa el valor que se descuenta, mientras que el **CAPEX con descuento** corresponde al valor final después de aplicar el descuento.

Tabla 9. Variaciones de tarifa y descuento CAPEX

	Tarifa de gestión de residuos (\$/kg)	Descuento CAPEX (COP)	CAPEX con descuento (\$ COP)
Actual	141,05	\$ 6.690.042.017	\$ 6.690.042.017
5%	148,10	\$ 334.502.101	\$ 6.355.539.916
10%	155,15	\$ 669.004.202	\$ 6.021.037.815
15%	162,20	\$ 1.003.506.303	\$ 5.686.535.714

<sup>5</sup> El análisis de sensibilidad se realiza al año 15 ya que de los analizados en la sección 6.2 es el más favorable

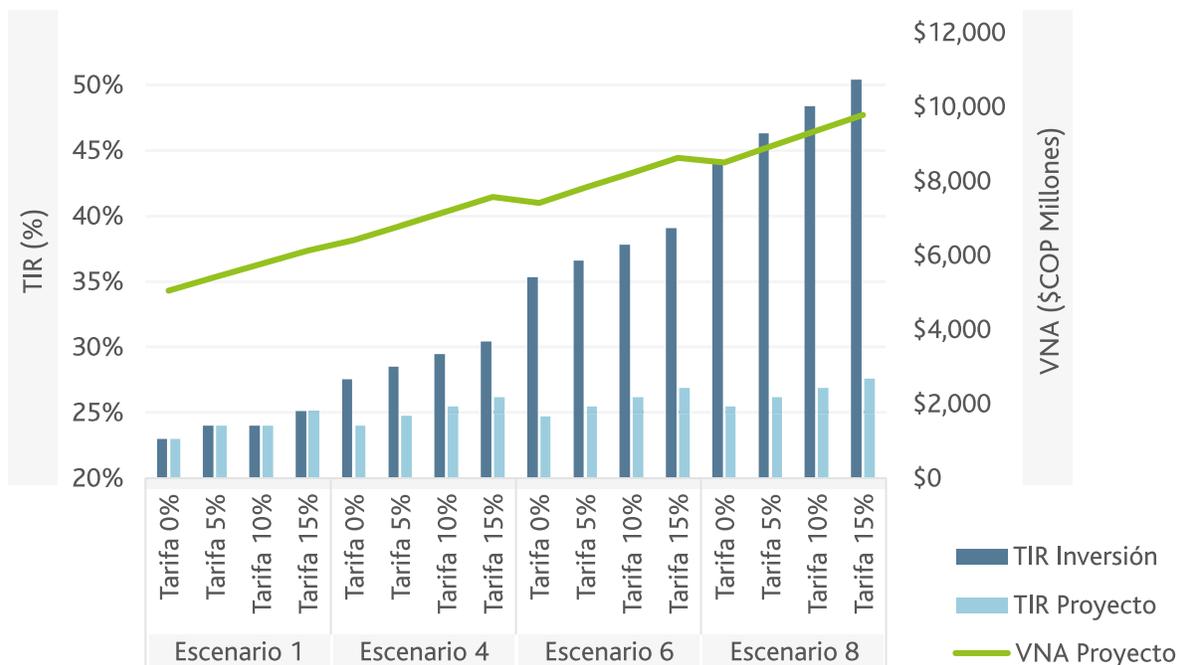
### 6.3.1 Tarifa de gestión de residuos

Al llevar a cabo el análisis de sensibilidad, que involucra la variación de la tarifa de disposición de residuos en un **5%, 10% y 15%**, como se puede observar en la Tabla 10 se detallan los resultados correspondientes a cada uno de los escenarios seleccionados y evaluados con mayor profundidad a lo largo del proyecto.

De igual manera, se puede ver en la Ilustración 12, para el **año 15** la variación de la tarifa de gestión de residuos en un 5%, 10% y 15% tiene un comportamiento positivo para la **TIR de la inversión** con aumentos de **2% y 6%** (escenarios 1 y 8 respectivamente) al aplicar un incremento del 15% a la tarifa. Así mismo, la **TIR del proyecto** aumenta 2% (escenarios 1 y 8) al incrementar la tarifa hasta un 15% lo que sugiere que el proyecto generará mayores rendimientos en relación con la inversión realizada.

Así mismo, el **VNA** en un aumento del 5%, 10% y 15% tiene una variación aproximada de 1.000 millones y 1.200 millones (escenario 1 y escenario 8) respectivamente para el año 15, lo que indica que el proyecto tiene el potencial de generar beneficios económicos netos, contribuyendo positivamente a la rentabilidad de la inversión.

Ilustración 12. Análisis de sensibilidad - tarifa de gestión de residuos



En la Tabla 10 se puede observar a mayor detalle los resultados obtenidos:

Tabla 10. Aumento tarifa por costo de gestión de residuos - 15 años

Aumento tarifa por costo de gestión de residuos - 15 años				
Escenario	Aumento	VNA proyecto	TIR proyecto	TIR inversión
1	Tarifa 0%	\$ 5.047.843.653	23%	23%
	Tarifa 5%	\$ 5.404.803.010	24%	24%
	Tarifa 10%	\$ 5.761.762.368	24%	24%
	Tarifa 15%	\$ 6.118.721.726	25,12%	25,12%
4	Tarifa 0%	\$ 6.408.568.735	24,02%	27,54%
	Tarifa 5%	\$ 6.793.511.607	24,75%	28,50%
	Tarifa 10%	\$ 7.178.454.478	25,47%	29,46%
	Tarifa 15%	\$ 7.563.397.350	26,18%	30,42%
6	Tarifa 0%	\$ 7.411.153.137	24,73%	35,34%
	Tarifa 5%	\$ 7.816.497.951	25,46%	36,58%
	Tarifa 10%	\$ 8.221.842.765	26,18%	37,82%
	Tarifa 15%	\$ 8.627.187.578	26,89%	39,07%
8	Tarifa 0%	\$ 8.498.789.816	25,45%	44,31%
	Tarifa 5%	\$ 8.926.083.552	26,17%	46,33%
	Tarifa 10%	\$ 9.353.377.288	26,89%	48,36%
	Tarifa 15%	\$ 9.780.671.023	27,61%	50,40%

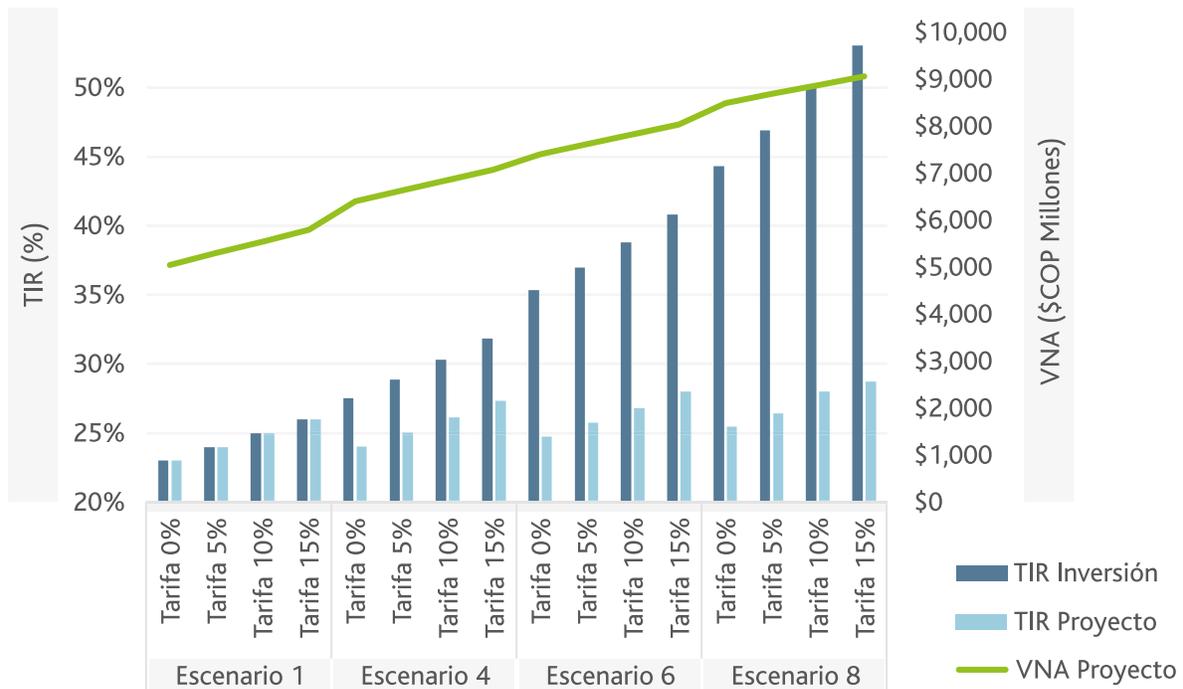
### 6.3.2 Variaciones descuento CAPEX

El análisis de sensibilidad respecto a la variación del descuento CAPEX en un 5%, 10% y 15% para los escenarios seleccionados se presenta en la Tabla 11. Se describe el comportamiento de cada escenario en términos de TIR y VAN.

Como se puede ver en la Ilustración 13, para el **año 15 la variación del descuento CAPEX** en un 5%, 10% y 15% tiene un comportamiento positivo. Por ejemplo, la TIR de la inversión con un aumento del 21% y 27% para el escenario 1 y 8, respectivamente al aplicar un 15% de descuento. Así mismo, la TIR del proyecto aumentó aproximadamente 2% y 3% para los escenarios 1 y 8, respectivamente al aplicar un 15% de descuento CAPEX; lo que significa que el ajuste del gasto de capital resulta tener en un mejor rendimiento en relación con la inversión inicial.

De igual manera el **VNA** para el escenario 1 aumenta de **5.000 millones** aproximadamente a **9.000 millones** COP para el escenario 8; lo que sugiere que, debido a la modificación del CAPEX, el proyecto tiene una capacidad mejorada para generar flujos de efectivo positivos a lo largo de su vida útil.

Ilustración 13. Análisis de sensibilidad - descuento CAPEX



De igual manera en la Tabla 11 se pueden ver los datos a mayor detalle:

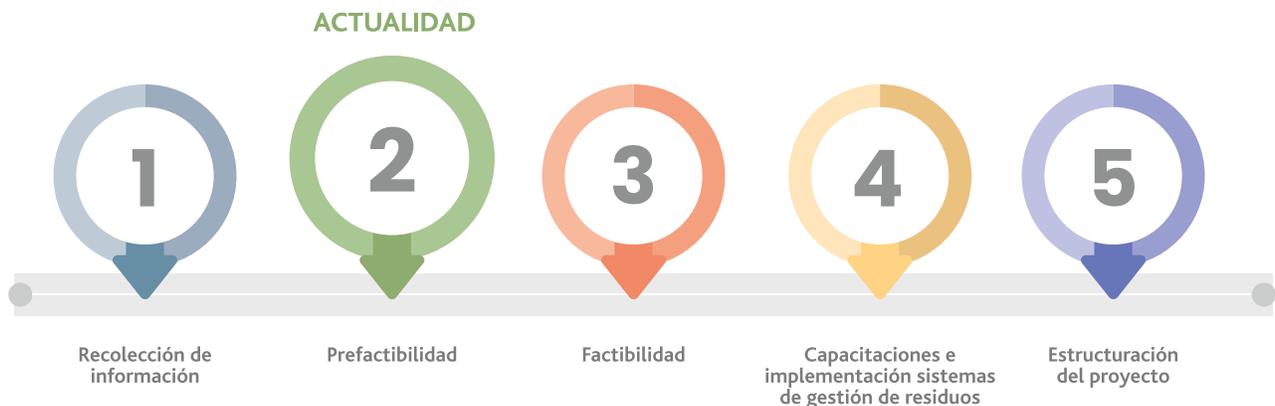
Tabla 11. Aumento descuento CAPEX

Inversiones CAPEX - 15 años				
Escenario	Aumento	VNA proyecto	TIR proyecto	TIR inversión
1	0%	\$ 5.047.843.653	23%	23%
	5%	\$ 5.299.042.733	24%	24%
	10%	\$ 5.550.241.813	25%	25%
	15%	\$ 5.801.440.893	26%	26%
4	0%	\$ 6.408.568.735	24,02%	27,54%
	5%	\$ 6.634.971.725	25,02%	28,85%
	10%	\$ 6.861.374.716	26,12%	30,29%
	15%	\$ 7.087.777.706	27,32%	31,86%
6	0%	\$ 7.411.153.137	24,73%	35,34%
	5%	\$ 7.619.108.941	25,73%	36,98%
	10%	\$ 7.827.064.744	26,82%	38,80%
	15%	\$ 8.035.020.548	28,02%	40,81%
8	0%	\$ 8.498.789.816	25,45%	44,31%
	5%	\$ 8.686.584.299	26,44%	46,92%
	10%	\$ 8.874.378.781	28%	50%
	15%	\$ 9.062.173.264	28,73%	53,05%

## 7. HOJA DE RUTA PARA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS

La hoja de ruta establecida para el desarrollo de proyectos de aprovechamiento de residuos orgánicos contempla 5 pasos; como se puede ver en la Ilustración 14.

Ilustración 14. Hoja de ruta



### 7.1 Recolección de información

La etapa de recolección de datos es fundamental para la implementación de proyectos para el aprovechamiento de residuos orgánicos, ya que la información es el punto de partida para el análisis y la toma de decisiones necesarias en el proyecto. Con la obtención de datos veraces, se garantiza que los pasos posteriores tengan una base sólida para su ejecución.

Se recomienda implementar una metodología de recolección de datos rigurosa y que al mismo tiempo se aplique de una manera sencilla y práctica en la operación de las **plazas de mercado**. La elección de los actores involucrados para la recolección de datos debe contemplar un proceso de captura, entrega, compilación y análisis.

La recolección de información básica recomendada considera tres dimensiones:

- **Técnica:** cantidad generada diaria de residuos orgánicos, composición de los residuos, proyección de generación de residuos.
- **Operativa:** información detallada de aspectos que describen un proyecto como:
  - Manejo de los residuos
    - Acopio
    - Recolección
    - Transporte
    - Disposición final o tratamiento
  - Área disponible para implementación de tecnologías
    - Infraestructura eléctrica
    - Conexiones de red de alcantarillado, gas natural
    - Uso del suelo destinado para la actividad

- **Económica:** recopilación de información que permita identificar los costos y valores asociados al proyecto, teniendo en cuenta:
  - Capacidad de endeudamiento
  - Capacidad de financiamiento
  - Tarifas y costos de agua, energía y aseo
  - Costos de recolección
  - Costos de personal
  - Licencias ambientales y permisos necesarios

Se recomienda tener un sistema centralizado de datos para las actividades de generación, acopio, recolección y transporte de los residuos en la plaza de mercado, con el fin de contemplar los eslabones iniciales de la cadena de gestión de residuos.

## 7.2 Prefactibilidad

Es fundamental considerar que, en este estudio de prefactibilidad, se emplea tanto la información capturada en la etapa de recolección de datos, como supuestos y valores aproximados de la tecnología. En la siguiente etapa, la factibilidad, se requerirá ajustar estos datos y rectificar los modelos con información más precisa.

La prefactibilidad es la tapa inicial de evaluación de un proyecto para determinar si es viable y merece una inversión más detallada y completa para su evaluación. Para el desarrollo de la prefactibilidad es importante tener en cuenta los siguientes pasos:

- Definición del proyecto
- Análisis del mercado
- Análisis de ingresos y costos
- Alternativas y escenarios
- Viabilidad del proyecto
- Evaluación de tecnologías
- Evaluación de riesgos
- Aspectos legales y regulatorios
- Identificación de brechas para implementación del proyecto

## 7.3 Factibilidad

En esta etapa se contempla la evaluación detallada y sistemática de la viabilidad de un proyecto antes de su implementación, determinando la viabilidad técnica y financiera, así como los riesgos y oportunidades generadas en su desarrollo. De esta manera es importante tener en cuenta:

- **Evaluación y selección de las tecnologías:** analizar una serie de parámetros técnicos, económicos, ambientales y sociales para determinar la conveniencia de una tecnología de aprovechamiento de residuos orgánicos para un contexto específico.; esta selección se hace de acuerdo con los siguientes parámetros:

- **Parámetros técnicos**
  - Eficiencia de tratamiento
  - Tiempo de tratamiento
  - Reciclaje de nutrientes
  - Generación de productos útiles
  - Impacto ambiental
- **Parámetros operacionales**
  - Condiciones meteorológicas
  - Riesgos generados por olores y vectores
  - Espacio requerido
  - Mantenimiento preventivo
- **Parámetros económicos**
  - Costo de la tecnología
  - Costos de operación
  - Mercado de productos
- **Parámetros sociales**
  - Generación de empleo
  - Ubicación de la tecnología
  - Concientización de la comunidad sobre nuevas tecnologías
  - Educación ambiental
  - Impacto positivo sobre salud pública
- **Parámetros legales**
  - Licencias y permisos ambientales
  - Trámites y permisos con empresas de servicios públicos
  - Cumplimiento normativo (POT)
  - Seguridad laboral
- **Evaluación financiera:** análisis de costos y presupuestos, así como en la proyección de los flujos de caja y análisis de rentabilidad. La realización de la evaluación financiera es clave para asegurarse que el proyecto sea viable y cumpla con los objetivos establecidos en la línea base del proyecto.
- **Supuestos económicos:** son estimaciones sobre la economía en general, el entorno económico en el que operará la inversión que se está evaluando y las proyecciones futuras que pueden tener.

Los modelos considerarán los supuestos claves como:

- Factores macroeconómicos como TRM, IPC, impuestos, DTF, SMLV para el año de evaluación.
- Costos como tarifas de electricidad, agua potable, agua residual, gas natural, gasolina, disposición de lodos.
- Precios de ventas como compost, biogás, electricidad.
- Proyecciones como porcentaje de aumento esperado en los costos de los servicios, salarios, precios de ventas.
- Otros tales como intereses de deuda y beneficios tributarios.

Con base en los supuestos, el modelo desarrollado identificará resultados claves como:

- CAPEX que incluye además los costos por inversión y reinversión.
- OPEX donde se encuentra los costos por operación y mantenimiento como energía, laborales, disposición de lodos, tarifas de servicios públicos, entre otros.
- Retorno de inversión.
- TIR esperada para inversión y deuda.
- VNA para diferentes escenarios de vida útil esperada del proyecto.
- Entendimiento de flujo de caja.
- **Costos:** identificación de costos asociados al desarrollo del proyecto directos e indirectos como:
  - Costos de la tecnología.
  - Costos operativos.
  - Costos de alquiler del lugar de desarrollo del proyecto.
  - Costos de energía y agua.

- **Ingresos:** Identificación y análisis de mercados potenciales para el beneficio del proyecto como:
  - Venta de abono.
  - Venta de fertilizante.
  - Venta de energía.
  - Costos evitados por disposición de residuos.
  - Servicios por tratamiento de residuos orgánicos.
  
- **Rentabilidad:** La rentabilidad del proyecto se puede calcular a través de medidas como el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), la relación costo-beneficio o el retorno sobre la inversión (RoI), entre otros. Cada uno de estos indicadores mide la rentabilidad de un proyecto desde una perspectiva diferente y es importante elegir el indicador más adecuado en función de los objetivos específicos de la evaluación financiera.
  
- **Escenarios de sensibilidad:** A partir de la evaluación de la rentabilidad inicial del proyecto, se pueden considerar los escenarios de riesgo y sensibilidad para evaluar cómo afectarían su rentabilidad. Los escenarios de sensibilidad permiten analizar cómo los cambios en variables críticas como precios de insumos, tasas de interés y costos de venta pueden afectar la rentabilidad y viabilidad del proyecto.
  
- **Riesgos y medidas de mitigación:** Identificación de desafíos y riesgos relacionados que puedan afectar el éxito del proyecto, permitiendo planificar y asignar recursos de manera efectiva para la toma de medidas preventivas. Estos riesgos pueden ser:
  - **Técnicos:** factibilidad, eficiencia, productos generados, espacio requerido.
  - **Operacionales:** variación en la composición, cantidades de residuos, mantenimiento, capacitación, generación de olores y vectores.
  - **Legales:** permisos, licencias, consenso de las comunidades.
  - **Económicos:** viabilidad financiera, aumento de costos.

## 7.4 Capacitaciones e implementación de sistemas de gestión de residuos

La capacitación y la implementación de sistemas de gestión de residuos son elementos fundamentales para el desarrollo del proyecto. Esto implica relacionar a la comunidad con los lineamientos y procedimientos establecidos por la **plaza de mercado**, así como educar sobre la clasificación adecuada de residuos y las mejores prácticas de reducción, reutilización, separación y reciclaje.

### 7.4.1. Capacitación a la comunidad

El manejo de residuos desempeña un papel fundamental en la transición hacia prácticas más sostenibles y responsables. Estas sesiones educativas, se proporciona a los participantes información detallada sobre la importancia de clasificar adecuadamente los residuos y adoptar estrategias de reducción y reciclaje.

El objetivo de esta capacitación es encaminar a la comunidad para que se conviertan en agentes del cambio, impulsando una gestión de residuos más eficiente y sostenible. De esta manera se recomienda desarrollar la capacitación de la siguiente forma:

#### > Fase 1: EVALUACIÓN Y CONCIENTIZACIÓN

- Realizar una evaluación inicial de los hábitos de manejo de residuos en la comunidad de las **plazas de mercado**.
- Llevar a cabo campañas de concientización para resaltar la importancia de la reducción de residuos orgánicos, separación y reciclaje.

### ➤ Fase 2: TALLERES DE CLASIFICACIÓN

- Organizar talleres prácticos sobre cómo clasificar adecuadamente los residuos en categorías como papel, plástico, vidrio, no reciclables y residuos orgánicos.
- Proporcionar materiales educativos, como carteles y folletos, para recordar a las personas sobre las pautas de clasificación.

### ➤ Fase 3: INFRAESTRUCTURA DE RECICLAJE Y RESIDUOS ORGÁNICOS

- Colaborar con las autoridades locales para establecer puntos de reciclaje y de disposición de orgánicos accesibles en la comunidad.
- Proporcionar información sobre horarios y ubicaciones de recogida de materiales reciclables y residuos orgánicos.
- Suministrar contenedores especiales para disposición residuos orgánicos en cada uno de los puestos de venta de alimentos y restaurantes de la **plaza de mercado**.

### ➤ Fase 4: PARTICIPACIÓN COMUNITARIA

- Organizar eventos comunitarios relacionados con el manejo de residuos orgánicos para mantener el interés y la participación.

### ➤ Fase 5: EVALUACIÓN CONTINUA

- Realizar evaluaciones periódicas para medir el progreso y realizar ajustes según sea necesario.
- Recopilar retroalimentación de la comunidad para mejorar continuamente las iniciativas de manejo de residuos.

## 7.4.2 Sistemas de gestión de residuos

Un sistema de gestión de residuos en una **plaza de mercado** es esencial para promover prácticas sostenibles, reducir impactos ambientales y mantener un entorno limpio y saludable para la comunidad; de esta manera es importante considerar los siguientes pasos:

- **Clasificación en Origen:**
  - Educar a los vendedores y compradores sobre la importancia de clasificar los residuos desde su origen.
  - Proporcionar contenedores de residuos claramente etiquetados para papel, cartón, plástico, vidrio, orgánicos y residuos no reciclables.
- **Infraestructura de Recolección:**
  - Instalar contenedores de residuos en áreas estratégicas de la plaza para facilitar la disposición adecuada.
  - Programar la recolección regular de los diferentes tipos de residuos para evitar la acumulación.
- **Compromiso de los Comerciantes:**
  - Establecer acuerdos con los comerciantes para que se sumen activamente al sistema de gestión de residuos.
  - Fomentar la reducción de residuos mediante prácticas como la venta a granel y la minimización de envases desechables.

- **Educación Continua:**
  - Realizar talleres y sesiones informativas periódicas sobre la importancia del manejo adecuado de residuos.
  - Proporcionar materiales educativos visuales, como carteles, para recordar a vendedores y compradores las prácticas sostenibles.
- **Puntos de Acopio Especiales:**
  - Establecer puntos de acopio para residuos específicos, como aceites de cocina usados, pilas y electrodomésticos, para su gestión adecuada.
- **Programas de Reciclaje:**
  - Colaborar con servicios de reciclaje locales para garantizar que los materiales reciclables se entreguen a instalaciones adecuadas.
  - Explorar la posibilidad de generar ingresos a través de la venta de materiales reciclables.
- **Sensibilización Comunitaria:**
  - Involucrar a la comunidad en actividades de limpieza y concientización sobre la importancia de mantener limpia la **plaza de mercado**.
  - Reconocer y premiar a los comerciantes y compradores que adopten prácticas sostenibles.
- **Monitoreo y Evaluación:**
  - Implementar un sistema de seguimiento para evaluar la eficacia del sistema de gestión de residuos.
  - Realizar ajustes según sea necesario y recopilar datos sobre la reducción de residuos, separación en fuente y el aumento del reciclaje.

## 7.5 Estructuración del proyecto

La estructuración del proyecto es un proceso clave que establece los cimientos organizativos y operativos para su exitosa ejecución. Este proceso abarca la definición clara de los objetivos, el alcance y las metas del proyecto, así como la identificación y asignación de los recursos necesarios. De esta manera se recomienda tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Ingeniería de básica:** conceptos técnicos básicos y fundamentales para el inicio del proyecto como:
  - Preparación de listas de equipos
  - Dimensionamiento de equipos
  - Estimación de costos
  - Preparación de planos preliminares
  - Suministro de información y datos civiles básicos con respecto al proceso y los equipos:
    - Revisar capacidad de redes de electricidad
    - Revisar redes hidráulicas
    - Placas

- **Ingeniería de detalle:** Definición y diseño de componentes y sistemas específicos encontrando:
  - Planos arquitectónicos
  - Especificaciones técnicas
  - Cronograma y plan de trabajo
  - Normatividad y estándares
  - Análisis de precios unitarios (APU)
  - Balance de cantidades
  - Presupuesto detallado
  
- **Gobernanza:** establecimiento y estructuración del proyecto que garantice la efectiva dirección y control del proyecto, teniendo en cuenta:
  - Estructuración del proyecto
  - Definición de roles y responsabilidades
  - Canales de comunicación
  - Control de cambios
  - Transparencia en el proyecto
  - Gestión de riesgos y problemas
  - Documentación y reportes
  - Alineación con estrategia organizacional
  - Toma de decisiones
  - Monitoreo y seguimiento
  - Evaluación y mejora continua
  
- **Financiación del proyecto:** la financiación del proyecto se refiere al proceso de adquirir los recursos económicos necesarios para planificar, desarrollar, implementar y completar un proyecto específico. Estos recursos pueden incluir capital, fondos, préstamos u otras formas de inversión que respalden las actividades y los costos asociados con la ejecución del proyecto.

La financiación del proyecto es esencial para asegurar que haya suficientes recursos disponibles para cubrir los gastos relacionados con personal, materiales, tecnología, infraestructura y cualquier otro elemento necesario para llevar a cabo con éxito el proyecto.

Sin embargo, para tener precisión en el proyecto es necesario ajustar los modelos financieros mediante la incorporación de datos exactos provenientes de supuestos bien fundamentados. Este refinamiento implica la revisión y validación de cada componente, desde los cálculos de inversión hasta las proyecciones de personal requerido y los costos asociados a la obra civil. Al basar los modelos en información precisa y detallada, se logrará una evaluación más acertada de la viabilidad del proyecto, permitiendo tomar decisiones informadas y mitigar posibles riesgos.

- **Selección de proveedores:** para la selección de proveedores es importante tener en cuenta lo siguiente:
  - Capacidad y experiencia
  - Garantía
  - Equipos nacionales
  - Calidad del producto o servicio
  - Precios competitivos

- Cumplimiento normativo
  - Localización y logística
  - Términos contractuales
  - Comunicación con el cliente
- **Operación:** La operación del proyecto representa la fase en la que se implementan las actividades planificadas y se ejecutan los procesos diseñados para alcanzar los objetivos establecidos. Durante esta etapa, el equipo de proyecto pone en práctica las estrategias previamente definidas, supervisando de cerca cada componente para asegurar su correcto funcionamiento.

La gestión eficiente de los recursos, tanto humanos como materiales, se vuelve esencial en esta etapa, garantizando que las tareas se realicen en tiempo y forma.

- Montaje de equipos
- Inicio de operación
- Planificación operativa
- Capacitación de personal
- Monitoreo y mantenimiento
- Gestión de riesgos
- Mantenimientos preventivos y correctivos
- Resolución de problemas técnicos
- Evaluación de desempeño

## 8. CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis llevado a cabo en este estudio de prefactibilidad, la implementación de un sistema de tratamiento de residuos orgánicos en las plazas de mercado de **Bazurto - Cartagena** con una generación de residuos orgánicos diarios (**31,4 t/d**) es viable según los diferentes análisis de escenarios y además tiene un impacto positivo para el medio ambiente. Sin embargo, es importante mejorar la disposición de los residuos desde su generación para así facilitar su tratamiento.

En la comparación de las tecnologías para el tratamiento de residuos orgánicos, se ha determinado que la opción más viable para el proyecto es la **digestión anaeróbica** a través de un **biodigestor**. Esta elección se basa en consideraciones como el espacio requerido, el costo de inversión, la facilidad de operación y la capacidad para prevenir olores desagradables. Este enfoque es crucial para evitar la atracción de vectores que podrían representar riesgos para la salud pública de la comunidad y para el desarrollo económico de las **plazas de mercado**.

A continuación, se presentan las conclusiones detalladas para cada uno de estos componentes.

### GENERACIÓN DE RESIDUOS

- La plaza de mercado Bazurto de la ciudad de Cartagena generan **31,4 toneladas** de residuos orgánicos por día. Esto equivale a un potencial de **9.844 toneladas** de residuos anuales aproximadamente que se evitarían llevar al **relleno sanitario**.
- Los residuos generados en las **plazas de mercado** no se encuentran clasificados desde su origen; por esta razón se recomienda implementar capacitaciones y ayudas visuales que facilite a la comunidad su buena gestión de los residuos.
- Es importante estandarizar **contenedores de disposición** de residuos en la zona de la rampa. Esta iniciativa contribuirá significativamente a mejorar la organización, limpieza y estética de las **plazas de mercado**.

### ESPACIO REQUERIDO

- El tamaño necesario para el desarrollo de la tecnología de aprovechamiento de residuos orgánicos es de **1.800m<sup>2</sup>**, y el espacio disponible por la plaza de mercado **Bazurto** es de apenas **200 m<sup>2</sup>**. Se recomienda adecuar un espacio suficiente (dimensiones requeridas) para la implementación de la tecnología de aprovechamiento de residuos orgánicos de las **plazas de mercado**.
- Hay que considerar los estudios y diseños de ingeniería de detalle que incluyan los estudios de suelo, redes de conexiones hidráulicas y eléctricas, elaboración de planos, establecer cantidades de materiales, entre otros. Con esto, se determina los criterios y características finales de la implementación del proyecto.
- Es importante considerar que la implementación de tecnología de aprovechamiento de residuos orgánicos, como el compostaje, demanda entre **6 y 8 veces** más espacio que la digestión anaeróbica.

### SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

- La **digestión anaeróbica** ha sido seleccionada como la tecnología más adecuada debido a que tiene una ocupación de espacio menor al compostaje, no genera olores ni vectores.
- La implementación del proceso de **compostaje** puede tener un **riesgo alto** si se hace con una mala gestión de los residuos orgánicos, ya que existe un riesgo de generación de malos olores y vectores; perjudicando a la comunidad de las **plazas de mercado**.

- Los subproductos generados del proceso del biodigestor podrían ser utilizados para la **generación eléctrica y el gas**.
- El **tiempo de degradación** de la materia orgánica en compostaje es mayor que en digestión anaeróbica.

### BENEFICIOS AMBIENTALES

- Las emisiones evitadas son **466.324,47 kg/año CO<sub>2</sub>e** al implementar un sistema de digestión anaeróbica.
- Adicionalmente, al tener un sistema de tratamiento de residuos orgánicos a menos de 5 km de las plazas de mercado; hay una disminución de emisiones relacionadas a transporte de **149.023,85 kg/año CO<sub>2</sub>e**.
- El potencial de generación digestato es aproximadamente **935 t/año** de digestato que puede ser utilizadas como abono orgánico.
- El **digestato** puede ser usado como fertilizante el cual contiene todos los nutrientes y micronutrientes necesarios para la enmendación de los suelos, como el **nitrógeno, fósforo y potasio**.
- Ahorra **37.408 m<sup>3</sup>/año** de volumen de residuos que va al relleno sanitario.
- Minimiza el riesgo de lixiviados porque el ambiente anaeróbico restringe la liberación de sustancias solubles en agua.

### BENEFICIOS SOCIALES

- Reducción de la contaminación contribuyendo a una preservación ambiental y creación de un entorno más limpio y saludable para el bienestar general de la comunidad.
- Implementación de **programas de educación ambiental** sobre la importancia de la separación en la fuente, la reducción de residuos y la gestión adecuada de los residuos.
- La digestión anaeróbica requiere de personal técnico para el manejo y funcionalidad de la tecnología; así como de operarios que ayuden con la gestión y control de los residuos orgánicos. Esto ayuda a impulsar la economía local y mejorar las oportunidades de empleo.

### RESULTADOS FINANCIEROS

- El modelo no incluye ingresos por **crédito de carbono**; sin embargo, esto puede ser un ingreso adicional para el proyecto.
- De acuerdo con los escenarios realizados en el modelo económico, se puede observar que el proyecto es **factible** para cualquiera de los escenarios a **15 años**.
- Al realizar el **análisis de sensibilidad** en los escenarios 1,4,6 y 8 con una variación en el costo por manejo de residuos orgánicos entre 141,05 a 162,20 \$/kg, se puede observar que es viable y ayudaría a la estabilización financiera del proyecto, observando un aumento del VNA de aproximadamente **5.000 millones COP a 9.700 millones** en el año 15.
- Para dar cierre al modelo económico, es decir, que el proyecto tenga los indicadores económicos deseados para que el proyecto sea rentable en el tiempo, se aconseja tener en cuenta el análisis de sensibilidad realizado

en términos de **descuento CAPEX**. Sin embargo, es importante hacer la búsqueda detallada de los diferentes financiamientos y posibilidad de inversiones existentes por terceros (gobierno, ONG, subsidios, inversionistas).

## HOJA DE RUTA

- La hoja de **ruta establecida** para el desarrollo de proyectos de aprovechamiento de residuos orgánicos abarca varias etapas, desde la recolección de información, evaluación de viabilidad económica, hasta la definición de gobernanza; asegurando una gestión integral que involucre a todas las partes interesadas.
- La **recolección de datos** precisos constituye un pilar fundamental para el éxito de los proyectos de aprovechamiento de residuos orgánicos. Se requiere una metodología rigurosa pero práctica para obtener información veraz que sirva como base sólida para la toma de decisiones.
- La **educación y participación** de la **comunidad** son aspectos esenciales para fomentar prácticas sostenibles de gestión de residuos y para asegurar la separación adecuada de los residuos desde su origen. Esto implica proporcionar **capacitación** sobre la correcta clasificación de residuos y establecer sistemas eficientes de gestión de residuos en los mercados locales.
- La **estructuración adecuada del proyecto** es crucial para su ejecución exitosa. Esto implica la definición clara de objetivos, la asignación eficiente de recursos, el establecimiento de una gobernanza efectiva y la selección de proveedores confiables.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Qarani Aziz, S., Ali Omar, I., & Sabaha Mustafa, J. (2018). Design And Study For Composting Process Site. Internation Journal of Engineering Inventions.

Chareyron, D., Horsin-Molinario, H., & Multon, B. (2021). Concepts et chiffres de l'énergie : La méthanisation agricole. Culture Sciences Physique. Obtenido de <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/chiffres-energie-methanisation.xml>

BlackForest Solutions. (2022). Análisis de la viabilidad técnico-económica para proyectos de tratamiento in situ de residuos orgánicos en las Plazas de Mercado de Bogotá.

BlackForest Solutions & Ambire. (2023). D3 – PROPUESTA DE UNA FÓRMULA TARIFARIA PARA LA REMUNERACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS .

FAO. (2013). Manual del Compostaje del Agricultor - Experiencias en América Latina. Santiago de Chile.

GIZ. (2022). Guía para la implementación de sistemas de gestión de residuos orgánicos.

Consultores, G. (2019). Técnica contable y financiera.

Ibañez, A. M. (2015). Ingeniería básica de una planta de compostaje en túneles. Sevilla.

Association, E. B. (2015). Digestate factsheet.

MAG. (6 de Agosto de 2021). Tratamiento de residuos sólidos en el marco del servicio público de aseo. Bogotá.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2013). Compostaje: vamos a devolver algo al suelo. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: <https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/281085/#:~:text=El%20compostaje%20es%20el%20proceso,los%20microorganismos%2C%20en%20condiciones%20controladas.>

Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. (2012). Título F - Sistemas de aseo urbano. En reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico-RAS. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Bogotá, Colombia.

Boronat, G. (2019). Gestión de las inversiones empresariales. Obtenido de [https://gb-consultores.es/wp-content/uploads/dlm\\_uploads/2019/09/Art.-CAPEX-Y-OPEX\\_T%C3%A9cnica-Contable-y-Financiera-2019.pdf](https://gb-consultores.es/wp-content/uploads/dlm_uploads/2019/09/Art.-CAPEX-Y-OPEX_T%C3%A9cnica-Contable-y-Financiera-2019.pdf)





## Anexo 2. Resultados escenarios

Estas tablas presentan los resultados derivados de los 11 escenarios de inversión para el proyecto, sin realizar ajustes en variables económicas tales como la tarifa de gestión de residuos o el descuento CAPEX.

Escenario 1				
	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 5.047.843.653	\$ 1.921.488.789	\$ 553.799.283	-\$ 161.775.970
TIRproyecto	23%	18%	14%	11%
TIRinversión	23%	18%	14%	11%

Escenario 2				
	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 5.483.480.518	\$ 2.194.762.122	\$ 768.593.074	\$ 24.064.333
TIRproyecto	23,32%	18,91%	14,88%	11,76%
TIRinversión	24,20%	19,85%	15,83%	12,72%

Escenario 3				
	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 5.936.779.549	\$ 2.476.802.710	\$ 989.603.943	\$ 214.973.985
TIRproyecto	24%	19%	15%	12%
TIRinversión	26%	22%	18%	15%

Escenario 4				
	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 6.408.568.735	\$ 2.767.922.902	\$ 1.217.027.876	\$ 411.101.858
TIRproyecto	24,02%	19,79%	15,89%	12,87%
TIRinversión	27,54%	23,57%	19,79%	16,83%

Escenario 5				
	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 6.899.720.265	\$ 3.068.447.614	\$ 1.451.067.819	\$ 612.601.743
TIRproyecto	24,37%	20,23%	16,40%	13,41%
TIRinversión	29,89%	26,18%	22,58%	19,72%

## Escenario 6

	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 7.411.153.137	\$ 3.378.714.890	\$ 1.691.933.955	\$ 819.632.536
TIRproyecto	24,73%	20,68%	16,91%	13,96%
TIRinversión	35,34%	32,29%	29,06%	26,43%

## Escenario 7

	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 7.943.835.942	\$ 3.699.076.497	\$ 1.939.843.991	\$ 1.032.358.424
TIRproyecto	25,09%	21,12%	17,41%	14,50%
TIRinversión	37,42%	34,51%	31,46%	28,93%

## Escenario 8

	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 8.498.789.816	\$ 4.029.898.535	\$ 2.195.023.455	\$ 1.250.949.080
TIRproyecto	25,45%	21,56%	17,91%	15,04%
TIRinversión	44,31%	42,03%	39,43%	37,20%

## Escenario 9

	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 9.077.091.596	\$ 4.371.562.088	\$ 2.457.706.013	\$ 1.475.579.873
TIRproyecto	25,80%	22,00%	18,41%	15,58%
TIRinversión	57,15%	55,74%	53,85%	52,10%

## Escenario 10

	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 9.679.877.171	\$ 4.724.463.906	\$ 2.728.133.792	\$ 1.706.432.073
TIRproyecto	26,16%	22,44%	18,91%	16,12%
TIRinversión	93,18%	92,82%	92,06%	91,20%

## Escenario 11

	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 10.308.345.059	\$ 5.089.017.115	\$ 3.006.557.721	\$ 1.943.693.080
TIRproyecto	26,53%	22,88%	19,41%	16,66%
TIRinversión	N/A	N/A	N/A	N/A