



Prefactibilidad: sistema de tratamiento de residuos orgánicos de las plazas de mercado en Barranquilla

Bogotá, Colombia Marzo, 2024

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 Barranquilla.



Contenido

1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBJETIVOS	8
2.1 Objetivo general	8
2.2 Objetivos específicos	8
3. METODOLOGÍA	9
4. INFORMACIÓN DEL PROYECTO	10
4.1 Plazas de mercado	10
4.1.1 <i>Plazas de mercado Barranquillita y el Playón</i>	11
4.1.2 <i>Plaza de mercado EPM</i>	12
4.1.3 <i>Plaza de mercado Gran Bazar</i>	12
4.2 Generación de residuos	13
4.3 Barreras encontradas	14
5. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS	15
5.1 Compostaje	15
5.2 Digestión anaeróbica	16
5.3 Evaluación y selección de la tecnología	17
5.3.1 <i>Compostaje</i>	17
5.3.2 <i>Digestión anaeróbica</i>	18
6. MODELO FINANCIERO	20
6.1 Supuestos	21
6.1.1 <i>Económicos</i>	21

6.1.2 Eficiencia	22
6.1.3 Inversión	22
6.1.4 Costos de operación	23
6.1.5 Ingresos	24
6.2 Escenarios	25
6.3 Análisis de sensibilidad	27
6.3.1 Tarifa de gestión de residuos	28
6.3.2 Variaciones descuento CAPEX	29
7. HOJA DE RUTA PARA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS	31
7.1 Recolección de información	31
7.2 Prefactibilidad	32
7.3 Factibilidad	32
7.4 Capacitaciones e implementación de sistemas de gestión de residuos	34
7.4.1. Capacitación a la comunidad	34
7.4.2 Sistemas de gestión de residuos	35
7.5 Estructuración del proyecto	36
8. CONCLUSIONES	39
9. BIBLIOGRAFÍA	42
10. ANEXOS	43

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Metodología	9
Ilustración 2. Zona alrededor de plazas de mercado	11
Ilustración 3. Recipiente de residuos - El Playón y Barranquillita	11
Ilustración 4. Mercado EPM	12
Ilustración 5. Espacio disponible para tecnologías de aprovechamiento de residuos orgánicos	13
Ilustración 6. Recolección de residuos orgánicos al año 2022	13
Ilustración 7. Compostaje en pilas	16
Ilustración 8. Digestión anaeróbica - Biodigestor	17
Ilustración 9. Procesos de evaluación financiera	20
Ilustración 10. Costos de operación	23
Ilustración 11. Ingresos del proyecto	24
Ilustración 12. Tarifa de disposición final	27
Ilustración 13. Valor descuento CAPEX	27
Ilustración 14. Análisis de sensibilidad: aumento tarifa de gestión de residuos (año 15)	28
Ilustración 15. Análisis de sensibilidad - Descuento CAPEX (año 15)	30
Ilustración 16. Hoja de ruta	31

Lista de tablas

Tabla 1. Criterios de evaluación de las tecnologías	19
Tabla 2. Variables económicas	21
Tabla 3. Tarifa de electricidad, precios de venta digestato y costo manejo de residuos	21
Tabla 4. Supuestos de eficiencia	22
Tabla 5. Valor de la inversión, operación e ingresos del sistema	22
Tabla 6. Escenarios de deuda e inversión	25
Tabla 7. Escenarios seleccionados	26
Tabla 8. Comportamiento de la TIR y VNA para escenarios seleccionados	26
Tabla 9. Variaciones de tarifa y descuento CAPEX	27
Tabla 10. Aumento tarifa por costo de gestión de residuos - 15 años	29
Tabla 11. Inversión CAPEX - 15 años	30

Abreviaturas

CAPEX	Gastos de capital
CATF	Clean Air Task Force
DTF	Depósito a Término Fijo
EBIDTA	Beneficios antes de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones
GEI	Gases de efecto invernadero
IPC	Índice de Precios de Consumo
KWh	Kilovatio hora
OPEX	Gastos operacionales
RO	Residuos orgánicos
ROI	Retorno de inversión
SMMLV	Salario mínimo mensual legal vigente
TIR	Tasa interna de retorno
TRM	Tasa Representativa del Mercado
VNA	Valor presente actual
Waste MAP	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 Barranquilla** en la gestión adecuada de los residuos orgánicos en las **plazas 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, particularmente en **Colombia** esta fracción es del **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 un sistema integral de gestión de residuos orgánicos de las **plazas de mercado de Barranquilla**, 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.

Aunque se visitaron cuatro plazas de mercado, es esencial tener en cuenta que la cantidad total mensual de residuos orgánicos empleados en el análisis de prefactibilidad se basa en la información proporcionada por el **Proyecto Piloto de Compostaje de Triple A**. Este proyecto se centró exclusivamente en las **plazas de mercado de El Playón y Barranquillita**. La razón de esta elección se debe a la falta de datos específicos sobre la generación de residuos orgánicos en otras **plazas de mercado**.

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 las **plazas de mercado de Barranquilla**. 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 las **plazas de mercado de Barranquilla** (i.e., Barranquillita, Playón, EPM y Gran Bazar), con el propósito de aprovechar de manera eficiente los residuos orgánicos generados en dichos espacios y mitigar las emisiones de metano.

2.2 Objetivos específicos

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

- 1 Realizar Diagnóstico de la situación actual sobre la gestión de residuos orgánicos en la **plaza de mercado de Barranquilla**.
- 2 Evaluación técnicamente de los sistemas de tratamiento para el manejo de residuos orgánicos en la **plaza de mercado de Barranquilla**.
- 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 las **plazas de mercado de Barranquilla** (Barranquillita, Playón, EPM y Gran Bazar).

La metodología para llevar a cabo el estudio de prefactibilidad del tratamiento de residuos orgánicos en las **plazas de mercado de Barranquilla** 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 las plazas de mercado de Barranquilla, incluyendo la evaluación de prácticas existentes en las plazas que al momento de la visita contaban con operación, tales como la Plaza **Barranquillita, Playón, EPM**. 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 proporciona 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 disponible, aspectos ambientales y viabilidad económica. Este análisis permitió seleccionar la tecnología más adecuada para la implementación en las plazas de mercado de Barranquilla.
- 4 Modelo financiero:** Desarrollo de modelo financiero que evalúe 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 residuos.
- 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 las **plazas de mercado de Barranquilla** 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:

- Plazas de mercado
- Generación de residuos
- Espacio disponible para tecnología de aprovechamiento de residuos

4.1 Plazas de mercado

Durante las visitas de campo, se llevaron a cabo recorridos en diversas **plazas de mercado clave en Barranquilla**. Estas incluyeron, la **Plaza de Mercado Barranquillita, Playón, EPM, y Gran Bazar**. Cada 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 estas **plazas de mercado**. Se identificó lo siguiente:

- Sector informal sobre vías públicas vendiendo alimentos.
- No tienen puntos establecidos para recolección de residuos.
- Vendedores informales dejan los residuos en las calles, lo que ocasiona la generación de puntos críticos¹.
- La empresa encargada del servicio de aseo en las plazas de mercado es la empresa Triple A S.A. ESP la cual diseña y planifica la adecuada recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos que se generan en el Distrito de Barranquilla y otros siete municipios; de igual manera realiza la limpieza de vías y áreas y dispone los residuos en el **Relleno Sanitario Parque ambiental Los Pocitos**.
- La limpieza de las **plazas de mercado** es llevada a cabo por el personal interno de Edubar, la empresa encargada de administrarlas.

Ante la carencia de información detallada acerca de la generación de residuos orgánicos en todas las **plazas de mercado**, se tomó en consideración la cantidad total mensual de residuos orgánicos proporcionada por el documento del **Proyecto Piloto de Compostaje de Triple A**. Cabe destacar que este proyecto se enfocó exclusivamente en las **plazas de mercado de Barranquillita y El Playón**.

¹ El Artículo 2.3.2.1.1. Decreto 1077 de 2015. Definiciones: Puntos críticos. Son aquellos lugares donde se acumulan residuos sólidos, generando afectación y deterioro sanitario que conlleva la afectación de la limpieza del área, por la generación de malos olores, focos de propagación de vectores, y enfermedades, entre otros.

Ilustración 2. Zona alrededor de plazas de mercado



Fuente: (Elaboración propia, 2023)

4.1.1 Plazas de mercado Barranquillita y el Playón

Estas **plazas de mercado** se encuentran ubicadas una al lado de la otra, cuentan con la venta de alimentos como frutas y verduras, carnes, pescados, especias, entre otros. Conforme al documento **"Aprovechamiento de Residuos Orgánicos"** desarrollado por Triple A S.A. ESP, las plazas están conformadas por 106 locales; sin embargo, hay un sector informal significativo por lo que se considera de mayor tamaño que la **plaza de mercado EPM** descrita a continuación.

En la Ilustración 3 se pueden observar el tipo de canecas con los que cuentan las **plazas de mercado** para la recolección de los residuos. De igual manera, la gestión de los residuos de estas plazas se caracteriza por:

- Su empresa prestadora de servicio de aseo es Triple A S.A. ESP.
- Cuentan con una recolección de residuos: dos veces por día.
- No tienen implementada una separación de residuos desde su generación, ni en el punto de disposición.
- No tienen un punto establecido de disposición de residuos en la **plaza de mercado**.

Ilustración 3. Recipiente de residuos - El Playón y Barranquillita



Fuente: (Elaboración propia, 2023)

4.1.2 Plaza de mercado EPM

La **plaza de mercado** cuenta con un horario de atención comprendido entre las **5:00 a.m.** y las **9:00 a.m.** y alberga aproximadamente **400** puestos de venta que ofrecen una amplia variedad de productos, que incluyen alimentos preparados, verduras, frutas, carne, pescados, empaques plásticos y servicios de restaurantes.

El proceso de recolección de residuos se lleva a cabo **dos veces al día** por la empresa encargada del servicio público de aseo **Triple A**, depositándose en contenedores designados para tal fin como puede verse en la Ilustración 4. Hasta el momento, no se implementa una separación diferenciada de residuos orgánicos, lo que constituye un aspecto relevante a considerar y mejorar en la gestión integral de los residuos en la **plaza de mercado**.

Ilustración 4. Mercado EPM



Fuente: (Elaboración propia, 2023)

4.1.3 Plaza de mercado Gran Bazar

Esta **plaza de mercado** cuenta con una extensión de alrededor de **21,000 metros cuadrados**. Su construcción se llevó a cabo considerando la recuperación del espacio público de la ciudad, la intervención y mejora de condiciones laborales y sanitarias de comerciantes formales e informales, así como la construcción de una infraestructura con servicios públicos, cocinas, cuartos fríos, entre otros, para brindar condiciones adecuadas para la venta de carnes, frutas, verduras y otros productos.

Con este nuevo espacio que incluye mejores condiciones tanto para los usuarios (refrigeración de alimentos, cuartos fríos, acceso a baños y parqueaderos) como para los comerciantes, se espera que entre **700 a 1200** vendedores de otras **plazas de mercado de Barranquilla** y zonas aledañas a estas, sean reubicados y que, de manera paralela, se propicien y promuevan mejores prácticas para la gestión de residuos sólidos, incluyendo los orgánicos.

Durante el proceso de recopilación de datos, los representantes de la alcaldía han indicado que existe un espacio disponible en la **plaza de mercado Gran Bazar** el cual se puede identificar en la Ilustración 5. Este espacio tiene una superficie aproximada de **400 m²** metros cuadrados.

Ilustración 5. Espacio disponible para tecnologías de aprovechamiento de residuos orgánicos

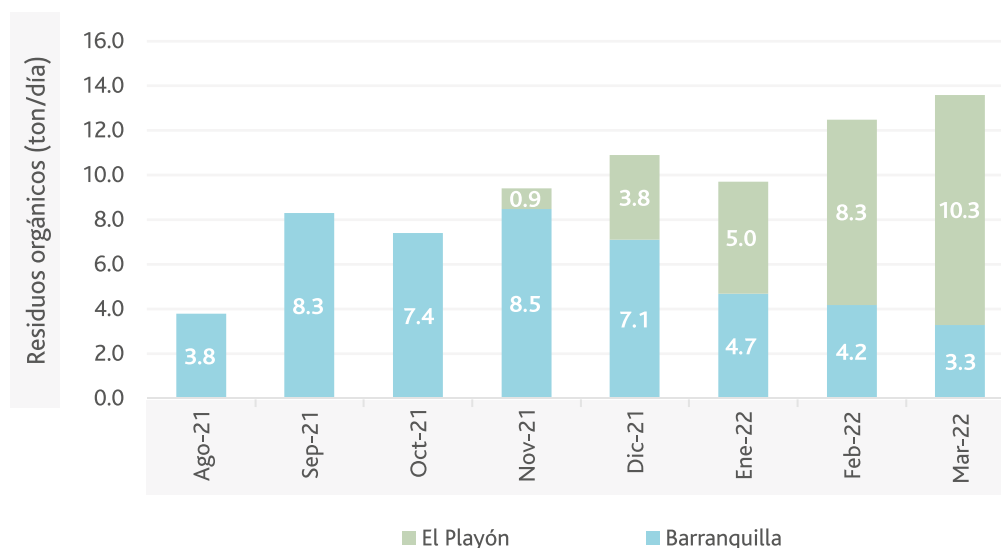


Fuente: (Elaboración propia, 2023)

4.2 Generación de residuos

Se consideró el resultado del proyecto piloto “Aprovechamiento de Residuos Orgánicos” desarrollado por Triple A S.A. ESP, el cual presenta la medición detallada de la recolección total de residuos orgánicos en las **plazas de mercado de Barranquillita y El playón** durante el año 2022. Este reporte indica que se tiene una recolección aproximada de residuos orgánicos de **13,6 t/día²** (ver Ilustración 6). Este análisis aporta datos fundamentales para el presente proyecto, en donde, se considera 13,6 t/día como el valor de residuos orgánicos generados. Sin embargo, cabe mencionar que este valor podrá estar subestimado ya que no se considera la generación de la **plaza de mercado EPM**.

Ilustración 6. Recolección de residuos orgánicos al año 2022



Fuente: Recreado con información del documento: Resultados Proyecto Piloto “APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS” agosto 2021 - marzo 2022 – Triple A S.A. ESP

² Este valor de generación diaria fue confirmado con el personal de la municipalidad, siendo el valor diario máximo identificado en el periodo de agosto del 2021 a marzo del 2022.

4.3 Barreras encontradas

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: La ausencia de puntos de disposición establecidos para la recolección de residuos ha creado una situación problemática en la que se han formado múltiples puntos críticos a lo largo de las **plazas de mercado**, incluyendo calles, andenes y puntos de venta; presentando, también, un riesgo de aparición de vectores y posibles afectaciones a la salud de la comunidad.

Clasificación de residuos: Se observó la falta de una clasificación adecuada de los residuos sólidos, lo que resulta en la inexistencia de un sistema de recolección diferenciada para los residuos orgánicos y aprovechables. La ausencia de este proceso de segregación en la fuente se transforma en una gestión ineficiente de los residuos, ya que los diferentes tipos de residuos, como los orgánicos se mezclan con los demás residuos.

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, según lo expuesto en la visita la mayoría de los residuos 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 a la comunidad en la separación en la fuente de residuos. Lo anterior, con la finalidad de proporcionar a la comunidad el conocimiento necesario sobre los beneficios que tiene la separación y la disposición adecuada de los residuos en las **plazas de mercado**, facilitando así, la implementación de un sistema integral de tratamiento de residuos orgánicos.

Datos recolectados de generación de residuos: Durante la visita realizada se identificaron complejidades asociadas a la carencia de un sistema de recolección diferenciada y de puntos fijos para la disposición de residuos en la actualidad, lo que resulta en la falta de una base de datos actualizada en lo que respecta a residuos orgánicos.

De no ser por el documento **"APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS"** elaborado en agosto de 2021 por la empresa de aseo Triple A S.A. ESP. no hubiera sido posible contar con datos de generación de residuos en las **plazas de mercado El Playón y Barranquillita**.

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 (CO₂)** 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 (NH₃)** 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 **acondicionador 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 7 es un ejemplo sobre pilas tradicionales de compostaje.

Ilustración 7. 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-Molinario, 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 8. Digestión anaeróbica - Biodigestor



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
- ^ **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_2), 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	Menos favorable	Más favorable
Riesgo de vectores	Menos favorable	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 las **plazas de mercado de Barranquilla** es el **tratamiento anaeróbico**.

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

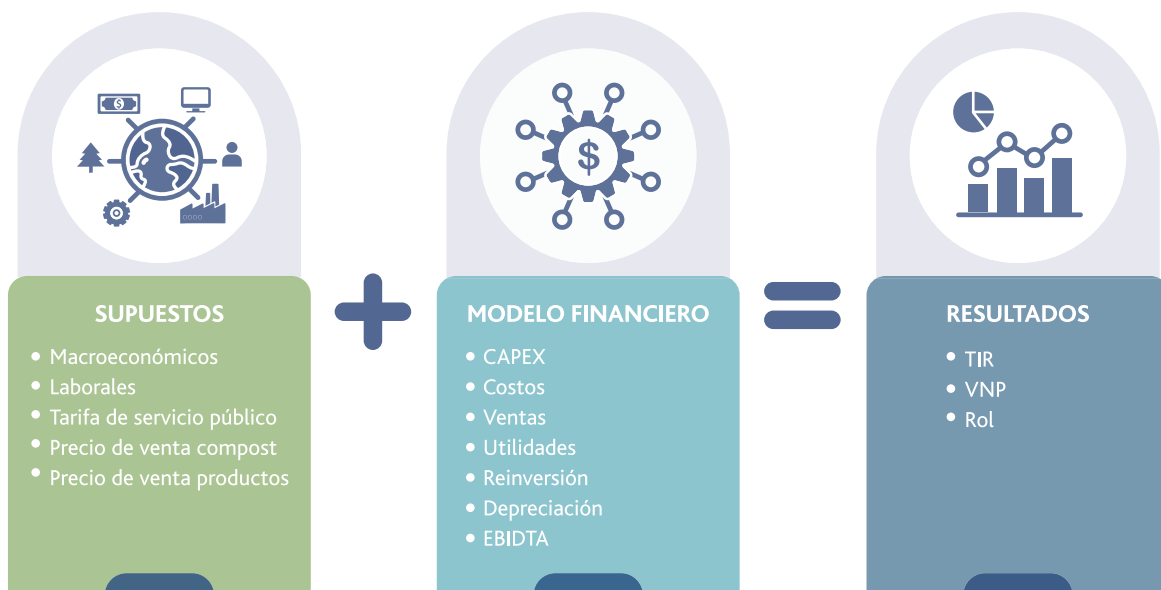
6. MODELO FINANCIERO

La evaluación financiera (Ilustración 9) 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 9. 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 la 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
Índice de Precios de Consumo (IPC) 2023	11,4	%
Depósito a Término Fijo (DTF)	13,07	%
Impuestos	35	%
Salario mínimo mensual legal vigente (SMMLV) 2023	\$ 1.160.000	COP
USD a COP	\$ 4.086	COP ³

Así mismo, es importante incorporar los costos asociados a las tarifas de electricidad, costo de disposición 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)	\$ 1.123	COP
Tarifa eléctrica - venta (\$/kWh)	\$ 786	COP
Precio de venta digestato (\$/t)	\$ 50.000	COP
Costo disposición de residuos (\$/t)	\$ 76.405	COP

El costo de disposición final de residuos corresponde al valor relacionado por la empresa de aseo Triple A S.A. ESP; así mismo la tarifa de consumo eléctrico de la empresa Aire S.A.S. ESP.

³ TRM – Banco de la República (8 nov 2023)

6.1.2 Eficiencia

Como se puede ver en la Tabla 4, se estima un sistema de tratamiento de residuos orgánicos de 13,6 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	13,6	t/día
Generación de digestato	0,1	t digestato / t Residuos Orgánicos (RO) procesada
Consumo de energía	120	kWh/día
Residuos orgánicos procesados	4.021	t/año
Biogás generado al año	281.445	m ³ /año
Electricidad generada	408.095	kWh/año
Equivalente de gas natural	140.722	m ³ /año
Generación de abono orgánico	402	t/año

6.1.3 Inversión

A continuación, en la Tabla 5 se pueden ver los valores de la tecnología, costos de obra civil los cuales funcionan para cualquier escenario de inversión que se planteará 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 las **plazas de mercado en Barranquilla**.

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

Variable	Valor	Unidad
Costo de biodigestor (USD) ^a	\$ 2.533.320.000	COP
Espacio requerido para implementación de la tecnología ^b	750	m ²
Obra civil (ductos + conexiones gas) (COP)	\$ 562.500.000	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 5%	\$ 162.091.000	COP
Costo redes eléctricas	\$ 15.000.000	COP
CAPEX total sin beneficios tributarios	\$ 3.402.911.000	COP
CAPEX total sin beneficios tributarios	\$ 2.859.589.076	COP ^c

^a TRM – Banco de la República (8 nov 2023)

^b 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.

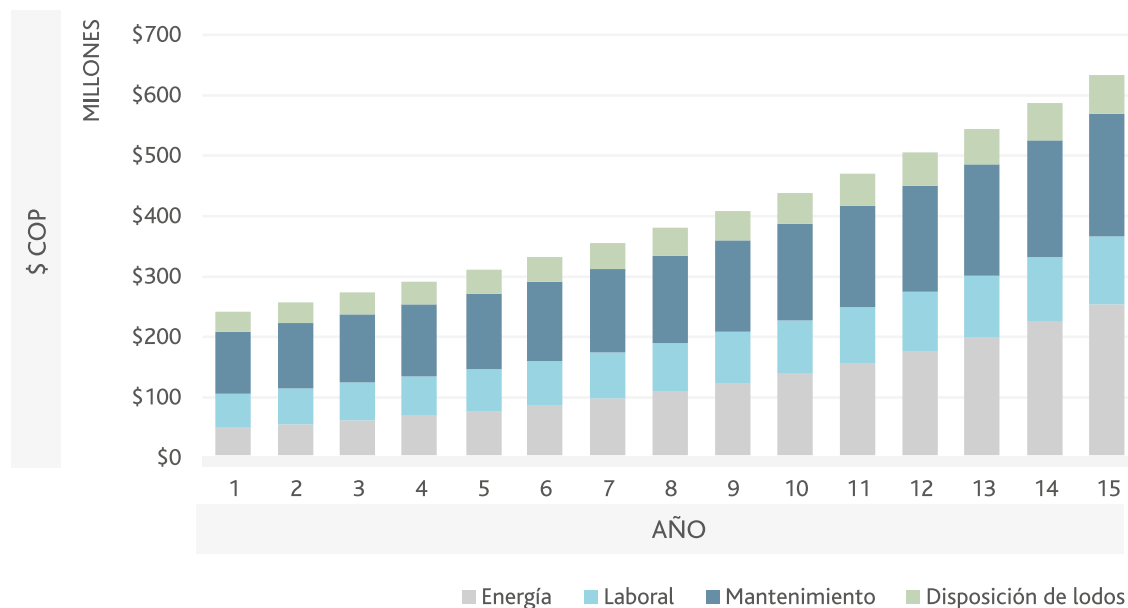
^c Para Colombia si los proyectos son sostenibles y benefician el medio ambiente tienen incentivos en materia tributaria, conocidos como Beneficios Tributarios Ambientales. La normativa de cubre este tipo de proyectos es la Ley 1715 de 2014 y el Decreto 2205 de 2017 y se deben certificar ante el ANLA,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

6.1.4 Costos de operación

En la Ilustración 10 se pueden observar los costos asociados al proyecto, los cuales varían desde 200 millones en el primer año hasta alcanzar los 600 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, al momento de tener un mercado establecido para el digestato esto se vuelve ingreso para el proyecto.

Ilustración 10. Costos de operación

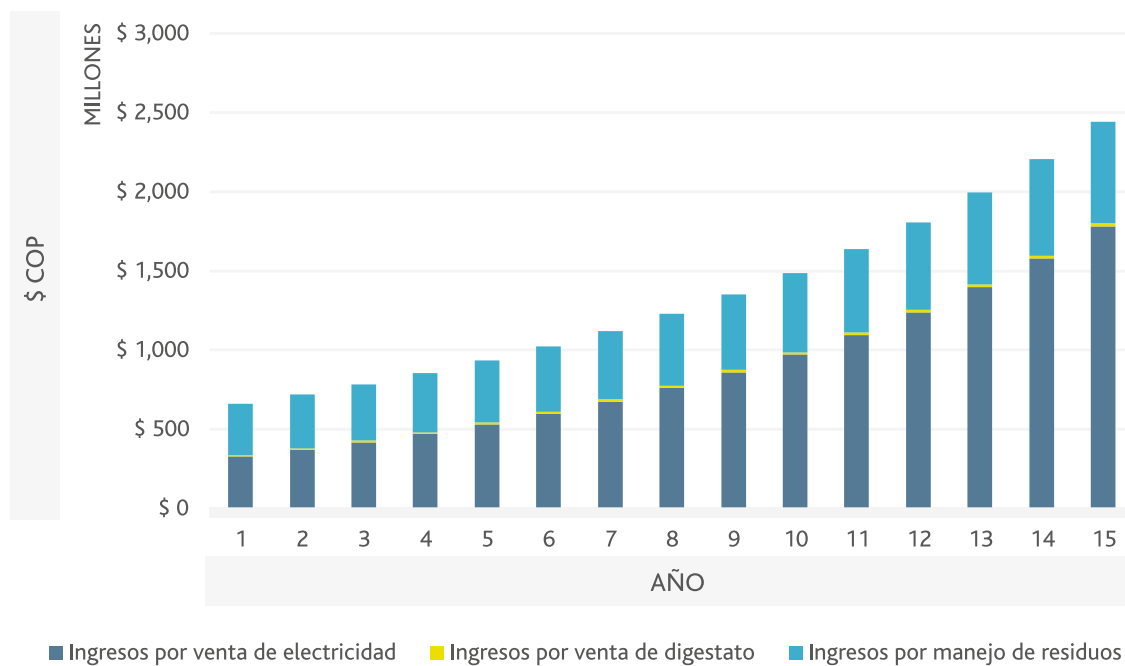


6.1.5 Ingresos

Como se puede ver en la Ilustración 11, los ingresos generados a lo largo del proyecto son notablemente significativos, aumentando desde alrededor de 400 millones en el primer año hasta alcanzar los 2.600 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 11. 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
1	0%	100%
2	10%	90%
3	20%	80%
4	30%	70%
5	40%	60%
6	50%	50%
7	60%	40%
8	70%	30%
9	80%	20%
10	90%	10%
11	100%	0%

*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 15** 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 ⁴

Escenario base					
Escenario		15 años	10 años	8 años	7 años
1	VNAproyecto (COP)	\$ 878.671.310	\$ (159.362.342)	\$ (594.952.286)	\$ (818.778.938)
	TIRproyecto (%)	17%	11%	6%	2%
	TIRinversión (%)	17%	11%	6%	2%
4	VNAproyecto (COP)	\$ 1.360.035.470	\$ 144.476.974	\$ (353.720.807)	\$ (608.800.282)
	TIRproyecto (%)	17,74%	12,09%	7,31%	3,75%
	TIRinversión (%)	19,27%	13,36%	8,33%	4,57%
6	VNAproyecto (COP)	\$ 1.715.480.566	\$ 364.241.630	\$ (180.566.177)	\$ (458.698.529)
	TIRproyecto (%)	18%	13%	8%	5%
	TIRinversión (%)	25%	20%	15%	12%
8	VNAproyecto (COP)	\$ 2.093.518.927	\$ 590.745.087	\$ (5.007.917)	\$ (308.146.394)
	TIRproyecto (%)	19%	14%	9%	6%
	TIRinversión (%)	28%	22%	18%	14%

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.

⁴ Los valores que se encuentran en paréntesis son de valor negativo y los valores están en \$COP

6.3 Análisis de sensibilidad

Además, para cada uno de estos escenarios, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad 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 12. Tarifa de disposición final

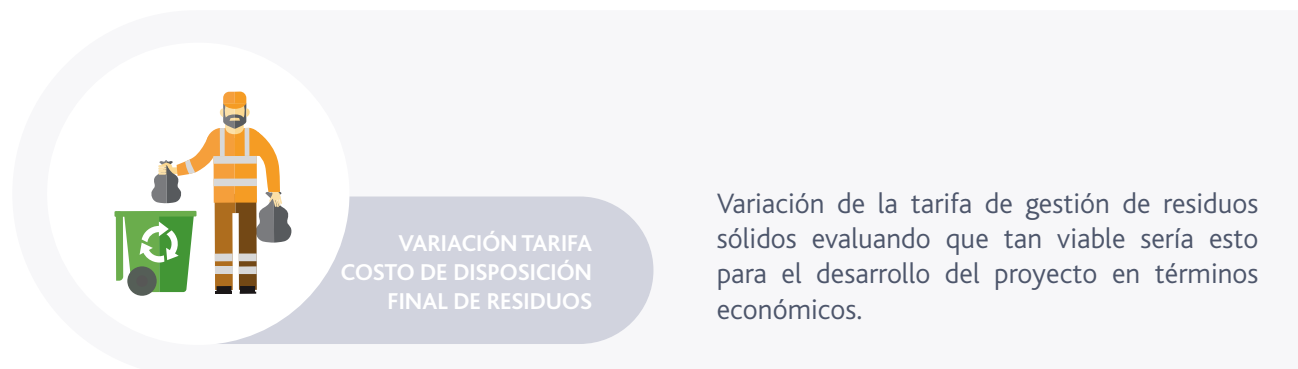
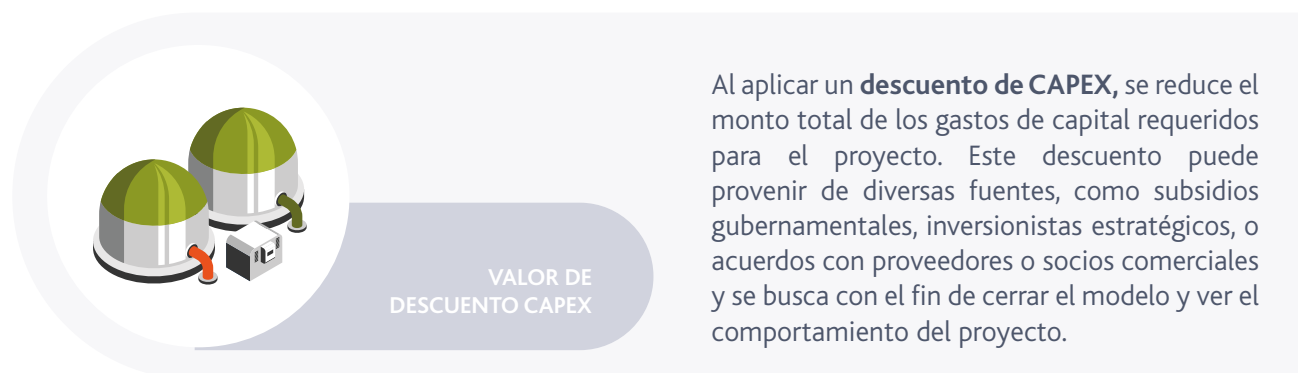


Ilustración 13. Valor descuento CAPEX



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	76,41	\$ 0	\$ 2.859.589.076
5%	80,23	\$ 142.979.454	\$ 2.716.609.622
10%	84,05	\$ 285.958.908	\$ 2.573.630.168
15%	87,87	\$ 428.938.361	\$ 2.430.650.714

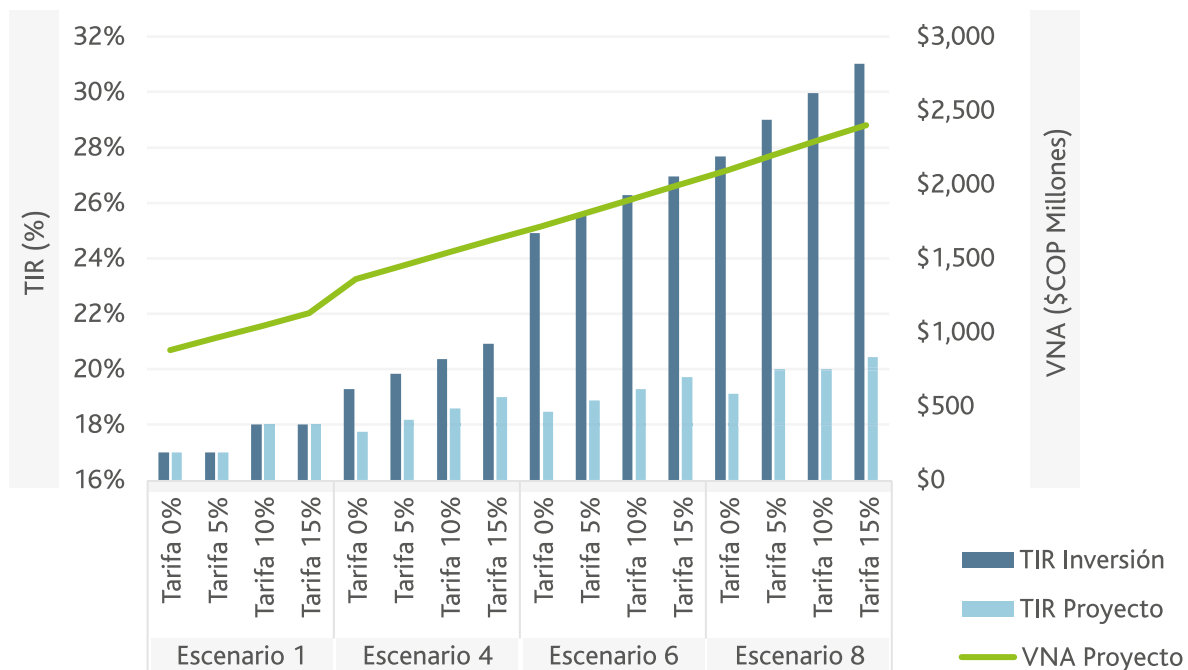
6.3.1 Tarifa de gestión de residuos

Al realizar el análisis de sensibilidad que implica la modificación de la tarifa de disposición de residuos en un 5%, 10% y 15%, los resultados correspondientes a cada uno de los escenarios seleccionados y evaluados a mayor detalle en a lo largo del proyecto se encuentran detallados en la Tabla 10.

Así mismo, como se puede ver en la Ilustración 15, para el **año 15** la tarifa de gestión de residuos varía en un 5%, 10% y 15% y tiene un comportamiento positivo para la **TIR de la inversión** con aumentos de **1% y 3,3%** (escenarios 1 y 8, respectivamente) al aplicar un incremento de 15% a la tarifa. Así mismo, la **TIR del proyecto** aumenta **1 y 1,32%** (escenarios 1 y 8, respectivamente) al aplicar un incremento de 15% a la tarifa; lo que sugiere que el proyecto generará mayores rendimientos en relación con la inversión realizada y para los escenarios evaluados en el estudio.

De igual manera, al aplicar un incremento de 15% a la tarifa, el **VNA** tiene una variación de 249 millones y 306 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 14. Análisis de sensibilidad: aumento tarifa de gestión de residuos (año 15)



De igual manera, en la Tabla 10 se pueden observar los datos a mayor detalle:

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%	\$ 878.671.310	17%	17%
	Tarifa 5%	\$ 961.806.227	17%	17%
	Tarifa 10%	\$ 1.044.941.143	18%	18%
	Tarifa 15%	\$ 1.128.076.060	18%	18%
4	Tarifa 0%	\$ 1.360.035.470	17,74%	19,27%
	Tarifa 5%	\$ 1.449.687.675	18,16%	19,82%
	Tarifa 10%	\$ 1.539.339.880	18,58%	20,37%
	Tarifa 15%	\$ 1.628.992.086	19%	20,92%
6	Tarifa 0%	\$ 1.715.480.566	18,45%	24,91%
	Tarifa 5%	\$ 1.809.884.331	18,87%	25,60%
	Tarifa 10%	\$ 1.904.288.096	19,29%	26,28%
	Tarifa 15%	\$ 1.998.691.861	19,71%	26,95%
8	Tarifa 0%	\$ 2.093.518.927	19,11%	27,68%
	Tarifa 5%	\$ 2.197.752.822	20%	29%
	Tarifa 10%	\$ 2.300.768.865	20,01%	29,96%
	Tarifa 15%	\$ 2.400.284.478	20,43%	31,01%

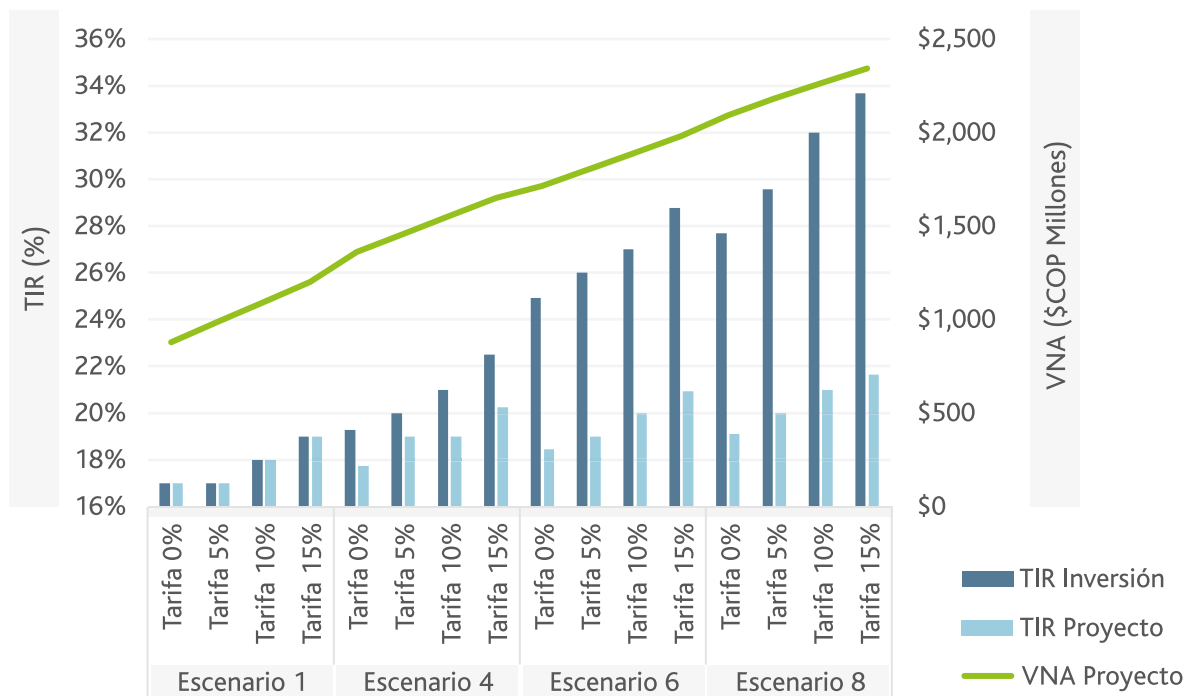
6.3.2 Variaciones descuento CAPEX

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.

Así mismo, como se puede ver en la Ilustración 16 , para el año 15 la **variación del descuento CAPEX** es del 5%, 10% y 15%, tiene un comportamiento positivo. Por ejemplo, para la TIR de la inversión con un aumento del 3% y 5% para los escenarios 1 y 8, respectivamente al aplicar un 15% de descuento. Así mismo, la TIR del proyecto aumento en aproximadamente 3% y 2% para los escenarios 1 y 8, respectivamente al aplicar un 15% del 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 por **322 millones COP** aproximadamente y para el escenario 8 por **292 millones COP** aproximadamente al aplicar un descuento CAPEX de 15%; 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 15. Análisis de sensibilidad - Descuento CAPEX (año 15)



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

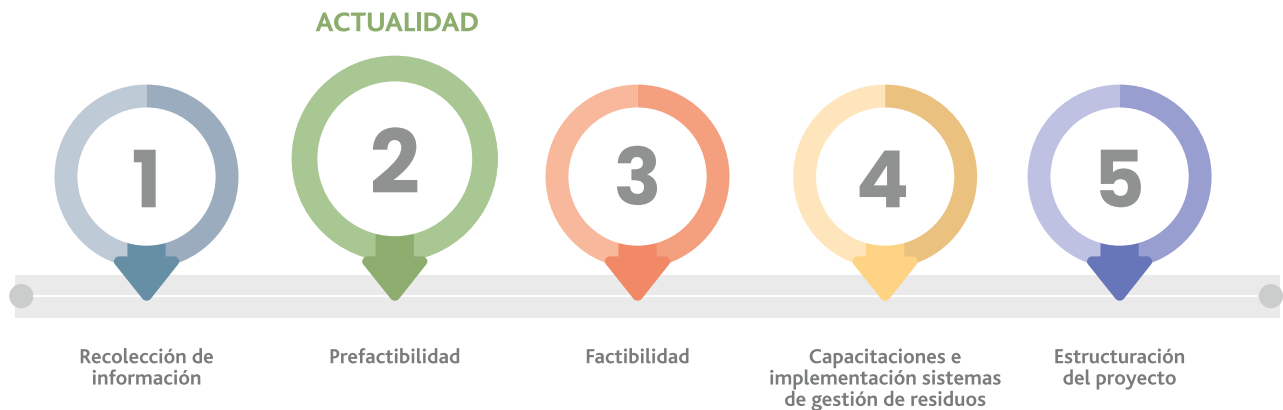
Tabla 11. Inversión CAPEX - 15 años

Inversiones CAPEX - 15 años				
Escenario	Aumento	VNA proyecto	TIR proyecto	TIR inversión
1	Tarifa 0%	\$ 878.671.310	17%	17%
	Tarifa 5%	\$ 986.043.751	17%	17%
	Tarifa 10%	\$ 1.093.416.193	18%	18%
	Tarifa 15%	\$ 1.200.788.634	19%	19%
4	Tarifa 0%	\$ 1.360.035.470	17,74%	19,27%
	Tarifa 5%	\$ 1.456.809.080	19%	20%
	Tarifa 10%	\$ 1.553.582.690	19%	21%
	Tarifa 15%	\$ 1.650.356.300	20,24%	22,49%
6	Tarifa 0%	\$ 1.715.480.566	18,45%	24,91%
	Tarifa 5%	\$ 1.804.369.117	19%	26%
	Tarifa 10%	\$ 1.893.257.669	20%	27%
	Tarifa 15%	\$ 1.982.146.220	20,94%	28,76%
8	Tarifa 0%	\$ 2.093.518.927	19,11%	27,68%
	Tarifa 5%	\$ 2.180.328.950	20%	29,58%
	Tarifa 10%	\$ 2.262.279.248	21%	32%
	Tarifa 15%	\$ 2.342.550.052	21,64%	33,67%

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 16.

Ilustración 16. 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, 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 energía y agua.
 - Costos de alquiler del lugar de desarrollo del proyecto.

- **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 las **plazas de mercado**, así como educar sobre la separación en la fuente, 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 de materiales aprovechables y de recolección para gestión y tratamiento o disposición de residuos 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. Adicionalmente, se puede hacer uso de recursos virtuales para la difusión de información.

- **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 Barranquilla (Barranquillita, el Playón, EPM y Gran Bazar)** con una generación de residuos orgánicos diarios de **13,6 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 selección 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

- Las plazas de mercado de Barranquilla (**El Playón y Barranquillita**) generan **13,6 toneladas** de residuos orgánicos por día. Esto equivale a un potencial de **4.021 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 faciliten a la comunidad su buena gestión de los residuos.
- Es fundamental establecer **ubicaciones específicas** para la disposición de residuos en las plazas de mercado, con el fin de fomentar entre la comunidad una conciencia y una rutina efectiva para el **manejo de los residuos**. Esta iniciativa contribuirá significativamente a mejorar la organización, limpieza y estética de las **plazas de mercado**.

ESPACIO REQUERIDO

- Es importante disponer de un lugar con el tamaño necesario para el desarrollo de la tecnología de aprovechamiento de residuos que equivale a **750m²**, ya que el espacio disponible por la plaza de mercado Gran Bazar es de apenas **400m²** y no es suficiente para el desarrollo del proyecto. Se recomienda adecuar un espacio suficiente (dimensiones requeridas) para la implementación de la tecnología de aprovechamiento de residuos orgánicos de las **plazas de mercado**.
- El proyecto se puede escalar en diferentes etapas; debido al incremento de generación de residuos orgánicos para los próximos años. Así mismo, hay que considerar necesarios **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 determinan 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 son la **electricidad 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 **287.543 kg/año CO₂e** 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 **132.168 kg/año CO₂e**.
- El potencial de generación del digestato es aproximadamente de **402 t/año** el cual puede ser utilizado 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 **16.084m³/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 del suelo y del agua 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

- 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** con una variación en el costo por manejo de residuos orgánicos entre

76,41 a 87,87 \$/kg, se puede observar que es viable y ayudaría a la estabilización financiera del proyecto, observando un aumento del VNA de aproximadamente 300 millones de pesos colombianos para el escenario 8 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).
- El modelo no incluye ingresos por **créditos de carbono**; sin embargo, este análisis puede ser evaluado de forma paralela al poder ser un ingreso adicional para el proyecto que requerirá procesos específicos.

HOJA DE RUTA

- La **hoja de ruta** establecida para el desarrollo de proyectos de aprovechamiento de residuos orgánicos abarca desde la recolección de información, viabilidad económica, definición de gobernanza; asegurando una gestión integral desde todas las partes interesadas.
- La **recolección de datos** precisos es fundamental para el éxito de los proyectos de aprovechamiento de residuos orgánicos. Es necesaria 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 fundamentales para promover prácticas sostenibles de gestión de residuos y para obtener los residuos seleccionados desde su generación. Esto implica proporcionar **capacitación** sobre clasificación adecuada de residuos y establecer sistemas de gestión de residuos eficientes en las **plazas de mercado**.
- La **estructuración adecuada del proyecto** es esencial para su exitosa ejecución. Esto incluye la definición clara de objetivos, la asignación de recursos, la 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-Molinaro, 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.

Mar, K. e. (2022). Beyond CO2 equivalence: The impacts of methane on climate, ecosystems, and health. Environmental Science & Policy, 127-136.

IDEAM et al. (2021). BUR 3 Tercer informe bienal de actualización de Colombia a la convención marco de las Naciones Unidas para el cambio climático (CMNUCC). Obtenido de <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/BUR3%20-%20COLOMBIA.pdf>

IPCC. (2021). Obtenido de Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (03 de 02 de 2023). Obtenido de Min Vivienda: <https://minvivienda.gov.co/ministerio#:~:text=El%20Ministerio%20de%20Vivienda%2C%20Ciudad,la%20sostenibilidad%2C%20adaptados%20a%20las>

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.

10. ANEXOS

Anexo 1. Formulario solicitud de información



LISTA DE REQUERIMIENTOS PARA ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD

1. Contacto:

Nombre	
Teléfono	
Correo	
Ubicación	

2. Número de plazoletas de comida o restaurantes en tiendas tipo Grande, mediana y pequeña

3. Cantidad de residuos orgánicos (kg/mes) en el último año:
(Incluir una tabla para cada una de las tiendas)

Mes	Cantidad	Unidad
		kg/mes
		kg/mes
		kg/mes
		kg/mes
		kg/mes
		kg/mes
		kg/mes
		kg/mes
		kg/mes
		kg/mes
		kg/mes

4. Split de generación de residuos orgánicos (%)
(Ejemplo: 1. 10% son frutas y verduras, 50% son productos lácteos.
Ejemplo 2: 20% son de las plazoletas o cafés, etc.)

(Incluir una tabla para cada una de las tiendas)



5. Promedio generación de aceites y grasas (kg o litros/día)

6. Costo de disposición final de residuos (\$ COP/mes o \$ COP/kg):
(Aclarar qué valores se consideran o suman en el costo):

(Incluir un dato para cada una de las tiendas)

7. Consumo de gas (m3/mes) en el último año:
(Incluir una tabla para cada uno de las tiendas)

Mes	Consumo gas	Unidad
		m3/mes
		m3/mes
		m3/mes
		m3/mes
		m3/mes
		m3/mes
		m3/mes
		m3/mes
		m3/mes
		m3/mes
		m3/mes



8. Consumo de energía (kWh/mes) en el último año:

(Incluir una tabla para cada una de las tiendas)

Mes	Consumo energía	Unidad
		kWh/mes
		kWh/mes
		kWh/mes
		kWh/mes
		kWh/mes
		kWh/mes
		kWh/mes
		kWh/mes
		kWh/mes
		kWh/mes
		kWh/mes
		kWh/mes

*Adicionalmente indicar los consumos del cuarto de residuos por favor

9. Costo de gas natural (\$ COP/m³):

(Incluir un dato para cada una de las tiendas)

10. Costo de electricidad (\$ COP/ kWh)

(Incluir un dato para cada una de las tiendas)

11. Descripción del área destinada/disponible para el sistema de tratamiento (m², conexiones, limitaciones, fotos)

(Incluir una descripción para cada una de las tiendas)



12. Documento o descripción qué explique el proceso de gestión de residuos (recolección, separación, almacenamiento, etc.)

(Incluir una descripción para cada una de las tiendas)

13. Área verde en m2 (para destinar el abono generado)

(Incluir área verde para cada una de las tiendas)

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	\$ 878.671.310	-\$ 159.362.342	-\$ 594.952.286	-\$ 818.778.938
TIRproyecto	17%	11%	6%	2%
TIRinversión	17%	11%	6%	2%

Escenario 2				
	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 1.032.638.713	-\$ 61.363.090	-\$ 516.906.212	-\$ 750.730.911
TIRproyecto	17,03%	11,14%	6,18%	2,50%
TIRinversión	17,39%	11,39%	6,34%	2,59%

Escenario 3				
	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 1.192.992.600	\$ 39.877.750	-\$ 436.520.622	-\$ 680.757.129
TIRproyecto	17%	12%	7%	3%
TIRinversión	18%	12%	7%	3%

Escenario 4				
	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 1.360.035.470	\$ 144.476.974	-\$ 353.720.807	-\$ 608.800.282
TIRproyecto	17,74%	12,09%	7,31%	3,75%
TIRinversión	19,27%	13,36%	8,33%	4,57%

Escenario 5				
	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 1.534.086.110	\$ 252.556.109	-\$ 268.429.380	-\$ 534.801.149
TIRproyecto	18,09%	12,57%	7,88%	4,37%
TIRinversión	20,56%	14,73%	9,72%	5,97%

Escenario 6

	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 1.715.480.566	\$ 364.241.630	-\$ 180.566.177	-\$ 458.698.529
TIRproyecto	18,45%	13,04%	8,44%	4,98%
TIRinversión	24,91%	19,86%	15,20%	11,63%

Escenario 7

	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 1.904.573.169	\$ 479.665.179	-\$ 90.048.140	-\$ 380.429.168
TIRproyecto	18,81%	13,52%	8,99%	5,59%
TIRinversión	24,52%	19,00%	14,13%	10,42%

Escenario 8

	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 2.093.518.927	\$ 590.745.087	-\$ 5.007.917	-\$ 308.146.394
TIRproyecto	19,11%	13,92%	9,47%	6,11%
TIRinversión	27,68%	22,46%	17,71%	14,05%

Escenario 9

	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 2.284.381.341	\$ 699.293.265	\$ 76.312.902	-\$ 240.113.395
TIRproyecto	19,38%	14,27%	9,88%	6,55%
TIRinversión	32,73%	28,00%	23,50%	19,94%

Escenario 10

	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 2.478.106.943	\$ 805.988.757	\$ 154.537.211	-\$ 175.729.835
TIRproyecto	19,60%	14,57%	10,23%	6,93%
TIRinversión	43,36%	39,69%	35,77%	32,49%

Escenario 11

	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años
VNAproyecto	\$ 2.673.801.965	\$ 909.653.341	\$ 228.427.847	-\$ 116.256.444
TIRproyecto	19,79%	14,81%	10,51%	7,23%
TIRinversión	N/A	N/A	N/A	N/A