Estudios

ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA EL TRATAMIENTO *IN SITU* DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Enfoque en la Terminal de Transporte de Bogotá



© UAESP.

cooperación alemana
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Implementado por giz

BLACKFOREST SOLUTIONS

Análisis de la viabilidad técnico-económica para el tratamiento in situ de residuos orgánicos. Enfoque en la Terminal de Transporte de Bogotá.

Apoyado por:

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Programa de GIZ Colombia

Programa Empleos Verdes en la Economía Circular (PREVEC)

Sarah Hirsch, Coordinadora PREVEC

Calle 125 No.19-24. Oficina 701, Bogotá, Colombia

Autores

Patrick Botsch Cellete Gómez, Felipe Puentes, Daniela Tavera Jiménez, Vishwas Vidyaranya.

Revisores externos

Rafaela Craizer, Peter Foerster, Paula Jiménez

Cita sugerida
Tavera Jiménez, D., Botsch Cellete Gómez, P., Puentes, F., & Vidyaranya, V. (2022). Análisis de la viabilidad técnico-económica para el tratamiento in situ de residuos orgánicos. Enfoque en la Terminal de Transporte de Bogotá. GIZ Colombia & BlackForest Solutions GmbH. Bogotá, Colombia.

Diseño y diagramación

.Puntoaparte Editores

.PUNTOAPARTE EDITORES

www.puntoaparte.com.co

Dirección editorial
Andrés Barragán

Revisión editorial
Juan Mikán
Andrés Hernández

Dirección de arte
Nicolás Carvajal
Jeisson Reyes

Diseño y diagramación
Luisa Monroy
Jeisson Reyes

Por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania. Esta publicación ha sido apoyada por el Programa Empleos Verdes en la Economía Circular (PREVEC) que está implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y sus contrapartes colombianas, por encargado del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania.

Las ideas expuestas en el texto son responsabilidad exclusiva de los autores y no comprometen la línea institucional de la GIZ.

Se autoriza la reproducción total del presente documento, sin fines comerciales, citando adecuadamente la fuente.

ÍNDICE

Lista de Abreviaturas 5

Aviso 5

Resumen ejecutivo 6

1.

Descripción del proyecto

10 pág.

1.1.
Contexto 11

2.

Tecnología de digestión anaerobia

13 pág.

2.1.
Digestión anaerobia 14

3.

Detalles técnicos

20 pág.

3.1.
Escenario B2 21

4.

Análisis Financiero

23 pág.

4.1.
Proyecciones financieras 24

4.2.
Análisis de sensibilidad 26

5.

Conclusiones y recomendaciones finales

29 pág.

5.1.
Ambiental 30

5.2.
Social 30

5.3.
Económica 31

5.4.
Recomendaciones 31

Anexos 32

Bibliografía 39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de planta modular de biogás con generación de energía 6

Figura 2.1. Planta de biogás en contenedor con generación de energía 15

Figura 2.3. Área de trituración de residuos y de mezcla con agua para formación de lodo 16

Figura 2.4. Tanque de almacenamiento de lodo 16

Figura 2.5. Unidad de control central de la planta de biogás 16

Figura 2.6. Biodigestor para el procesamiento de 1,5 toneladas de residuos orgánicos por día 16

Figura 2.7. Bolsa para el almacenamiento de biogás junto con el agitador conectado al biodigestor 16

Figura 2.8. Sistema de intercambiadores de calor 17

Figura 2.9. Toma de muestra para análisis de calidad 17

Figura 2.10. Limpieza de H_2S y H_2O del biogás 17

Figura 2.11. Sistema de salida del digestato 17

Figura 2.12. Depósitos de almacenamiento del digestato 17

Figura 6.1. Costos e ingresos estimados para un período de 14 años en el escenario planteado para el terminal de transporte 34

Figura 6.2. Propuesta para la distribución del espacio del escenario B2 38

LISTA DE TABLAS

Tabla 0.1. Características del escenario B2 y generación de energía 7

Tabla 0.2. Costos e ingresos estimados para el escenario planteado 8

Tabla 0.3. Resultados del análisis de sensibilidad para los escenarios propuestos 9

Tabla 1.1. Características de los escenarios planteados 11

Tabla 2.1. Fases de la digestión anaerobia 14

Tabla 2.2. Resumen y galería de la tecnología y los pasos principales del proceso 155

Tabla 2.3. Factores operacionales relevantes para la solución de digestión anaerobia 18

Tabla 2.4. Análisis FODA de la digestión anaerobia 19

Tabla 3.1. Parámetros operativos del escenario B2 21

Tabla 4.1. Variables macroeconómicas utilizadas para la proyección financiera 24

Tabla 4.2. Costos e ingresos estimados para el escenario planteado 25

Tabla 4.3. Resumen del análisis de sensibilidad para los escenarios propuestos 26

Tabla 4.4. Resultados del escenario para la terminal de transporte sin inversión de las entidades públicas 27

Tabla 4.5. Resultados para la terminal de transporte tras una inversión parcial por parte de las entidades públicas 27

Tabla 4.6. Resultados para la terminal de transportes con una inversión total por parte de las entidades públicas 28

Tabla 4.7. Resultados para la terminal de transporte si se recibe una inversión externa con 30 % de deuda 29

Tabla 6.1. Detalles sobre el salario mínimo mensual legal vigente en Colombia 33

Tabla 6.2. CAPEX del escenario para la terminal de transporte 33

Tabla 6.3. OPEX (año 0) para el escenario analizado para el terminal de transporte 35

Tabla 6.4. Ingresos (año 0) para el escenario de la terminal de transporte 35

Tabla 6.5. Flujo de caja previsto para el escenario de la terminal de transporte 36

Tabla 6.6. Ejemplo de cotización para los escenarios B2 y C dados por la consultora internacional 37

LISTA DE ABREVIATURAS

BFS
BlackForest Solutions GmbH

COP
Pesos colombianos

GIZ
Cooperación Alemana para el Desarrollo

IPC
Índice de precio al consumidor

PDM
Plazas distritales de mercado

PREVEC
Programa Empleo Verde en la Economía Circular

RO
Residuos orgánicos

SMMLV
Salario mínimo mensual legal vigente

TIR
Tasa interna de retorno

UAESP
Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos

VAN
Valor actual neto

AVISO

El presente informe es un estudio de prefactibilidad y su intención principal es servir como herramienta para la toma de decisiones. En caso de optar por la implementación de la propuesta desarrollada, será necesario realizar un proyecto ejecutivo y de factibilidad enfocado en el estudio y precisión de la información correspondiente.

RESUMEN EJECUTIVO

BlackForest Solutions GmbH (BFS) fue contratada para apoyar el cumplimiento de uno de los objetivos del PREVEC (Proyecto Empleos Verdes en la Economía Circular): identificar modelos de negocio viables para el aprovechamiento de residuos orgánicos. La BFS realizó un **estudio exhaustivo para proponer soluciones de tratamiento in situ replicables y económicamente factibles para la gestión de residuos orgánicos en las Plazas Distritales de Mercado (PDM) de Bogotá, con enfoque en la PDM Quirigua.**

Como parte del alcance del proyecto, la BFS identificó y estudió a proveedores de tecnología nacionales e internacionales enfocados en el compostaje y la digestión anaerobia. Además, para proponer soluciones tecnológicas en línea con el contexto de los residuos de las plazas de mercado, se analizaron los elementos claves para la generación y caracterización de los residuos y de su gestión. Finalmente, se definieron **cuatro posibles escenarios para el proyecto, que difieren por el volumen de residuos a tratar y la tecnología empleada para su tratamiento** (tal y como se ve en la Tabla 1.1).

Una vez seleccionados los escenarios, se modelaron las implicaciones financieras de cada escenario para su implementación. Para el estudio, se realizó un análisis de sensibilidad a través de evaluar la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN) a un período de 7 años, para distintas configuraciones financieras, frente a los costos de inversión (CAPEX) de cada escenario.

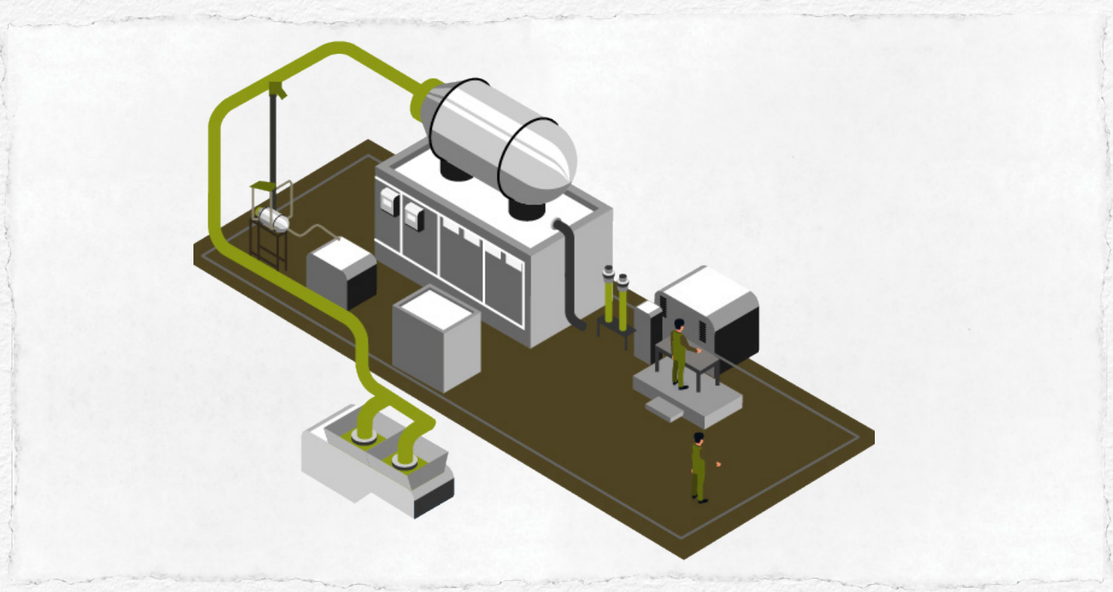
A partir de los resultados del estudio, la **Unidad Administrativa de Servicios Públicos (UAESP) identificó el potencial de implementación de los otros escenarios planteados en otros lugares de Bogotá.** Así, de los cuatro escenarios presentados y analizados en el reporte del estudio, la UAESP seleccionó el escenario B2, el manejo de residuos sólidos orgánicos para una generación total de 1,5 t/día a través de un sistema de digestión anaerobia. La unidad le solicitó a GIZ **evaluar la factibilidad de su implementación en la Terminal de Transporte de Bogotá.** Se optó por este lugar, ya que el espacio requerido para la puesta en marcha de la tecnología (mínimo 88 m^2) y la generación de residuos se ajustan al contexto de la terminal de transporte.

BlackForest Solutions GmbH fue designado para profundizar en los detalles técnicos del escenario B2 y analizar la viabilidad económica de su implementación bajo el contexto de los residuos de la terminal de transporte.

Para dar a conocer el resultado del análisis, se escribió este reporte y se espera que sirva como herramienta en la toma de decisiones. El reporte se compone de **seis capítulos** que consolidan los resultados del proyecto: el contexto, explicación de la tecnología de digestión anaerobia, los detalles técnicos correspondientes, los resultados del análisis financiero, las conclusiones y algunos anexos útiles para el proyecto.

El primer capítulo brinda una breve **introducción del contexto del proyecto.** El **capítulo dos profundiza en los detalles técnicos de la tecnología estudiada (planta modular de biogás).** También, se habla de los principios de digestión anaerobia, se muestran los **pasos del proceso de tratamiento de residuos que sigue la tecnología** y se señalan los parámetros operativos generales para asegurar su correcto funcionamiento. Luego, se concluye con un **análisis FODA.**

Figura 1. Diagrama de planta modular de biogás con generación de energía



Fuente: Bert Energy GmbH. (2021).

El **capítulo tres describe los detalles técnicos del escenario B2.** Es decir, muestra los parámetros operativos específicos y una breve explicación sobre las características principales. Las características principales para el manejo de residuos sólidos orgánicos y una generación total de 1,5 t/día, a través de un sistema de digestión anaerobia, están descritas en la Tabla 0.1.

Tabla 01. Diagrama de planta modular de biogás con generación de energía. Características del escenario B2 y generación de energía

Ítem/escenario	B2
Capacidad del sistema (t RO/día)	1,5
Tecnología implementada	Planta modular de biogás
Origen de los residuos	Terminal de Transporte de Bogotá
Residuos orgánicos procesados al año y desviados del relleno sanitario (t/a)	423
Reducción estimada de GEI (en toneladas de dióxido de carbono equivalente)	491
Espacio requerido (m^2)	88
Personal requerido	1 operario a tiempo completo y 1 técnico especializado (2 meses al año)
Generación de biofertilizante (t/a)	169
Generación de biogás (m^3/a)	33 858 (equivalente a 16.929 m^3 de gas natural al año)
Generación de energía eléctrica (kWh)	35 640

Fuente: BFS. (2022b).



JasminkaM/shutterstock.com

Para la Tabla 0.1, el cálculo de la reducción estimada de gases de efecto invernadero (GEI) toma como referencia el hecho de que la tecnología de compostaje cerrado tiene un porcentaje de reducción de emisiones del 42 % en comparación con la disposición final en el relleno sanitario, mientras que la digestión anaerobia es de un 58 % (Breukers Linda, 2021).

El **capítulo cuatro precisa los supuestos** tomados en cuenta para las proyecciones financieras, así como las variables macroeconómicas utilizadas. También, se muestran los **costos e ingresos asociados** a la implementación de los escenarios con una breve explicación de cada uno de ellos. Los resultados principales del capítulo 4 aparecen en la Tabla 0.2.

Tabla 0.2. Costos e ingresos estimados para el escenario planteado

Ítem	Resultados
CAPEX (COP)	454 800 000 COP
OPEX (COP/año 0)	47 600 000 COP
Ingresos estimados (COP/año 0)	115 100 000 COP

Fuente: BFS. (2022)

Para el cálculo del CAPEX, se tienen en cuenta los potenciales beneficios tributarios. Además, se contempla la exclusión del IVA para la inversión de los escenarios, debido a que los sistemas propuestos están relacionados con el mejoramiento, los sistemas de control y el monitoreo del medio ambiente.

El capítulo finaliza con un resumen del **análisis de sensibilidad**. Este análisis consistió en evaluar la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN) a un período de 7 años, para distintos presupuestos financieros frente a los costos de inversión (CAPEX) de cada escenario. En estas configuraciones, se incluye la posibilidad de que no haya una inversión por parte de las entidades públicas; se dé una inversión parcial por parte de entidades públicas y la inversión necesaria para tener una TIR a 7 años superior al 10 % y un VAN positivo; o una inversión completa por entidades públicas y se establezca el período estimado para la recuperación de la inversión; o haya un financiamiento del 30 % de la inversión por una entidad externa a las entidades públicas a través de un mecanismo de deuda. El resumen de todo esto se ve en la Tabla 0.3.

MEEKODONG/shutterstock.com



Tabla 0.3. Resultados del análisis de sensibilidad para los escenarios propuestos

Ítem	Resultados
Sin inversión por parte de las entidades públicas	
TIR (7 años)	- 8,92 %
VAN	Negativo
Inversión parcial por entidades públicas	
Inversión requerida para TIR > 10 % y VAN positivo	141 000 000 69 % de CAPEX
Inversión completa por entidades públicas	
Tiempo de retorno de inversión	5 años
Hay financiamiento del 30 % de la inversión por una entidad externa	
TIR (7 años)	-8,9 %
VAN	Negativo

Fuente: BFS. (2022).

Es importante mencionar que cubrir los costos operacionales del escenario no depende de la venta de los subproductos del sistema (p. ej. abono, biogás, energía), como suele suceder en los sistemas centralizados de tratamiento de residuos orgánicos existentes en Colombia. Esto ayuda significativamente a lograr la sostenibilidad financiera del modelo financiero. Por otro lado, el valor de la inversión inicial del proyecto y su financiamiento tienen un alto impacto en los resultados del modelo. Así, se recomienda amortiguar este valor a partir de alguna de las opciones incluidas en el análisis de sensibilidad.

El **capítulo cinco** presenta las **conclusiones del estudio desde el punto de vista ambiental, social y económico.** Además, se dan las recomendaciones para desarrollar un proyecto con base en lo descrito en este informe.

Los **anexos incluyen información complementaria** sobre los detalles del salario mínimo legal mensual en Colombia, los detalles financieros del escenario B2 y la indicación de precio. Finalmente, se incluye la propuesta de distribución de espacio.

namtipStudio/shutterstock.com



DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.



© Daniel Hernández

1.1. CONTEXTO

BlackForest Solutions GmbH (BFS) fue contratada para apoyar en el cumplimiento de uno de los objetivos del PREVEC (Proyecto Empleos Verdes en la Economía Circular): identificar modelos de negocio viables para el aprovechamiento de residuos orgánicos. La BFS realizó un estudio exhaustivo para proponer soluciones de **tratamiento *in situ*, replicables y económicamente factibles para la gestión de residuos orgánicos en las Plazas Distritales de Mercado (PDM) de Bogotá, con un enfoque en la PDM Quirigua.**

Como parte del alcance del proyecto, la BFS identificó y estudió a proveedores de tecnología, nacionales e internacionales, enfocados en el compostaje y la digestión anaerobia. Además, para proponer soluciones tecnológicas en línea con el contexto de los residuos de las plazas de mercado, se analizaron elementos clave de la generación y características de los residuos y de su gestión actual. Finalmente, se definieron **cuatro escenarios para el proyecto, que difieren por el volumen de residuos a tratar y la tecnología empleada para su tratamiento** (tal y como se ve en la Tabla 1.1).

Una vez seleccionados, se modelaron las implicaciones financieras de cada escenario para su implementación. Luego, se realizó un análisis de sensibilidad a través de evaluar la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN) a un período de 7 años, para distintas configuraciones financieras, frente a los costos de inversión (CAPEX) de cada escenario.

Tabla 1.1. Características de los escenarios planteados

Ítem/escenario	A	B1	B2	C
Capacidad del sistema (ton RO/día)	0,2	1	1,5	6
Tecnología implementada	Compostaje	Compostaje	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia
Origen de los residuos	PDM Quirigua	PDM Quirigua y otras PDM	PDM Quirigua y otras PDM	PDM Quirigua, otras PDM y restaurantes aledaños
Residuos orgánicos procesados al año y desviados del relleno sanitario (t/a)	56	282	423	1693
Reducción estimada de GEI (toneladas de dióxido de carbono equivalente)	47	237	491	1963
Espacio requerido (m^2)	67,5	177	88	208
Personal requerido	1 operario de medio tiempo (20 horas a la semana)	1 operario tiempo completo y 1 técnico especializado (2 meses al año)	1 operario tiempo completo y 1 técnico especializado (2 meses al año)	3 operarios tiempo completo y 2 técnicos especializados (2 meses al año)
Generación de abono orgánico (t/a)	23	113	169	677
Generación de biogás (m^3/a)	N/A	N/A	22 431 (equivalente a 11 215 m^3 de gas natural al año)	89 724 (equivalente a 44 862 m^3 de gas natural al año)
Generación de energía eléctrica (kWh)	N/A	N/A	N/A	204 600

Fuente: BFS. (2021).

A partir de los resultados del estudio, la **Unidad Administrativa de Servicios Públicos (UAESP) identificó el potencial de implementación de los escenarios planteados en otros lugares de Bogotá.** Así, de los cuatro escenarios presentados y analizados en el reporte del estudio, **la UAESP seleccionó el escenario B2**, es decir, el manejo de residuos sólidos orgánicos para generar un total de 1,5 t/día a través de un sistema de digestión anaerobia. La unidad le solicitó a GIZ **evaluar la factibilidad de su implementación en la Terminal de Transporte de Bogotá.**

Una de las ventajas de seleccionar el escenario B2 es que la Terminal de Transporte de Bogotá cuenta con el espacio requerido para la puesta en marcha de la tecnología (mínimo 88 m^2) y que la generación de residuos se ajusta al contexto de la terminal. Para el desarrollo del proyecto, la UAESP pidió hacer las adecuaciones necesarias al concepto para ofrecer la generación de energía a partir del biogás generado.

La UAESP le pidió a GIZ **profundizar en los detalles técnicos y financieros para el escenario B2,** tomando en cuenta el contexto de los residuos generados en la terminal de transporte. Antes de comenzar con los trámites contractuales para la implementación del proyecto, **BFS apoyó a GIZ para estudiar la viabilidad económica del proyecto a través de:**

- Ajustar la herramienta de cálculo del modelo de negocio del escenario B2, según la composición de los residuos sólidos orgánicos producidos en la Terminal de Transporte de Bogotá.
- Adaptar la herramienta de cálculo del modelo de negocio del escenario B2 para incluir las implicaciones financieras de generar electricidad a partir del biogás producido.
- Entregar un reporte que muestre los resultados y el análisis de la proyección financiera del escenario B2, contemplando la generación de energía.



Daniel Hernández

Análisis de viabilidad técnico-económica para el tratamiento *in situ* de residuos orgánicos.

TECNOLOGÍA DE DIGESTIÓN ANAEROBIA

2.



Sirisak_baokaew/shutterstock.com

Este capítulo describe la tecnología de digestión anaerobia de tipología modular para el tratamiento de residuos orgánicos a fin de contextualizar el capítulo de análisis financiero. A lo largo del capítulo dos, se incluye una introducción a los principios de la digestión anaerobia, se muestran los pasos del proceso de la solución, se señalan los factores operativos relevantes y se finaliza con un análisis FODA de la tecnología

2.1. DIGESTIÓN ANAEROBIA

Con la digestión anaerobia, las bacterias descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno y pueden tratar una gran variedad de compuestos orgánicos. Como resultado de este proceso, se produce biogás, compuesto principalmente por el gas metano que puede utilizarse para generar energía (Suárez-Chernov, 2019).

La descripción de las fases de la digestión anaerobia se muestran en la Tabla 2.1.

Freepik



Tabla 2.1. Fases de la digestión anaerobia

Fases	Descripción
Hidrólisis	1. Los residuos orgánicos se depositan en un digestor anaeróbico que contiene tres tipos de microorganismos: bacterias acidogénicas, bacterias acetogénicas y metanógenos.
	2. Los microorganismos comienzan por descomponer los residuos orgánicos en azúcares y ácidos grasos. Esta reacción bioquímica se conoce como hidrólisis.
Acidogénesis-Acetogénesis	3. Las bacterias acidogénicas convierten los azúcares y aminoácidos en dióxido de carbono, hidrógeno, amoníaco y otros ácidos orgánicos.
	4. Las bacterias acetogénicas convierten los ácidos orgánicos, producidos en el paso anterior, en dióxido de carbono, hidrógeno y amoníaco.
Metanogénesis	5. Los metanógenos convierten los productos de los pasos 3 y 4 en un biogás compuesto por un 60 % de metano y un 40 % de dióxido de carbono. El biogás, al ser un componente con un alto valor calorífico, se utiliza para generar calor y producir electricidad.

Fuente: BFS. (2021).

2.1.1. **Descripción de la tecnología**

Para el **escenario B2,** se plantea el **tratamiento de residuos orgánicos a través de una planta modular de producción de biogás.** La Figura 2.1 muestra esta tecnología.

Figura 2.1.



Fuente: Bert Energy GmbH. (2021).

La generación de biogás se lleva a cabo en un **reactor sellado.** Este puede **diseñarse y construirse de diversas formas y tamaños, según las condiciones climáticas y características de la materia prima.**

En la Figura 2.2, se muestra el proceso, el paso a paso, de la solución tecnológica.

Tabla 2.2. Proceso para la conversión de residuos orgánicos a biogás

1	2	3	4	5
RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA	**PREPARACIÓN DE MATERIA PRIMA**	**DIGESTIÓN ANAERÓBIA**	**LIMPIEZA DE BIOGÁS**	**SALIDA DE DIGESTATO**
1.1 Pesar o estimar la cantidad de residuos generados.	**2.1** Tripulación de residuos orgánicos, reducción de tamaño de particulas.	**3.1** Bomba alimenta al biodisgestor de manera continua.	**4.1** Eliminación de humedad del biogás producido.	**5.1** Digestato sale del biorreactor por la tubería de desagüe en la parte superior del reactor.
1.2 Depositar material en mesa/área de preparación.	**2.2** Mezcla de residuos orgánicos con agua para formación de lodo	**3.2** En el biodigestor los microorganismos transforman el material orgánico en biogás y digestato.	**4.2** El biogás “seco” pasa por el depurados para limpieza final.	**5.2** El flujo de salida del digestato puede ir conectado a otro tanque de almacenamiento o vehículo de transporte.
1.3 Segregación de material inorgánico	**2.3** Depositar lodo en tanque de almacenamientos	**3.3** El biogás generado es almacenado en un contenedor de gas.	**4.3** Determinación de producción de biogás a través de gasómetro.	
	2.4 Bombear lodo hacia bioreactor, a través de bomba submergible	**3.4** Toma de muestras de manera regular para asegurar la calidad del producto final.		
		← 20 Días →		

Fuente: BFS. (2021).

En la Tabla 2.2, se muestran imágenes sobre el proceso de digestión anaerobia de la tecnología propuesta.

Figura 2.2. Resumen y galería de la tecnología y los pasos principales del proceso

Paso	Detalles
1. Recepción de materia prima	Se plantea la gestión de las materias primas en la Terminal de Transporte en Bogotá.
2. Preparación de materia prima	**Figura 2.3.** Área de trituración de residuos y de mezcla con agua para formación de lodo  **Fuente:** Bert Energy GmbH. (2021). **Figura 2.4.** Tanque de almacenamiento de lodo  **Fuente:** Bert Energy GmbH. (2021).
2. Preparación de materia prima	**Figura 2.5.** Unidad de control central de la planta de biogás  **Fuente:** Bert Energy GmbH. (2021
3. Digestión anaeróbica	**Figura 2.6.** Biodigestor para el procesamiento de 1,5 toneladas de residuos orgánicos por día  **Fuente:** Bert Energy GmbH. (2021 **Figura 2.7.** Bolsa para el almacenamiento de biogás junto con el agitador conectado al biodigestor  **Fuente:** Bert Energy GmbH. (2021

Paso	Detalles
3. Digestión anaeróbica	**Figura 2.8.** Sistema de intercambiadores de calor  **Fuente:** Bert Energy GmbH. (2021). **Figura 2.9.** Toma de muestra para análisis de calidad  **Fuente:** Bert Energy GmbH. (2021).
4. Limpieza del biogás	**Figura 2.10.** Limpieza de H2S y H2O del biogás  **Fuente:** Bert Energy GmbH. (2021).
5. Salida del digestato	**Figura 2.11.** Sistema de salida del digestato  **Fuente:** Bert Energy GmbH. (2021). **Figura 2.12.** Depósitos de almacenamiento del digestato  **Fuente:** Bert Energy GmbH. (2021).

Fuente: Bert Energy GmbH. (2021).

La Tabla 2.3 resume los **factores principales para el uso de la tecnología.**

Figura 2.3. Factores operacionales relevantes para la solución de digestión anaerobia



Freepik

Factores operacionales principales

Sustratos, según UAESP (2021). También, se pueden encontrar residuos de café, té, productos lácteos cocidos, pañuelos de papel, servilletas y papel de baño.	1. Residuos orgánicos generados en la terminal de transportes con contenido de carbono y nitrógeno: ○ Residuos crudos (50,6 %). ○ Residuos cocidos (42,5 %). ○ Residuos putrefactos de animales (6,3 %). ○ Rechazo (1,1 %). ○ Aceites y grasa de cocina: su proporción no debe superar el 5 %. 2. Agua. 3. Estiércol o digestato de otros biodigestores (sólo requerido para iniciar el proceso).
Parámetros principales, se trabajó con valores estimados. Es necesario profundizar en las características de los residuos generados en la terminal de transporte, las condiciones climáticas de Bogotá y encontrar la proporción ideal de los sustratos y parámetros para su funcionamiento (Vögeli, 2014).	○ Temperatura: 32 a 45°C. ○ pH: entre 6,5 y 7,5. ○ Relación C:N: idealmente 16:1 y 25:1. ○ Materia seca: entre 8 y 20 %. ○ Proporción de materia orgánica seca: entre 75 y 90 %. ○ Tamaño de partícula: el tamaño ideal de los materiales para comenzar el proceso es menor a 5 cm.
Tiempo de residencia, en días. Se trabajó con valores estimados. Es necesario profundizar en los parámetros para el funcionamiento.	○ 10 a 40 días.
Producto final y usos	○ Metano: puede utilizarse como fuente de energía o para la cocción de alimentos. ○ Digestato: puede emplearse como fertilizante líquido después del postratamiento.

Fuente: BFS. (2022).

2.1.2. **Análisis FODA**

Para su desarrollo, se identificaron **las fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades relacionadas con la implementación del proyecto.** El análisis FODA aparece descrito en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Análisis FODA de la digestión anaerobia



NewAfrica/shutterstock.com

Fortalezas

- Facilidad de operación del sistema.
- No genera olores.
- El biogás, al ser un derivado de la biomasa, es una fuente de energía renovable.
- Reducción en el consumo de energía.
- Reducción de la presión sobre los rellenos sanitarios.
- Reducción local de emisiones de CO2.
- Protección de aguas subterráneas, reduciendo el riesgo de lixiviación de nitratos.
- Eliminación de emisiones de olores molestos.
- Creación de un segundo ingreso para las personas usuarias.

Oportunidades

- Flexibilidad, ya que la planta puede crecer en tamaño.
- El metano generado se puede usar como fuente de energía.
- Diversidad de usos (p. ej. producción de energía, alumbrado, cocción de alimentos).
- Producción de biofertilizantes para uso local.
- Tecnificación del proceso y, por tanto, reducción de los días destinados para el tratamiento de residuos orgánicos.

Amenazas

- Los biodigestores deben mantenerse a una temperatura estable.
- Es posible tener como subproducto SH2 (ácido sulfhídrico), un compuesto tóxico y corrosivo.
- Riesgo de explosión en caso de no cumplir con los protocolos establecidos para los gases combustibles.

Debilidades

- Altos costos de operación causados por el consumo de energía.
- La gestión de la planta requiere de personal adicional.
- Falta de parámetros y criterios para el adecuado diseño de sistemas de escala inferior a 1 tonelada al día.

Fuente: BFS. (2022).

DETALLES TÉCNICOS

3.



Daniel Hernández

En este capítulo se describen los detalles técnicos para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos provenientes de la Terminal de Transporte de Bogotá. Se incluyen los parámetros operativos, recomendaciones y riesgos para su implementación.

3.1 ESCENARIO B2

El **escenario B2** considera un proyecto de manejo de residuos sólidos para una generación total de **1,5 t/día en la Terminal de Transporte de Bogotá. Los residuos orgánicos se gestionan a través de una planta modular de biogás,** ubicada dentro de las instalaciones de la terminal de transporte. Para su funcionamiento, **se alimenta el sistema con los residuos sólidos generados en el sitio.** Los rechazos y otros tipos de residuos sólidos diferentes a los orgánicos se manejan a través de su respectivo gestor.

El sistema para el análisis del escenario B2 sigue los parámetros operativos enunciados en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Parámetros operativos del escenario B2

Parámetro operativo	Detalle	Observaciones
Personal requerido	1 operario tiempo completo y 1 técnico especializado (2 meses al año)	Técnico especializado para funciones de mantenimiento preventivo y correctivo.
Número de días de operación al año (d/a)	330	
Residuos orgánicos suministrados al año (t/a)	446	
Rechazos del proceso al año (t/a)	23	Residuos no aptos para el uso de la tecnología y retirados en la segregación.

Parámetro operativo	Detalle	Observaciones
Tasa de generación de compostaje (t/ t de RO alimentados al sistema)	0,4	Puede variar dependiendo de las condiciones operativas.
Generación de biofertilizante (t/a)	169	Obtenido como salida del proceso de tratamiento para su posterior comercialización.
Tasa de generación de biogás (m^3/t)	80	
Generación de biogás (m^3/a)	33 858	Equivalente a 16 929 m3 de gas natural al año. Obtenido como salida del proceso de tratamiento para su posterior comercialización.
Consumo energético estimado (kW/d)	20	
Incluye recolección y transporte de RO	No	Generación de residuos en el sitio.
Número de vehículos	0	Generación de residuos en el sitio.
Distancia a recorrer por los vehículos (km/día)	0	Generación de residuos en el sitio.
Espacio mínimo requerido (m^2), según el proveedor de tecnología. Se puede revisar la sección de anexos para consultar la propuesta de distribución de espacio.	88	

Fuente: BFS. (2021).

Frente a la operación del sistema, como parte del personal, **se requiere de un operario con una dedicación total de su jornada laboral.** Su función consiste, principalmente, en recibir y preparar la masa de residuos de entrada para alimentar al sistema con los RO. Su labor involucra la separación adecuada de RO (p. ej. remoción de bolsas, cubiertos, entre otros) para suministrarlos al biodigestor. Adicionalmente, los operarios deben supervisar los equipos de biodigestión y hacer un seguimiento a los parámetros de monitoreo.

El proceso del biodigestor, normalmente, es automatizado y requiere de una intervención mínima de los operarios. Ahora bien, la planta de biogás necesita del sistema de energía eléctrica de la terminal de transporte para su funcionamiento.

De acuerdo con el registro de residuos sólidos orgánicos, realizado por la UAESP en septiembre del 2021, **la producción diaria en la Terminal de Transporte de Bogotá corresponde a 2 toneladas de residuos orgánicos.** Por lo tanto, la cantidad de residuos orgánicos generada en la terminal de transporte es suficiente para alimentar al biodigestor. Dado lo anterior, no fue necesario contemplar costos de transporte adicionales para la recolección de residuos de otras fuentes de generación.

De llevarse a cabo, este sistema puede evitar que mínimo 423 toneladas de residuos orgánicos sean dispuestas en rellenos sanitarios cada año y, además, prevenir la emisión de al menos 491 toneladas anuales de dióxido de carbono equivalente a la atmósfera.

ANÁLISIS FINANCIERO

4.



GroundPicture/shutterstock.com

4.1. PROYECCIONES FINANCIERAS

En esta sección se describen los supuestos que se utilizaron para las proyecciones financieras, así como las variables macroeconómicas claves para el desarrollo del proyecto.



4.1.1. Supuestos de la proyección

El modelo financiero se elaboró en pesos colombianos y con valores del primer semestre del 2022.

Para el escenario planteado, la cantidad aproximada de gestión de residuos orgánicos es de 1,5 toneladas por día.

Para el escenario, se estableció un pago por el tratamiento de los residuos de 215 000 COP por tonelada alimentada al sistema. Este valor debe ser pagado por quienes generan los residuos sólidos y reciben los beneficios por la instalación del sistema y según la cantidad de residuos generados.

4.1.2. Variables macroeconómicas



Las variables macroeconómicas utilizadas para la proyección financiera del escenario planteado se presentan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Variables macroeconómicas utilizadas para la proyección financiera

Variable macroeconómica	Porcentaje/Valor
IPC 2022	5,7 %
SMMLV 2022	1 000 000 COP
Tarifa electricidad – consumo (COP/kWh)	520 COP
Tarifa electricidad – venta (COP/kWh)	400 COP
Precio venta de abono orgánico (COP/t)	150 000 COP
Costo tratamiento de residuos (COP/t)	215 000 COP
Ingresos estimados (COP/año 10)	185 400 000 COP

Fuente: BFS. (2022).

Algunas aclaraciones para precisar las variables de la Tabla 4.1 son:

- El IPC (índice de precio de consumo) es el valor anual establecido para el año 2022, entre los meses de enero y mayo.
- El SMMLV (salario mínimo mensual legal vigente) corresponde al fijado por la ley para el año 2022.
- Además de la remuneración base, se integran los demás componentes del salario como son auxilio de transporte, aportes parafiscales, pago de dotación y demás elementos que lo componen.
- Las tarifas de venta y consumo de electricidad son los valores promedio del año 2021 para el sector oficial.
- El precio de venta de abono orgánico y de gas natural es equivalente a los valores estándar del mercado para el año 2021.
- El costo de gestión de residuos sale del valor total del recaudo por concepto de gestión de residuos sólidos que debe ser suministrado por quienes se benefician del proyecto.

4.1.3. **Costos e ingresos**

En la Tabla 4.2, se presentan las inversiones, costos e ingresos para el escenario planteado. Para esto, se identificaron los costos de inversión sin y con la aplicación de los beneficios tributarios a los que el proyecto puede acceder.

En Colombia, los proyectos que apuesten por mejorar el medio ambiente pueden recibir incentivos en materia tributaria, conocidos como Beneficios Tributarios Ambientales. Entre estos existe, por ejemplo, el beneficio en Renta Ambiental, la exclusión del Impuesto al Valor Agregado (IVA) o, también, los incentivos de depreciación acelerada de activos y exención arancelaria. Para acceder a estos beneficios, es necesario la obtención de una certificación que acredite que el proyecto cumple con los requisitos para ser beneficiario. La certificación es emitida por la Unidad de Planeación Minero Energética para proyectos de FENC (fuentes de energía no convencional). Para los demás proyectos, la certificación se deberá tramitar ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) o la autoridad ambiental competente.

Por su parte, los análisis financieros se hicieron utilizando el valor del CAPEX con beneficios tributarios.

Tabla 4.2. Costos e ingresos estimados para el escenario planteado

Ítem	Valor
CAPEX (COP)	483 700 000 COP
CAPEX (con beneficios tributarios) (COP)	454 800 000 COP
OPEX (COP/año 0)	47 600 000 COP
OPEX (COP/año 10)	77 000 000 COP
Ingresos estimados (COP/año 0)	115 100 000 COP
Ingresos estimados (COP/año 10)	185 400 000 COP

Fuente: BFS. (2022).

Los costos esperados están relacionados con el consumo de energía, disposición de rechazos al relleno sanitario, disposición de lodos y mantenimiento de los equipos. También, incluyen los costos laborales asociados a los pagos de nómina para un operario a tiempo completo, que trabaja en el sistema de tratamiento, y el de un técnico especializado, requerido dos meses al año.

Por su parte, los ingresos se estimaron teniendo en cuenta lo siguiente:

- Generación de digestato que potencialmente puede servir como abono orgánico equivalente a 169 toneladas anuales.
- Ventas del 20 % del digestato generado anualmente a un valor de 150 000 COP por tonelada.
- 446 toneladas anuales de residuos orgánicos tratados en la terminal de transporte.
- Costo de disposición de residuos de 215 000 COP por tonelada pagada por quienes se benefician del proyecto.
- Generación de 35 650 kWh anuales de energía eléctrica para venta o consumo interno.
- Ventas del 100 % de la energía eléctrica generada por un valor de venta de 400 COP por kilovatio hora.

4.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En esta sección, se presentan los **resultados del valor actual neto y la tasa interna de retorno (a un período de 7 años)** para el escenario planteado. Se consideraron **4 distintas configuraciones** financieras para cubrir los costos de inversión:

- Sin inversión por parte de las entidades públicas.
- Inversión parcial por entidades públicas. Se presenta la inversión necesaria en porcentaje para tener una TIR a 7 años superior al 10 % y un VAN positivo, que varía por escenario.
- Inversión completa por entidades públicas teniendo en cuenta el período estimado para la recuperación de la inversión.
- Financiamiento del 30 % de la inversión por una entidad externa a las entidades públicas y a través de un mecanismo de deuda.

En la Tabla 4.3 se presenta un resumen del análisis de sensibilidad hecho para los diferentes escenarios propuestos.

Tabla 4.3. Resumen del análisis de sensibilidad para los escenarios propuestos

Alternativa financiera	Sin inversión por parte de las entidades públicas (con beneficios tributarios)			Inversión parcial por parte de entidades públicas (con beneficios tributarios)		Inversión completa por parte de entidades públicas	No hay inversión por parte de entidades públicas, pero sí una inversión externa con 30 % de deuda (7 años)	
	CAPEX (con beneficios tributarios)	TIR (a 7 años)	VAN	Inversión requerida para TIR > 10 % y VAN positivo	TIR (a 7 años)	Recuperación de la inversión	TIR (a 7 años)	VAN
Terminal de transporte	454 779 832 COP	-8,92 %	-277 120 629 COP	69 %	12,58 %	5 años	-8,92 %	-260 981 669 COP

Fuente: BFS. (2022).

Si no existe una inversión por parte de las entidades públicas, pero el proyecto sí cuenta con beneficios tributarios, los resultados varían frente al valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), como se ve en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Resultados del escenario para la terminal de transporte sin inversión de las entidades públicas

	Resultado				
	15 Años	**10 Años**	**8 Años**	**7 Años**	**5 Años**
VAN proyecto	- 145 996 044 COP	- 218 318 040 COP	- 255 980 629 COP	- 277 120 629 COP	- 324 692 843 COP
TIR proyecto	6,42 %	0,05 %	- 5,15 %	- 8,92 %	- 20,68 %

Fuente: BFS. (2022).

Para que el proyecto cuente con una TIR a 7 años superior al 10 % y un VAN positivo, la inversión parcial por parte de alguna entidad pública debe ser del 69 % del CAPEX, para así obtener los resultados expuestos en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Resultados para la terminal de transporte tras una inversión parcial por parte de las entidades públicas

	Resultado				
	15 Años	**10 Años**	**8 Años**	**7 Años**	**5 Años**
VAN proyecto	117 933 195 COP	54 109 364 COP	21 444 619 COP	3 261 834 COP	- 37 288 768 COP
TIR proyecto	22,44 %	18,85 %	15,34 %	12,58 %	3,04 %

Fuente: BFS. (2022).

Si no existe una inversión por parte de las entidades públicas, pero el proyecto sí cuenta con beneficios tributarios, los resultados varían frente al valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), como se ve en la Tabla 4.4.

Tabla 4.6. Resultados para la terminal de transportes con una inversión total por parte de las entidades públicas

	Resultado				
	15 Años	**10 Años**	**8 Años**	**7 Años**	**5 Años**
VAN proyecto	236 510 099 COP	176 504 285 COP	146 084 947 COP	129 230 766 COP	91 834 801 COP

Fuente: BFS. (2022).

Si no existe una inversión por parte de las entidades públicas, pero el proyecto sí cuenta con beneficios tributarios, los resultados varían frente al valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), como se ve en la Tabla 4.4.

Tabla 4.7. Resultados para la terminal de transporte si se recibe una inversión externa con 30 % de deuda

	Resultado				
	15 Años	**10 Años**	**8 Años**	**7 Años**	**5 Años**
VAN proyecto	- 96 808 596 COP	- 190 546 387 COP	- 236 142 440 COP	- 260 981 669 COP	- 315 194 985 COP
TIR proyecto	6,42 %	0,05 %	- 5,15 %	- 8,92 %	- 20,68 %

Fuente: BFS. (2022).

Freepik



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

5.

A continuación, se presentan las conclusiones del estudio y las recomendaciones para desarrollar un proyecto de gestión de residuos orgánicos con base en lo descrito en este informe.

5.1. AMBIENTAL

- La tecnología propuesta evitará que los residuos sólidos orgánicos generados en la terminal de transporte sean dispuestos en rellenos sanitarios, una vez esté vigente el procedimiento. De acuerdo con las estimaciones para los escenarios analizados, se encontró que existe potencial para:
  - Desviar 446 toneladas anuales de residuos sólidos, aproximadamente, de los rellenos sanitarios del país, según las estimaciones.
  - Evitar la liberación de alrededor de 491 toneladas anuales de dióxido de carbono equivalente.
  - Reducir la generación de lixiviados y su potencial riesgo de contaminar fuentes hídricas.
  - Implementar los conceptos propuestos desde su importancia para la valorización de residuos orgánicos y la reducción del uso de vertederos.

5.2. SOCIAL

- El proyecto de implementar sistemas descentralizados para el tratamiento de residuos sólidos funciona como un modelo de negocio rentable que genera nuevos empleos verdes.
- Impulsar estos sistemas permitirá que la industria relacionada con la fabricación y el mantenimiento de las tecnologías encuentre una mayor demanda, generando así empleos indirectos asociados a estos sistemas.
- El manejo adecuado de residuos sólidos en la ciudad tendrá un impacto positivo sobre la salud pública.





Prostock-studio/shutterstock.com

5.3. ECONÓMICA

- El valor del CAPEX depende principalmente de la capacidad del sistema y de la tecnología seleccionada.
- La implementación de un sistema descentralizado para la gestión de los residuos puede generar descuentos en el cobro asociado a esta actividad para quienes se benefician del sistema.
- El valor de la nómina es la cuenta con mayor participación dentro de los costos de operación del sistema en el escenario analizado.
- El cobro asociado a la gestión de los residuos sólidos para quienes se benefician del proyecto es el rubro con mayor participación porcentual, dentro de los ingresos estimados para cada escenario. Por lo tanto, los cambios en los ingresos obtenidos por la venta de subproductos no afectan significativamente el total de ingresos de los sistemas.
- La rentabilidad del proyecto depende principalmente de la inversión inicial y el apalancamiento financiero que se consiga.
- De acuerdo con el análisis de sensibilidad, se establece que:
  - Cuando no existe una inversión por parte de las entidades públicas, la TIR a 7 años es negativa (-8,92 %) y el VAN es de - 277 100 000 COP.
  - Con una inyección de recursos de alrededor de 313 800 000 COP, el escenario analizado cuenta con una TIR superior a 10 % después de 7 años y con un VAN positivo.
  - Si se contempla la inversión externa con 30 % de deuda, tanto la TIR como el VAN del proyecto son negativas.
  - Si se contempla la inversión completa por parte de las entidades públicas, el periodo de recuperación de la inversión es de aproximadamente 5 años.

5.4. RECOMENDACIONES

- Es necesario considerar la operación continúa de los sistemas de tratamiento para garantizar la recuperación de la inversión.
- En el caso de optar por recibir una inversión externa, es necesario considerar un convenio con duración mínima de 7 años.
- Se debe garantizar la continua sensibilización al público frente a la adecuada separación en la fuente, de forma tal que la tecnología opere adecuadamente.
- La operación de los sistemas necesita de dedicación y de personal capacitado, por lo que se recomienda trabajar con gestores especializados y bajo esquemas de contrato.



© Siwakorn1933/shutterstock.com

ANEXOS

6.



© Universidad Cooperativa de Colombia

6.1. DETALLES DEL SALARIO MÍNIMO MENSUAL LEGAL VIGENTE

Tabla 6.1. Detalles sobre el salario mínimo mensual legal vigente en Colombia

SMMLV	
Salario base mensual	1 000 000 COP
Auxilio de transporte	117 172 COP
Salud	85 000 COP
Pensión	120 000 COP
ARL (nivel de riesgo V)	69 600 COP
Parafiscales	90 000 COP
Prima	83 300 COP
Cesantías	83 300 COP
Intereses de cesantías	10 000 COP
Vacaciones	41 700 COP
Dotación aproximada	50 000 COP
Salario final mensual promedio	1 750 072 COP

Fuente: BFS. (2022).

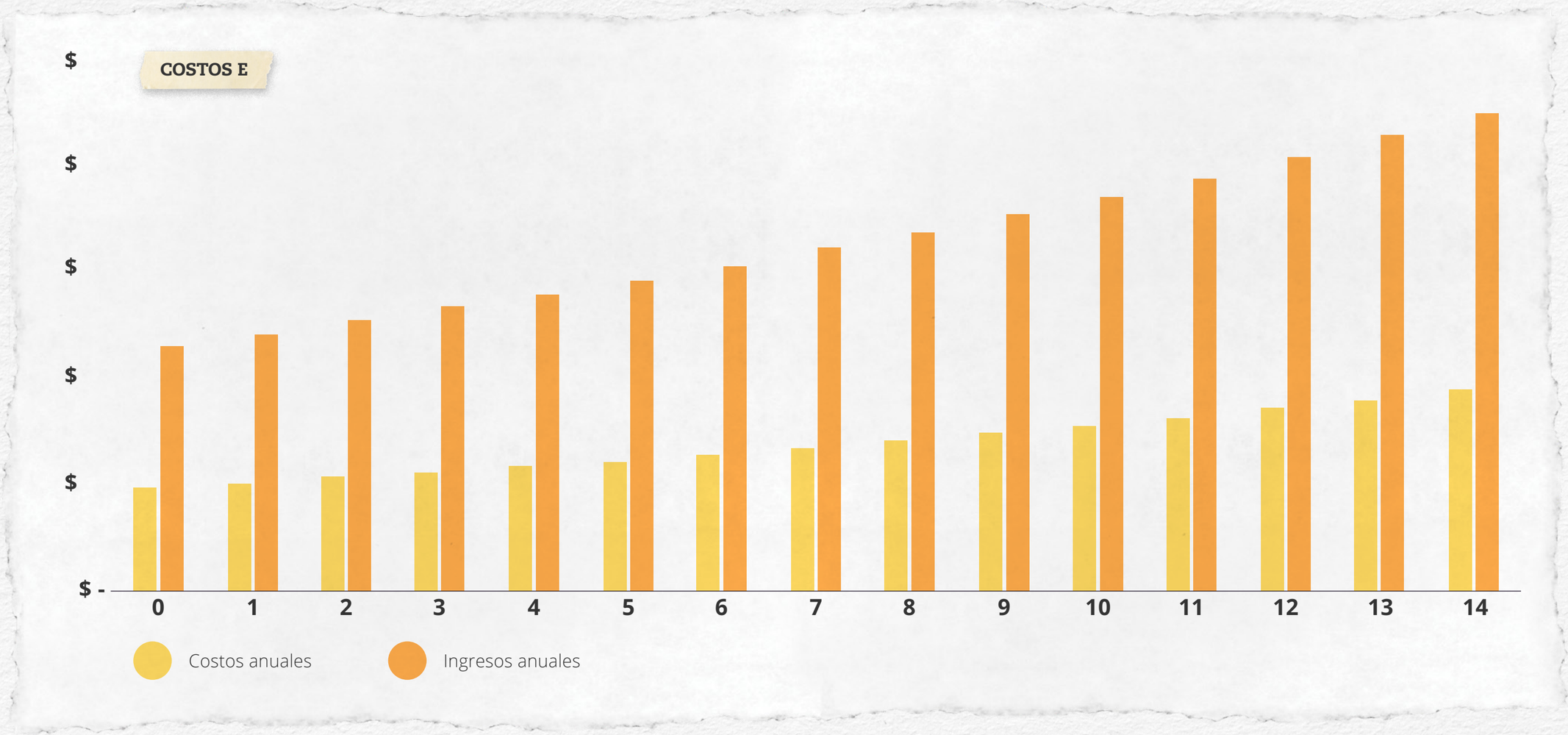
6.2. ESCENARIO FINANCIERO PARA EL TERMINAL DE TRANSPORTE

Tabla 6.2. CAPEX del escenario para la terminal de transporte

CAPEX	
Total sistema	483 671 072 COP
Costo maquinaría en COP	483 671 072 COP
Técnicos (2 personas 1 semana)	5 000 000 COP
20 m3 de estiércol	5 000 000 COP
Alquiler maquinaria pesada (3 días)	3 000 000 COP
Redes eléctricas	5 000 000 COP
Obra civil	5 000 000 COP
Imprevistos	25 333 554 COP
TOTAL (sin beneficios tributarios)	532 004 625 COP
Costo antes de IVA	- 406 446 279 COP
Beneficios tributarios	- 77 224 793 COP
TOTAL (con beneficios tributarios y descuento CAPEX)	454 779 832 COP

Fuente: BFS. (2022).

Figura 6.1. Costos e ingresos estimados para un período de 14 años en el escenario planteado para el terminal de transporte



Fuente: BFS. (2022).

Tabla 6.3. OPEX (año 0) para el escenario analizado para el terminal de transporte

Costo	Valor (COP)
Energía	3 432 000 COP
Laboral	29 165 364 COP
Mantenimiento	13 643 395 COP
Disposición de lodos	1354 320 COP
Vehículos	0
Costos anuales de operación	47 595 079 COP

Fuente: BFS. (2022).

Tabla 6.4. Ingresos (año 0) para el escenario de la terminal de transporte

Ingresos	Valor (COP)
Ingresos por venta de electricidad	14 256 000 COP
Ingresos por venta de fertilizante	5 078 700 COP
Ingresos por manejo de residuos	95 782 500 COP
Ingresos anuales esperados	115 117 200 COP
Ingresos mensuales esperados	9 593 100 COP

Fuente: BFS. (2022).



Daniel Hernández.

Tabla 6.3. OPEX (año 0) para el escenario analizado para el terminal de transporte

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CAPEX	454 779 832 COP					19 117 447 COP	13 467 604 COP	14 231 218 COP	15 038128 COP	15 890 790 COP	16 791 797 COP
Ingresos		115 117 200 COP	120 730 500 COP	126 618 763 COP	132 795 508 COP	139 274 923 COP	146 071 894 COP	153 202 042 COP	160 681761 COP	168 528 249 COP	176 759 559 COP
OPEX		47 595 079 COP	49 940 513 COP	52 401 846 COP	54 984 818 COP	57 695 453 COP	60 540 076 COP	63 525 324 COP	66 658 165 COP	69 945 910 COP	73 396 237 COP
EBITDA		30 318 655 COP	30 318 655 COP	30 318 655 COP	30 318 655 COP	30 318 655 COP	30 318 655 COP	30 318 655 COP	30 318 655 COP	30 318 655 COP	30 318 655 COP
Depreciación y amortización		37 203 466 COP	40 471 332 COP	43 898 261 COP	47 492 035 COP	51 260 814 COP	55 213 162 COP	59 358 062 COP	63 704 940 COP	68 263 683 COP	73 044 667 COP
EBIT		13 021 213 COP	14 164 966 COP	15 364 391 COP	16 622 212 COP	17 941 285 COP	19 324 607 COP	20 775 322 COP	22 296 729 COP	23 892 289 COP	25 565 633 COP
EBIT - Impuestos		24 182 253 COP	26 306 366 COP	28 533 870 COP	30 869 823 COP	33 319 529 COP	35 888 555 COP	38 582 741 COP	41 408 211 COP	44 371 394 COP	47 479 033 COP
PBT		0	67 522 121 COP	70 789 987 COP	74 216 917 COP	77 810 690 COP	81 579 470 COP	85 531 818 COP	89 676 718 COP	94 023 596 COP	98 582 339 COP
Impuestos		67 522 121 COP	70 789 987 COP	74 216 917 COP	77810 690 COP	81 579 470 COP	85 531 818 COP	89 676 718 COP	94 023 596 COP	98 582 339 COP	103 363322 COP
PAT	- 454 779 832 COP	- 13 021 213 COP	53 357 155 COP	55 425 596 COP	57 594 705 COP	40 751 958 COP	48 787 258 COP	50 525 278 COP	52 341 861 COP	54 240 517 COP	56 224 908 COP
Flujo de caja libre		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: BFS. (2022).

6.3. **INDICACIÓN DE PRECIO PARA ESCENARIOS B2 Y C**

Tabla 6.6. Ejemplo de cotización para los escenarios B2 y C dados por la consultora internacional

BM Budget Prices Food Waste

BIOGAS PLANT BASED ON FOOD WASTE - TROPICAL CLIMATE - COOKING					
CAPACITY	**1-1.5 TPD**	**3 TPD**			
Budget prices	39.484 €	63.438 €			
BIOGAS PLANT BASED ON FOOD WASTE - COLD CLIMATE - COOKING					
CAPACITY	**1-1.5 TPD**	**3 TPD**			
Budget prices	46.270 €	74.288 €			
BIOGAS PLANT BASED ON FOOD WASTE - TROPICAL CLIMATE - POWER GENERATION					
CAPACITY	**1-1.5 TPD**	**3 TPD**	**6 TPD**	**9 TPD**	
Budget prices	46.500 €	76.300 €	140.210 €	202.388 €	
BIOGAS PLANT BASED ON FOOD WASTE - COLD REGION - POWER GENERATION					
CAPACITY	**1-1.5 TPD**	**3 TPD**	**6 TPD**	**9 TPD**	
Budget prices	64.138 €	105.595 €	192.780 €	279.720 €	

All prices with CHP are no EU CHP. For EU CHP price can increase up to 30 %.

Fuente: Bert Energy GmbH. (2022).

Notas

Los valores de CAPEX indicados están sujetos a ajustes. Para solicitar una factura oficial a Bert Energy GmbH, para efectos de una licitación pública, es necesario contar con más información sobre las características específicas de los residuos orgánicos a tratar en cada escenario.

Como parte del análisis financiero, se consideran los ajustes 1 y 2 para obtener el valor total de CAPEX a utilizar:

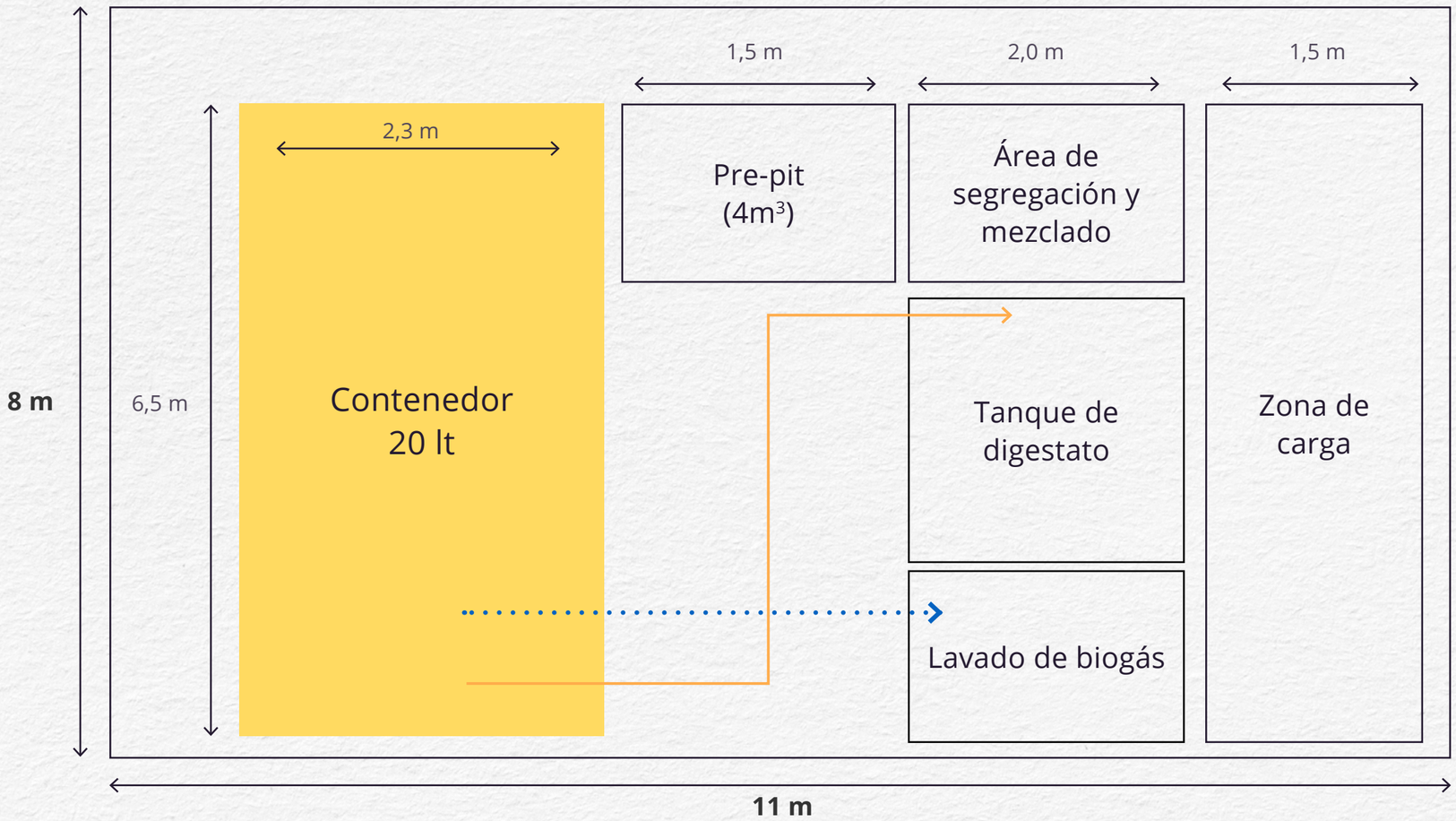
- **Ajuste 1,** por inflación y posible aumento de commodities:
  - **Indicación de precio (ID)** (escenario B2) **+ (20 %*ID)**

- **Ajuste 2,** por impuestos de envío e importación de la tecnología:
  - **80 %*(Indicación de precio (ID)** (escenario B2 o C) **+ Ajuste 1)**

- **CAPEX total** (escenario B2) = Indicación de precio (escenario B2) + Ajuste 1 + Ajuste 2

6.4. **PROPUESTA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE ESPACIO EN EL ESCENARIO B2**

Tabla 6.2. Propuesta para la distribución del espacio del escenario B2



Fuente: (BFS). (2021).

Nota: el espacio mínimo requerido para el desarrollo del proyecto es de 88 m².

BIBLIOGRAFÍA

Breukers, L. & Puentes, F. (2021). Tratamiento de residuos sólidos en el marco del servicio público de aseo. Banco Mundial y Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/20210830-reporte-final-wb_v3_0.pdf

Suárez-Chernov, V. , López-Díaz , I., & Álvarez-González , M. (2019). Estimación de la producción de biogás a partir de un modelo de simulación de procesos. Revista Centro Azúcar, 46(1), 13. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/46

Tavera, D., Botsch, P., Puentes & Vidyaranya, V. (2022). Análisis de la viabilidad técnico-económica para proyectos de tratamiento in situ de residuos orgánicos en las Plazas Distritales de Mercado de Bogotá. Enfoque en la Plaza Distrital de Mercado Quirigua. GIZ Colombia & BlackForest Solutions GmbH. Bogotá, Colombia.

Vögeli, Y. et al. (2014). Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries: Practical Information and Case Studies. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.



Daniel Hernández.



ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA EL TRATAMIENTO IN SITU DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Enfoque en la Terminal de Transporte de Bogotá

cooperación alemana
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Implementado por
giz

BLACKFOREST
SOLUTIONS