



Estudios

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA PROYECTOS DE TRATAMIENTO *IN SITU* DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN LAS PLAZAS DISTRIALES DE MERCADO DE BOGOTÁ

ENFOQUE EN LA PLAZA DISTRIAL
DE MERCADO QUIRIGUA



ArieStudio/shutterstock.com



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

Análisis de la viabilidad técnico-económica para proyectos de tratamiento *in situ* de residuos orgánicos en las Plazas Distritales de Mercado 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:

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

Revisores externos:

Rafaela Craizer, Peter Foerster, Paula Jiménez.

Fotografías:

BlackForest Solutions GmbH
Bert Energy GmbH
Compost Baladi SAS
Global. Bogotá, Colombia

Cita sugerida

Tavera Jiménez, D., Botsch Cellete Gómez, 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.

Diseño y diagramación



.PUNTOAPARTE EDITORES

www.puntoaparte.com.co

Dirección editorial

Andrés Barragán

Revisión editorial

Juan Mikán
Andrés Hernández
Jimena Martínez Argüeyo

Dirección de arte

Jeisson Reyes

Diseño y diagramación

Jeisson Reyes
Luisa Monroy

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 encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania.

Las ideas vertidas 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

Abreviaturas

7

Aviso

7

Resumen ejecutivo

Pág. 8



1. Descripción del proyecto

Pág. 12

1.1

Contexto

13

1.2

Metodología

14

Fase A

14

Fase B

17

Fase C

20

2. Tecnologías factibles para el tratamiento de residuos orgánicos in situ en PDM

Pág. 21

2.1

Compostaje

22

Descripción de la tecnología

23

Análisis FODA

28

2.2

Digestión anaerobia

29

Descripción de la tecnología

30

Análisis FODA

35

3. Detalles de escenarios

Pág. 36

3.1

Escenario A

37

3.2

Escenario B1

39

3.3

Escenario B2

40

3.4

Escenario C

41

3.5

Riesgos y recomendaciones

43

3.6

Consideraciones adicionales

46

4.

Analisis financiero

Pág. 47

4.1

Proyecciones financieras para los escenarios 48

Supuestos de la proyección 48

Variables macroeconómicas 48

Costos e ingresos 49

Costos e Ingresos - Escenario A 50

Costos e Ingresos - Escenario B1 50

Costos e ingresos - Escenario B2 50

Costos e ingresos - Escenario C 50

4.2

Analisis de sensibilidad para los escenarios 51

5.

Lista de proveedores de tecnología

Pág. 53

5.1

Proveedores para el compostaje 54

5.2

Proveedores para digestión anaerobia 55

6.

Conclusiones y recomendaciones finales

Pág. 56

6.1

Ambiental 57

6.2

Social 57

6.3

Económica 57

6.4

Recomendaciones 58

7.

Anexos

Pág. 59

7.1

Matriz multicriterio, parte 1 60

7.2

Matriz multicriterio, parte 2 62

7.3

Datos de proveedores de tecnología 63

7.4

Detalles sobre el salario mínimo mensual legal vigente 66

7.5

Escenario A y sus detalles financieros 66

7.6

Escenario B1 y sus detalles financieros 69

7.7

Escenario B2 y sus detalles financieros 71

7.8

Escenario C y sus detalles financieros mínimo mensual legal vigente..... 73

7.9

Ejemplo de cotización para Escenario A... 75

7.10

Ejemplo de cotización para Escenario B1 75

7.11

Indicación de precio para Escenarios B2 y C 76

7.12

Propuesta distribución de espacio para el Escenario A 77

7.13

Propuesta distribución del espacio Escenario B1 78

7.14

Propuesta distribución de espacio – escenario B2..... 79

7.15

Propuesta distribución de espacio – escenario C 80

Bibliografía 81

LISTA DE TABLAS

Tabla 0.1. Características de los escenarios planteados	9	Tabla 2.6. Proceso de compostaje	32	Tabla 4.4. Resultados del escenario B2 sin inversión por parte de las entidades públicas	52	Tabla 7.5. Ingresos (año 0) del Escenario A	67
Tabla 0.2. Costos e ingresos estimados para los escenarios planteados	10	Tabla 2.7. Factores operacionales relevantes para la solución de digestión anaerobia	34	Tabla 4.5. Resultados del escenario B2 con inversión parcial por parte de las entidades públicas	52	Tabla 7.6. Flujo de caja del Escenario A ...	68
Tabla 0.3. Resultados del análisis de sensibilidad para los escenarios propuestos	11	Tabla 2.8. Análisis FODA de digestión anaerobia	35	Tabla 4.6. Resultados del escenario B2 con una inversión total por parte de las entidades públicas	52	Tabla 7.7. CAPEX del Escenario B1	69
Tabla 1.1. Criterios de evaluación para la matriz multicriterio de Plazas Distritales de Mercado de Bogotá	15	Tabla 3.1. Parámetros operativos del Escenario A	37	Tabla 4.7. Resultados del escenario B2 con una inversión externa con el 30 % de deuda	52	Tabla 7.8. OPEX (año 0) para el Escenario B1	69
Tabla 1.2. <i>Ranking</i> de puntuación de PDM en Bogotá	15	Tabla 3.2. Parámetros operativos del Escenario B1	39	Tabla 5.1. Lista preseleccionada de empresas de tecnología potenciales para el compostaje	54	Tabla 7.9. Ingresos (año 0) del Escenario B1	69
Tabla 1.3. Resultados de visitas a Plazas Distritales de Mercado y selección de PDM Quirigua	16	Tabla 3.3. Parámetros operativos para el Escenario B2	40	Tabla 5.2. Lista preseleccionada de empresas de tecnología potenciales para escenarios de digestión anaerobia	55	Tabla 7.10. Flujo de caja en el Escenario B1	70
Tabla 2.1. Fases del proceso de compostaje	22	Tabla 3.4. Parámetros operativos del Escenario C	41	Tabla 7.1. Lista con proveedores de tecnología	63	Tabla 7.11. CAPEX del Escenario B2	71
Tabla 2.2. Cómo es el proceso de compostaje con la tecnología propuesta...	25	Tabla 3.5. Matriz de riesgos y recomendaciones	43	Tabla 7.2. Detalles sobre el salario mínimo mensual legal vigente en Colombia	66	Tabla 7.12. OPEX (año 0) del Escenario B2	71
Tabla 2.3. Factores operacionales relevantes para la solución de compostaje	27	Tabla 3.6. Resumen de consideraciones a contemplar en caso de optar por el enfoque de algún escenario	46	Tabla 7.3. CAPEX para Escenario A	66	Tabla 7.13. Ingresos (año 0) del Escenario B2	71
Tabla 2.4. Análisis FODA de la estrategia de compostaje en contenedores cerrados	28	Tabla 4.1. Variables macroeconómicas utilizadas para la proyección financiera	48	Tabla 7.4. OPEX (año 0) para Escenario A	67	Tabla 7.14. Flujo de caja del Escenario B2 ..	72
Tabla 2.5. Fases de la digestión anaerobia	29	Tabla 4.2. Costos e ingresos estimados para los escenarios planteados	49	Tabla 7.5. CAPEX del Escenario C	73	Tabla 7.15. OPEX (año 0) para el Escenario C	73
		Tabla 4.3. Resumen de análisis de sensibilidad para los cuatro escenarios propuestos	51			Tabla 7.16. Ingresos (año 0) para el Escenario C	73
						Tabla 7.17. Flujo de caja para el Escenario C	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Características principales de la PDM Quirigua.....	16	Figura 2.6. Mezcla de compost con ayuda de un minicargador realizada una vez por semana	25	Figura 2.15. Toma de muestra para asegurar la calidad	32	Figura 7.6. Costos e ingresos estimados para un período de 14 años en el Escenario C	73
Figura 1.2. Detalles principales sobre los 4 escenarios evaluados en el proyecto	18	Figura 2.7. Proceso de cribado	26	Figura 2.16. Determinación de producción de biogás a través de gasómetro	33	Figura 7.7. Ejemplo cotización escenario A	75
Figura 1.3. Visión general de la herramienta financiera desarrollada para modelar los escenarios	19	Figura 2.8. Almacenamiento de compost en bolsas	26	Figura 2.17. Salida de digestato al tanque de almacenamiento	33	Figura 7.8. Ejemplo de cotización escenario B1	75
Figura 1.4. Resumen de las fases y actividades principales del proyecto	20	Figura 2.9. Sistema de digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos para 1,5 t RO/día.....	30	Figura 7.1. Desglose de matriz multicriterio	60	Figura 7.9. Modelo cotización para Escenario B2 y C	76
Figura 2.1. Sistema de compostaje continuo con aireación forzada en contenedores cerrados	23	Figura 2.10. Sistema de digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos para 6 t RO/día	30	Figura 7.2. Detalles sobre criterios de evaluación, peso asignado y criterios de evaluación y su calificación	62	Figura 7.10. Propuesta para la distribución del espacio del Escenario A..	77
Figura 2.2. Paso a paso para el compostaje en contenedores cerrados con un sistema de aireación.....	23	Figura 2.11. Paso a paso para la conversión de residuos orgánicos a biogás	31	Figura 7.3. Costos e ingresos estimados para un período de 14 años en el Escenario A	67	Figura 7.11. Propuesta para distribución del espacio del Escenario B1	78
Figura 2.3. Mezcla de residuos orgánicos con material de carbono	25	Figura 2.12. Mezcla de residuos orgánicos con agua para la formación de lodo	32	Figura 7.4. Costos e ingresos estimados para un período de 14 años con el Escenario B1	69	Figura 7.12. Propuesta distribución de espacio para el Escenario B2	79
Figura 2.4. Interior del contenedor de compostaje con red de aireación	25	Figura 2.13. Tanque de almacenamiento de lodo	32	Figura 7.5. Costos e ingresos estimados para un período de 14 años con el Escenario B2	71	Figura 7.13. Propuesta distribución de espacio para el Escenario C	80
Figura 2.5. Alimentación de la mezcla de sustratos para contenedor de compostaje	25	Figura 2.14. Biodigestor	32				

ABREVIATURAS

BFS	BlackForest Solutions GmbH	IPC	Índice de precio al consumidor	SMMLV	Salario mínimo mensual legal vigente
BMZ	Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo	IPES	Instituto para la Economía Social	TIR	Tasa interna de retorno
COP	Pesos colombianos	PDM	Plaza Distrital de Mercado	UAESP	Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos
ENEC	Estrategia Nacional de Economía Circular	PREVEC	Programa Empleo Verde en la Economía Circular	VAN	Valor actual neto
GEI	Gases de efecto invernadero	RO	Residuos orgánicos		
GIZ	Cooperación Alemana para el Desarrollo				

AVISO

El presente informe es un estudio de prefactibilidad cuya intención principal es servir como herramienta para la toma de decisiones. En caso de optar por la implementación de alguna de las opciones propuestas, será necesario realizar un proyecto ejecutivo y de factibilidad enfocado en el estudio y afinación de la información correspondiente.





RESUMEN EJECUTIVO

BlackForest Solutions GmbH (BFS) fue contratada para apoyar con el cumplimiento de uno de los objetivos del PREVEC (Proyecto Empleos Verdes en la Economía Circular) relacionado con identificar modelos de negocio viables para el aprovechamiento de residuos orgánicos.

Para este propósito, se llevó a cabo 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 producto del estudio, se escribió el presente reporte que busca servir como herramienta para la toma de decisiones. El reporte se compone de siete capítulos que consolidan la información recopilada. A lo largo de su desarrollo, se abarca el contexto del proyecto, la descripción de la metodología implementada para definir los escenarios, los detalles técnicos correspondientes a las tecnologías de tratamiento de residuos seleccionadas, los resultados del análisis financiero y las conclusiones.

El primer capítulo brinda una breve **introducción al contexto del proyecto y una descripción detallada de la metodología que se llevó a cabo**. A grandes rasgos, la metodología consistió en el desarrollo de tres fases:

✧ En la fase A, se definió el objetivo y enfoque del proyecto. Se diseñó una matriz multicriterio que evaluó puntos clave de 14 PDM para llegar a la selección de la PDM Quirigua como caso de estudio.

✧ En la **fase B**, se examinaron las características de la PDM Quirigua y, así, **se definieron 4 escenarios** con distintos volúmenes de residuos a tratar. Luego, se estudiaron dos tecnologías y se asignó una opción adecuada para cada escenario. Además, se realizó la **evaluación técnico-económica** correspondiente.

✧ En la **fase C**, se adaptaron los cambios finales sobre los modelos de negocio y se elaboró el **reporte final**.

El **capítulo 2** profundiza el estudio de las tecnologías elegidas y brinda el contexto para los capítulos 3 y 4. Se incluye la introducción a los principios de compostaje y digestión anaerobia, se muestran los **pasos del proceso de ambas tecnologías** y se señalan los factores operativos generales. Se concluye con un **análisis FODA** de las tecnologías seleccionadas.

El **capítulo 3 describe los detalles técnicos de los escenarios**. Es decir, se muestran los parámetros operativos específicos para cada escenario y una breve explicación sobre las observaciones principales. Se incluye una tabla que presenta los riesgos identificados para la implementación de los escenarios y las recomendaciones para su mitigación. **Las características principales de los escenarios planteados aparecen en la Tabla 0.1.**

UAESP





Tabla 0.1 Características de los escenarios planteados

Ítem/escenario	A	B1	B2	C
Capacidad del sistema (t 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), según la tecnología de compostaje cerrado: reducción de emisiones del 42 % contra la disposición en relleno sanitario, mientras que la digestión anaerobia es de un 58 % (Breukers Linda, 2021).	47	237	491	1963
Espacio requerido (m²)	67,5	177	88	208
Personal requerido	1 operario de medio tiempo (por 20 horas a la semana)	1 operario de 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 (m³/a)	N/A	N/A	22 431 (equivalente a 11 215 m³ de gas natural al año)	89 724 (equivalente a 44 862 m³ de gas natural al año)
Generación de energía eléctrica (kWh)	N/A	N/A	N/A	204 600

Fuente: BFS. (2021).



El **capítulo 4** **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.

Los resultados principales del capítulo 4 incluyen los datos descritos en la Tabla 0.2. Se finaliza el capítulo con un resumen del **análisis de sensibilidad**, tal y como se muestra en la Tabla 0.3. Este análisis consistió en evaluar la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN) a un período de 7 años frente a los costos de inversión (CAPEX) de cada escenario y para distintos escenarios y configuraciones financieras como:

- ✧ Sin inversión por parte de las entidades públicas.
- ✧ Inversión parcial por entidades públicas para tener una TIR a 7 años superior al 10 % y un VAN positivo.
- ✧ Inversión completa por entidades públicas aclarando el período estimado para la recuperación de la inversión.
- ✧ Financiamiento del 30 % de la inversión por parte de una entidad externa a las entidades públicas, a través de un mecanismo de deuda.
- ✧ Existen las alternativas de inversión total e inversión parcial por parte de las entidades públicas para lograr un TIR y VPN positivo y están descritas en la sección de anexos.

Tabla 0.2. Costos e ingresos estimados para los escenarios planteados

Ítem/Escenario	A	B1	B2	C
CAPEX (COP), con beneficios tributarios (como exclusión del IVA para la inversión) porque los sistemas ayudan al mejoramiento, sistemas de control y monitoreo del medio ambiente	57 500 000 COP	82 200 000 COP	280 000 000 COP	1 209 500 000 COP
OPEX (COP/año 0)	12 100 000 COP	50 300 000 COP	59 500 000 COP	164 400 000 COP
Ingresos estimados (COP/año 0)	15 500 000 COP	72 300 000 COP	121 300 000 COP	485 300 000 COP
Costo de tratamiento de residuos (COP/t/año 0)	203 716	169 347	133 651	92 237

 **Fuente:** BFS. (2021).

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

Escenario	A	B1	B2	C
Alternativa 1: sin inversión por parte de las entidades públicas				
TIR (7 años)	-15,40 %	12,35 %	7,46 %	11,92 %
VAN	Negativo	Positivo	Negativo	Negativo
Alternativa 2: inversión parcial por entidades públicas				
Inversión requerida para TIR > 10 % y VAN positivo	42 000 000 COP 73 % de CAPEX	0 0 %	42 000 000 COP 15 % de CAPEX	25 000 000 COP 2 %
TIR (7 años)	12, 34 %	12,35 %	12,12 %	12,53 %
Alternativa 3: inversión completa por entidades públicas (utilidad y reducción del costo de gestión de residuos desde el año 1)				
Tiempo de retorno de inversión	8 a 9 años	4 a 5 años	4 a 5 años	3 a 4 años
Alternativa 4: no hay inversión por parte de entidades públicas pero la inversión externa es con el 30 % de deuda (7 años)				
TIR (7 años)	-30,75 %	15,5 %	8,80 %	14,93 %
VAN	Positivo	Positivo	Negativo	Positivo

Fuente: BFS. (2021).

Algunos hallazgos incluyen:

- 
 Cubrir los costos operacionales de los escenarios no depende de la venta de los subproductos del sistema (abono, biogás, energía), como suele suceder en los sistemas centralizados de tratamiento de residuos orgánicos en Colombia. Esto ayuda significativamente a lograr la sostenibilidad financiera de los escenarios.
- 
 Se destaca la posibilidad de implementar un sistema usando la tecnología de digestión anaerobia para la producción de gas o energía (escenarios B2 y C, respectivamente), siempre y cuando exista una inversión parcial o completa por parte de alguna entidad pública. Desarrollar uno de estos escenarios puede ayudar a cimentar el camino para el uso masivo de esta tecnología en el país.
- 
 Lograr la recuperación de la inversión, así como contar con una TIR superior al 10 % (un resultado favorable y esperado) y un VAN positivo, que requiere de períodos, en promedio, de 5 años.

El capítulo cinco muestra la lista preseleccionada de las empresas de tecnología que son potenciales aliadas y la información sobre la tecnología mapeada, punto de contacto, página web,

clientes principales, entre otros. En total, se incluyen seis empresas de compostaje y siete de digestión anaerobia. Su selección final fue definida a partir de la comunicación con los proveedores o el análisis de la factibilidad a través de consultar sus sitios web. Cabe aclarar que **los dos proveedores que brindaron detalles técnicos y financieros fueron Compost Baladi S.A.S. y Bert Energy GmbH.**

El capítulo seis presenta las **conclusiones del estudio desde el punto de vista ambiental, social y económico.** Se realiza la recomendación de desarrollar un proyecto con base en lo descrito en este informe y se incluyen consideraciones adicionales en caso de optar por su implementación.

Los **anexos** incluyen información complementaria sobre los resultados detallados de la matriz multicriterio, una lista comprensiva de los proveedores de tecnología identificados con sus contactados, una tabla con los componentes del salario mínimo mensual legal vigente en Colombia, los detalles financieros de los escenarios, dos cotizaciones para los escenarios A y B1 y las indicaciones de precio para los escenarios B2 y C. Finalmente, se especificó la propuesta de distribución de espacio correspondiente a cada escenario.



Análisis de la viabilidad técnico-
económica para proyectos de tratamiento
in situ de residuos orgánicos en las Plazas
Distritales de Mercado de Bogotá

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.





1.1 CONTEXTO

En línea con el contexto global encaminado a una transición hacia una economía circular y su compromiso dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022 por la gestión medioambiental y mitigación del cambio climático, Colombia desarrolló la ENEC (Estrategia Nacional de Economía Circular).

En la ENEC se prioriza el manejo integral de los residuos sólidos y se promueve su reincorporación como materia prima secundaria en los procesos de producción (Gobierno de la República de Colombia, 2019). Así, en 2018, por encargo del Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ, por sus siglas en alemán), el Gobierno de la República Federal de Alemania y el Gobierno de la República de Colombia acordaron la creación del Proyecto Empleos Verdes en la Economía Circular (PREVEC).

El PREVEC tiene como objetivo cooperar, con actores de la sociedad civil, sector privado y academia, para mejorar el reciclaje de residuos por medio de estrategias de economía circular inclusivas, en las ciudades de Bogotá y Cúcuta.

Entre sus principales indicadores, se plantea aumentar la tasa de reciclaje en las ciudades priorizadas e identificar modelos de negocios inclusivos para el reciclaje de determinados residuos aprovechables.

BlackForest Solutions GmbH (BFS) fue contratada para apoyar el cumplimiento de los propósitos estipulados. Para lograrlo, llevó a cabo un estudio exhaustivo para proponer soluciones de tratamiento *in situ* para la gestión de residuos orgánicos en las Plazas Distritales de Mercado (PDM) de Bogotá. Tomando en cuenta la importancia de plantear alternativas económicamente factibles, el equipo de BFS identificó y estudió tecnologías y proveedores nacionales e internacio-

nales. Además, para asegurar que las soluciones sean replicables, se analizaron elementos claves sobre el contexto actual de gestión, generación de residuos y características de las PDM. Finalmente, se definieron cuatro escenarios con una configuración e implicaciones financieras particulares. Para estos escenarios, se contemplaron cuatro volúmenes de generación de residuos orgánicos, compostaje y digestión anaerobia, además de las opciones de tratamiento de residuos, como se ve más adelante en la Figura 1.2.

A continuación, en el apartado de metodología, se mencionan algunos de los detalles sobre las fases en las que se llevó a cabo el proyecto. La metodología para el desarrollo del proyecto consistió en 3 fases principales: la Fase A, B y C.





1.2 METODOLOGÍA

Fase A

Durante la **Fase A se definió el objetivo y enfoque del proyecto y la selección de la PDM utilizada como caso de estudio**. Para ello, se comenzó por entender las expectativas de los actores principales: del IPES (Instituto para la Economía Social), el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible y la UAESP (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos). El PREVEC organizó una reunión virtual para introducir al equipo de trabajo al proyecto y alinear objetivos. Los actores principales mencionaron su interés por:

- ✦ Generar un beneficio ambiental para las Plazas Distritales de Mercado de Bogotá.
- ✦ Evaluar opciones para el tratamiento *in situ* de los residuos orgánicos.
- ✦ Implementar proyectos que puedan ser replicables en el resto del país.

Tras haber comprendido el enfoque del proyecto, se diseñó una metodología cualitativa y cuantitativa para la **selección de una Plaza Distrital de Mercado con características aptas para la**

implementación del tratamiento de residuos orgánicos in situ. El proceso está basado en el principio del embudo.

Primero, se desarrolló una matriz multicriterio que tomó en cuenta la evaluación de los puntos clave de las 14 PDM preseleccionadas. Se utilizaron como criterios primordiales:

- ✦ Gestión y tratamiento de residuos.
- ✦ Flujo de comerciantes.
- ✦ Ubicación.
- ✦ Disposición del personal para cooperar en iniciativas medioambientales, entre otros (referidas en la Tabla 1.1).

Es importante mencionar que se utilizaron los documentos compartidos por el IPES y UAESP como información base para el estudio (por ejemplo, el

estudio “Información, manejo y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos”).

Después, se asignó una prioridad “alta”, “media” o “baja” a cada criterio, junto con un valor de 0.15, 0.1 y 0.05, respectivamente. A través del análisis de la información recopilada, se dio una calificación de 0, 50 o 100 para cada uno. Por ejemplo, la PDM “Las Ferias” es un gran generador de residuos, por

lo que su calificación correspondiente al criterio de volumen de generación de residuos es 100. En resumen, se multiplicó la prioridad de cada criterio por su calificación correspondiente. Este proceso se repitió para cada PDM. Como resultado, se obtuvo un *ranking* de las PDM y resaltaron las seis con mejor puntuación: “Las Ferias”, “20 de Julio”, “Quirigua”, “Carlos E. Restrepo”, “Kennedy” y “Fontibón”. Para más detalles, ver Tabla 1.2 y Anexo 7.1.

Posteriormente, se hicieron **visitas para validar la información de las PDM** de la Tabla 1.2. Se corroboró la disponibilidad de espacio, cantidad

 teatian/shutterstock.com



Tabla 1.1. Criterios de evaluación para la matriz multicriterio de Plazas Distritales de Mercado de Bogotá

Criterios de evaluación	
Gestión de residuos	1 Volumen de generación de residuos
	2 Separacion de residuos en sitio
	3 Iniciativas de sustentabilidad implementadas con éxito
	4 Programa de sensibilización
Tratamiento de residuos	5 Involucramiento de la población recicladora
	6 Espacio disponible para tratamiento en sitio
Generalidades	7 Número de comerciantes
	8 Priorización distrital
	9 Proximidad a otra plaza de mercado
	10 Disposición de plaza a cooperar en implementación de iniciativas

Fuente: BFS. (2021).

Tabla 1.2. Ranking de puntuación de PDM en Bogotá

1. Plaza de mercado LAS FERIAS P 88,5 	3. Plaza de mercado QUIRIGUA P 76,5 	5. Plaza de mercado KENNEDY P 52 	P Puntuación final Gran generador de residuos Medio generador Disponibilidad de espacio en sitio (poco) Disponibilidad de espacio en sitio (amplio) Posible disponibilidad de espacio en sitio Separación de residuos en sitio Sin separación de residuos en sitio Sin disponibilidad de espacio en sitio
2. Plaza de mercado 20 DE JULIO P 76,5 	4. Plaza de mercado CARLOS E. RESTREPO P 67,5 	6. Plaza de mercado FONTIBÓN P 47 	
Fuente: BFS. (2021). de residuos por mes, la separación de residuos en la fuente, ubicación estratégica o proximidad a otras PDM y el porcentaje de ocupación. Como se puede observar en la Tabla 1.3, a partir de las observaciones realizadas durante las visitas y la prioridad asignada a los criterios, la Plaza Distrital de Mercado Quirigua recibió la puntuación final más alta y, por ende, fue seleccionada como caso de estudio. En resumen: ✦ PDM Quirigua cuenta con al menos 72 m² y máximo 200 m² disponibles (en un espacio baldío en el parqueadero) para colocar una planta de tratamiento de RO sólidos. ✦ Por ser un generador de residuos “medio” de casi 5 toneladas de RO por mes y su			
proximidad a otras PDM, puede recibir y gestionar los RO sólidos de otras ubicaciones.			

✦ En PDM Quirigua, los comerciantes reciben capacitaciones de sensibilización recurrentes y practican la separación de residuos en la fuente. Para ampliar, consultar la Figura 1.1.

✦ A pesar de que la PDM Kennedy tiene un área de casi 200 m2 disponibles, el terreno está en disputa con la alcaldía desde hace más de 8 años. Por esta razón, se descartó como opción en un corto plazo.

Fuente: BFS. (2021).

de residuos por mes, la separación de residuos en la fuente, ubicación estratégica o proximidad a otras PDM y el porcentaje de ocupación.

Como se puede observar en la Tabla 1.3, a partir de las observaciones realizadas durante las visitas y la prioridad asignada a los criterios, la **Plaza Distrital de Mercado Quirigua recibió la puntuación final más alta y, por ende, fue seleccionada como caso de estudio.** En resumen:

✦ PDM Quirigua cuenta con al menos 72 m² y máximo 200 m² disponibles (en un espacio baldío en el parqueadero) para colocar una planta de tratamiento de RO sólidos.

✦ Por ser un generador de residuos “medio” de casi 5 toneladas de RO por mes y su

proximidad a otras PDM, puede recibir y gestionar los RO sólidos de otras ubicaciones.

✦ En PDM Quirigua, los comerciantes reciben capacitaciones de sensibilización recurrentes y practican la separación de residuos en la fuente. Para ampliar, consultar la Figura 1.1.

✦ A pesar de que la PDM Kennedy tiene un área de casi 200 m2 disponibles, el terreno está en disputa con la alcaldía desde hace más de 8 años. Por esta razón, se descartó como opción en un corto plazo.

Tabla 1.3. Resultados de visitas a Plazas Distritales de Mercado y selección de PDM Quirigua

Plaza Distrital de Mercado	Quirigua	Kennedy	Las Ferias	Restrepo	20 de Julio	Fontibón
Puntuación	2,4	2,4	2	1,9	2,3	1,3
Criterios						
Cantidad de residuos (t/mes)	Baja	Baja	Alta	Media	Media	Baja
Separación en la fuente	Media	Alta	Alta	Baja	Alta	Media
Espacio disponible	Alta	Alta	Baja	Media	Media	Baja
Ubicación (contexto)	Alta	Alta	Baja	Media	Media	Baja
Ocupación	Alta	Baja	Alta	Alta	Alta	Media

Evaluación



Fuente: BFS. (2021).

La Fase A concluyó con la presentación de los resultados ante la UAESP e IPES y con la sugerencia del enfoque del proyecto en la plaza Quirigua.

Criterio	Ponderador
Cantidad de residuos (t/mes)	0,2
Separación en la fuente	0,2
Espacio disponible	0,4
Ubicación (contexto)	0,1
Ocupación	0,1
Resultado	Valor
Alta	3
Media	2
Baja	1

Figura 1.1. Características principales de la PDM Quirigua

Cantidad de residuos (t/mes)	5 aprox.
Características de residuos	75 % restos de frutas y verduras. 25 % restos de especias, flores y aromáticas.
Separación en la fuente	Los comerciantes son conscientes gracias a las sensibilizaciones, aunque persisten algunas fallas en la separación.
Espacio disponible	- Espacio baldío en el parqueadero. - Fácil acceso, de aprox. 75m². - Falta de infraestructura y equipamiento.
Ubicación (contexto)	- Baja generación de residuos, posibilidad de recibir de otros PDM. - El proyecto puede ser observado fácilmente por los visitantes de la PDM.
Ocupación	15 módulos desocupados de 223.

Fuente: BFS. (2021).



Fase B

Una vez seleccionada la PDM Quirigua como caso de estudio para el proyecto, se comenzó la implementación de la Fase B. Se inició con la definición de los escenarios a desarrollar. Para establecer el alcance y volumen de residuos a tratar, se consideraron los siguientes argumentos:

- ✧ Los volúmenes de residuos a tratar se agruparon en dos categorías “tratamiento de residuos exclusivo a Quirigua” con aproximadamente 200 kg/día (escenario A) y “tratamiento centralizado abarcando la gestión de los RO de más ubicaciones” con un rango de 1 a 6 t/día; escenarios B1, B2 y C.
- ✧ Al ser PDM Quirigua el caso de estudio, el alcance de los escenarios A, B1 y B2 tomó en cuenta su ubicación. Por ejemplo, el alcance del escenario A abarca exclusivamente el tratamiento de los residuos generados en Quirigua. Mientras que el alcance de los escenarios B1 y B2 está basado en la proximidad de Quirigua con las PDM Fontibón, Las Ferias, Boyacá Real, 12 de octubre y 7 de agosto y los límites de espacio disponibles en Quirigua para gestionar y recibir residuos externos (mínimo 75 m² y máximo 200 m²).
- ✧ Con el escenario C, se analizará el tratamiento centralizado con la opción de recibir los RO de todas las PDM (aproximadamente 3 t/día) y de parques o restaurantes aledaños (aproximadamente 3 t/día). Sin embargo, el espacio en

- ✧ Quirigua no es suficiente para recibir 6 t RO/día. Se debe seleccionar otra PDM o ubicación, con al menos 200 m², para construir una planta de tratamiento y 50 m² para la recepción de 6 t RO/día.

Las tecnologías asociadas a los escenarios son el compostaje continuo con aireación forzada en contenedores cerrados y la digestión anaerobia en contenedores o reactores prefabricados (como se ve en el capítulo 2). La búsqueda y selección de las tecnologías se basó en:

- ✧ La alineación del contexto de PDM Quirigua (p. ej. rango de volúmenes a tratar y tipo de residuos generados) permite poner en práctica soluciones **asequibles y poco complejas de operar**. Para la selección, se identificaron y contactaron alrededor de treinta y cinco

empresas nacionales e internacionales, de las cuales doce respondieron brindando información básica. Se intercambió información más detallada con dos de ellas y, luego, se eligieron como caso de estudio. Además, estos dos proveedores ofrecen accesibilidad de precio y facilidad de comunicación, como se ve en el Anexo 0.

- ✧ Como se puede observar en la Figura 1.2, el escenario B muestra dos posibles opciones. Al ser 1,5 t RO/día la capacidad mínima de residuos a tratar con la tecnología de digestión, se consideró el escenario B2. Este se adapta al volumen de residuos a gestionar y permite comparar ambas tecnologías. Por esta razón, se obtienen 4 escenarios en total.

- ✧ Cabe mencionar que un gran número de proveedores internacionales de digestión anaerobia no se enfocan en el diseño de soluciones de tratamiento de RO para volúmenes menores a 1 t RO/día, principalmente por la inviabilidad financiera de los modelos de negocios.

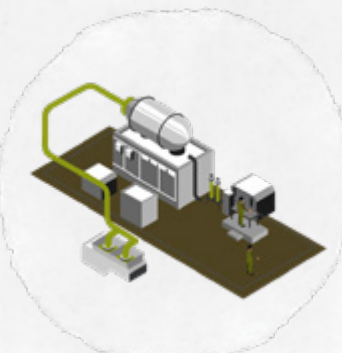
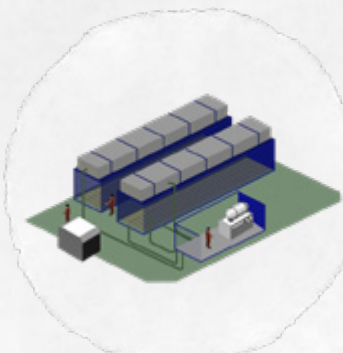
De acuerdo con lo mencionado anteriormente, se determinaron los escenarios descritos en la Figura 1.2.

UAESP





Figura 1.2 Detalles principales sobre los 4 escenarios evaluados en el proyecto

Escenario	A	B1	B2	C
Generación de RO	Aprox. 200Kg RO/día	Aprox. 1 t RO/día	Aprox. 1,5 t RO/día	Aprox. 6 t RO/día
Tecnología	Compostaje	Compostaje	Planta de digestión anaerobia — conversión a biogás	Planta de digestión anaerobia — conversión a biogás y energía
Alcance	PDM Quirigua	PDM Quirigua y 3 PDM	PDM Quirigua y 5 PDM	Plazas Distritales de Mercado y restaurantes y parques aledaños.
Esquema	PDM - Quirigua	PDM - Quirigua +  x3	PDM - Quirigua +  x5	Sitio - Por definir +  x14 +  + 
				

Ya definidos los cuatro escenarios, se imitó el mismo proceso de evaluación técnico-económica en cada uno. Para su desarrollo, se diseñó una herramienta de cálculo en Excel para completar la **evaluación financiera con información sobre:**

- ✦ CAPEX y OPEX.
- ✦ Ingresos.
- ✦ Costos principales.
- ✦ Comparativo de costos e ingresos.
- ✦ Análisis de sensibilidad.
- ✦ Configuración del financiamiento.

Cabe aclarar que inicialmente se modeló el escenario C sin contemplar la generación de energía; sin embargo, en el proyecto, no se incluyen estos resultados. Se optó más bien por contemplar la venta de energía para mejorar la rentabilidad del escenario. Esta excepción junto con los cálculos de todos los escenarios aparecen en la Figura 1.3.

Fuente: BFS. (2021).

Figura 1.3. Visión general de la herramienta financiera desarrollada para modelar los escenarios




Fuente: BFS. (2021).

Fase C

Al tener una idea clara del funcionamiento de las tecnologías y los detalles financieros correspondientes para cada escenario, se presentaron los resultados preliminares al PREVEC. **Se concluyó el proyecto con la Fase C.** Esta última fase consistió en **consolidar la información recopilada durante el proyecto, así como las conclusiones dentro del reporte final.** Los resultados están descritos en el presente informe.

En la Figura 1.4, se muestra **un resumen de las fases A, B y C del proyecto.**

Figura 1.4. Resumen de las fases y actividades principales del proyecto



Fuente: BFS. (2021).



Análisis de la viabilidad técnico-
económica para proyectos de tratamiento
in situ de residuos orgánicos en las Plazas
Distritales de Mercado de Bogotá

TECNOLOGÍAS FACTIBLES PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS *IN SITU* EN PDM

2.





El capítulo 2 brinda una breve descripción de las soluciones de tecnología propuestas para el tratamiento de residuos orgánicos en el sitio donde se producen, con el fin de contextualizar al capítulo financiero. Se incluye una introducción a los principios de compostaje y digestión anaerobia, se muestran los pasos del proceso correspondientes a cada solución y se señalan los factores operativos relevantes. Se finaliza con un análisis FODA por tecnología.

2.1. COMPOSTAJE

El compostaje es un tipo de descomposición aeróbica de la materia orgánica que puede utilizarse para el reciclaje de residuos orgánicos, a través de la producción de compost.

Tabla 2.1. Fases del proceso de compostaje

Fases	Descripción	Duración
1 Mesófila (Compostaje activo)	La descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo por medio de las bacterias mesófilas y a temperaturas moderadas. Existe un aumento de dióxido de carbono a lo largo de esta fase.	1 a 2 meses
2 Termófila (Compostaje activo)	A medida que aumenta la temperatura, comienza la segunda fase en la que las bacterias termófilas descomponen el material orgánico a temperaturas más elevadas (de 50 a 60 °C). En la fase termófila, se degrada un gran número de agentes patógenos.	
3 Maduración	A medida que se reduce el suministro de moléculas de alta energía, la temperatura desciende y las bacterias mesófilas predominan en la fase de maduración. Al finalizar, el compost resultante puede venderse para ser usado en agricultura y jardinería.	2 a 4 meses

 **Fuente:** Sultana. (2020).

El compost puede entenderse como el resultado del proceso biológico que tiene como fin estabilizar e higienizar los residuos orgánicos. Además, es un buen fertilizante para las plantas (Sultana, 2020). El compostaje ocurre en tres fases bajo condiciones óptimas. La explicación de las fases mesófila, termófila y de maduración se explican en la Tabla 2.1.

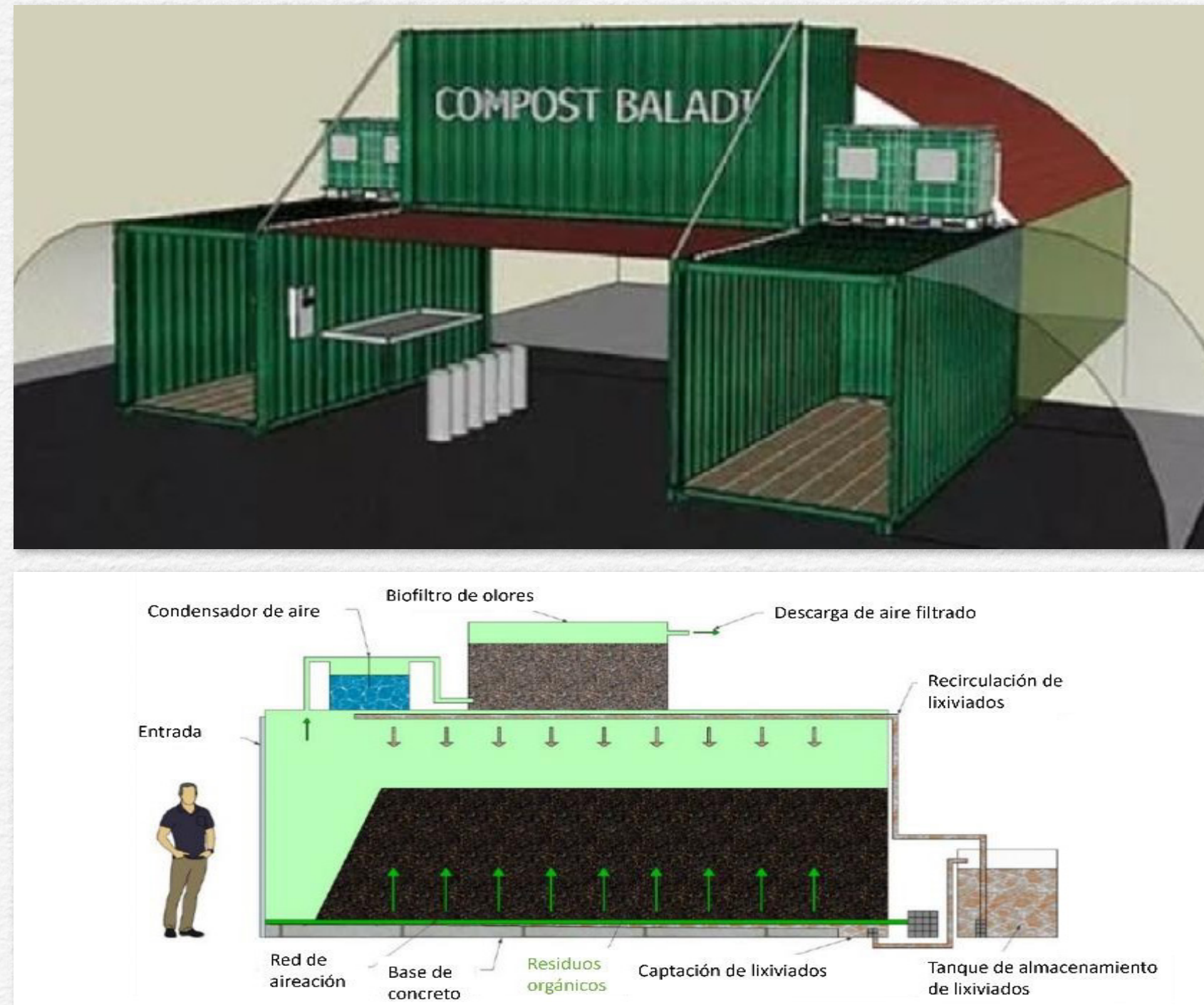
Existen dos tipos de sistemas de compostaje: cerrado y abierto. En este caso, se optó por profundizar en los detalles de un sistema cerrado, como se explica en la sección siguiente.



Descripción de la tecnología

Como tecnología potencial para los escenarios A y B1, se propone la implementación de un sistema de compostaje continuo con aireación forzada y en contenedores cerrados, como el que se muestra en la Figura 2.1.

Figura 2.1. Sistema de compostaje continuo con aireación forzada en contenedores cerrados



■ Fuente: Compost Baladi SAS. (2021).



Esta solución atiende volúmenes de residuos sólidos en escala pequeña o mediana. Por ser un sistema cerrado, hay factores que favorecen su replicabilidad, ya que, por ejemplo, evita la acumulación de lluvia, protege al material de vientos fuertes, facilita el proceso de mezcla, permite la extracción de lixiviado, controla olores y evita la manipulación por parte de personal no autorizado. En la Figura 2.2, se muestra el **proceso, paso a paso**, de la solución tecnológica.

A continuación, en la Tabla 2.2, se muestran **imágenes sobre el proceso de compostaje con la tecnología propuesta**.

Figura 2.2. Paso a paso para el compostaje en contenedores cerrados con un sistema de aireación



Fuente: BFS. (2021).

Tabla 2.2. Cómo es el proceso de compostaje con la tecnología propuesta

Paso	Detalles	Paso	Detalles
1. Recepción de materia prima	Se reciben y gestionan las materias primas en la PDM Quirigua.		Figura 2.5. Alimentación de la mezcla de sustratos para contenedor de compostaje
	Figura 2.3. Mezcla de residuos orgánicos con material de carbono		
2. Preparación de materia prima		3. Compostaje activo	Figura 2.6. Mezcla de compost con ayuda de un minicargador realizada una vez por semana
	Figura 2.4. Interior del contenedor de compostaje con red de aireación		
3. Compostaje activo			



Paso

Detalles

4.
Proceso de
maduración

El material permanece en reposo dentro del contenedor entre 21 y 42 días.

Figura 2.7. Proceso de cribado



5.
Tamizaje del
producto final

Paso

Detalles

Figura 2.8. Almacenamiento de compost en bolsas



6.
Almacenamiento
y transporte

 Fuente: Compost Baladi S.A.S. (2021).

La Tabla 2.3 muestra un resumen de los principales factores operativos de la solución.

Tabla 2.3. Factores operacionales relevantes para la solución de compostaje

Factores operacionales relevantes	
Sustratos	 Material proveniente de las PDM con alto contenido de nitrógeno. Específicamente, residuos orgánicos producidos en PDM Quirigua.  Restos vegetales (ej. cáscaras de frutas y verduras, desechos de frutas) y restos de especias, flores y aromáticas.  También, se pueden encontrar residuos de café, té, productos lácteos cocidos, pañuelos de papel, servilletas y papel de baño.
	 Material con alto contenido de carbono:  Material vegetal seco (p. ej. troncos, ramas, tallos, hojas secas, aserrín, etc.).  PDM Quirigua no genera material vegetal seco, por lo que se incluye la compra de aserrín o los residuos triturados de la poda de árboles. No se define la fuente de este material dentro del escenario.
	 Lixiviados (para mantener la humedad del compost).  Compost en proceso de descomposición o estiércol (solo requerido para iniciar el proceso).
Factores operacionales relevantes	
Parámetros principales (Kartini, 2021)	 Temperatura: el proceso puede iniciar con temperatura ambiente y subir hasta los 65 °C.  Humedad: mantener entre 45 y 60 %.  Aireación: una vez por semana, se mezclan las pilas de compost manualmente y se enciende la aireación forzada.  Proporción de sustratos: 25 % de material con alto contenido de carbono y 75 % de material proveniente de las PDM con alto contenido de nitrógeno.  Tamaño de partícula: El tamaño ideal de los materiales para comenzar el proceso es de 5 a 20 cm.
	Tiempo de residencia por días. Se trabajó con valores estimados. Es necesario profundizar en los parámetros para el funcionamiento  Entre 63 y 84 días:  21 días: alimentación continua del material.  21 días: etapa de compostaje activo (dentro de los contenedores).  21 a 42 días: etapa de maduración (dentro de los contenedores).
Producto final y usos	 Abono orgánico: puede ser utilizado para jardinería y restauración de parques.
 Fuente: BFS. (2022).	



Análisis FODA

Se identificaron fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades; todas aparecen resumidas en el análisis FODA expuesto en la Tabla 2.4.



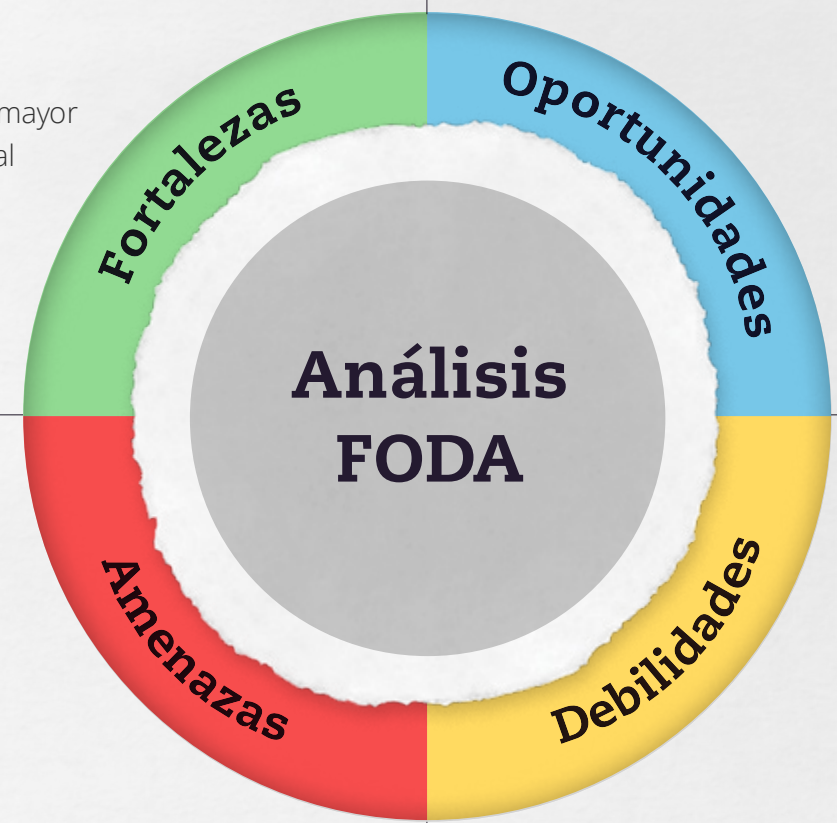
NewAfrica/shutterstock.com

Tabla 2.4. Análisis FODA de la estrategia de compostaje en contenedores cerrados

- ✦ Aprovechamiento y reducción de residuos orgánicos dispuestos en rellenos sanitarios.
- ✦ Producto útil como recuperador de suelos.
- ✦ Solución que se replica fácilmente.
- ✦ Es posible agregar contenedores de compostaje adicionales para tratar una mayor cantidad de residuos, aunque la principal limitante sería el espacio disponible.
- ✦ Reducción de costos logísticos en Escenario A.

- ✦ En estaciones en las que la temperatura baja, existe el riesgo de que el proceso de compostaje se alargue.
- ✦ Inversión inicial en equipos e instalaciones.
- ✦ El mercado para el compost en Colombia es incipiente y presenta grandes desafíos.

Fuente: BFS. (2022).



- ✦ Medio económico para producir compuestos húmicos.
- ✦ Previenen la aparición y transmisión de las enfermedades que se generan por un manejo inadecuado de los recursos orgánicos al reducir la proliferación de vectores (p. ej. moscas, roedores).
- ✦ Sensibilización indirecta.
- ✦ Requiere más área que otros sistemas alternativos de tratamientos.
- ✦ Trabajo operacional medio.
- ✦ Control de parámetros como humedad, temperatura, pH.



2.2. DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia permite que las bacterias descompongan la materia orgánica en ausencia de oxígeno y, además, tratar una gran variedad de compuestos orgánicos. Este proceso produce biogás, que se compone principalmente de metano y puede utilizarse para generar energía (Suárez-Chernov, 2019). La descripción de las fases de la digestión anaerobia se muestran en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Fases de la digestión anaerobia

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

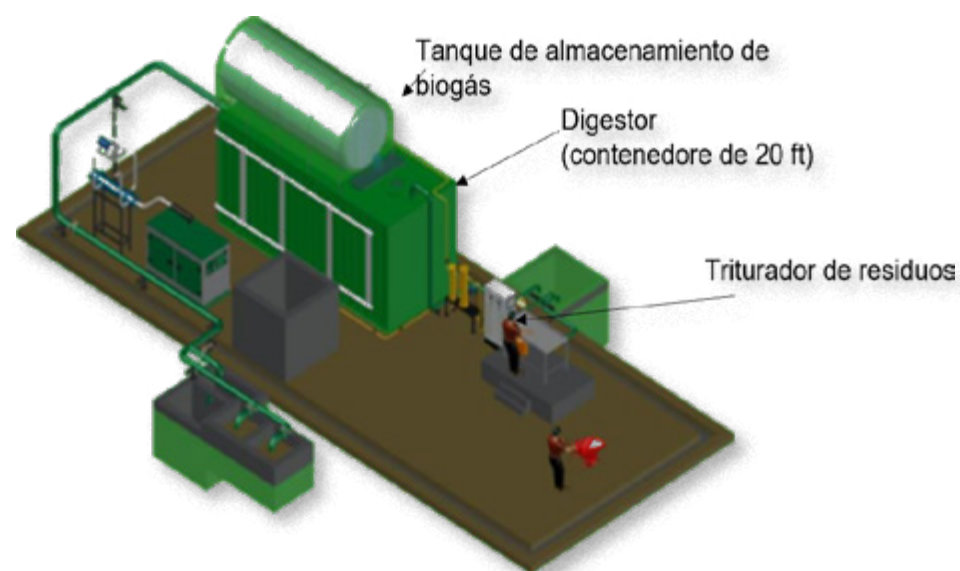
 Fuente: Suárez-Chernov. (2019).



Descripción de la tecnología

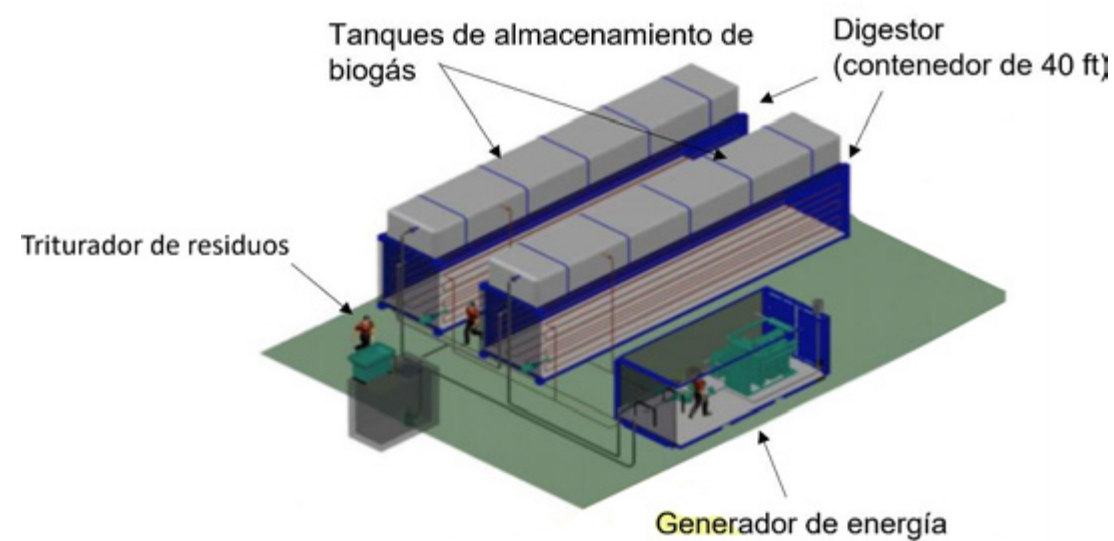
Para los **escenarios B2 y C**, se propone el **tratamiento de residuos orgánicos a través de una planta de producción de biogás**. Tanto la Figura 2.9 como la Figura 2.10 muestran dos posibles opciones de sistemas de producción de biogás y biogás a energía, respectivamente.

Figura 2.9. Sistema de digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos para 1,5 t RO/día



 **Fuente:** Bert Energy GmbH. (2021).

Figura 2.10. Sistema de digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos para 6 t RO/día



 **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 2.11, se muestra el **proceso, el paso a paso**, de la solución tecnológica.

A lo largo de la Tabla 2.6, se muestran **imágenes sobre el proceso de compostaje** realizado con la tecnología propuesta.

Figura 2.11. Paso a paso para la conversión de residuos orgánicos a biogás



Tabla 2.6. Proceso de compostaje

Paso	Detalles
1. Recepción de materia prima	Escenario B2: se plantea la recepción y gestión de las materias primas en la PDM Quirigua. Escenario C: se debe seleccionar un sitio para la recepción y gestión de las materias primas en un espacio pendiente por seleccionar (ver capítulo 3 para más detalles).
2. Preparación de materia prima	Figura 2.12. Mezcla de residuos orgánicos con agua para la formación de lodo 
3. Digestión anaeróbica	Figura 2.13. Tanque de almacenamiento de lodo 
	Figura 2.14. Biodigestor 
3. Digestión anaeróbica	Figura 2.15. Toma de muestra para asegurar la calidad 



Paso

Detalles

4. Limpieza de biogás



Figura 2.16. Determinación de producción de biogás a través de gasómetro.

Paso

Detalles

5. Salida de digestato



Figura 2.17. Salida de digestato al tanque de almacenamiento

 **Fuente:** Bert Energy GmbH. (2021).

La Tabla 2.7 muestra los factores principales para el uso de la tecnología.

Tabla 2.7. Factores operacionales relevantes para la solución de digestión anaerobia

Factores operacionales relevantes	
Sustratos, residuos orgánicos producidos en la plaza Quirigua, según UAESP (2021). También, se pueden encontrar residuos de café, té, productos lácteos cocidos, pañuelos de papel, servilletas y papel de baño.	- Residuos orgánicos generados en las PDM con contenido de carbono y nitrógeno: - Restos vegetales (p. ej. cáscaras de frutas y verduras, desechos de frutas). - Restos de especias, flores y plantas aromáticas. - Aceites y grasa de cocina: su proporción no debe superar el 5 %. - Con el agua, es posible recircular el digestato. - Estiércol o digestato de otros biodigestores (solo requerido para iniciar el proceso).
Parámetros principales (Kartini, 2021). Los valores son estimaciones. Es necesario profundizar en las características de los residuos generados en las PDM, las condiciones climáticas de Bogotá y la proporción ideal de los sustratos y parámetros para el funcionamiento óptimo.	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 debe ser menor a 5 cm.
Factores operacionales relevantes	
Tiempo de residencia en días. Se trabajó con valores estimados. Es necesario profundizar en los parámetros para el buen funcionamiento.	20 días
Producto final y usos	Metano: puede utilizarse como fuente de energía o para la cocción de alimentos. - El digestato se puede usar como fertilizante líquido después del postratamiento.
 Fuente: BFS. (2022).	



Análisis FODA

Se identificaron las fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades y se reunieron en la Tabla 2.8.

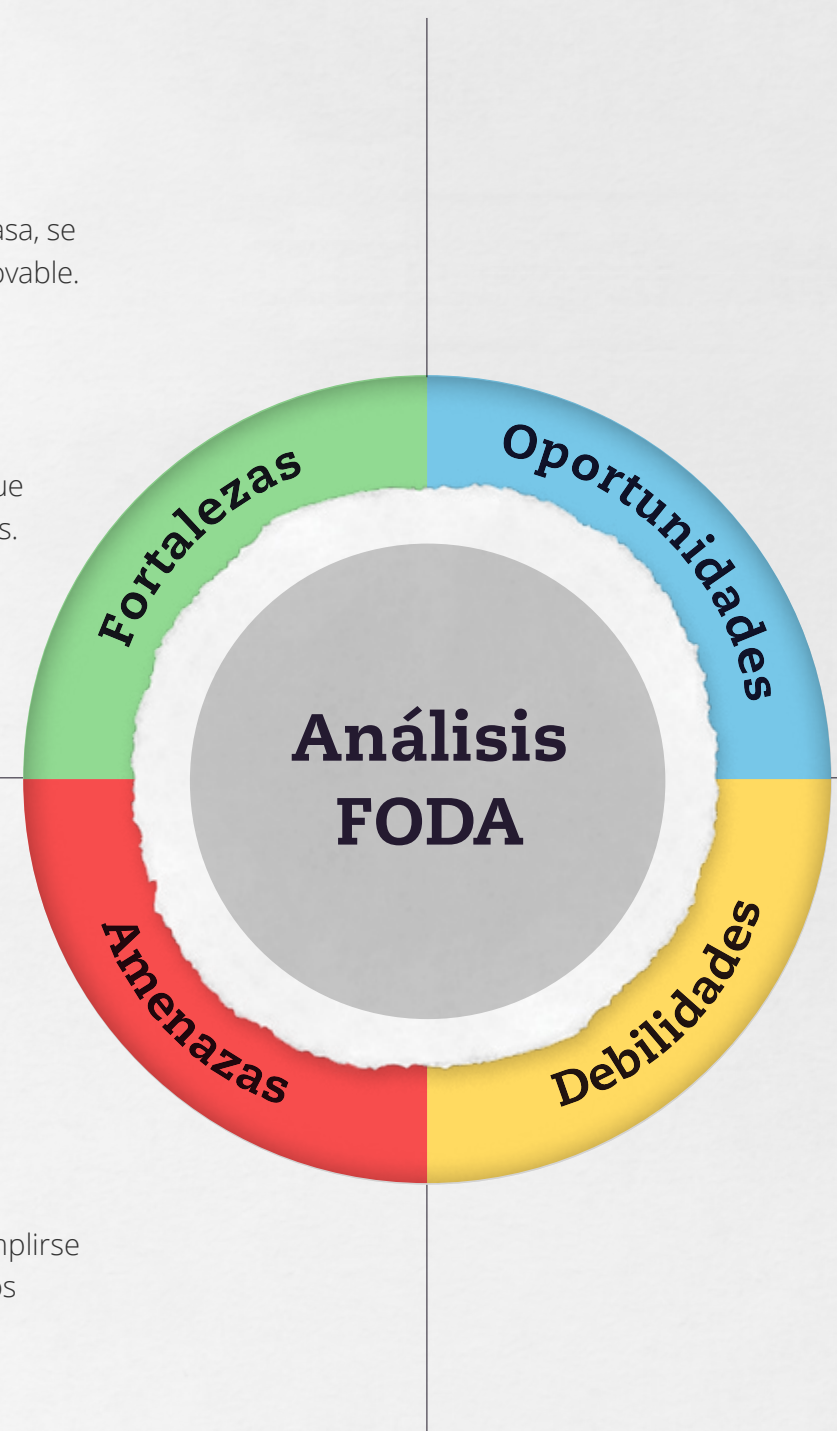
NewAfrica/shutterstock.com



Tabla 2.8. Análisis FODA de digestión anaerobia

- ✦ Facilidad de operación del sistema.
- ✦ No genera olores.
- ✦ El biogás, al ser un derivado de la biomasa, se constituye como fuente de energía renovable.
- ✦ Reducción de la presión sobre los rellenos sanitarios.
- ✦ Protección de aguas subterráneas, lo que reduce el riesgo de lixiviación de nitratos.
- ✦ Eliminación de emisiones de olores molestos.
- ✦ 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 cumplirse con los protocolos establecidos para los gases combustibles.

Fuente: BFS. (2022).



- ✦ El metano generado se puede usar como fuente de energía.
- ✦ Diversidad de usos (p. ej. producción de energía, alumbrado, cocción de alimentos).
- ✦ Produce biofertilizantes.
- ✦ Tecnificación del proceso y reducción de los días para el tratamiento de residuos orgánicos.
- ✦ Altos costos de operación causados por el consumo de energía.
- ✦ Falta de parámetros y criterios para el adecuado diseño de sistemas con escala inferior a 1 tonelada al día.



Análisis de la viabilidad técnico-
económica para proyectos de tratamiento
in situ de residuos orgánicos en las Plazas
Distritales de Mercado de Bogotá

DETALLES DE ESCENARIOS

3.



© Daniel Hernández.

En este capítulo, se describen los detalles técnicos de los cuatro escenarios. Para cada escenario, se incluyen los parámetros operativos, recomendaciones y riesgos para su implementación.

3.1

ESCENARIO A

El **escenario A** corresponde al manejo de residuos sólidos orgánicos para una **generación total de 200 kg RO/día**; el valor corresponde a la generación actual de RO en la PDM Quirigua. Los residuos orgánicos se gestionan a través de un **sistema de compostaje continuo y con aireación forzada en contenedores cerrados**. Se pretende que el **sistema esté ubicado dentro de las instalaciones de la PDM Quirigua**. Únicamente **se alimenta al sistema del escenario A con los residuos orgánicos generados en la PDM Quirigua**. El sistema requiere que cerca del 25 % de los residuos ingresados sean materiales ricos en carbono, tales como aserrín o residuos triturados de poda de árboles; sin embargo, no se define la fuente del material dentro del escenario. Cabe aclarar que el sistema para el análisis de los escenarios tiene los parámetros expuestos en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Parámetros operativos del Escenario A

Parámetro operativo	Detalle	Observaciones
Personal requerido	1 operario de medio tiempo (20 horas a la semana)	Sistema de tamaño bajo, no requiere un operario de dedicación completa.
Número de días de operación al año (d/a)	330	
Residuos orgánicos suministrados al año (t/a)	59	
Rechazos del proceso al año (t/a)	3	
Tasa de generación de compostaje (t/t de RO alimentados al sistema)	0,4	Puede variar dependiendo de las condiciones operativas.
Generación de abono orgánico (t/a)	23	Obtenido como salida del proceso de tratamiento para su posterior comercialización.
Consumo energético estimado (kWh/d)	6	
Incluye recolección y transporte de RO	No	
Número de vehículos	N/A	
Distancia a recorrer por los vehículos (km/día)	N/A	
Espacio mínimo requerido (m²), según el proveedor de tecnología	67,5	No se contempla el espacio requerido para almacenar los residuos orgánicos generados por la PDM Quirigua (aproximadamente 2 m²).


 Fuente: BFS. (2021).



La disposición de la infraestructura puede verse en los anexos del informe (en Propuestas de distribución de cada uno de los escenarios). Frente a la operación del sistema, **el personal requerido consta de un operario con una dedicación de media jornada laboral**. Sus funciones consisten principalmente en alimentar al sistema con los RO de la plaza, garantizar la aireación del sistema a través del equipo o del volteo manual y hacer un seguimiento a los parámetros de monitoreo.

El sistema de compostaje depende de la aireación forzada. Este sistema cuenta con bombas de aire que conducen el aire, a través de una red de tuberías de aireación integrada en la superficie del piso del contenedor. El aire forzado solo puede salir por el escape principal, ubicado en el techo del contenedor. Además, el tubo de escape está conectado al condensador y al bio-filtro, sucesivamente.

El propósito de esta configuración es capturar y tratar los compuestos orgánicos volátiles producidos durante el proceso de compostaje, antes de descargar el aire de escape a la atmósfera. En cuanto a los lixiviados, el sistema está equipado con una piscina de drenaje en la parte trasera del contenedor, donde se recolectan los lixiviados antes de que sean bombeados a un tanque para su almacenamiento seguro fuera del sistema. El líquido almacenado se reutilizará en el proceso de compostaje para hidratar la materia prima y como inoculante para nuevos lotes de compostaje.

Para transportar los RO de un contenedor a otro en el cambio de etapas, se requiere del uso de un minicargador, aproximadamente, una vez por mes y se puede alquilar para reducir costos.

De llevarse a cabo, este sistema puede evitar que mínimo 56 toneladas de RO sean dispuestas en rellenos sanitarios cada año y prevenir la emisión de al menos 47 toneladas anuales de dióxido de carbono equivalente a la atmósfera.

© Daniel Hernández



3.2 ESCENARIO B1

El **escenario B1** corresponde al manejo de residuos sólidos orgánicos para una generación total de **1 t RO/día en la PDM Quirigua** u otra plaza de mercado que cuente con el espacio requerido y tenga una ubicación central respecto a otras plazas. **Los residuos orgánicos se gestionan a través de un sistema de compostaje continuo y con aireación forzada en contenedores cerrados.** Se alimenta al sistema con los residuos orgánicos generados en la PDM Quirigua, así como en las 3 PDM más próximas.

El sistema requiere que cerca del **25 % de los residuos ingresados sean materiales ricos en carbono, tales como el aserrín o residuos triturados de poda de árboles**; sin embargo, no se define la fuente de este material dentro del escenario. Los rechazos y otros tipos de residuos sólidos diferentes a los orgánicos se manejan a través de su respectivo gestor.

El sistema de análisis del escenario tiene los parámetros operativos registrados en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Parámetros operativos del Escenario B1

Parámetro operativo	Detalle	Observaciones
Personal requerido	1 operario de medio tiempo (20 horas a la semana)	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)	297	
Rechazos del proceso al año (t/a)	15	
Tasa de generación de compostaje (t/ t de RO alimentados al sistema)	0,4	Puede variar dependiendo de las condiciones operativas.
Generación de abono orgánico (t/a)	113	Obtenido como salida del proceso de tratamiento para su posterior comercialización.
Consumo energético estimado (kWh/d)	6	
Incluye recolección y transporte de RO	Sí	
Número de vehículos	1	
Distancia a recorrer por los vehículos (km/día)	40	
Espacio mínimo requerido (m²), según el proveedor de tecnología	177	No se contempla el espacio requerido para almacenar los residuos orgánicos generados por la PDM Quirigua (aproximadamente 2 m²).

Fuente: BFS. (2021).

Debido a que la cantidad de RO a gestionar en este escenario es 5 veces mayor a la del escenario A, el equipo para el compostaje requiere de un área superior, mínimo de 177 m². También se necesita que el personal se componga de **un operador con dedicación completa al sistema y un técnico especializado para labores de mantenimiento y seguimiento. Y el uso del minicargador debe ser diario**; aunque no se incluye la compra o renta de un minicargador dentro de los cálculos.

Las consideraciones para la instalación y operación del Escenario B1 son las mismas a las del escenario A. La PDM Quirigua actualmente cuenta con el espacio suficiente para instalar la tecnología, pero requiere del acceso al sistema de energía eléctrica de la plaza para su funcionamiento.

Para alcanzar la generación de residuos esperada, **se deben recolectar diariamente los RO generados en las PDM cercanas a la PDM Quirigua. Se propone que las PDM Siete de Agosto, Las Ferias y Doce de octubre recolecten** y sean fuentes de generación de los residuos. Además, el escenario contempla que el vehículo para esta recolección, en las diferentes PDM, será rentado y no adquirido.

De llevarse a cabo, **este escenario puede evitar que mínimo 282 toneladas de RO sean dispuestas en rellenos sanitarios cada año y prevenir la emisión de al menos 237 toneladas anuales de dióxido de carbono equivalente a la atmósfera.**

3.3

ESCENARIO B2

El **escenario B2** considera un proyecto de manejo de residuos sólidos para una generación total de **1.5 t/día en la PDM Quirigua. Los residuos orgánicos se gestionan a través de un sistema de digestión anaerobia** ubicado dentro de las instalaciones de la PDM Quirigua. **Se alimenta al sistema con los residuos sólidos generados en la PDM Quirigua, así como con los de las 5 PDM más próximas.** 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 tiene los parámetros operativos descritos en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Parámetros operativos para el Escenario B2

Parámetro operativo	Detalle	Observaciones
Personal requerido	1 operario de medio tiempo (20 horas a la semana)	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	
Tasa de generación de compostaje (t/t de RO alimentados al sistema)	0,4	Puede variar dependiendo de las condiciones operativas.
Generación de abono orgánico (t/a)	169	Obtenido como salida del proceso de tratamiento para su posterior comercialización.
Tasa de generación de biogás (m³/t)	53	
Generación de biogás (m³/a)	22 431	Equivalente a 11 215 m³ de gas natural al año. Obtenido como salida del proceso de tratamiento para su posterior comercialización.
Consumo energético estimado (kWH/d)	50	
Incluye recolección y transporte de RO	Sí	
Número de vehículos	1	
Distancia a recorrer por los vehículos (km/día)	40	
Espacio mínimo requerido (m²), según el proveedor de tecnología. En anexos, consultar la propuesta de distribución de espacio	88	No se contempla el espacio requerido para almacenar los residuos orgánicos generados por la PDM Quirigua y recepción de los RO de plazas de mercado adicionales (aproximadamente 12 m²).


 Fuente: BFS. (2021).

Frente a la operación del sistema, **el personal requerido para esta labor son tres operarios con una dedicación completa de la jornada laboral**. Sus funciones consisten principalmente en recibir y preparar la masa de residuos de entrada para alimentar al sistema con los RO. Esto 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 los parámetros de monitoreo.

El proceso del biodigestor normalmente es automatizado y requiere de una intervención mínima de los operarios. De igual forma que el resto de los escenarios, requiere del acceso al sistema de energía eléctrica de la plaza para su funcionamiento.

Para alcanzar la generación de residuos esperada, **se deben recolectar diariamente los RO generados en las PDM cercanas a la PDM Quirigua** o de la PDM seleccionada para instalar el sistema. Se propone que las PDM Siete de agosto, Las Ferias, Doce de Octubre, Kennedy y Fontibón sean fuentes de generación de los residuos.

En total, se estima que la distancia de viaje a recorrer por el vehículo diariamente no debe ser superior a 40 kilómetros. El escenario contempla que el vehículo para esta recolección, en las diferentes PDM, será rentado y no adquirido.

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

3.4 ESCENARIO C

El **escenario C** maneja residuos sólidos orgánicos para una **generación total de 6 t RO/día**. Los residuos orgánicos se gestionan a través de un **sistema de digestión anaerobia enfocado en la**

venta de electricidad. Se alimentará al sistema con los residuos orgánicos generados en las PDM y comercios a elegir (p. ej. restaurantes o parques aledaños). 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 de los escenarios tiene los parámetros operativos descritos en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Parámetros operativos del Escenario C

Parámetro operativo	Detalle	Observaciones
Personal requerido	3 operarios a tiempo completo y 2 técnicos especializados (2 meses al año).	Técnico especializado para funciones de mantenimiento preventivo y correctivo.
Número de días de operación al año (d/a)	330	Equivalente a 44 862 m³ de gas natural al año
Residuos orgánicos suministrados al año (t/a)	1782	
Rechazos del proceso al año (t/a)	89	
Tasa de generación de compostaje (t/t de RO alimentados al sistema)	0,4	Puede variar dependiendo de las condiciones operativas.
Generación de abono orgánico (t/a)	677	Obtenido como salida del proceso de tratamiento para su posterior comercialización.
Tasa de generación de biogás (m³/t)	53	No se contempla el espacio requerido para almacenar la recepción de los residuos generados en las plazas de mercado, restaurantes y parques (aproximadamente 48 m²).

Debido a que la cantidad de RO a gestionar en este escenario es 4 veces mayor a la del escenario C, el equipo para la digestión anaerobia requiere de un área superior, mínimo de 208 metros cuadrados. Además, se necesita que el **personal se componga de tres operadores con dedicación completa al sistema y dos técnicos especializados para labores de mantenimiento y seguimiento.** Y, finalmente, emplea el uso del minicargador a diario.

El Escenario C, además de recolectar los RO de las 14 PDM (aproximadamente 3 t RO/día), debe considerar la recolección de RO provenientes de restaurantes cercanos a su ubicación.

La propuesta aquí estudiada contempla la generación de energía eléctrica para la inyección en la red, para lo cual requiere de 1 generador de energía eléctrica con capacidad de generación de 30 kWh, que permita la producción de aproximadamente 200 000 kWh al año. Además, este escenario contempla que el vehículo destinado para esta recolección sea rentado y no adquirido y que la distancia de viaje diaria no supere los 160 kilómetros.

De llevarse a cabo, **el sistema del Escenario C puede evitar que mínimo 1693 toneladas de RO sean dispuestas en rellenos sanitarios cada año y prevenir la emisión de al menos 1963 toneladas anuales de dióxido de carbono equivalente a la atmósfera.**

 Fuente: BFS. (2021).

Parámetro operativo	Detalle	Observaciones
Generación de biogás (m³/a)	89 724	Equivalente a 44 862 m3 de gas natural al año
Generación de energía eléctrica (kWh)	204 600	
Consumo energético estimado (kWh/d)	100	
Incluye recolección y transporte de RO	Si	
Número de vehículos	1	
Distancia a recorrer por los vehículos (km/día)	160	
Espacio mínimo requerido (m²), según el proveedor de tecnología. En anexos, consultar la propuesta de distribución de espacio	208	No se contempla el espacio requerido para almacenar la recepción de los residuos generados en las plazas de mercado, restaurantes y parques (aproximadamente 48 m²).

3.5

RIESGOS Y RECOMENDACIONES

En la Tabla 3.5, se presentan los riesgos identificados para la implementación de los escenarios y las recomendaciones para su mitigación. Se incluye la relación de cada escenario con los riesgos identificados; cada x representa un nivel de riesgo **menor**, **medio** o **mayor**.

Tabla 3.5. Matriz de riesgos y recomendaciones

Aspecto	Riesgo	A	B1	B2	C	Recomendación
Logística	Las obras en la ciudad y las condiciones del tráfico pueden interferir en la alimentación diaria del sistema con los RO recolectados.		X	X	X	Ajustar las rutas de recolección con base en los resultados del día a día para evitar congestionamientos.
Técnico	La inadecuada operación del sistema, principalmente en su monitoreo y seguimiento, puede generar impactos en los trabajadores de la PDM y sus visitantes.	X	X	X X	X X	La tecnología de referencia está diseñada para minimizar el margen de error en su operación. El proveedor debe asesorar la puesta en marcha del sistema.
	El área disponible actualmente en la PDM es cercana al mínimo requerido para la instalación del sistema. Un mal dimensionamiento del sistema requerirá de obras civiles para adecuar el espacio.		X X		X X	Visitar el área con el proveedor de tecnología y verificar que las especificaciones del sistema se ajusten adecuadamente al área disponible.
	Masa de residuos con características inadecuadas.			X X	X X	Mantener la sensibilización al personal y visitantes de todas las PDM beneficiarias del sistema sobre la correcta separación en la fuente para evitar que se alimente con elementos no deseados. Diseñar el sistema considerando la necesidad de contar con más espacio para la acumulación del compost. Además, contemplar la instalación del sistema en otra PDM que cuente con el espacio adecuado y tenga una distancia central a otras PDM, en caso de que se requiera de otros puntos para garantizar la cantidad mínima de RO.




 Anterovium/shutterstock.com

Aspecto	Riesgo	A	B1	B2	C	Recomendación
Técnico	Masa de residuos con características inadecuadas.			X X	X X	Vincularse con entidades que faciliten la entrega de material seco para alimentar al sistema. Entre estas, se pueden considerar la UAESP, el IDRD y empresas de servicios públicos de recolección y transporte de residuos sólidos.
	Insuficiente generación de residuos para alimentar al sistema.	X	X	X	X	Contactar al proveedor de la tecnología para modificar los parámetros operativos con base en la generación que se presente.
Seguridad	Acceso de personas inescrupulosas que dañen las instalaciones y generen riesgos de accidentes.			X X X		Tener un sistema de cerramiento para el acceso al sistema para que ingrese solo el personal autorizado.
Comercial	Acumulación de compost o digestato.		X X		X	Vincularse con entidades y/o comerciantes que requieran de este material constantemente (p. ej. IDRD). Establecer, en el contrato de implementación del sistema, la hoja de ruta para los excedentes de subproductos.
Social	Rechazo por parte de los trabajadores de la PDM por generación de olores e impactos visuales.	X X	X X			Capacitar al encargado del sistema en las buenas prácticas del sistema. Cerrar el área del sistema con cerca viva para mitigar impactos visuales.
Financiero	Problemas en el recaudo de la tasa de gestión de residuos por parte de los comerciantes de las PDM y/o restaurantes beneficiarios del sistema.	X X	X X X	X X	X X X	Mantener un contacto cordial con las personas líderes de los comerciantes y con los restaurantes e involucrarlas activamente en el proyecto. Analizar la posibilidad de ofrecer descuentos en el cobro por la gestión de residuos en el futuro y así extender los beneficios del proyecto a los generadores.



© MEEKODONG/shutterstock.com



Aspecto	Riesgo	A	B1	B2	C	Recomendación
Financiero	Incremento en los costos operacionales por subida del salario mínimo mensual legal vigente o del costo de los insumos.	X	X	X X	X X	Establecer en el contrato de implementación del sistema una cláusula que blinde esta situación.
Económico	Existen opciones de compost de alta calidad y a precios asequibles en el mercado que pueden competir con los subproductos generados.		X X X		X	La sostenibilidad financiera de los escenarios es lograda principalmente por el cobro por gestión de residuos y no por la venta de subproductos. Sin embargo, es necesario que estos sean reincorporados en algún proceso productivo para lograr la circularidad de los materiales. Vincularse con entidades que requieran de este insumo para actividades tales como restauración paisajística y/o biorremediación de suelos. Entre estas, considerar al jardín botánico, las autoridades ambientales como las corporaciones autónomas regionales y el ANLA, la UAESP, el IDRD, entre otros.
Legal	Acumulación de compost o digestato.	X	X	X	X	Mantener una operación eficiente que garantice resultados óptimos y permita evidenciar los beneficios de implementar sistemas descentralizados para el tratamiento de los residuos sólidos. Participar en mesas de trabajo con los entes gubernamentales para promover una reglamentación favorable para los sistemas de tratamiento de residuos descentralizados.

■ Fuente: BFS. (2021).

3.6

CONSIDERACIONES ADICIONALES

Tabla 3.6. Resumen de consideraciones a contemplar en caso de optar por el enfoque de algún escenario

Costos	Escenario A	Escenario B1	Escenario B2	Escenario C
Equipos	No se incluye la renta de un minicargador, pero se utiliza una vez por mes.	No se incluye la compra o renta de un minicargador, aunque se considera su uso una vez por día.	No se incluye la compra o renta de un minicargador, aunque se considera su uso una vez por día.	No se incluye la compra o renta de un minicargador, pero se considera su uso para alimentar con residuos al sistema.
Infraestructura	No se incluye el costo de la obra civil para adaptar el sitio seleccionado.	No se incluye el costo de la obra civil para adaptar el sitio seleccionado.	No se incluye el costo de la obra civil para adaptar el sitio seleccionado.	No se incluye el costo de la obra civil para adaptar el sitio seleccionado.
Logística	N/A	Una vez seleccionadas las PDM dentro del alcance del escenario, se deberán adaptar los costos de logística.	Una vez seleccionadas las PDM dentro del alcance del escenario, se deberán adaptar los costos de logística.	Una vez seleccionadas las PDM, restaurantes y/o parques dentro del alcance del escenario, se deberán adaptar los costos de logística.
Extra			Si la producción de biogás es mayor a la demanda de los locales en las PDM o si no es viable por temas administrativos, permisos, entre otros, se debe adaptar el modelo para considerar la producción de energía. En este caso, se contempla la gestión con la empresa de servicio público de energía para la venta de energía a la red.	Para la venta de energía a la red, es necesario organizar la gestión con la empresa de servicios públicos de energía.

 Fuente: BFS. (2022).



Análisis de la viabilidad técnico-
económica para proyectos de tratamiento
in situ de residuos orgánicos en las Plazas
Distritales de Mercado de Bogotá

ANÁLISIS FINANCIERO

4.



GroundPicture/shutterstock.com

4.1 PROYECCIONES FINANCIERAS PARA LOS ESCENARIOS

En esta sección se describen los supuestos tenidos en cuenta para las proyecciones y las variables macroeconómicas utilizadas. Se optó por definir los valores según los promedios del 2021, ya que reflejan la predicción de cómo se comportarán las tasas en los próximos 10 años.

Supuestos de la proyección

- ✧ El modelo financiero se elaboró en pesos colombianos y con valores del segundo semestre de 2021.
- ✧ Para el **escenario A**, la cantidad aproximada de gestión de residuos orgánicos es de **200 kilogramos por día**.
- ✧ Para el **escenario B1**, la cantidad aproximada de gestión de residuos orgánicos es de **1 tonelada por día**.

- ✧ Para el **escenario B2**, la cantidad aproximada de gestión de residuos orgánicos es de **1.5 toneladas por día**.
- ✧ Para el **escenario C**, la cantidad aproximada de gestión de residuos orgánicos es de **6 toneladas por día**.

Para cada escenario, se estableció un pago por el tratamiento de los residuos de 215 000 pesos por tonelada alimentada al sistema; según el valor asignado para el segundo semestre del 2021 en la PDM Quirigua. Este valor debe ser pagado por los generadores beneficiados y según la cantidad de residuos generados.

Variables macroeconómicas

Las variables macroeconómicas utilizadas para la proyección financiera de los escenarios se presentan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Variables macroeconómicas utilizadas para la proyección financiera

IPC 2021 (promedio mensual entre enero y noviembre del 2021)	3,3 %
SMMLV 2021	908 526 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
Precio venta de gas natural (COP/ m3)	1825 COP
Costo gestión de residuos (COP/t)	215 000 COP

Fuente: BFS. (2021).

Para el cálculo de las variables macroeconómicas de la Tabla 4.1, se tuvo en cuenta que:

- ✧ El IPC (índice de precio de consumo) corresponde al valor anual establecido para el año 2021.
- ✧ El SMMLV (salario mínimo mensual legal vigente) corresponde al fijado por la ley durante el año 2021.
- ✧ Las tarifas de venta y consumo de electricidad fueron levantadas en campo durante las visitas hechas a las PDM en el segundo semestre de 2021.
- ✧ El precio de venta de abono orgánico y de gas natural corresponden a 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 suministrado por los comerciantes de la PDM Quirigua, durante el 2021, dividido entre el valor promedio de toneladas de residuos orgánicos generados mensualmente el mismo año.

Costos e ingresos

A lo largo de este apartado, se presentan las inversiones, costos e ingresos de los escenarios planteados. En la Tabla 4.2, se identifican los costos de inversión sin y con la aplicación de beneficios tributarios (p. ej. exclusión del IVA) a los que el proyecto puede acceder. Los análisis financieros se hicieron utilizando el valor del CAPEX con beneficios tributarios.

En Colombia, los proyectos que apuestan por mejorar el medio ambiente pueden tener incentivos en materia tributaria, conocidos como beneficios tributarios ambientales. Entre estos existen, 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 necesaria la obtención de una certificación que acredite que el proyecto cumple con los requisitos para ser beneficiario de los incentivos. Esta 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.

Tabla 4.2. Costos e ingresos estimados para los escenarios planteados

Ítem/Escenario	A	B1	B2	C
CAPEX (COP)	65 500 000 COP	94 300 000 COP	325 800 000 COP	1 422 100 000 COP
CAPEX (con beneficios tributarios) (COP)	57 500 000 COP	82 200 000 COP	280 000 000 COP	1 209 500 000 COP
OPEX (COP/año 0)	12 100 000 COP	50 300 000 COP	59 500 000 COP	164 400 000 COP
OPEX (COP/año 10)	19 600 000 COP	81 800 000 COP	95 700 000 COP	265 200 000 COP
Ingresos estimados (COP/año 0)	15 500 000 COP	72 300 000 COP	121 300 000 COP	485 300 000 COP
Ingresos estimados (COP/año 10)	25 200 000 COP	117 800 000 COP	197 600 000 COP	778 300 000 COP
Costo de tratamiento de residuos (COP/t año 0)	203 716 COP	169 347 COP	133 651 COP	92 237 COP


 Fuente: BFS. (2021).

Los **costos esperados** para la ejecución de los escenarios están relacionados con el **consumo de energía, disposición de rechazos al relleno sanitario, disposición de lodos, costos laborales,**

recolección y transporte y mantenimiento de los equipos. Las gráficas y el detalle de los costos se presentan en los anexos del informe (en los detalles financieros de los diferentes escenarios).

Costos e ingresos - Escenario A

El **principal costo está asociado al pago de nómina de un empleado que trabaja medio tiempo en funciones del sistema de tratamiento**. Por su parte, los costos de energía no son significativos debido a que el consumo es de 6 kWh/d.

Los **ingresos esperados** para la operación del proyecto están relacionados con la **gestión de residuos (es el rubro más representativo) y la venta de subproductos (como el compost)**. Para su cálculo, se usaron los siguientes datos:

- ✧ Generación de abono orgánico de 23 toneladas anuales.
- ✧ Ventas del 80 % del abono generado anualmente por un valor de venta de 150 000 pesos por tonelada.
- ✧ 59 toneladas anuales de residuos orgánicos tratados en la PDM Quirigua.
- ✧ Costo de disposición de residuos de 215 000 pesos por tonelada pagada por los comerciantes de la PDM Quirigua.

Costos e ingresos - Escenario B1

Los costos se distribuyen principalmente entre dos rubros comprendidos, primero, por los costos laborales asociados a los **pagos de nómina para un operario**, a tiempo completo trabajando en el sistema de tratamiento, y, segundo, por los costos generados por el **uso de los vehículos para la recolección y el transporte** de los residuos generados en las diferentes PDM.

Los ingresos provienen del cobro por la gestión de residuos sólidos y por la venta del compost. Para su estimación, se consideró:

- ✧ Generación de abono orgánico de 113 toneladas anuales.
- ✧ Ventas del 50 % del abono generado anualmente por un valor de venta de 150 000 pesos por tonelada.
- ✧ 297 toneladas anuales de residuos orgánicos tratados en la PDM Quirigua y generados conjuntamente con otras 3 PDM.
- ✧ El costo de disposición de residuos es de 215 000 pesos por tonelada pagada por los comerciantes de las PDM.

Costos e ingresos - Escenario B2

Los **costos** laborales asociados a los **pagos de nómina para un operario a tiempo completo**, trabajando en el sistema de tratamiento, y a los costos generados por el **uso de los vehículos, para la recolección y el transporte** de los residuos generados en las diferentes PDM, son los costos más representativos. Los ingresos se estimaron teniendo en cuenta lo siguiente:

- ✧ Ventas del 20 % del abono generado anualmente por un valor de venta de 150 000 pesos por tonelada.
- ✧ 446 toneladas anuales de residuos orgánicos tratados en la PDM Quirigua y generados conjuntamente con otras 5 PDM.
- ✧ Costo de disposición de residuos de 215 000 pesos por tonelada pagada por los comerciantes de las PDM.
- ✧ Generación de 22 4000 m³ de biogás que corresponden a 11 200 m³ anuales vendidos a 1825 COP el m³.
- ✧ Generación de digestato que luego sirve como abono orgánico de 169 toneladas anuales.

Costos e ingresos - Escenario C

Los **costos** se distribuyen principalmente entre dos rubros comprendidos por los costos laborales asociados a los pagos de **nómina para tres operarios**, a tiempo completo y trabajando en el sistema de tratamiento, y por los costos generados por el **uso de los vehículos para la recolección y el transporte** de los residuos generados en las diferentes PDM. Para la estimación de los ingresos por la gestión de los residuos, la venta de compost y de electricidad, se consideró:

- ✧ Ventas del 20 % del abono generado anualmente por un valor de venta de 150 000 pesos por tonelada.
- ✧ 1782 toneladas anuales de residuos orgánicos tratados en las PDM y comercios a elegir (p. ej. restaurantes y parques aledaños).
- ✧ Costo de disposición de residuos de 215 000 pesos por tonelada pagada por los comerciantes de las PDM.
- ✧ Producción anual de electricidad de 204 600 kWh vendidos a 400 COP el kWh.
- ✧ Generación de digestato que luego puede servir como abono orgánico de 677 toneladas anuales.

4.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En esta sección, se presentan los **resultados del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (a un período de 7 años)** para cada escenario, considerando **4 distintas configuraciones financieras** para cubrir los costos de inversión. Estos contextos aparecen en la Tabla 4.3 y son:

-  Sin inversión por parte de las entidades públicas.
-  Inversión parcial por entidades públicas con la inversión necesaria en porcentaje para tener una TIR a 7 años superior al 10 % y un VAN positivo, dependiendo del escenario.
-  Inversión completa por entidades públicas con un período estimado para la recuperación de la inversión.
-  Hay financiamiento del 30 % de la inversión por parte de una entidad externa a las entidades públicas y a través de un mecanismo de deuda.

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

Alternativa financiera / Escenario	Sin inversión por parte de las entidades públicas (con beneficios tributarios)			Inversión parcial de las entidades públicas (con beneficios tributarios)		Inversión completa por entidades públicas	No inversión por entidades públicas pero inversión externa con 30% de deuda (7 años)	
	CAPEX (con beneficios tributarios)	TIR (a 7 años)	VNA	Inversión requerida para TIR>10 % y VNA positivo	TIR (a 7 años)	Recuperación de la inversión	TIR (a 7 años)	VNA
A	57 500 000 COP	-15,40 %	-	\$ 42 millones 73 % de CAPEX	12,34 %	8-9 años	-30,75 %	+
B1	82 300 000 COP	12,35 %	+	\$ 0 millones 0 % de CAPEX	12,35 %	4-5 años	15,5 %	+
B2	280 000 000 COP	7,46 %	-	\$ 42 millones 15 % de CAPEX	12,12 %	4-5 años	8,80 %	-
C	1 210 000 000 COP	11,,92 %	-	\$ 25 millones 2 % de CAPEX	12.53 %	3-4 años	14,93 %	+

 Fuente: BFS. (2022).

Tomando como ejemplo el escenario B2, se puede decir que:

1.

Cuando no existe una inversión por parte de las entidades públicas y el proyecto cuenta con beneficios tributarios, se tienen los re-

sultados de la Tabla 4.4 frente al valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR):
- Cuando el 100 % del CAPEX es otorgado por una entidad pública, el proyecto bajo este escenario tiene una recuperación de la

inversión en un período de entre 4 a 5 años y tiene los resultados reportados en la Tabla 4.6 frente al VAN.

Tabla 4.4. Resultados del escenario B2 sin inversión por parte de las entidades públicas

RESULTADOS					
	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años	5 Años
VAN proyecto	109 852 936 COP	27 878 978 COP	- 13 519 764 COP	- 36 437 892 COP	- 87 274 610 COP
TIR proyecto	18,73 %	14,47 %	10,52 %	7,46 %	- 2,92 %

 Fuente: BFS. (2022).

2.

Por otro lado, 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 15 % del CAPEX, para así obtener los resultados de la Tabla 4.5.
4.

Finalmente, la alternativa del apoyo financiero por parte de una entidad externa a las entidades públicas, a través de un mecanismo de

deuda con intereses del 7 % efectivo anual y una tenencia de la deuda de 10 años, tiene los resultados resumidos en la Tabla 4.7

Tabla 4.5. Resultados del escenario B2 con inversión parcial por parte de las entidades públicas

RESULTADOS					
	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años	5 Años
VAN proyecto	147 862 095 COP	65 392 774 COP	23 836 486 COP	856 199 COP	- 50 057 497 COP
TIR proyecto	22,28 %	18,56 %	14,96 %	12,12 %	2,26 %

 Fuente: BFS. (2022).

Tabla 4.6. Resultados del escenario B2 con una inversión total por parte de las entidades públicas

RESULTADOS					
	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años	5 Años
VAN proyecto	363 247 330 COP	277 970 952 COP	235 521 900 COP	212 189 384 COP	160 839 478 COP

 Fuente: BFS. (2022).

Tabla 4.7. Resultados del escenario B2 con una inversión externa con el 30 % de deuda

RESULTADOS					
	15 Años	10 Años	8 Años	7 Años	5 Años
VAN proyecto	172 563 498	64 113 276	12 971 169	- 14 505 647	- 73 997 269
TIR proyecto	19,10 %	14,94 %	11,08 %	8,09 %	-2,08 %

 Fuente: BFS. (2022).



Análisis de la viabilidad técnico-
económica para proyectos de tratamiento
in situ de residuos orgánicos en las Plazas
Distritales de Mercado de Bogotá

LISTA DE PROVEEDORES DE TECNOLOGÍA

5.



OVU0NG/shutterstock.com

En este capítulo se muestra la lista preseleccionada de empresas de tecnología que pueden ser potenciales aliadas de la iniciativa. Esta lista se definió a partir de la comunicación con algunos proveedores o el análisis de la factibilidad a través de los datos que proporcionan en sus sitios web.

5.1 PROVEEDORES PARA EL COMPOSTAJE


Fuente: BFS. (2021).

Tabla 5.1. Lista preseleccionada de empresas de tecnología potenciales para el compostaje

Empresa	Tecnología	Países donde opera	Fecha fundación	Ubicaciones	Contacto	Página web	Clientes principales
Compost Baladi S.A.S	Sistema de compostaje continuo con aireación forzada en contenedores cerrados	Colombia y Líbano (Beirut)	2017	Colombia y Líbano	compostbaladisa@gmail.com		American Community School Beirut Universidad Americana de Beirut ESA Business School Join Beirut, Ecole Soeurs Franciscaines de Marie PVT Residence, Nestle Waters USEK American Modern School Aitanit Municipality
Gestar Ingeniería S.A.S.	Compostaje en pilas	Colombia	-	-	lifeingenieria@gmail.com	-	-
Earthgreen	Contenedores (sistemas automatizados y en pilas)	Colombia	2005	Colombia, Cuba y Paraguay	comercial2@earth.green.com.co		Boitex – Cuba PANAMBI – Asunción/Paraguay La Perla – Centro de Bienestar Animal Centro Comunitario JAC Picacho EPM Universidad Nacional Mattelsa Industria Attica Ecohotel La Sirena Pharmaciolo Plaza de Mercado Campo Valdés Fundación SACIAR – Banco de Alimentos
Excel Industries	Máquina transformadora de residuos orgánicos	India			vrushank.karnataki@excelind.com		
Ecobot – Waste Converter Systems					info@ecobot.co.in		Microsoft Hero Honda LAVASA Bosh Magarpatta city ADANI National bank for agriculture and rural development
Eggersmann & Backhus	Sistemas de compostaje automatizado				i.benitez@f-e.de		

5.2

PROVEEDORES PARA DIGESTIÓN ANAEROBIA


 Fuente: BFS. (2021).

Tabla 5.2. Lista preseleccionada de empresas de tecnología potenciales para escenarios de digestión anaerobia

Empresa	Tecnología	Países donde opera	Fecha fundación	Ubicaciones	Contacto	Página Web	Clientes principales
Bert Energy GmbH	Producción de biogás en contenedores para uso directo o generación de electricidad.	Alemania	2010	Alemania, India, Brasil, Japón, Francia, Sudáfrica, Italia.	dory@bert-energy.com		Co-energy Corp Bert Mobil Bert 800 qm – 100 kW Biogas Plant Tesla Eco Sitems Bert Mobile Container
Kleinvieh - Corntec GmbH	Biodigestor con generador.	Alemania	-	-	thomas.Pieper@corntec.de		-
Eggersmann & Bekon GmbH	Fermentación seca para la producción de biogás.	Alemania	1992	Alemania, Italia, Francia, Portugal, Suiza, Polonia, Bulgaria, Brasil, México.	i.benitez@f-e.de		-
QUBE Renewables	Producción de biogás en contenedores para uso directo.	Inglaterra	-	Inglaterra, Canadá, Colombia.	mark@quberene.wables.co.uk		CCI BIOENERGY AMW KINGUSSIE
Puxin	Sistemas de biogás.	China		China, Ghana, Malasia, Estados Unidos, Tailandia, Emiratos Árabes, Francia	info1@puxintech.com		Puxin Portable assembly biogás system
Value Investment Colombia S.A.S.	Biodigestor	Colombia		Colombia	lsuarez@vic.com		
Synod Bioscience	Biodigestor	India		India	info@synod.in		Jusco Gemino Graphics PVT. LTDA Institute of Wood Science and Technology Reserve bank of India Plug and Play Residential Commercial Properties Made of Fibre Reinforced Plastic



Análisis de la viabilidad técnico-
económica para proyectos de tratamiento
in situ de residuos orgánicos en las Plazas
Distritales de Mercado de Bogotá

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

6.





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

6.1 AMBIENTAL

- ✧ Las tecnologías propuestas evitan que los residuos sólidos orgánicos generados en plazas de mercado sean dispuestos en rellenos sanitarios, una vez el procedimiento esté vigente. De acuerdo con las estimaciones, se encuentra el potencial de:
 - Desviar 59 toneladas anuales aproximadamente de los rellenos sanitarios del país, según las estimaciones, para el escenario A, 297 toneladas para B1, 446 para B2 y 1782 para C.
 - Evitar la liberación de entre 47 y 237 toneladas anuales de dióxido de carbono equivalente a la atmósfera cuando se utiliza la tecnología de compostaje (escenarios A y B1, respectivamente), y de entre 491 y 1963 toneladas anuales de dióxido de carbono equivalente cuando se implementa un digestor anaeróbico (escenarios B2 y C, respectivamente).
 - Reducir la generación de lixiviados y su potencial riesgo de contaminar fuentes hídricas.
 - La importancia de la implementación de los conceptos propuestos reside en la valorización de residuos orgánicos y la reducción de uso de vertederos.

6.2 SOCIAL

- ✧ Implementar sistemas descentralizados para el tratamiento de residuos sólidos funciona como un modelo de negocio rentable que genera nuevos empleos verdes. El personal requerido varía de acuerdo con el tamaño del sistema. Así, para el escenario A se requiere de un operario que trabaje medio tiempo, mientras que para los escenarios B1 y B2 necesitan de un operario a tiempo completo y en el escenario C de 3 operarios.
- ✧ Impulsar estos sistemas permitirá que la industria relacionada a la fabricación y 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 va a tener un impacto positivo sobre la salud pública.

6.3 ECONÓMICA

- ✧ El valor del CAPEX de cada escenario depende de la capacidad del sistema y de la tecnología a implementar. Así, el escenario A tiene un valor de inversión de 57 500 000 COP, el B1 de 75 200 000 COP, el B2 de 287 300 000 COP y el C de 1 200 000 000 COP; todos según la estimación y cuando se aplican los beneficios tributarios ambientales.
- ✧ Por su parte, los costos anuales de cada escenario se estiman de aproximadamente 12 200 000 COP para el año 0 del proyecto en el escenario A, de 50 300 000 COP para B1, de 59 500 000 COP para B2 y de 164 000 000 COP para C.
- ✧ El costo operativo de tratamiento por tonelada de residuos al año disminuye conforme aumenta la capacidad del sistema. Para el escenario A, este valor es de 203 716 pesos por tonelada al año, y el de los escenarios B1, B2 y C es de 169 347 COP, 133 651 COP y de 92 237 COP por tonelada al año, respectivamente.
- ✧ La implementación de un sistema descentralizado para la gestión de los residuos puede generar descuentos en el cobro a los vendedores de la plaza asociado a esta actividad.



- ✧ El valor de la nómina es la cuenta con mayor participación dentro de los costos de operación de los sistemas en los escenarios analizados. La cantidad de personal está asociada al tamaño del sistema y a la complejidad de cada tecnología.
- ✧ El cobro por la gestión de los residuos sólidos a los comerciantes de la PDM es el rubro con mayor participación porcentual dentro de los ingresos estimados en cada escenario. Por lo tanto, los cambios en los ingresos obtenidos por la venta de subproductos no afectan significativamente el total de los ingresos de los sistemas.
- ✧ Para todos los escenarios, los ingresos anuales son superiores a los costos. La rentabilidad de cada proyecto depende principalmente de la inversión inicial y el apalancamiento financiero.
- ✧ De acuerdo con el análisis de sensibilidad, se establece que:
 - Cuando no existe inversión por parte de las entidades públicas, el escenario B1 es el único que cuenta con una TIR superior a 10 % después de 7 años y con un VAN positivo. Así mismo, es el único escenario que no

requiere apalancamiento financiero en la inversión inicial para ser sostenible financieramente.

- Con una inyección de recursos que no supere los 42 millones de pesos, todos los escenarios analizados cuentan con un TIR superior a 10 % después de 7 años y con un VAN positivo.
- Si se contempla la inversión externa con 30 % de deuda, los escenarios B1 y C cuentan con un TIR mayor a 10 % después de 7 años y VAN positivo.
- Si se contempla la inversión completa por parte de las entidades públicas, el periodo de recuperación de la inversión se vuelve más corto a mayor CAPEX.

6.4 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 inversión externa, es necesario considerar un convenio con una duración mínima de 7 años.
- ✧ Pese a que la separación en la fuente en las PDM es elevada, se debe garantizar la continua sensibilización al público en esta materia, de forma tal que las tecnologías operen 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.
- ✧ Para la propagación de estos conceptos en otros puntos focales de la ciudad, se debe generar un monitoreo continuo del funcionamiento y desempeño de la tecnología, con el fin de contrarrestar futuros problemas.





Análisis de la viabilidad técnico-
económica para proyectos de tratamiento
in situ de residuos orgánicos en las Plazas
Distritales de Mercado de Bogotá

ANEXOS

7.



7.1

MATRIZ MULTICRITERIO, PARTE 1

Figura 7.1. Desglose de matriz multicriterio

[illegible]

Criterios De Evaluación	Las Ferias	Siete De Agosto	Veinte De Julio	Carlos E. Restrepo	Kennedy	Doce De Octubre	Fontibón	Quirigua	Samper Mendoza	Santander	La Perseverancia	Las Cruces	La Concordia	Trinidad Galán
Involucramiento de la población recicladora	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	100	10	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Total	10	1	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Disponibilidad de espacio para tratamiento en sitio	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	100	10	50	50	100	10	10	100	10	50	10	10	10	50
Total	15	1,5	7,5	7,5	15	1,5	1,5	15	1,5	7,5	1,5	1,5	1,5	7,5
Número de comerciantes	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	50	50	50	100	10	10	50	50	50	10	10	10	10	10
Total	2,5	2,5	2,5	5	0,5	0,5	2,5	2,5	2,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Priorización distrital	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	100	10	100	100	10	10	100	100	10	10	10	10	10	10
Total	10	1	10	10	1	1	10	10	1	1	1	1	1	1
Proximidad a otra Plaza	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	10	10	100	50	100	100	50	100	10	50	100	10	50	100
Total	0,5	0,5	5	2,5	5	5	2,5	5	0,5	2,5	5	0,5	2,5	5
Disponibilidad de cooperación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	100	100	100	10	10	10	100	100	100	10	100	10	100	100
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gran Total	58,5	13,5	46,5	51	43	16	24,5	54	13,5	24	16	11,5	13,5	26,5

 Fuente: BFS. (2022).



7.2

MATRIZ MULTICRITERIO, PARTE 2

Figura 7.2. Detalles sobre criterios de evaluación, peso asignado y criterios de evaluación y su calificación

Criterio de evaluación	Peso
Volumen de generación de residuos	0,15
Separación de residuos en el sitio	0,15
Iniciativas de sustentabilidad implementadas con éxito	0,05
Programas de sensibilidad	0,05
Involucramiento de la población recicladora	0,1
Espacio disponible para tratamiento en sitio	0,15
Número de comerciantes	0,05
Priorización distrital (criterio IPES)	0,1
Proximidad a otra Plaza de Mercado	0,05
Disposición a cooperar en implementación de iniciativas	0,15

Prioridad	Ponderado
Alta	0,15
Media	0,1
Baja	0,05

1. Volumen de generación de residuos	Calificación
<10 (t/mes)	100
10<x <5 (t/mes)	50
>5 (t/mes)	10

2. Separación de residuos en sitio	Calificación
Sí	100
En proceso	50
No	10

3. Iniciativas verdes implementadas con éxitos	Calificación
Sí	100
No	10

4. Programa de sensibilidad	Calificación
Sí	100
En proceso	50
No	10

5. Involucramiento de la población recicladora	Calificación
Sí	100
No	10

6.Espacio disponible para tratamiento	Calificación
Sí	100
Posibilidad	50
No	10

7. Número de comerciantes	Calificación
<200	100
200<x <100	50
>100	10

8. Priorización distrital	Calificación
Plaza priorizada	100
Plaza no priorizada	10

9. Proximidad a otra Plaza	Calificación
Parte de localidad con 3 plazas	100
Parte de localidad con 2 plazas	50
Parte de localidad con 1 plazas	10

10. Disposición a cooperar en implementación de iniciativas	Calificación
Sí	100
Potencial	50
No	10

 Fuente: BFS. (2021).

7.3

DATOS DE PROVEEDORES DE TECNOLOGÍA

Tabla 7.1. Lista con proveedores de tecnología

Nombre	País	Tipo	Correo electrónico	Respuesta	Detalles	Website
AGF Procesos	España	Biodigestor	j.cuenca@agfprocesos.com	No	No	Contacto AGF Ingeniería de Procesos - Plantas de Biogás España (agfprocesos.com)
AgriKomp	Alemania	Biodigestor	sitio web	Sí	Sólo trabajan con residuos de agricultura	agriKomp GmbH - Separation durch moderne Trenntechnik
Bekon - Eggersmann Gruppe	Alemania	Biodigestor	bekon@f-e.de	No	No	BEKON Innovative Biogas technology & Biogas plants BEKON
Bert do Brasil	Brasil	Biodigestor	sitio web	No	No	http://bertdobrasil.eco.br/
Bert Global	Alemania	Biodigestor	info@bert-energy.com	Sí	Caso de Estudio - Información e indicación de precio	Bert Energy GmbH – Farm size biogas plants – smal biogas systems – waste to energy (bert-energy.com)
Bioconverter	Brasil	Biodigestor (sin biogás)	comercial@bioconverter.com.br	No	No	https://bioconverter.com.br/
Bright Biomethane	Holanda	Biodigestor	info@brightbiomethane.com	No	No	Biogas Upgrading with PurePac Mini Bright Biomethane
Cryotec	Alemania	Biodigestor	sales@cryotec.de	No	No	Home CRYOTEC
Earthlee	Australia	Biodigestor	info@earthlee.com	No	No	Modular Digester — Earthlee



Nombre	País	Tipo	Correo electrónico	Respuesta	Detalles	Website
Ecomembrane	Italia	Biodigestor	info@ecomembrane.com	No	No	ECONTAINER (ecomembrane.com)
Eggersmann & Bekon GmbH				Sí	Información básica, mínimo 5.000 ton RO/año para ser factible.	
Enbion GmbH	Alemania	Biodigestor	info@enbion.de	No	No	http://www.biogaskleinanlage.de/
Envitec Biogas	Alemania	Biodigestor	sitio web	No	No	EnviTec Biogas - Ihr Biogas-All-rounder – EnviTec Biogas AG (envitec-biogas.de)
Franz Fuhrer Biogasanlagen	Austria	Biodigestor	franz.fuehrer@biogasanlagen.at	No	No	https://www.biogasanlagen.at/#rueckblick
Kleinvieh - Corntec GmbH	Alemania	Biodigestor	info@kleinvieh.eu / thomas.pieper@corntec.de	Sí	Información e indicación de precio	Modular aufgebaute Kompakt-biogasanlage Kleinvieh
Komptech	Alemania	Biodigestor	A.Groeser@komptech.com	No	No	Komptech - Komptech
Krieg & Fisher Ingenieure GmbH	Alemania	Biodigestor	contact@kriegfischer.de	No	No	Biogasanlagen - Krieg & Fischer GmbH (kriegfischer.de)
Multee Biogás	Brasil	Biodigestor	sitio web	No	No	Empresa de Energia e Projetos de Biogás - Multee Biogás (biogas.agr.br)
NORTH-TEC Maschinenbau GmbH	Alemania	Biodigestor	nhardtman@north-tec.de	No	No	Biogas Anlagenbau: NORTH-TEC-BIOGAS
Plaslonas	Brasil	Biodigestor	sitio web	No	No	Plaslonas - Contato - Biodigestor
Puxin	China	Biodigestor	info6@puxintech.com	Sí	Información e indicación de precio	Company-Shenzhen Puxin Technology Co. Ltd.
QUBE Renewables	UK	Biodigestor	enquiries@quberenergies.co.uk	No	No	bioQUBE QUBE Renewables Ltd



Nombre	País	Tipo	Correo electrónico	Respuesta	Detalles	Website
Ruhe Biogas Service	Alemania	Biodigestor	sitio web	Sí	No son especialistas en la producción de biogás a partir de restos de frutas, verduras y aromáticos	Sie möchten mehr über unsere Serviceangebote erfahren? (rbsgmbh.de)
Sansuy	Brasil	Biodigestor	contato@sansuy.com.br	No	No	http://www.vinibiodigestor.com.br/#contato
Sauter Biogas Gmbh	Alemania	Biodigestor	sitio web	No	No	Anfrage erhalten SAUTER Bio-gas GmbH (sauter-biogas.de)
Synod Bioscience	India	Biodigestor	info@synod.in	No	No	synod.in
Value Investment Colombia S.A.S.	Colombia	Biodigestor	isuarez@vic.com.co	Sí	Información básica e indicación del precio.	www.vic.com.co
Compost Baladi	Colombia	Compostaje	compostbaladisas@gmail.com	Sí	Caso de Estudio - Información y cotización	https://compostbaladi.com/
Ecobot - Waste Converter Systems	India	Compostaje	info@ecobot.co.in	Sí	Información básica.	Models Ecobot Fully Automatic Waste Recycling Machine Models
Earthgreen	Colombia	Compostaje	comercial2@earthgreen.com.co	Sí	No	www.earthgreen.com.co/
Eggersman & Backhus	Alemania	Compostaje	i.benitez@f-e.de	Sí	Información básica.	www.eggersmann-recycling-technology.com/recycling-maschinen/backhus-kom-postumsetzer/produkte/
Excel	India	Compostaje	vrushank.karnataki@excelind.com	Sí	Información e indicación de precio	Compost Machines and Organic Waste Converters by Excel Industries
Gestar Ingeniería S.A.S.	Colombia	Compostaje	lifeingenieria@gmail.com	No	No	-
Nachiket Engineering	India	Compostaje	info@nachiketgroup.com	No	No	Composting Machine Organic Waste Composting Machine at best price (nachiketgroup.com)

 Fuente: BFS. (2021).



7.4 DETALLES SOBRE EL SALARIO MÍNIMO MENSUAL LEGAL VIGENTE

Tabla 7.2. Detalles sobre el Salario mínimo mensual legal vigente en Colombia

SMMLV	
Salario base mensual	908 526 COP
Auxilio de transporte	106 454 COP
Salud	77 225 COP
Pensión	109 023 COP
ARL (nivel V)	63 233 COP
Parafiscales	81 767 COP
Prima	75 680 COP
Cesantías	75 680 COP
Intereses de cesantías	9085 COP
Vacaciones	37 886 COP
Dotación aproximada	45 426 COP
Salario final mensual promedio	1 589 985 COP

 Fuente: BFS. (2021).

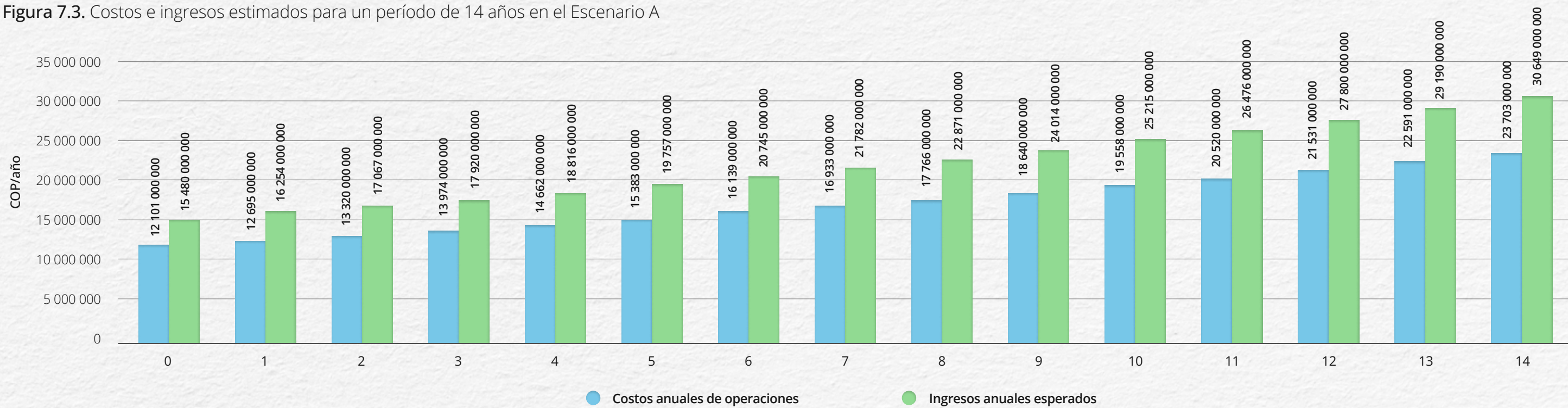
7.5 ESCENARIO A Y SUS DETALLES FINANCIEROS

Tabla 7.3. CAPEX para Escenario A

CAPEX	
Total sistema	50 407 000 COP
Costo maquinaria en COP	5 000 000 COP
Técnicos (2 personas por 1 semana)	3 000 000 COP
20 m³ de estiércol	1 000 000 COP
Alquiler maquinaria pesada (por 3 días)	3 000 000 COP
Redes eléctricas	3 120 350 COP
Obra civil	65 527 350 COP
Imprevistos	
TOTAL (sin beneficios tributarios)	-42 358 824 COP
Concepto evaluación ANLA	-8 048 176 COP
Costo antes de IVA	57 479 174 COP
Beneficios tributarios	82 213 891 COP
TOTAL (con beneficios tributarios) y descuento CAPEX	279 925 765 COP

 Fuente: BFS. (2021).

Figura 7.3. Costos e ingresos estimados para un período de 14 años en el Escenario A



Fuente: BFS. (2021).

Tabla 7.4. OPEX (año 0) para Escenario A

Costos	Valor (COP)
Energía	1 029 600
Laboral	9 539 917
Mantenimiento	1 034 625
Disposición de lodos	496 584
Vehículos	12 100 726
Costos anuales de operación	50 296 206

Fuente: BFS. (2021).

Tabla 7.5. Ingresos (año 0) del Escenario A

Ingresos	Valor (COP)
Ingresos por venta de electricidad	2 708 640
Ingresos por venta de fertilizante	12 771 238
Ingresos por manejo de residuos	15 479 878
Ingresos anuales esperados	1 289 990
Ingresos mensuales esperados	10 110 933

Fuente: BFS. (2021).



Tabla 7.6. Flujo de caja del Escenario A

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CAPEX	-57 479 174 COP					1 778 745 COP	1 224 962 COP	1 265 386 COP	1 307 144 COP	1 350 280 COP	1 394 839 COP
Ingresos		15 479 878 COP	16 253 871 COP	17 066 565 COP	17 919 893 COP	18 815 888 COP	19 756 682 COP	20 744 516 COP	21 781 742 COP	22 870 829 COP	24 014 371 COP
OPEX		12 100 726 COP	12 695 466 COP	13 319 532 COP	13 974 372 COP	14 661 509 COP	15 382 540 COP	16 139 140 COP	16 933 069 COP	17 766 174 COP	18 640 392 COP
EBITDA		3 379 152 COP	3 558 405 COP	3 747 034 COP	3 945 521 COP	4 154 379 COP	4 374 143 COP	4 605 377 COP	4 848 673 COP	5 104 656 COP	5 373 979 COP
Depreciación y amortización		3 831 945 COP	3 831 945 COP	3 831 945 COP	3 831 945 COP	3 831 945 COP	3 831 945 COP	3 831 945 COP	3 831 945 COP	3 831 945 COP	3 831 945 COP
EBIT		- 452 793 COP	- 273 539 COP	- 84 911 COP	113 576 COP	322 434 COP	542 198 COP	773 432 COP	1 016 728 COP	1 272 711 COP	1 542 034 COP
EBIT Impuestos		-452 793 COP	-273 539 COP	-84 911 COP	73 825 COP	209 582 COP	352 429 COP	502 731 COP	660 873 COP	827 262 COP	1 002 322 COP
PBT		- 452 793 COP	- 273 539 COP	- 84 911 COP	113 576 COP	322 434 COP	542 198 COP	773 432 COP	1 016 728 COP	1 272 711 COP	1 542 034 COP
Impuestos		-	-	-	39 752 COP	112 852 COP	189 769 COP	270 701 COP	355 855 COP	445 449 COP	539 712 COP
PAT		- 452 793 COP	- 273 539 COP	- 84 911 COP	73 825 COP	209 582 COP	352 429 COP	502 731 COP	660 873 COP	827 262 COP	1 002 322 COP
Flujo de caja libre	-57 479 174 COP	3 379 152 COP	3 558 405 COP	3 747 034 COP	3 905 770 COP	4 041 527 COP	4 184 374 COP	4 334 676 COP	4 492 818 COP	4 659 207 COP	4 834 267 COP

Fuente: BFS. (2021).



7.6

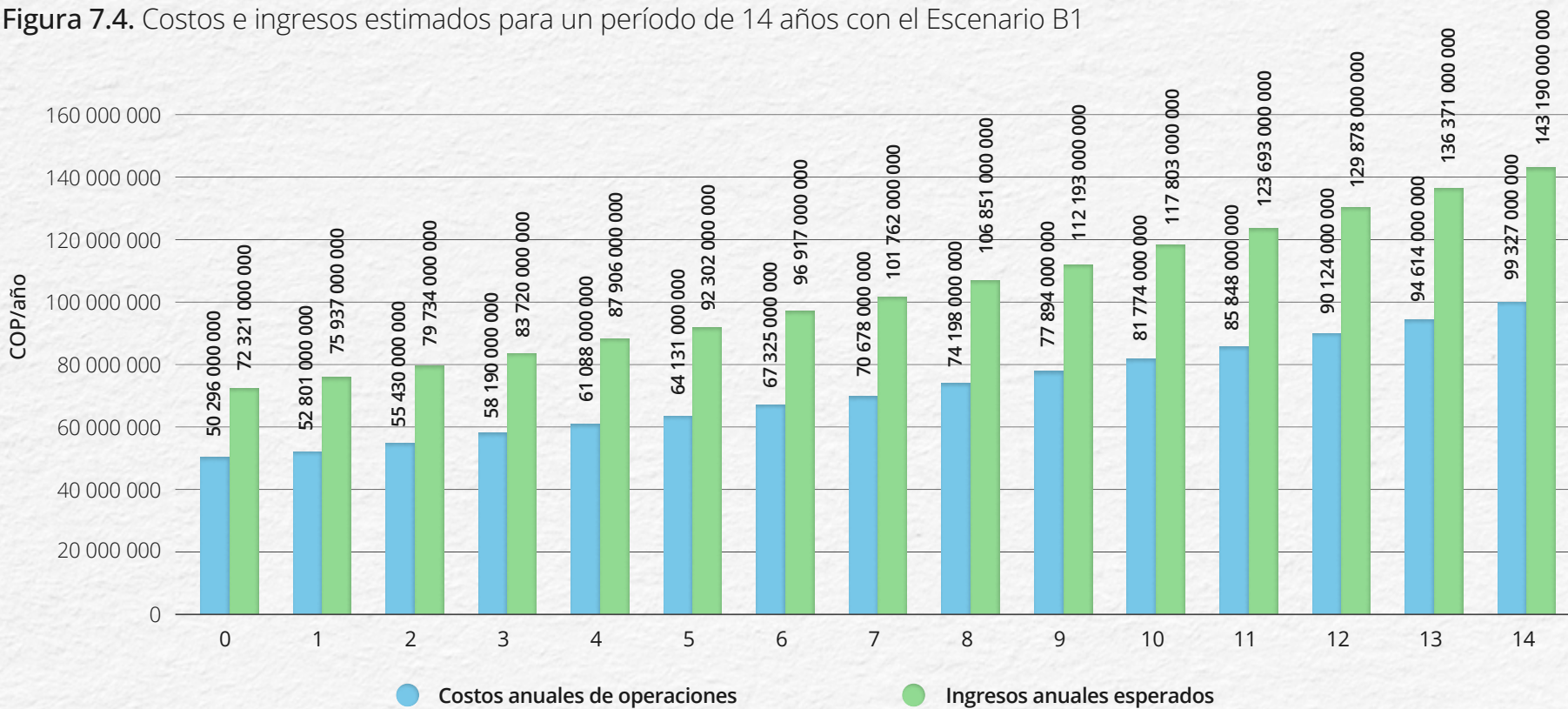
ESCENARIO B1
Y SUS DETALLES
FINANCIEROS

Tabla 7.7. CAPEX del Escenario B1

CAPEX	
Total sistema	75 240 000 COP
Costo maquinaria en COP	75 240 000 COP
Técnicos (2 personas por 1 semana)	3 000 000 COP
20 m³ de estiércol	3 000 000 COP
Alquiler maquinaria pesada (por 3 días)	3 500 000 COP
Redes eléctricas	5 000 000 COP
Obra civil	4 487 000 COP
Imprevistos	94 227 000 COP
TOTAL (sin beneficios tributarios)	
Concepto evaluación ANLA	-63 226 891 COP
Costo antes de IVA	-12 013 109 COP
Beneficios tributarios	82 213 891 COP
TOTAL (con beneficios tributarios) y descuento CAPEX	279 925 765 COP

Fuente: BFS. (2021).

Figura 7.4. Costos e ingresos estimados para un período de 14 años con el Escenario B1



Fuente: BFS. (2021).

Tabla 7.8. OPEX (año 0) para el Escenario B1

Costos	Valor (COP)
Energía	1 029 600
Laboral	26 497 494
Mantenimiento	1 849 813
Disposición de lodos	6 207 300
Vehículos	14 712 000
Costos anuales de operación	50 296 206

Fuente: BFS. (2021).

Tabla 7.9. Ingresos (año 0) del Escenario B1

Ingresos	Valor (COP)
Ingresos por venta de electricidad	8 464 500
Ingresos por venta de fertilizante	63 856 188
Ingresos por manejo de residuos	72 320 688
Ingresos anuales esperados	6 026 724
Ingresos mensuales esperados	10 110 933

Fuente: BFS. (2021).



Tabla 7.10. Flujo de caja en el Escenario B1

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CAPEX	-82 213 891 COP					2 655 044 COP	1 828 440 COP	1 888 779 COP	1 951 108 COP	2 015 495 COP	2 082 006 COP
Ingresos		72 320 688 COP	75 936 722 COP	79 733 559 COP	83 720 236 COP	87 906 248 COP	92 301 561 COP	96 916 639 COP	101 762 471 COP	106 850 594 COP	112 193 124 COP
OPEX		50 296 206 COP	52 800 721 COP	55 430 049 COP	58 190 415 COP	61 088 354 COP	64 130 727 COP	67 324 737 COP	70 677 946 COP	74 198 294 COP	77 894 118 COP
EBITDA		22 024 482 COP	23 136 002 COP	24 303 510 COP	25 529 821 COP	26 817 894 COP	28 170 834 COP	29 591 902 COP	31 084 525 COP	32 652 300 COP	34 299 006 COP
Depreciación y amortización		5 480 926 COP	5 480 926 COP	5 480 926 COP	5 480 926 COP	5 480 926 COP	5 480 926 COP	5 480 926 COP	5 480 926 COP	5 480 926 COP	5 480 926 COP
EBIT		16 543 556 COP	17 655 076 COP	18 822 584 COP	20 048 895 COP	21 336 968 COP	22 689 907 COP	24 110 976 COP	25 603 599 COP	27 171 374 COP	28 818 079 COP
EBIT Impuestos		10 753 311 COP	11 475 799 COP	12 234 679 COP	13 031 782 COP	13 869 029 COP	14 748 440 COP	15 672 134 COP	16 642 339 COP	17 661 393 COP	18 731 752 COP
PBT		16 543 556 COP	17 655 076 COP	18 822 584 COP	20 048 895 COP	21 336 968 COP	22 689 907 COP	24 110 976 COP	25 603 599 COP	27 171 374 COP	28 818 079 COP
Impuestos		5 790 244 COP	6 179 276 COP	6 587 904 COP	7 017 113 COP	7 467 939 COP	7 941 468 COP	8 438 842 COP	8 961 260 COP	9 509 981 COP	10 086 328 COP
PAT		10 753 311 COP	11 475 799 COP	12 234 679 COP	13 031 782 COP	13 869 029 COP	14 748 440 COP	15 672 134 COP	16 642 339 COP	17 661 393 COP	18 731 752 COP
Flujo de caja libre	- 82 213 891 COP	16 234 237 COP	16 956 725 COP	17 715 605 COP	18 512 708 COP	19 349 955 COP	20 229 366 COP	21 153 060 COP	22 123 265 COP	23 142 319 COP	24 212 678 COP

Fuente: BFS. (2021).



7.7

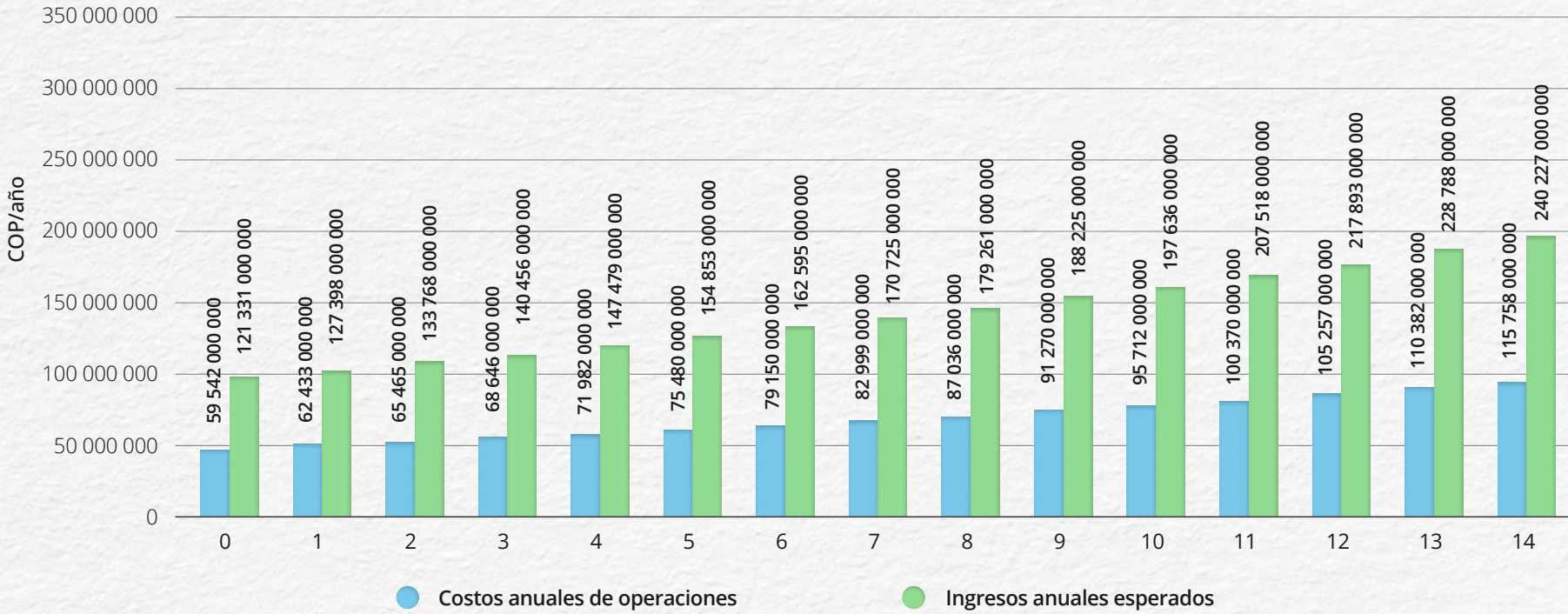
ESCENARIO B2
Y SUS DETALLES
FINANCIEROS

Tabla 7.11. CAPEX del Escenario B2

CAPEX	
Total sistema	287 280 000 COP
Costo maquinaria en COP	287 280 000 COP
Técnicos (2 personas por 1 semana)	5 000 000 COP
20 m³ de estiércol	5 000 000 COP
Alquiler maquinaria pesada (por 3 días)	3 000 000 COP
Redes eléctricas	5 000 000 COP
Obra civil	5 000 000 COP
Imprevistos	15 514 000 COP
TOTAL (sin beneficios tributarios)	325 794 000 COP
Concepto evaluación ANLA	
Costo antes de IVA	-241 411 765 COP
Beneficios tributarios	-45 868 235 COP
TOTAL (con beneficios tributarios) y descuento CAPEX	279 925 765 COP

Fuente: BFS. (2021).

Figura 7.5. Costos e ingresos estimados para un período de 14 años con el Escenario B2



Fuente: BFS. (2021).

Tabla 7.12. OPEX (año 0) del Escenario B2

Costos	Valor (COP)
Energía	85 80 000
Laboral	26 497 494
Mantenimiento	8 397 773
Disposición de lodos	1 354 320
Vehículos	14 712 000
Costos anuales de operación	59 541 587

Fuente: BFS. (2021).

Tabla 7.13. Ingresos (año 0) del Escenario B2

Ingresos	Valor (COP)
Ingresos por venta de electricidad	20 468 219
Ingresos por venta de fertilizante	5 078 700
Ingresos por manejo de residuos	95 784 282
Ingresos anuales esperados	121 331 201
Ingresos mensuales esperados	10 110 933

Fuente: BFS. (2021).



Tabla 7.14. Flujo de caja del Escenario B2

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CAPEX	- 279 925 765 COP					10 137 439 COP	6 981 316 COP	7 211 700 COP	7 449 686 COP	7 695 525 COP	7 949 478 COP
Ingresos		121 331 201 COP	127 397 761 COP	133 767 649 COP	140 456 032 COP	147 478 833 COP	154 852 775 COP	162 595 414 COP	170 725 184 COP	179 261 444 COP	188 224 516 COP
OPEX		59 541 587 COP	62 432 866 COP	65 465 277 COP	68 645 740 COP	71 981 514 COP	75 480 215 COP	79 149 837 COP	82 998 765 COP	87 035 796 COP	91 270 163 COP
EBITDA		61 789 614 COP	64 964 895 COP	68 302 372 COP	71 810 292 COP	75 497 320 COP	79 372 559 COP	83 445 576 COP	87 726 419 COP	92 225 647 COP	96 954 353 COP
Depreciación y amortización		18 661 718 COP	18 661 718 COP	18 661 718 COP	18 661 718 COP	18 661 718 COP	18 661 718 COP	18 661 718 COP	18 661 718 COP	18 661 718 COP	18 661 718 COP
EBIT		43 127 897 COP	46 303 177 COP	49 640 654 COP	53 148 574 COP	56 835 602 COP	60 710 842 COP	64 783 859 COP	69 064 702 COP	73 563 930 COP	78 292 635 COP
EBIT Impuestos		28 033 133 COP	30 097 065 COP	32 266 425 COP	34 546 573 COP	36 943 141 COP	39 462 047 COP	42 109 508 COP	44 892 056 COP	47 816 554 COP	50 890 213 COP
PBT		43 127 897 COP	46 303 177 COP	49 640 654 COP	53 148 574 COP	56 835 602 COP	60 710 842 COP	64 783 859 COP	69 064 702 COP	73 563 930 COP	78 292 635 COP
Impuestos		15 094 764 COP	16 206 112 COP	17 374 229 COP	18 602 001 COP	19 892 461 COP	21 248 795 COP	22 674 350 COP	24 172 646 COP	25 747 375 COP	27 402 422 COP
PAT		28 033 133 COP	30 097 065 COP	32 266 425 COP	34 546 573 COP	36 943 141 COP	39 462 047 COP	42 109 508 COP	44 892 056 COP	47 816 554 COP	50 890 213 COP
Flujo de caja libre	- 279 925 765 COP	46 694 850 COP	48758 783 COP	50 928 143 COP	53 208 291 COP	55 604 859 COP	58 123 765 COP	60 771 226 COP	63 553 774 COP	66 478 272 COP	69 551 931 COP

Fuente: BFS. (2021).



7.8

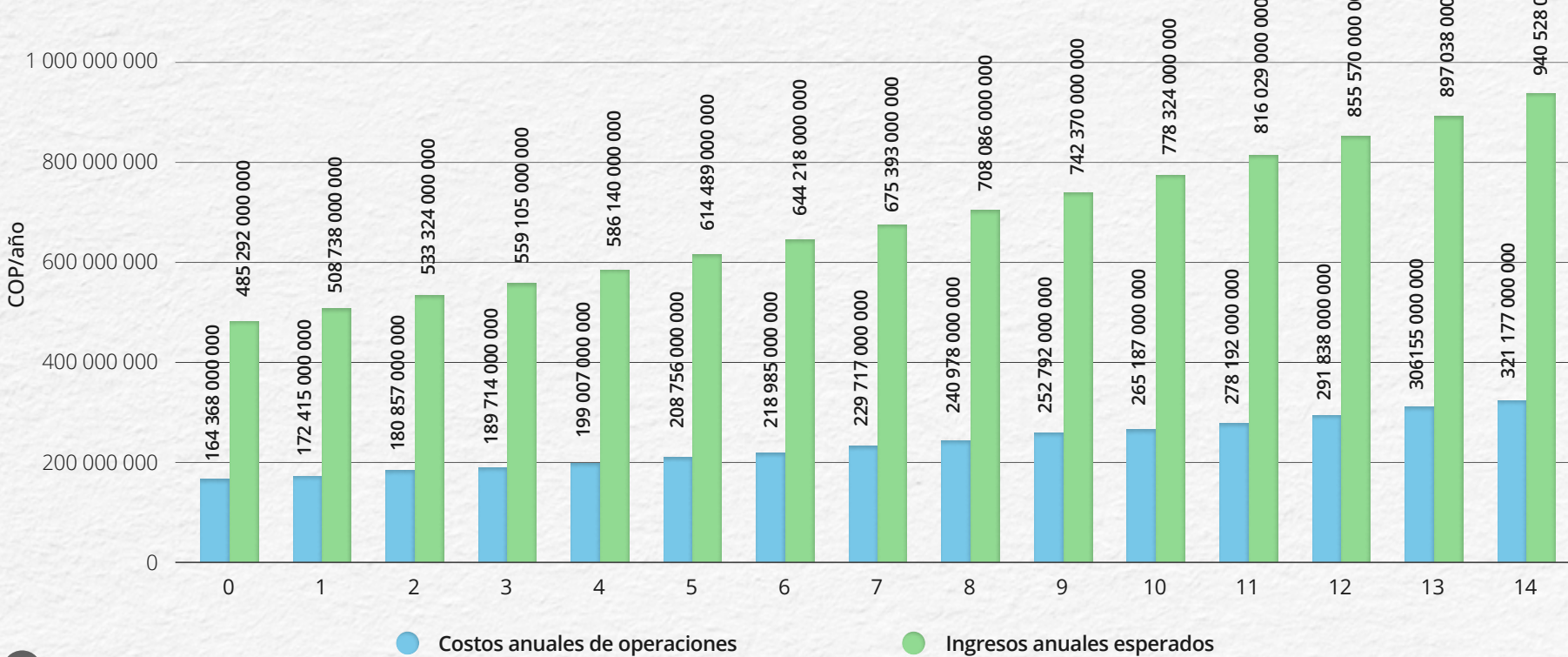
ESCENARIO C Y SUS DETALLES FINANCIEROS

Tabla 7.15. CAPEX del Escenario C

CAPEX	
Total sistema	1 331 362 224 COP
Costo maquinaria en COP	1 331 362 224 COP
Técnicos (2 personas por 1 semana)	5 000 000 COP
20 m³ de estiércol	5 000 000 COP
Alquiler maquinaria pesada (por 3 días)	3 000 000 COP
Redes eléctricas	5 000 000 COP
Obra civil	5 000 000 COP
Imprevistos	67 718 111 COP
TOTAL (sin beneficios tributarios)	1 422 080 335 COP
Concepto evaluación ANLA	
Costo antes de IVA	-1 118 791 785 COP
Beneficios tributarios	-212 570 439 COP
TOTAL (con beneficios tributarios) y descuento CAPEX	1 209 509 896 COP

Fuente: BFS. (2021).

Figura 7.6. Costos e ingresos estimados para un período de 14 años en el Escenario C



Fuente: BFS. (2021).

Tabla 7.16. OPEX (año 0) para el Escenario C

Costos	Valor (COP)
Energía	17 160 000
Laboral	64 657 160
Mantenimiento	36 285 297
Disposición de lodos	5 417 280
Vehículos	40 848 000
Costos anuales de operación	164 367 737

Fuente: BFS. (2021).

Tabla 7.17. Ingresos (año 0) para el Escenario C

Ingresos	Valor (COP)
Ingresos por venta de electricidad	81 840 000
Ingresos por venta de fertilizante	20 314 800
Ingresos por manejo de residuos	383 137 128
Ingresos anuales esperados	485 291 928
Ingresos mensuales esperados	40 440 994

Fuente: BFS. (2021).



Tabla 7.18. Flujo de caja para el Escenario C

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CAPEX	- 1 209 509 896 COP					46 980 658 COP	32 354 013 COP	33 421 695 COP	34 524 611 COP	35 663 923 COP	36 840 833 COP
Ingresos		485 291 928 COP	508 738 124 COP	533 323 895 COP	559 104 908 COP	586 139 565 COP	614 489 131 COP	644 217 878 COP	675 393 235 COP	708 085 938 COP	742 370 198 COP
OPEX		164 367 737 COP	172 414 524 COP	180 856 786 COP	189 714 023 COP	199 006 698 COP	208 756 285 COP	218 985 321 COP	229 717 459 COP	240 977 518 COP	252 791 547 COP
EBITDA		320 924 191 COP	336 323 600 COP	352 467 108 COP	369 390 885 COP	387 132867 COP	405 732 846 COP	425 232 557 COP	445 675 777 COP	467 108 421 COP	489 578 651 COP
Depreciación y amortización		80 633 993 COP	80 633 993 COP	80 633 993 COP	80 633 993 COP	80 633 993 COP	80 633 993 COP	80 633 993 COP	80 633 993 COP	80 633 993 COP	80 633 993 COP
EBIT		240 290 198 COP	255 689 607 COP	271 833 115 COP	288 756 892 COP	306 498 874 COP	325 098 853 COP	344 598 564 COP	365 041 784 COP	386 474 428 COP	408.944.658 COP
EBIT Impuestos		156 188 629 COP	166 198 245 COP	176 691 525 COP	187 691 980 COP	199 224 268 COP	211 314 254 COP	223 989 067 COP	237 277 159 COP	251 208 378 COP	265 814 028 COP
PBT		240 290 198 COP	255 689 607 COP	271 833 115 COP	288 756 892 COP	306 498 874 COP	325 098 853 COP	344 598 564 COP	365 041 784 COP	386 474 428 COP	408 944 658 COP
Impuestos		84 101 569 COP	89 491 363 COP	95 141 590 COP	101 064 912 COP	107 274 606 COP	113 784 599 COP	120 609 497 COP	127 764 624 COP	135 266 050 COP	143 130 630 COP
PAT		156 188 629 COP	166 198245 COP	176 691 525 COP	187 691 980 COP	199 224 268 COP	211 314 254 COP	223 989 067 COP	237 277 159 COP	251 208 378 COP	265 814 028 COP
Flujo de caja libre	- 1 209 509 896 COP	236 822 622 COP	246 832 238 COP	257 325 518 COP	268 325 973 COP	279 858 261 COP	291 948 247 COP	304 623 060 COP	317 911 152 COP	331 842 371 COP	346 448 021 COP

Fuente: BFS. (2021).



7.9 EJEMPLO DE COTIZACIÓN PARA ESCENARIO A

Figura 7.7. Ejemplo cotización escenario A

Compost Baladi SAS
Transversal 57 No. 99-180, edificio Select, apartamento 903
Barranquilla, Atlántico, Colombia
Correo: compost.baladi.sas@gmail.com
NIT No. 901.341.882-0

Cotización

Cotización #03/2022

PREPARADA PARA

Agencia de la GIZ en Colombia
Calle 125 No. 19-24, oficina 501
Bogotá, Cundinamarca, Colombia
Tel: + 57 1 432 5350

FECHA DE PREPARACIÓN
14 de febrero de 2022

FECHA DE CADUCIDAD
14 de marzo de 2022

Descripción	Precio (pesos colombiano)
Escenario 1: Sistema de compostaje continuo aireado en 1 contenedor cerrado de 20 pies, con: - Dos cámaras de compostaje independientes. - Capacidad de tratamiento de 160 kg/día de residuos orgánicos. - Biofiltro. - Sistema de recirculación de lixiviados. - Curado del compost hecho dentro del sistema.	40,320,000

ESTA COTIZACIÓN ESTÁ SUJETA A LO SIGUIENTE TÉRMINOS Y CONDICIONES:

- Esta cotización incluye todos los impuestos a pagar.
- Esta cotización es válida por 1 mes desde la fecha de preparación.

 Fuente: Compost Baladi S.A.S. (2022).

7.10 EJEMPLO DE COTIZACIÓN PARA ESCENARIO B1

Figura 7.8. Ejemplo de cotización escenario B1

Compost Baladi SAS
Transversal 57 No. 99-180, edificio Select, apartamento 903
Barranquilla, Atlántico, Colombia
Correo: compost.baladi.sas@gmail.com
NIT No. 901.341.882-0

Cotización

Cotización #04/2022

PREPARADA PARA

Agencia de la GIZ en Colombia
Calle 125 No. 19-24, oficina 501
Bogotá, Cundinamarca, Colombia
Tel: + 57 1 432 5350

FECHA DE PREPARACIÓN
14 de febrero de 2022

FECHA DE CADUCIDAD
14 de marzo de 2022

Descripción	Precio (pesos colombiano)
Escenario 2: Sistema de compostaje continuo aireado en 2 contenedores cerrados de 40 pies, con: - Capacidad de tratamiento de 1,250 kg/día de residuos orgánicos. - Biofiltro. - Sistema de recirculación de lixiviados. - Curado del compost hecho fuera del sistema.	82,080,000

ESTA COTIZACIÓN ESTÁ SUJETA A LO SIGUIENTE TÉRMINOS Y CONDICIONES:

- Esta cotización incluye todos los impuestos a pagar.
- Esta cotización es válida por 1 mes desde la fecha de preparación.

 Fuente: Compost Baladi S.A.S. (2022).

7.11 INDICACIÓN DE PRECIO PARA ESCENARIOS B2 Y C

Notas:

- Los valores de CAPEX indicados están sujetos a ajustes. Para solicitar una factura oficial a Bert Energy GmbH, 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 o C) + (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 o C) =
 Indicación de precio (escenario B2 o C) +
 Ajuste 1 + Ajuste 2

Figura 7.9. Modelo cotización para Escenario B2 y C

BM Budget Prices **Food Waste**

Biogas plant based food waste - tropical climate - cooking

Capacity	1-1.5 TPD	3 TPD
Budget prices	39.484 €	63.438 €

Biogas plant based food waste - cold climate - cooking

Capacity	1-1.5 TPD	3 TPD
Budget prices	46.270 €	74.288 €

Biogas plant based food waste - tropical climate - cooking

Capacity	1-1.5 TPD	3 TPD	6 TPD	9 TPD
Budget prices	46.500 €	76.300 €	140.210 €	202.388 €

Biogas plant based food waste - cold climate - cooking

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).



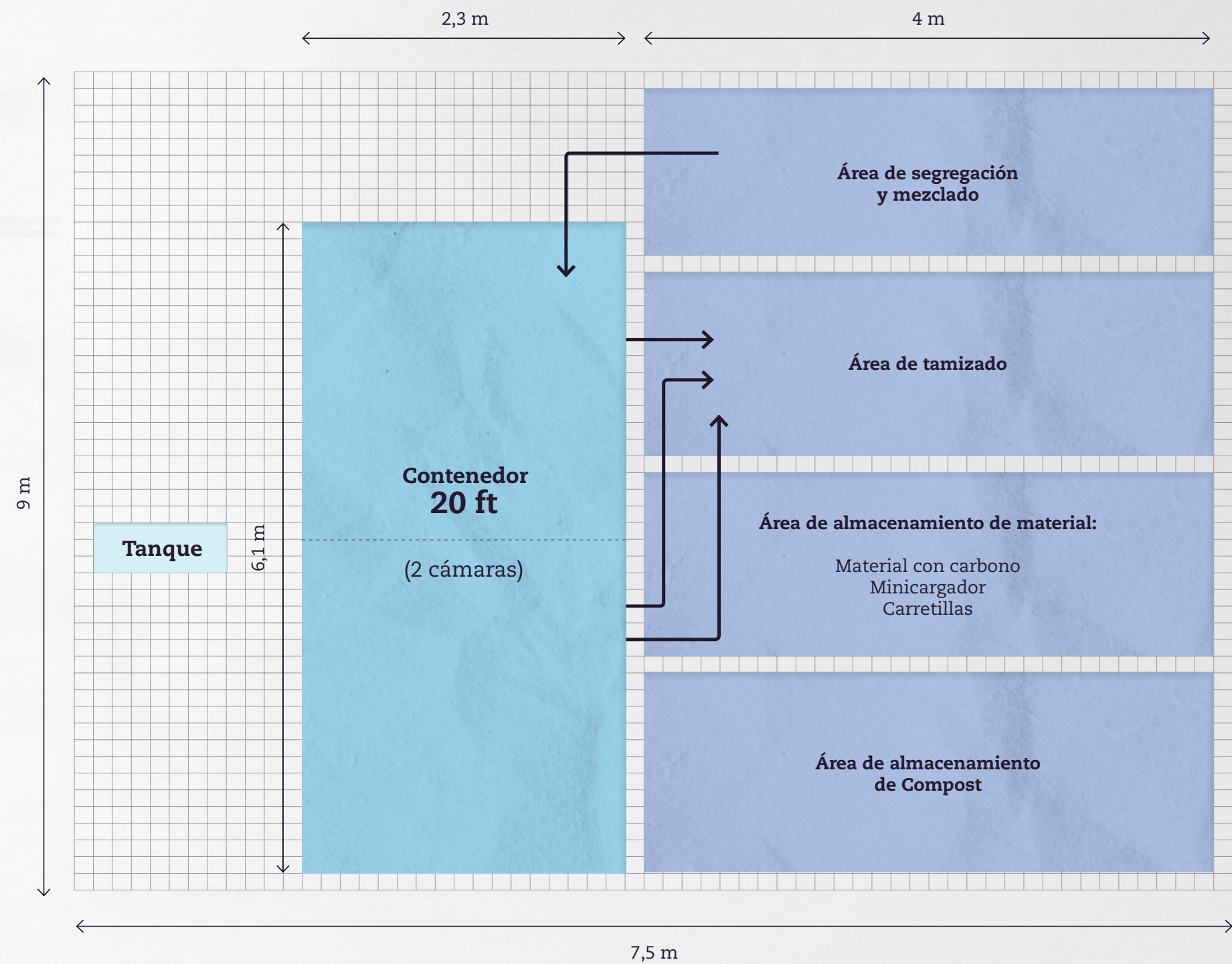


7.12 PROPUESTA DISTRIBUCIÓN DE ESPACIO PARA EL ESCENARIO A

Nota:

El espacio mínimo requerido es de 67,5 m². Sin embargo, no se contempla el espacio requerido para almacenar los residuos orgánicos generados por la PDM Quirigua (aproximadamente, 2 m²).

Figura 7.10. Propuesta para la distribución del espacio del Escenario A



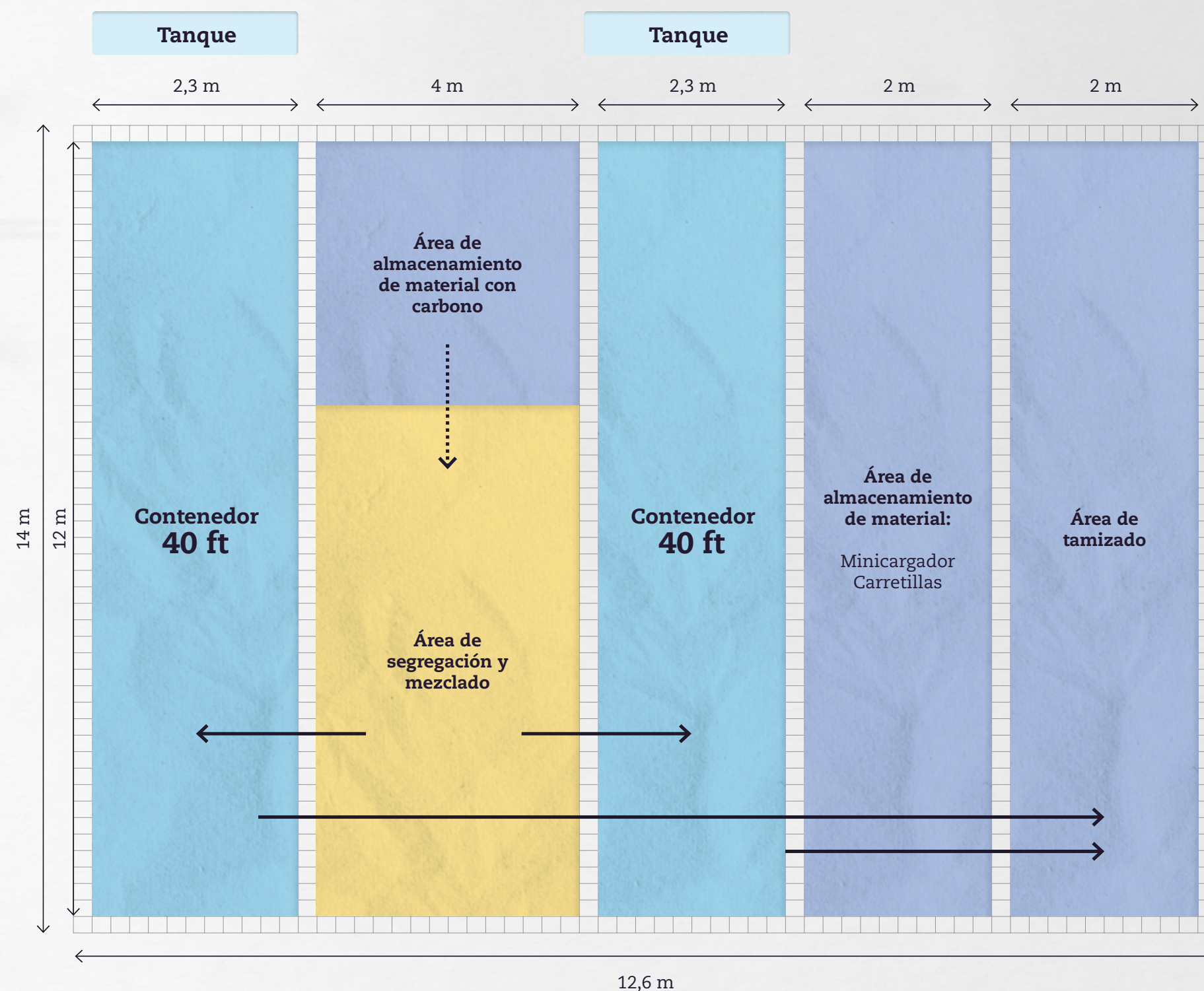
Fuente: BFS. (2021).



7.13 PROPUESTA DISTRIBUCIÓN DEL ESPACIO ESCENARIO B1

Nota:
el espacio mínimo requerido es de 177 m². Sin embargo, no se contempla el espacio requerido para almacenar los residuos orgánicos generados por PDM Quirigua y la recepción de RO de Plazas Distritales de Mercado adicionales (aproximadamente, 12 m²).

Figura 7.11. Propuesta para distribución del espacio del Escenario B1



Fuente: BFS. (2021).

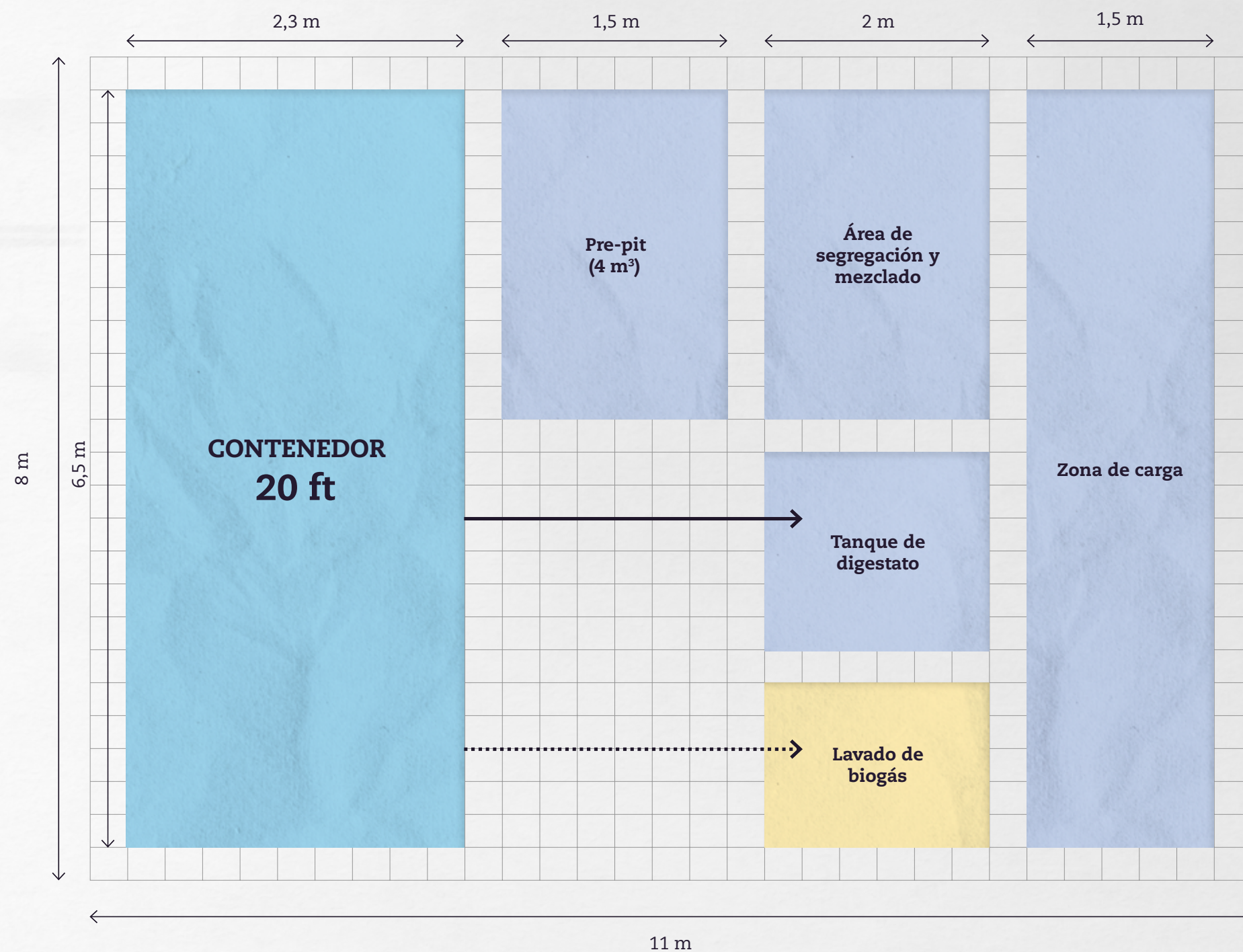


7.14 PROPUESTA DISTRIBUCIÓN DEL ESPACIO ESCENARIO B2

Nota:

el espacio mínimo requerido es de 88 m². Sin embargo, no se contempla el espacio requerido para almacenar los residuos orgánicos generados por la PDM Quirigua y la recepción de RO de Plazas Distritales de Mercado adicionales (aproximadamente, 12 m²).

Figura 7.12. Propuesta distribución de espacio para el Escenario B2



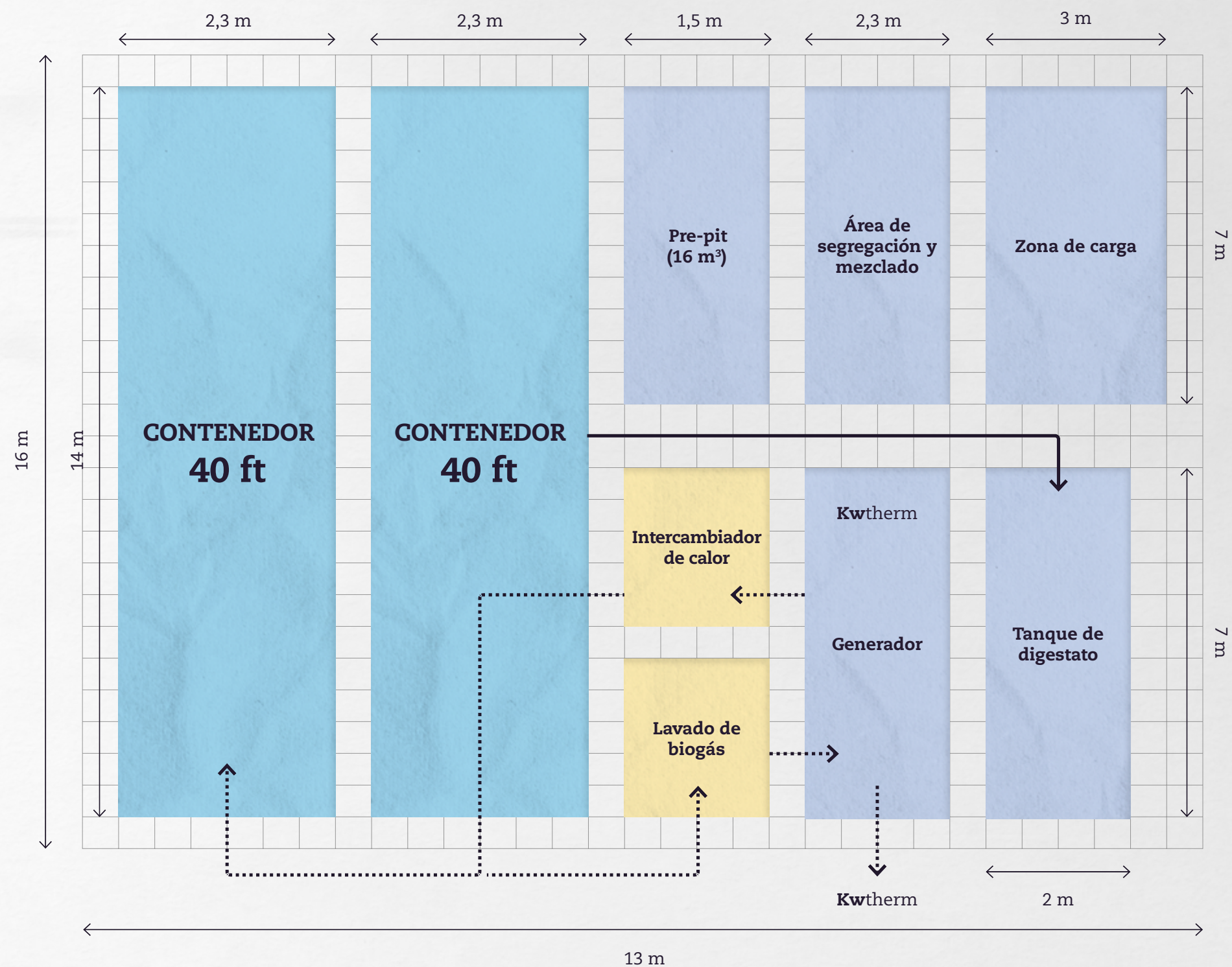
Fuente: BFS. (2021).



7.15 PROPUESTA DISTRIBUCIÓN DEL ESPACIO ESCENARIO C

Nota:
el espacio mínimo requerido es de 208 m². Sin embargo, no se contempla el espacio requerido para almacenar la recepción de los residuos generados por las Plazas Distritales de Mercado, restaurantes y parques (aproximadamente, 48 m²).

Figura 7.13. Propuesta distribución de espacio para el Escenario C



Fuente: BFS. (2021).



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.

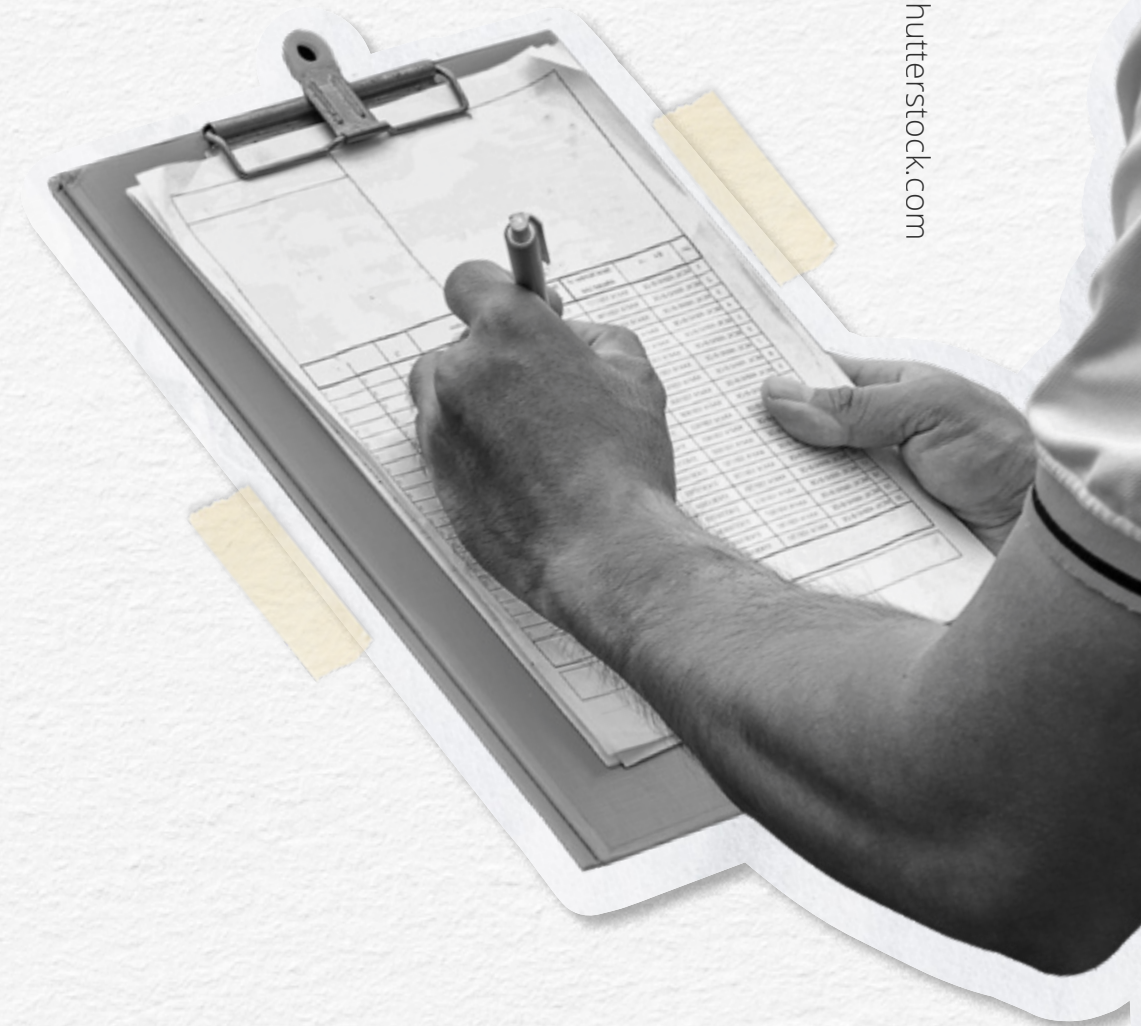
Gobierno de la República de Colombia. (2019). *Estrategia nacional de economía circular: Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio*. Bogotá D.C., Colombia.

Kartini, A.Z., Hasibuan, H.S., & Tumuyu, S.S. (2021). A SWOT Analysis of Takakura Compost as a Treatment for Household Food Waste (Case Study in Pondok Labu Urban Village). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 940.

Suárez-Chernov , V. D., 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. Recuperado a partir de http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/46

Sultana, M., Kibria, M., & Jahiruddin, M., & Abedin, Md. (2020). Composting Constraints and Prospects in Bangladesh: A Review. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 8. 126-139. 1

Tavera, D., Botsch, 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.





ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA PROYECTOS DE TRATAMIENTO *IN SITU* DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN LAS PLAZAS DISTRIALES DE MERCADO DE BOGOTÁ



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