

Plan de negocios para la creación de una empresa encargada del aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en Bucaramanga y su área metropolitana enfocada en pequeños generadores.

Nelson Iván Pinzón Báez

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Químico

Director:

Fernando Viejo Abrante

Dr. Ciencia y Tecnología de Materiales

Codirectora:

Judith Carolina Jaimes Velandia

MSc. Ciencias y Tecnologías Ambientales

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A Dios inicialmente, por acompañarme en todos estos años de carrera y darme sabiduría para tomar las decisiones correctas en cada momento de mi vida universitaria.

A mis padres y mi hermana por su apoyo y amor incondicional, por sus consejos, su valentía para afrontar las adversidades de la vida, por educarme, porque gracias a ustedes he logrado llegar hasta acá y convertirme en lo que soy. Los amo infinitamente y agradezco cada día a Dios por tenerlos a mi lado.

A mi familia, por su apoyo incondicional, su compañía y sus consejos para que cada día sea una mejor persona.

A mi novia, Camila Moreno, por acompañarme y apoyarme en todos esos momentos difíciles, por sus consejos, abrazos y por ser siempre esa persona incondicional en mi vida, te amo.

A mis compañeros de universidad, por encargarse de llenar mi vida universitaria de bonitos recuerdos, siempre los llevare en mi corazón.

Y cada una de aquellas personas que de una u otra manera me ayudaron y me apoyaron en esta fase de mi vida.

Agradecimientos

A la universidad Industrial de Santander, especialmente a la escuela de Ingeniería Química, por ser base de mi formación y prepararme para la vida profesional, mediante su calidad docente, quienes me transmitieron sus conocimientos y contribuyeron a mi aprendizaje.

A mi director, el profesor Fernando Viejo Abrante, por sus enseñanzas, colaboración y tiempo brindado en este proyecto.

A mi codirectora Judith Carolina Jaimes Velandia, por su apoyo, tiempo e interés en este proyecto.

Tabla de contenido

Introducción	10
1 Objetivos	12
1.1 Objetivo general	12
1.2 Objetivos específicos	12
2 Marco teórico	13
3 Metodología	18
3.1 Fase 1: Estudio preliminar de mercado y evaluación local de RCD	19
3.2 Fase 2: Análisis PESTEL de la gestión actual de RCD en Bucaramanga y área metropolitana	20
3.3 Fase 3: Estudio técnico de gestión y valorización de RCD	20
3.4 Fase 4: Análisis de la viabilidad financiera del proyecto	21
4 Resultados y Discusión	22
4.1 Fase 1: Estudio preliminar de mercado y evaluación local de RCD	22
4.2 Fase 2: Análisis PESTEL de la gestión actual de RCD en Bucaramanga y área metropolitana	25
4.2.1 Análisis político de Bucaramanga y su área metropolitana	25
4.2.2 Análisis económico del sector de la construcción en Bucaramanga y su área metropolitana	26
4.2.3 Análisis social de Bucaramanga y su área metropolitana	27
4.2.4 Análisis tecnológico de la gestión integral de RCD	28
4.2.5 Análisis ecológico de la gestión integral de RCD	30
4.2.6 Análisis legal de la gestión integral de RCD	31
4.3 Fase 3: Estudio técnico de gestión y valorización de RCD	32
4.3.1 Caracterización de la materia prima	32
a) Áridos naturales	33
b) Áridos ligeros	33
c) Áridos secundarios	34
d) Sin categoría	34
4.3.2 Capacidad de la planta	34
4.3.3 Localización de la planta	36
4.3.4 Proceso de producción	37
a) Separación primaria y trituración	37
b) Cribado y separación	38
c) Tratamiento final	38
4.3.5 Distribución de la planta	39

4.3.6	Análisis DOFA	40
a)	Debilidades	40
b)	Oportunidades	40
c)	Fortalezas	41
d)	Amenazas	42
4.3.7	Maquinaria y equipos según etapa del proceso	43
a)	Trituración	43
b)	Cribado y separación	44
c)	Tratamiento final	44
4.3.8	Escalamiento industrial	44
a)	Fase inicial: 100 toneladas/mes	44
b)	Expansión intermedia: 386 toneladas/mes	45
c)	Expansión a largo plazo: incorporación de RCD de origen no controlado	45
4.4	Fase 4: Análisis de la viabilidad financiera del proyecto	46
a)	Captación de RCD	46
b)	Proyección de ventas	46
c)	Precios	47
5	Conclusiones	58
	Referencias bibliográficas	60

Lista de figuras

Figura 1. Flujo económico del sector de la construcción en Colombia _____	17
Figura 2. Metodología en fases para la gestión de residuos de construcción y demolición ____	19
Figura 3. Expansión urbana del área metropolitana de Bucaramanga, Colombia _____	23
Figura 4. Licencias de construcción expedidas en Bucaramanga, Colombia _____	24
Figura 5. Vista satelital de la Zona Franca de Santander _____	36
Figura 6. Ubicación de Zona Franca de Santander, Carrasco y Botadero de tierra El Parque _	37
Figura 7. Esquema básico arquitectónico para la distribución de una planta de reciclaje de residuos de construcción y demolición _____	39
Figura 8. Historial de precios residuos no pétreos _____	48
Figura 9. Historial de precios residuos pétreos _____	49
Figura 10. Proyección precios materiales no pétreos _____	50
Figura 11. Proyección precios materiales pétreos _____	51

Lista de tablas

Tabla 1. Ficha geográfica botadero de Tierra El Parque S.A _____	14
Tabla 2. Caracterización RCD Escombrera Municipal de Medellín _____	15
Tabla 3. Conglomerado información gestión de RCD _____	16
Tabla 4. Evaluación política de Bucaramanga y su área metropolitana _____	26
Tabla 5. Evaluación económica del sector de la construcción en Bucaramanga y su área metropolitana _____	27
Tabla 6. Evaluación social de Bucaramanga y su área metropolitana _____	28
Tabla 7. Evaluación tecnológica de la gestión integral de RCD _____	29
Tabla 8. Evaluación ecológica de la gestión integral de RCD _____	30
Tabla 9. Evaluación legal de la gestión integral de RCD _____	31
Tabla 10. Aplicaciones para RCD sin categoría generados _____	35
Tabla 11. Rendimiento de valorización de RCD _____	47
Tabla 12. Personal para operación y gestión de la planta de tratamiento de RCD _____	53
Tabla 13. Estimación salarial mensual de empleados _____	54
Tabla 14. Resumen de costos de equipos y maquinaria _____	56
Tabla 15. Indicadores financieros del proyecto _____	57

Resumen

Título: Plan de negocios para la creación de una empresa encargada del aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en Bucaramanga y su área metropolitana enfocada en pequeños generadores*

Autor: Nelson Iván Pinzón Báez**

Palabras claves: Reciclaje, residuos de construcción y demolición, sostenibilidad, creación de empresa

Descripción:

Este proyecto tiene como objetivo la creación de una empresa dedicada al reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bucaramanga y su área metropolitana, con un enfoque en pequeños generadores de residuos. A través de una revisión bibliográfica y un estudio de mercado, se identificó la falta de una caracterización de los RCD en la región y se propuso la zona franca como un espacio ideal para la operación de la empresa, debido a sus beneficios fiscales. El análisis PESTEL destacó aspectos favorables en los factores político, legal, ambiental y social, los cuales favorecen la implementación de un modelo de gestión sostenible y eficiente. Un estudio técnico detalló la logística necesaria para el manejo de los residuos, cumpliendo con las normativas ambientales y de seguridad. Además, la evaluación financiera mostró que el proyecto es rentable, con un Valor Presente Neto (VPN) positivo y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 26,42 %, lo que demuestra su viabilidad económica. En resumen, el proyecto se posiciona como una opción atractiva para la inversión, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y económica a largo plazo.

*Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Programa académico. Director: Fernando Viejo Abrante. Doctor en Ciencia y Tecnología de Materiales. Codirector: Judith Carolina Jaimes Velandia. MSc. Ciencias y Tecnologías Ambientales.

Abstract

Title: Business plan for the creation of a company in charge of the use of construction and demolition waste in Bucaramanga and its metropolitan area focused on small generators*

Author(s): Nelson Iván Pinzón Báez**

Keywords: Recycling, construction and demolition waste, sustainability, business creation

Description:

This project aims to create a company dedicated to the recycling of construction and demolition waste (CDW) in Bucaramanga and its metropolitan area, with a focus on small waste generators. Through a bibliographic review and a market study, the lack of characterization of RCDs in the region was identified and the free zone was proposed as an ideal space for the company's operation, due to its tax benefits. The PESTEL analysis highlighted favorable aspects in the political, legal, environmental and social factors, which favor the implementation of a sustainable and efficient management model. A technical study detailed the logistics necessary for waste management, complying with environmental and safety regulations. Furthermore, the financial evaluation showed that the project is profitable, with a positive Net Present Value (NPV) and an Internal Rate of Return (IRR) of 26.42%, demonstrating its economic viability. In summary, the project is positioned as an attractive option for investment, contributing to long-term environmental and economic sustainability.

*Degree Work

** Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Chemical Engineering. Academic program.

Director: Fernando Viejo Abrante. PhD in Materials Science and Technology.

Co-director: Judith Carolina Jaimes Velandia. MSc. Environmental Sciences and Technologies.

Introducción

La industria de la construcción, esencial para el desarrollo de las sociedades, es también una de las más contaminantes a nivel mundial, siendo el tercer mayor causante de emisiones de gases de efecto invernadero (Li et al., 2009). La producción de materiales para esta industria y los residuos generados representan una problemática mundial, donde solo la fabricación de cemento genera alrededor del 8% de las emisiones globales de CO₂ (Florini, 2011).

En Colombia, la rápida expansión urbana ha incrementado significativamente la generación de residuos de construcción y demolición (RCD), especialmente por parte de microempresas y empresas pequeñas. Estos residuos son enviados a depósitos no especializados donde no reciben una separación adecuada que permita su aprovechamiento y brinde un valor agregado, lo que provoca una acumulación y vertimiento masivo de residuos contribuyendo a la contaminación, no solo del aire por emisiones globales de CO₂, sino también del suelo y el agua (Domingo & Batty, 2021).

Los entes gubernamentales nacionales en un intento de mitigar la problemática de la generación de RCD han expedido normas que regulan la gestión de estos residuos, como es el caso de la resolución 0472 del 2017 que, posteriormente, fue modificada por la resolución 1257 de 2021 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Si bien esto supone un avance en la gestión integral de RCD, la realidad es que en muchas ciudades del territorio nacional no se tienen datos que soporten el cumplimiento de esta normativa, agravando la situación. Un ejemplo preocupante se presentó en el año 2019 donde se generaron 536.092 toneladas de residuos sólidos en el Departamento de Santander, de las cuales solo 38.628 fueron aprovechadas, es decir, el 7,21% de lo generado (Gobernación de Santander, 2020). El incumplimiento de la gestión integral de los RCD en ocasiones se atribuye a la falta de interés en el tema, la ausencia de infraestructura para el

tratamiento de los residuos, el desconocimiento normativo y la falta de seguimiento y control por parte de los entes encargados (Suárez Silgado et al., 2018).

Frente a este panorama, surge como posible solución, la creación de una empresa dedicada al aprovechamiento de los RCD que se enfoque en la recolección, clasificación, reciclaje y reutilización de estos residuos, contribuyendo a la reducción de la contaminación y promoviendo una economía circular en la región (Martínez Sirera & Sande, 2016).

El objetivo principal de este trabajo es diseñar un plan de negocios para la creación de una empresa dedicada al aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bucaramanga y su área metropolitana. Esta iniciativa se centrará en brindar soluciones específicas para pequeños generadores, como microempresas y empresas pequeñas, que suelen carecer de los recursos e infraestructura para gestionar de manera adecuada los residuos que producen. La empresa propuesta buscará integrar soluciones que permitan reducir el impacto ambiental de la construcción, al mismo tiempo que contribuye a la disminución de la huella de carbono del sector. Además, este trabajo tiene el potencial de generar un impacto positivo en la economía local mediante la creación de empleo y el fortalecimiento del tejido empresarial. En un mundo que demanda soluciones sostenibles, la sinergia entre el conocimiento académico, la capacidad innovadora de la industria y la acción local es fundamental para enfrentar los desafíos actuales y construir un futuro más próspero.

De este modo, el plan de negocios aspira apoyar las bases para una gestión más eficiente y responsable de los RCD en el Área Metropolitana de Bucaramanga, generando un modelo replicable a nivel nacional.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Desarrollar un plan de negocio para la creación de una empresa dedicada al aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bucaramanga y su área metropolitana, enfocada en atender las necesidades de microempresas y empresas pequeñas del sector de la construcción.

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar una revisión de la literatura científica y normativa, en la cual se estudie la generación, clasificación y gestión de los residuos de construcción y demolición, con el fin de desarrollar un estudio de mercado que refleje la necesidad del aprovechamiento de RCD en Bucaramanga y su área metropolitana.
2. Elaborar un modelo de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) sostenible, eficiente y replicable mediante un análisis PESTEL.
3. Desarrollar un estudio técnico que incluya la logística de recolección, transporte, clasificación, aprovechamiento, procesamiento y valorización de RCD, asegurando el cumplimiento de las normas ambientales y de seguridad.
4. Evaluar la viabilidad financiera del proyecto mediante la realización de análisis de costos, ingresos, flujo de caja, evaluación de rentabilidad, asegurando la sostenibilidad económica de la empresa a largo plazo.

2 Marco teórico

Todo proyecto de construcción sea regulado o no, genera una cantidad considerable de residuos conocidos como residuos de construcción y demolición (RCD). Estos residuos están debidamente clasificados por el Gobierno Nacional bajo la Resolución 0472 de 2017 que establece dos categorías principales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017):

1. Residuos de Construcción y Demolición (RCD) susceptibles de aprovechamiento:
 - 1.1. Productos de excavación y sobrantes de la adecuación de terreno: coberturas vegetales, tierras, limos y materiales pétreos productos de la excavación, entre otros.
 - 1.2. Productos de cimentaciones y pilotajes: arcillas, bentonitas y demás.
 - 1.3. Pétreos: hormigón, arenas, gravas, gravillas, cantos, pétreos asfálticos, trozos de ladrillos y bloques, cerámicas, sobrantes de mezcla de cementos y concretos hidráulicos, entre otros.
 - 1.4. No pétreos: vidrio, metales como acero, hierro, cobre, aluminio, con o sin recubrimientos de zinc o estaño, plásticos tales como PVC, polietileno, policarbonato, acrílico, espumas de poliestireno y de poliuretano, gomas y cauchos, compuestos de madera o cartón-yeso (drywall), entre otros.
2. Residuos de Construcción y Demolición (RCD) no susceptibles de aprovechamiento:
 - 2.1. Los contaminados con residuos peligrosos.
 - 2.2. Los que por su estado no pueden ser aprovechados.
 - 2.3. Los que tengan características de peligrosidad, que se regirán por la normatividad ambiental especial establecida para su gestión.

Según el informe de disposición final de residuos sólidos , para el año 2022, Santander reportó un promedio de 1448,42 toneladas por día de residuos sólidos generados, de las cuales

cerca del 6% corresponden a residuos de construcción y demolición susceptibles de aprovechamiento. Esto equivale aproximadamente a 86,9 toneladas diarias de RCD (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2022), lo que refleja la necesidad de establecer una gestión integral de estos residuos impulsando la reutilización y reciclaje, contribuyendo así a una economía más sostenible.

A pesar de que el Gobierno Nacional ha establecido una clasificación general para los residuos generados en las actividades de construcción y demolición, estas categorías suelen ser amplias y no contemplan las particularidades de cada proyecto o región. Por ello, resulta fundamental conocer más a detalle características específicas de los tipos de residuos generados; sin embargo y según el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de la Alcaldía de Bucaramanga en 2020, la ciudad no cuenta con una caracterización específica de los RCD generados (Alcaldía de Bucaramanga, 2022).

Actualmente, Bucaramanga cuenta con dos rellenos sanitarios: el “botadero de Tierra El parque S.A” y el relleno sanitario El Carrasco. Sin embargo, los dos rellenos no sólo prestan servicio a la ciudad y su área metropolitana, sino que en total son 17 los municipios que envían los residuos a Bucaramanga. Sin embargo, para la disposición de RCD, solo está habilitado el “botadero de Tierra El Parque S.A” (ver Tabla 1).

Tabla 1

Ficha geográfica botadero de Tierra El Parque S.A

Denominación	Ubicación	Capacidad inicial instalada
Botadero de Tierra El Parque S.A.	km 4 – autopista Girón Antigua Ladrillera Bucaramanga	3.200.000 m ³

Nota: Tomado y adaptado de (Alcaldía de Bucaramanga, 2022).

Este relleno presenta la característica de actuar como empresa privada, donde solo se ofrecen servicios de disposición final de los RCD y donde no se cuenta con programas de reutilización o reciclaje de los materiales.

A pesar de que Bucaramanga no cuenta con una caracterización propia de los RCD, resulta pertinente tomar como referencia la caracterización realizada de Medellín (ver Tabla 2), debido a que la estructura y arquitectura colombiana siguen patrones constructivos similares en gran parte del territorio. Esto se debe a factores como el uso de materiales comunes, así como normativas de construcción homogéneas en el país.

Tabla 2

Caracterización RCD Escombrera Municipal de Medellín.

Material	%	Cantidad total [t]
Tierra	44	1240
Cuesco de asfalto	17	470
Piedras	14	390
Residuos ordinarios (plásticos, madera, empaque, cerámica, y demás)	11	310
Ladrillo	7	190
Cuesco de concreto	6	170
Arenilla	1	30
Total	100	2800

Nota: Adaptado de (Mejía et al., 2013)

A continuación, se presenta una síntesis crucial de la información para comprender de manera detallada el estado actual de Bucaramanga y su área metropolitana con respecto a la generación y disposición de residuos de RCD (ver Tabla 3). Se destaca la brecha informativa que se tiene entre los datos estimados de generación diaria y los datos reportados de disposición. Esta

falta de información junto al nulo aprovechamiento de los RCD convierte esta problemática no solo en una cuestión de orden ambiental, sino que también en un problema de salud pública.

Tabla 3

Conglomerado información gestión de RCD.

Aspecto	Parámetro	Unidades	Resultado
Residuos de construcción y demolición (RCD)	Cantidad mensual de RCD generados	t/mes	386.86 [t/mes]
	Caracterización de los RCD generados	% en peso por tipo de material	No se cuenta con una caracterización de los RCD generados
	Tipo de sitio empleado para la disposición final o aprovechamiento de los RCD	Escombrera, relleno sanitario, planta de aprovechamiento, etc.	Botadero de tierra El Parque S.A.
	Autorización ambiental del sitio de disposición final de RCD	Número, fecha y autoridad ambiental que expide el acto administrativo	Área metropolitana de Bucaramanga; oficio AMB N.º 2427 del 07 de mayo del 2015
	RCD aprovechado en el último año	% en peso	0%
	Recolección y disposición final de RCD	Persona natural o jurídica que presta el servicio	<ul style="list-style-type: none"> - Recolección: Cada una de las empresas contratistas o ejecutoras de obras transportan los residuos hasta el botadero de tierra - Empresas de aseo de Bucaramanga. EMAB S.A E.S.P, LIMPIEZA URBANA S.A. E.S.P. Y REDIBA S.A. E.S. - Disposición final: Botadero de tierra El Parque

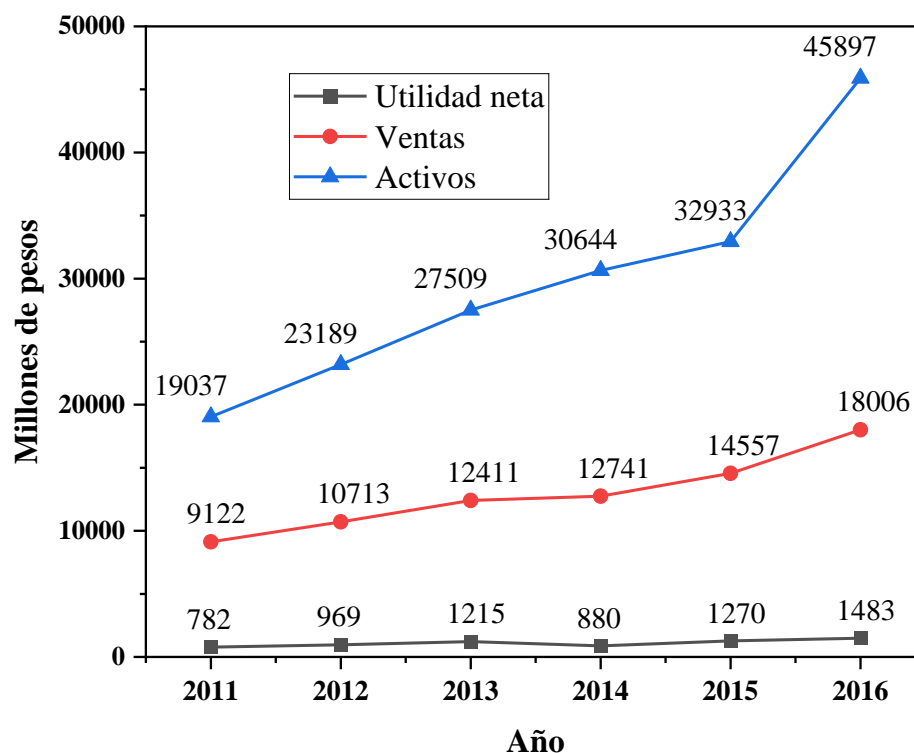
Nota: Adaptado de (Alcaldía de Bucaramanga, 2022)

En materia económica, Colombia ha mostrado una constante recuperación y estabilidad económica gracias a las políticas públicas. Sectores como la construcción han sido motores en el

proceso, aportando al crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), generación de empleo y desarrollo regional. Durante el primer semestre de 2024, el PIB de Colombia creció un 1,5% respecto al año anterior, impulsado en parte por el sector de la construcción, que también registró un crecimiento del 1,5%. Este aumento se logra contrastar en el crecimiento de obras civiles con un 10,9% y actividades especializadas, que se expandieron un 1,4% (Centro de Información Empresarial - CIE , 2024). Este crecimiento del sector no es nuevo y una muestra de ello son los datos reportados entre el periodo de 2011 y 2016 (ver Figura 1) donde la construcción ha mostrado una tendencia de crecimiento desde hace varios años (Cuellar Palacios, 2018).

Figura 1

Flujo económico del sector de la construcción en Colombia.



Nota: Adaptado de (Cuellar Palacios, 2018)

Una vez comprendido el contexto nacional y regional del sector, es importante conocer los diferentes tipos de plantas de tratamiento de RCD, que se clasifican en cuatro niveles tecnológicos

según la complejidad de sus operaciones (Fueyo Casado, 2012):

- **Nivel 1:** Este nivel es el más simple, enfocado en el desbrozado y una clasificación primaria de los escombros. Utiliza dos tamices para obtener tres tamaños de partículas. La fracción fina puede venderse, la intermedia se somete a separación neumática para un segundo producto, y la gruesa se transporta para trituración adicional.
- **Nivel 2:** Las plantas de este nivel incluyen reducción de tamaño para separar materiales, como la ferralla del hormigón. Después de triturar, una separación magnética retira metales, seguido de un cribado para obtener productos reciclados.
- **Nivel 3:** Estas plantas añaden una trituración secundaria para mejorar la liberación de materiales, con otro separador magnético y un sistema neumático para eliminar elementos ligeros (papel, plástico), logrando productos de mayor calidad que, en algunos casos, pueden certificarse.
- **Nivel 4:** El nivel más avanzado incorpora trituración terciaria y clasificación hidráulica, obteniendo productos de alta calidad y utilizando equipos de separación, como trómeles, para una clasificación más precisa.

3 Metodología

Para la metodología se definieron cuatro fases, las cuales se presentan en la Figura 2 . Estas fases abarcan desde el estudio preliminar del mercado y el entorno, hasta la evaluación de la viabilidad financiera del proyecto.

Figura 2

Metodología en fases para la gestión de residuos de construcción y demolición en el AMB.

**3.1 Fase 1: Estudio preliminar de mercado y evaluación local de RCD**

Se llevó a cabo un estudio de mercado y de entorno que incluyó una revisión de la literatura científica, normativa y estudios de casos relacionados con la generación, clasificación, gestión y aprovechamiento de residuos de construcción, con un enfoque particular en pequeños generadores. Esta revisión se respaldó mediante fuentes externas consultadas a través de diversas bases de datos y repositorios como SciELO, ScienceDirect, Springer y ACS, entre otros. Además, el estudio analizó en detalle la demanda y oferta de servicios vinculados a la gestión de estos residuos, considerando las características del mercado local, las necesidades específicas de los generadores de RCD y las oportunidades para implementar soluciones sostenibles dentro del contexto de Bucaramanga y su área metropolitana.

3.2 Fase 2: Análisis PESTEL de la gestión actual de RCD en Bucaramanga y área metropolitana

A través de un análisis PESTEL, se evaluaron los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales que inciden en la gestión actual de los RCD en Bucaramanga y su área metropolitana. Este estudio permitió identificar oportunidades y desafíos específicos y, con base en ellos, diseñar un modelo de gestión innovador y adaptado al contexto local. El propósito de este objetivo fue presentar a la comunidad de Bucaramanga y su área metropolitana una propuesta de gestión de RCD más sostenible, eficiente y replicable, que contribuyera a mejorar la calidad ambiental y el desarrollo urbano de la región.

3.3 Fase 3: Estudio técnico de gestión y valorización de RCD

Se llevó a cabo un estudio técnico con el fin de definir las etapas de recolección, transporte, clasificación, aprovechamiento, procesamiento y valorización de los RCD para comprender su origen y características. A través del diseño de un sistema eficiente de recolección y transporte, se optimizaron las rutas y se seleccionaron los vehículos adecuados para garantizar la trazabilidad de las materias primas. Posteriormente, se realizó un estudio detallado de los procesos de clasificación y valorización utilizados por otras empresas del sector, con el objetivo de conocer las mejores prácticas y tecnologías disponibles para separar los residuos en categorías y recuperar los materiales de manera eficiente. Este análisis permitió identificar las tecnologías de procesamiento más adecuadas, asegurando que en todo momento se cumpla con la normativa ambiental y de seguridad vigente. Además, se llevará a cabo un análisis FODA para profundizar en los aspectos evaluados en el análisis PESTEL, permitiendo una mejor comprensión de los factores internos y externos que pueden influir en la operación y estrategia de la empresa.

3.4 Fase 4: Análisis de la viabilidad financiera del proyecto

Se evaluó la viabilidad financiera del proyecto, implementando una metodología que incluyó el análisis de los costos iniciales y operativos, seguido de una proyección de ingresos basada en estimaciones realistas de demanda y precios de mercado. Se desarrolló un modelo de flujo de caja que reflejó los flujos de entrada y salida de dinero a lo largo del tiempo, permitiendo identificar puntos de equilibrio y necesidades de financiamiento. Finalmente, se calcularon indicadores clave de rentabilidad, como el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), ebitda, entre otros, para asegurar que el proyecto no sólo fuera rentable en el corto plazo, sino también sostenible económicamente a largo plazo.

4 Resultados y Discusión

4.1 Fase 1: Estudio preliminar de mercado y evaluación local de RCD

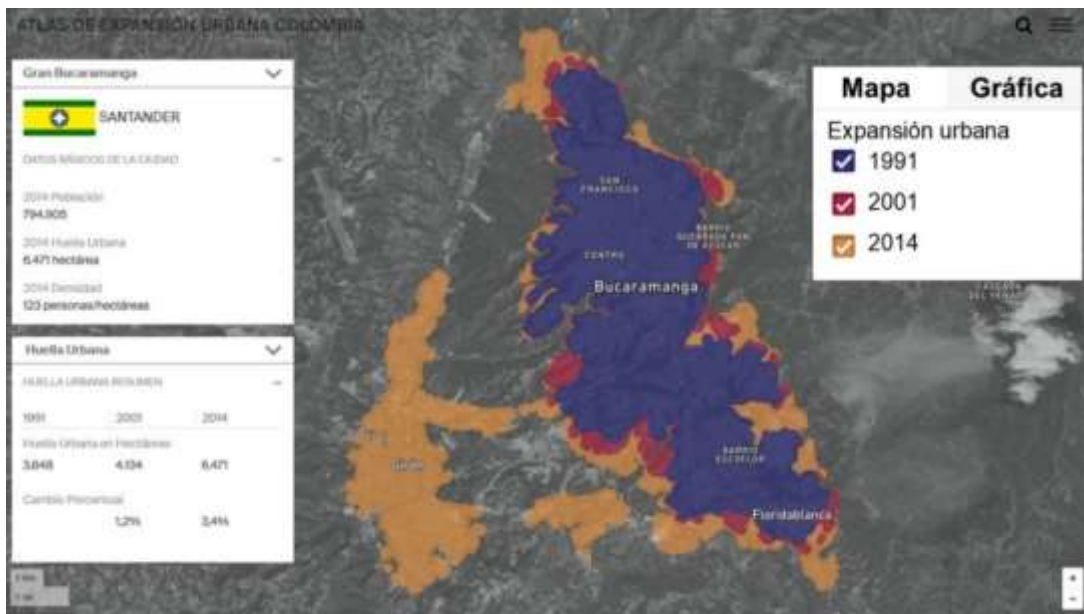
Es esencial llevar a cabo un análisis detallado de la geografía y las características socioeconómicas del entorno donde se desarrollarán las actividades. En este caso, Bucaramanga, capital del Departamento de Santander, Colombia. Fundada en 1622 hoy en día es conocida como la ciudad de los parques y abarca una extensión de 165 km² (Alcaldía de Bucaramanga, n.d.).

En conjunto, los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta conforman el área metropolitana de Bucaramanga, con una población de más de 1.300.000 habitantes, lo que la convierte en la quinta aglomeración urbana más poblada del país. Bucaramanga es una ciudad céntrica del país, lo que le otorga una posición estratégica en rutas comerciales y de conectividad. (Alcaldía de Bucaramanga, n.d.). Además, en 2015, un informe del Banco Mundial destacó a Bucaramanga como una de las ciudades más competitivas y con mejor calidad de vida en América Latina (Kilroy et al., 2015).

Las condiciones favorables de Bucaramanga han impulsado su crecimiento urbano de manera notable en las últimas décadas (ver Figura 3). Este desarrollo se refleja en la expansión de áreas urbanizadas de la ciudad. En 1991, Bucaramanga contaba con 3600 hectáreas (36 km²) de construcción urbana, cifra que aumentó a 4134 hectáreas (41,3 km²) en 2001, representando un crecimiento del 14% en ese periodo. Posteriormente, para el año 2014 la superficie construida ascendió a 6478 hectáreas (64,7 km²), implicando un crecimiento del 56% respecto al 2001. A partir de esta tendencia, se estima que para el año 2028 el área urbana podría alcanzar las 8950 hectáreas (89,5 km²), representando un crecimiento del 38% respecto al 2014 (Castro Tuirán et al., 2018).

Figura 3

Expansión urbana del área metropolitana de Bucaramanga, Colombia.



Nota: Adaptado de (Castro Tuirán et al., 2018).

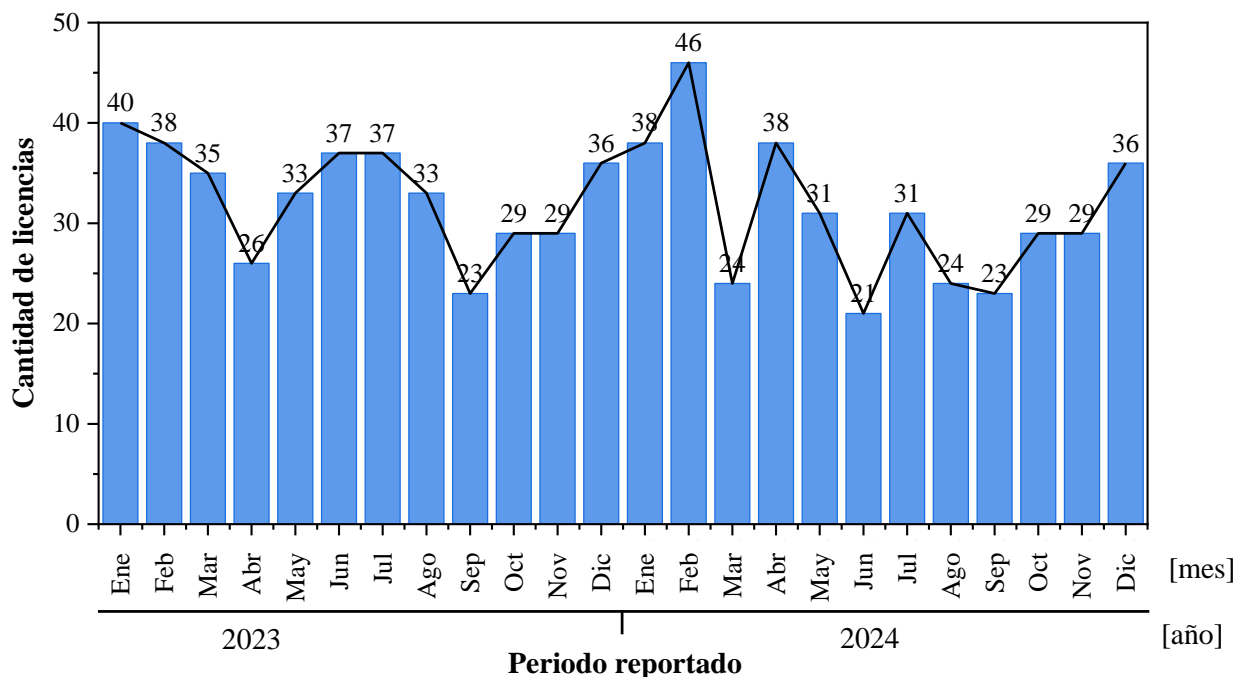
El acelerado crecimiento del casco urbano en los últimos años ha impulsado significativamente el sector de la construcción en Bucaramanga y su área metropolitana. Este auge ha dado lugar a un aumento en la demanda de proyectos inmobiliarios y obras de infraestructura, generando un entorno favorable para diversas empresas constructoras. Al explorar el panorama de las diferentes empresas constructoras con operación en Bucaramanga y su área metropolitana, se identificaron más de 10 empresas destacadas en el sector. Entre ellas, sobresalen Marval Constructora, OTACC S.A., Constructora JK y HG constructora. Estas compañías ofrecen una amplia gama de servicios esenciales para el desarrollo de un proyecto de construcción, que incluyen la planificación y diseño de obras, construcción de edificaciones residenciales o comerciales, ejecución de obras civiles, supervisión técnica, gestión de proyecto y remodelaciones (Cámara de comercio de Bucaramanga, n.d.).

El Gobierno Nacional, como medida para regular y controlar las construcciones del país, implementó la Ley 388 de 1997 y el Decreto 1569 de 2010. Estas normativas establecen que toda obra de construcción, demolición o intervención urbanística debe contar con una licencia expedida por las curadurías urbanas o autoridades competentes.

Según cifras del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), entre el año 2023 y hasta el mes de septiembre de 2024 (ver Figura 4), se han tramitado 672 permisos para urbanización, parcelación, subdivisión o construcción de predios, a través de la Curaduría #2 de Bucaramanga. A pesar de que una construcción sin licencia constituye una infracción sancionada, existe un alto porcentaje de construcciones no reportadas que carecen de los permisos correspondientes lo que evade las normas vigentes y contribuye al aumento de la construcción irregular, sin control ni supervisión por parte de las autoridades

Figura 4

Licencias de construcción expedidas en Bucaramanga, Colombia.



Nota: Adaptado de (Curaduria #2 de Bucaramanga, 2024)

4.2 Fase 2: Análisis PESTEL de la gestión actual de RCD en Bucaramanga y área metropolitana

El análisis político, económico, social, tecnológico, económico y legal (PESTEL) es una herramienta estructural cuya función es ayudar a las empresas con la evaluación del entorno en el que operan brindando información para la toma de decisiones. Este análisis es de gran importancia cuando una empresa se plantea objetivos importantes como la expansión a nuevos mercados, el lanzamiento de un producto o la evaluación de su posición competitiva en el sector (Lull Noguera & Galdón Salvador, 2024). Realizar un análisis PESTEL ayuda a optimizar la toma de decisiones, ya que, al tener una comprensión del macroentorno, se pueden desarrollar estrategias que reduzcan el impacto de posibles influencias negativas externas (Buñay Cantos et al., 2023).

4.2.1 Análisis político de Bucaramanga y su área metropolitana

En el análisis del entorno político (ver Tabla 4) se examinan las decisiones y políticas gubernamentales que pueden influir en el desempeño de una empresa. Factores como la estabilidad económica y políticas comerciales juegan un papel crucial, ya que pueden favorecer o dificultar el crecimiento empresarial.

Tabla 4*Evaluación política de Bucaramanga y su área metropolitana.*

	Factor	Detalle	Impacto
Político	Política municipal y de su área metropolitana	Bucaramanga y su área metropolitana cuentan con una estabilidad política en los últimos años. Los periodos de mandato continuo en la administración local permiten una cierta previsibilidad en cuanto a la formulación de políticas y la gestión pública .	Favorable
	Desarrollo empresarial y ecológico	En los últimos años, cada gobierno ha enfocado sus esfuerzos en promover el desarrollo económico de la ciudad a través de incentivos para las empresas. Estas iniciativas se han centrado en impulsar proyectos que, no solo generen empleo y crecimiento, sino que también conlleven un impacto positivo en el medio ambiente (Alcaldía de Bucaramanga, 2022).	Favorable
	Condiciones laborales	Las condiciones se mantienen constantes y estables, a menos que se lleven a cabo reformas significativas. Aunque los cambios en las leyes laborales no son frecuentes, cuando ocurren las empresas suelen contar con un periodo de adaptación razonable, que les permite anticiparse y realizar los ajustes necesarios en cumplimiento con la nueva legislación (Alcaldía de Bucaramanga, 2022).	Favorable

4.2.2 Análisis económico del sector de la construcción en Bucaramanga y su área metropolitana

El análisis económico (ver Tabla 5) se centra en cómo las condiciones macroeconómicas afectan el mercado y el comportamiento del consumidor.

Tabla 5*Evaluación económica del sector de la construcción en Bucaramanga y su área metropolitana.*

	Factor	Detalle	Impacto
Económico	Crecimiento del sector de la construcción	El crecimiento de la industria de la construcción en Bucaramanga incrementará la generación de residuos, lo que impulsará la demanda de servicios de gestión y creará oportunidades para la empresa.	Favorable
	Acceso a financiamiento	Los créditos o subsidios para empresas enfocadas en sostenibilidad y gestión de residuos facilitan la inversión en infraestructura y tecnología, mejorando la competitividad de la empresa (Banco de la República, 2024).	Favorable
	Crecimiento del mercado de materiales reciclados	El tratamiento de RCD busca eliminar residuos y recuperar materiales valiosos para su reutilización en la construcción, promoviendo la economía circular. Este enfoque impulsa la demanda de materiales reciclados, como concreto triturado y metales, generando beneficios económicos (Camino et al., 2009).	Favorable
	Incentivos fiscales y beneficios tributarios para empresas sostenibles	El gobierno colombiano ofrece incentivos fiscales y beneficios tributarios para promover prácticas sostenibles como el reciclaje y el tratamiento de residuos, ayudando a las empresas del sector a aumentar su rentabilidad y reducir costos operativos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).	Favorable
	Aumento en los costos de disposición en vertederos	El aumento de costos por restricciones en vertederos debido a limitaciones de espacio genera oportunidades en Bucaramanga para empresas que ofrezcan alternativas sostenibles y económicas al vertido de residuos.	Favorable

4.2.3 Análisis social de Bucaramanga y su área metropolitana

El análisis social (ver Tabla 6) explora las tendencias demográficas y culturales que influyen en las preferencias de comportamiento de los consumidores. Comprender el entorno social ayuda a las empresas a adaptar su oferta a las necesidades y expectativas cambiantes del mercado.

Tabla 6*Evaluación social de Bucaramanga y su área metropolitana.*

	Factor	Detalle	Impacto
Social	Conciencia ambiental creciente	La sociedad está cada vez más preocupada por los impactos ambientales de la construcción, lo que genera una mayor demanda de prácticas sostenibles en la gestión de residuos (Eurofins Environment Testing Spain, 2023). Esto puede fomentar una actitud positiva hacia la empresa y sus servicios de reciclaje y reutilización de materiales.	Favorable
	Generación de empleo	La empresa podría contribuir a la creación de empleos, tanto directos como indirectos, en la recolección, procesamiento y reciclaje de residuos, lo que puede mejorar la aceptación social y la integración con la comunidad.	Favorable
	Cambios demográficos	Bucaramanga presenta un crecimiento de la población (Alcaldía de Bucaramanga, 2022) Este crecimiento influye en la demanda de servicios de construcción y, como consecuencia, en la generación de residuos. Un mayor número de proyectos de vivienda o infraestructura puede aumentar la necesidad de una gestión adecuada de estos desechos.	Favorable
	Apoyo a la economía circular	El creciente apoyo social a la economía circular en Bucaramanga genera un entorno favorable para la empresa de recolección y tratamiento de residuos (Alcaldía de Bucaramanga, 2024). Las constructoras y la ciudadanía valoran cada vez más la gestión sostenible de los materiales, promoviendo la reutilización y el reciclaje de RCD y así aprovechar este respaldo social para fortalecer su reputación y expandir las operaciones de la empresa.	Favorable

4.2.4 Análisis tecnológico de la gestión integral de RCD

El análisis tecnológico (ver Tabla 7), examina los avances e innovaciones que puedan afectar la competitividad y eficiencia de la empresa, así como procesos involucrados en los ciclos de producción material y financiero

Tabla 7*Evaluación tecnológica de la gestión integral de RCD.*

	Factor	Detalle	Impacto
Tecnológico	Economía circular	Tecnologías emergentes que facilitan la creación de una economía circular en la construcción, donde los materiales se reutilizan y reciclan de manera continua, pueden integrarse en las operaciones de la empresa, diferenciándola de sus competidores y generando valor agregado (Fueyo Casado, 2012).	Favorable
	Equipos de compactación para reducir volumen de residuos	La compactación de residuos puede jugar un papel clave en la gestión de los RCD. Los equipos de compactación permiten reducir el volumen de los residuos, facilitando su almacenamiento temporal, lo que genera ahorros en términos de logística. Además, la compactación contribuye a una disposición más eficiente en vertederos o plantas de reciclaje. Esta tecnología es útil para maximizar el uso del espacio en los sitios de disposición y reducir costos relacionados con el transporte de materiales (Camino et al., 2009).	Favorable
	Separadores magnéticos para reciclaje de metales	Los separadores magnéticos son equipos sencillos y accesibles que permiten extraer metales ferrosos de los residuos de construcción. Estos dispositivos son fáciles de integrar en plantas de tratamiento de residuos y permiten recuperar grandes cantidades de metal que luego pueden ser vendidas o reutilizadas, generando un ingreso adicional y reduciendo la cantidad de residuos que van a disposición final (Camino et al., 2009).	Favorable
	Equipos de cribado para separación de finos y gruesos	El uso de cribadores mecánicos es una tecnología simple pero efectiva para la clasificación de residuos de construcción. Permiten separar los materiales finos de los gruesos, facilitando la reutilización de agregados en diferentes aplicaciones. Estos equipos ayudan a mejorar la eficiencia en el tratamiento de residuos, ya que permiten un procesamiento más rápido y organizado de los desechos (Camino et al., 2009).	Favorable

4.2.5 Análisis ecológico de la gestión integral de RCD

En el análisis ambiental (ver Tabla 8), se consideran los factores ecológicos y regulaciones implementadas al mantenimiento de éste. Evaluar el impacto ambiental es crucial para gestionar riesgos y garantizar responsabilidad social y ecológica empresarialmente.

Tabla 8

Evaluación ecológica de la gestión integral de RCD.

	Factor	Detalle	Impacto
Ecológicos	Regulaciones ambientales	La gestión adecuada de los residuos de construcción es clave para reducir la contaminación del suelo y del agua.	Favorable
	Sostenibilidad y reciclaje	La creciente demanda de construcción sostenible convierte la gestión de residuos reciclables en una prioridad. El reciclaje de materiales como hormigón, acero y madera no solo reduce los desechos, sino que también disminuye la extracción de nuevos recursos naturales (Mejía et al., 2013).	Favorable
	Impacto en la biodiversidad local	Bucaramanga y su área metropolitana están cerca de zonas naturales protegidas, por lo que una gestión ineficiente de residuos podría afectar los ecosistemas cercanos. La empresa tendrá el objetivo de minimizar los efectos negativos sobre la fauna y flora (Alcaldía de Bucaramanga, 2022).	Favorable
	Disponibilidad de espacio en vertederos	La disponibilidad de espacio en vertederos es un desafío creciente, especialmente en áreas urbanas como Bucaramanga. La capacidad limitada de los vertederos y las restricciones ambientales requieren alternativas sostenibles, como el reciclaje y la reutilización, para gestionar los residuos. (Castro Tuirán et al., 2018).	Favorable
	Cambio climático y resiliencia en la construcción	El cambio climático ha resaltado la necesidad de infraestructuras resilientes y sostenibles debido a eventos climáticos extremos que afectan la infraestructura urbana. Esto ha aumentado la demanda de prácticas de construcción ecológicas, incluida la gestión adecuada de los residuos de construcción.	Favorable

4.2.6 Análisis legal de la gestión integral de RCD

El análisis legal (ver Tabla 9), se centra en las leyes y regulaciones colombianas que impactan en las operaciones empresariales bajo su estricto cumplimiento.

Tabla 9

Evaluación legal de la gestión integral de RCD.

Factor	Detalle	Impacto
Resolución 541 de 1994	Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte y disposición final de escombros, materiales de construcción, demolición, y suelo de excavación.	Favorable
Decreto 357 de 1997	Por el cual se regula el manejo, transporte y disposición final de escombros y materiales de construcción.	Favorable
Decreto 4741 de 2005	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.	Favorable
Ley 1259 de 2008	Por medio de la cual se instaure en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones.	Favorable
Artículo 2 Decreto 2981 de 2013	Para los efectos de este decreto, se adoptan definiciones: Residuos de construcción y demolición: Es todo residuo sólido resultante de las actividades de construcción, reparación o demolición, de las obras civiles o de otras actividades complementarias	Favorable
Artículo 15 Decreto 2981 de 2014	En el caso de los residuos de construcción y demolición, así como de otros residuos especiales, el usuario que solicite este servicio será quien asuma los costos asociados con el mismo.	Favorable
Artículo 45 Decreto 2981 de 2015	El prestador del servicio público de aseo será responsable de la recolección de residuos de construcción y demolición residenciales cuando se haya realizado la solicitud respectiva por parte del usuario.	Favorable
Resolución 0472 de 2017	Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición – RCD y se dictan otras disposiciones.	Favorable

4.3 Fase 3: Estudio técnico de gestión y valorización de RCD

Este estudio técnico tiene como objetivo definir de manera precisa las etapas necesarias para la gestión integral de los RCD, abarcando desde su recolección hasta su valorización final. Para ello, se llevó a cabo un análisis detallado que permitió comprender el origen y las características de los residuos, lo que facilita el diseño de procesos adaptados a las particularidades del flujo de materiales.

El primer punto clave de este estudio técnico es la caracterización de la materia prima. Comprender en detalle las propiedades físicas y químicas de los RCD es fundamental para diseñar estrategias de aprovechamiento efectivas. Este proceso implica la identificación y clasificación de los residuos según su composición, lo cual permite determinar los materiales que pueden ser reutilizados o transformados en productos valiosos para la industria de la construcción, como agregados reciclados, ladrillos, bloques o componentes de base. En esta fase se incluyen detalles técnicos que optimizan el proceso de aprovechamiento.

Por ejemplo, se evalúan los métodos de separación y procesamiento más adecuados para cada tipo de material. Este enfoque en la caracterización y el aprovechamiento eficiente de la materia prima permite, no solo reducir la cantidad de residuos que terminan en vertederos, sino también crear productos con valor agregado, contribuyendo a la economía circular y al desarrollo sostenible del sector de la construcción.

4.3.1 Caracterización de la materia prima

La materia prima es el pilar fundamental para las empresas de transformación, ya que su disponibilidad y características determinan la estructura productiva de toda la operación. En el caso de esta empresa, se utilizarán residuos de construcción y demolición (RCD), que serán recolectados de obras de infraestructura y remodelación realizadas por micro y pequeñas empresas

constructoras en Bucaramanga y su área metropolitana. Los RCD están formados por una variedad de materiales que incluyen tierra, piedra, asfalto, madera, cerámica, ladrillo, concreto y arenilla, entre otros. Todos estos materiales pueden clasificarse según su origen y propiedades en tres categorías principales: áridos naturales, áridos ligeros y áridos secundarios. Adicionalmente, se presentan residuos sin categorizar que también serán evaluados.

a) Áridos naturales

Los áridos naturales, compuestos por materiales como arenas, gravas y rocas trituradas, ofrecen diversas aplicaciones para su reutilización tanto en la construcción como en la industria. En el sector de la construcción, se emplean en la elaboración de morteros, hormigones y productos prefabricados, además de ser útiles como materiales de relleno, bases y sub-bases para carreteras, balasto para vías férreas, pavimentos de aglomerados asfálticos y piedras para escolleras.

En el ámbito industrial, estos áridos son esenciales para la fabricación de productos en la industria cerámica y del vidrio, en lechos filtrantes, revestimientos aislantes y refractarios, así como en materiales abrasivos. También se utilizan en la industria papelera, de plásticos, de pinturas y detergentes, y en la producción de cemento. Su uso se extiende a las industrias química y farmacéutica, tratamiento de aguas, como cargas minerales, en aplicaciones agrícolas, aditivos para piensos y en la corrección de suelos (Camino et al., 2009).

b) Áridos ligeros

Los áridos ligeros, caracterizados por una densidad de partícula inferior a 2000 kg/m^3 , son materiales versátiles con aplicaciones específicas en la construcción y la industria. Debido a su baja densidad, se emplean en la elaboración de morteros puzolánicos y hormigones ligeros, ideales para estructuras que requieren una menor carga de peso. Además, se utilizan en rellenos especiales y la fabricación de prefabricados ligeros, así como en la producción de cerámica. Esta versatilidad

permite que los áridos ligeros aporten soluciones innovadoras en proyectos que buscan optimizar resistencia y reducir peso estructural (Camino et al., 2009).

c) Áridos secundarios

Los áridos secundarios, también conocidos como áridos artificiales, son materiales reciclados que se utilizan principalmente como material de relleno y en la fabricación de hormigón, cemento y ladrillos. Además, son empleados en la construcción de bases y subbases para carreteras (Camino et al., 2009).

d) Sin categoría

Además de los áridos clasificados, existe una gran cantidad de residuos adicionales cuya variabilidad en composición y aplicación dificulta su categorización en grupos específicos. Estos materiales, con propiedades y usos distintos, se detallan en la Tabla 10, proporcionando un análisis técnico sobre su composición y sus potenciales aplicaciones en distintos procesos industriales y constructivos (Mejía et al., 2013).

4.3.2 Capacidad de la planta

Para establecer una planta de tratamiento de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) eficiente y sostenible, se ha considerado iniciar con una capacidad de procesamiento de aproximadamente 100 toneladas por mes. Este volumen representa cerca del 26% del total de RCD reportado y depositado en el botadero de tierra El Parque S.A.

Al comenzar con una fracción de la generación total de residuos, la planta podrá evaluar, ajustar y optimizar los procesos operativos necesarios para una gestión eficiente. Esta fase inicial permitirá la implementación gradual de protocolos de operación, así como la calibración y prueba de equipos en condiciones reales, sin someter la infraestructura a una demanda máxima desde el

primer momento. Asimismo, esta capacidad inicial facilitará la identificación de áreas de mejora y la formación del personal en prácticas específicas de clasificación, trituración y recuperación de materiales.

Tabla 10

Aplicaciones para RCD sin categoría generados.

Tipo de material	Aplicación (Reutilización)
Hormigón	Fabricación de hormigón o cemento, material de relleno, construcción de carreteras
Mamosterías de piedras	Material de segunda mano, material de relleno
Ladrillos	Material de segunda mano, material de relleno, fabricación de hormigón o ladrillos, construcción de carreteras
Tejas	Material de segunda mano, material de relleno
Suelos	Material de relleno, paisajismo, jardines
Madera	Fabricación de mobiliario y otros productos, material de segunda mano, compostaje
Asfalto	Fabricación de asfalto, construcción de carreteras
Vidrio	Fabricación de productos de vidrio, fabricación de hormigón, construcción de carreteras, paisajismo
Papel y cartón	Fabricación de aislamientos de celulosa, re-fabricación de papel y cartón
Metales	Fabricación de metales, fabricación de segunda mano
Plásticos	Fabricación de gran variedad de productos de plástico, suelos, recubrimientos
Aceites	Regeneración de aceites, minimizar por alto contenido contaminante
Sustancias químicas	Pocas aplicaciones, minimizar por alto contenido contaminante
Yeso	Material de relleno, fabricación de tabiques.
Soluciones acuosas	Pocas aplicaciones, minimizar por alto contenido contaminante

Nota: Adaptado de (Mejía et al., 2013)

4.3.3 Localización de la planta

La ubicación de la planta de tratamiento de RCD en la Zona Franca de Santander (ver Figura 5) presenta ventajas estratégicas significativas. Esta localización, a solo 11 km del botadero de tierra, facilita una logística eficiente para el transporte y disposición de materiales no recuperables, optimizando tiempos y costos de traslado (ver Figura 6). Además, la operación en una zona franca en Colombia permite acceder a beneficios económicos establecidos en la Ley 1004 de 2005, la cual define los principios del régimen de zonas francas. Según esta normativa, se otorgan incentivos fiscales, exenciones en aranceles y facilidades aduaneras, orientados a fortalecer la competitividad de las empresas allí ubicadas.

Figura 5

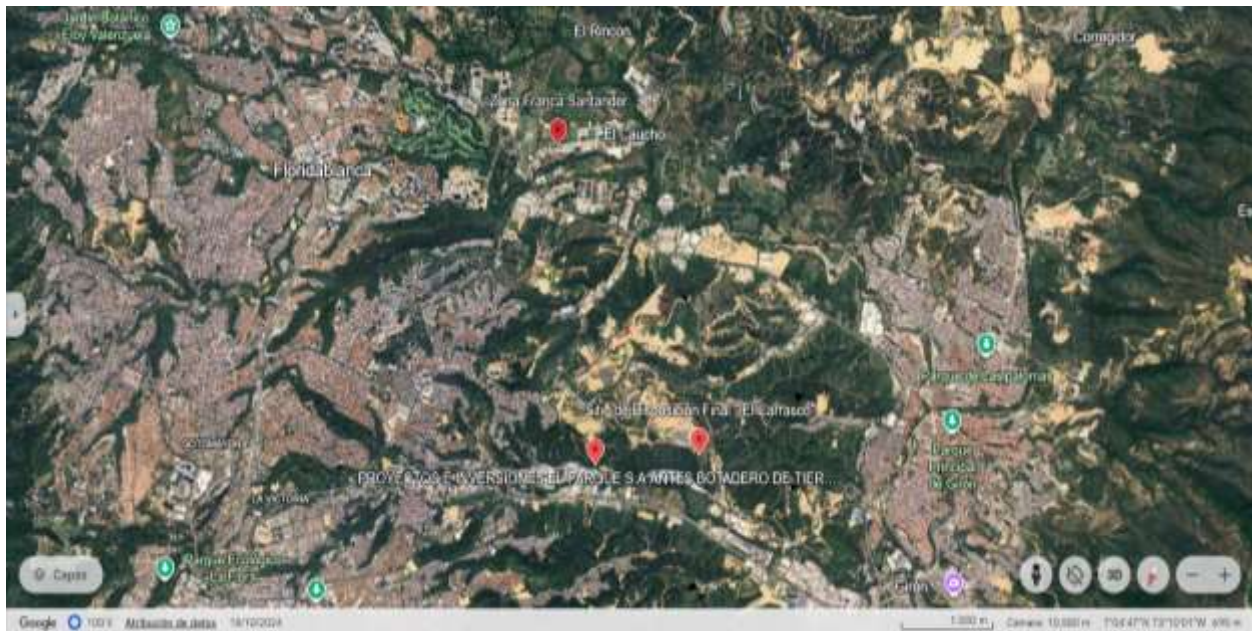
Vista satelital de la Zona Franca de Santander.



Nota: Adaptado de (Google earth, 2024)

Figura 6

Ubicación de la Zona Franca Santander, El Carrasco y el botadero de tierra El Parque.



Nota: Adaptado de (Google earth, 2024)

4.3.4 Proceso de producción

El reciclaje y tratamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) es un proceso estructurado que busca aprovechar al máximo los materiales derivados de las actividades constructivas y reducir la cantidad de desechos que terminan en vertederos. Este proceso se compone de varias etapas cuidadosamente diseñadas para optimizar la separación, recuperación y aprovechamiento de los diferentes tipos de residuos.

a) Separación primaria y trituración

Los residuos seleccionados se trituran para reducir su tamaño. El proceso inicia cuando los RCD sin tratar se trasladan desde el área de depósito hacia la máquina clasificadora mediante cargadores frontales. Estos residuos son dirigidos a una tolva metálica de recepción, donde se rechazan materiales mayores según el tamaño establecido. Tras pasar por un overband con imán,

que separa los residuos metálicos, los materiales llegan al tromel de clasificación. Luego de una preselección manual en la cabina de triaje para eliminar materiales no pétreos (metales, plásticos y maderas), los residuos avanzan hacia el alimentador precribador vibrante para realizar nuevamente una clasificación según el tamaño. Finalmente, el molino impactor de eje horizontal, con tres placas de impacto, realiza una trituración adicional para producir fracciones más uniformes.

b) Cribado y separación

Los materiales triturados se criban y separan en diferentes fracciones según su tamaño y tipo, utilizando equipos especializados. La criba vibrante clasifica el material triturado en fracciones de 0–25 mm, 25–50 mm y 50–80 mm. A lo largo del proceso de cribado, se emplean sistemas de aspiración de materiales ligeros que separan residuos como plásticos y papeles. Las fracciones resultantes se dividen en árido fino (0–25 mm), árido grueso (25–50 mm) y árido muy grueso (50–80 mm). Estas fracciones pueden ser destinadas a diferentes aplicaciones según sus características.

c) Tratamiento final

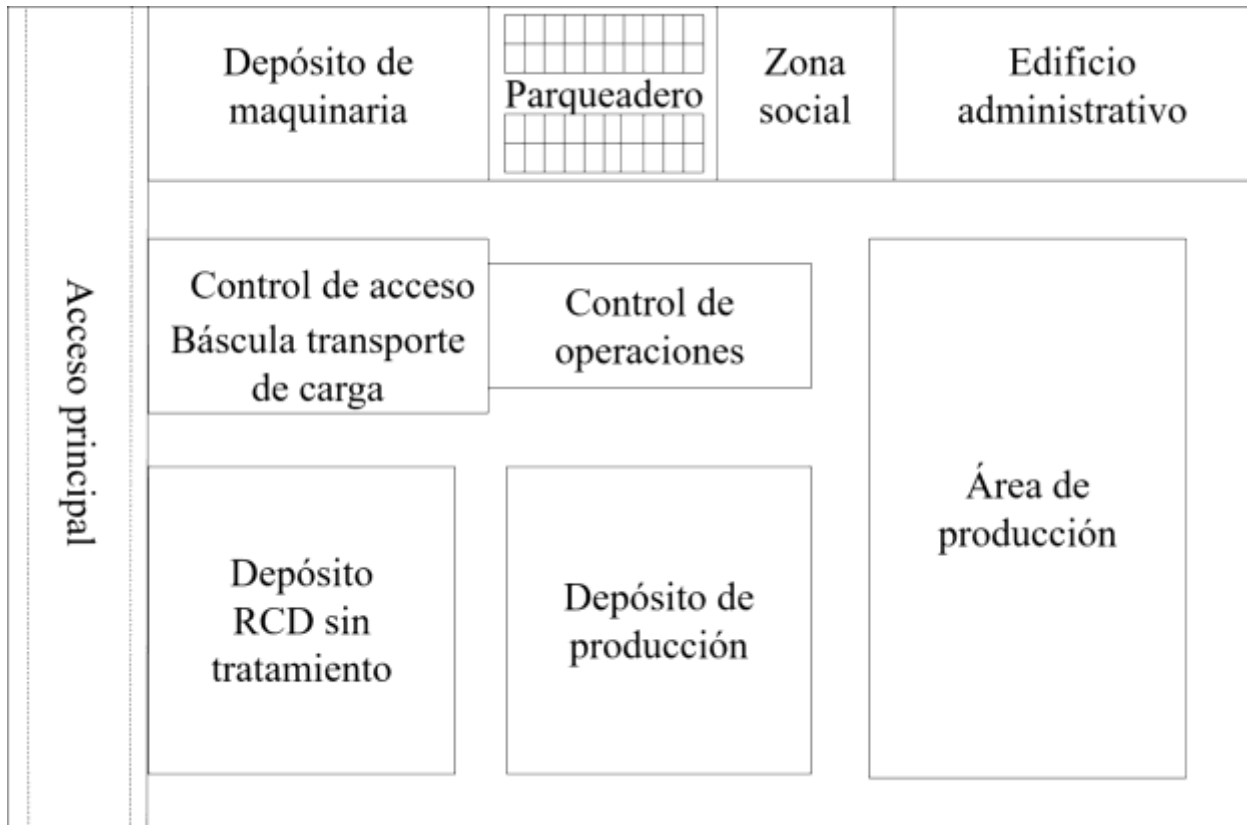
Los residuos restantes, que no pueden ser reciclados, se envían a vertederos controlados o se utilizan en aplicaciones específicas. Parte de los áridos clasificados, que cumplen con requisitos específicos de granulometría, pueden ser empleados como relleno en carreteras o en otros proyectos de construcción. Las fracciones separadas se almacenan en áreas designadas mediante cargadores frontales, asegurando su correcta disposición o futura utilización en obras civiles que requieran distintos tipos de áridos reciclados.

4.3.5 Distribución de la planta

El diagrama de disposición del sitio mostrado en la Figura 7 representa un plot plan para la organización de una planta de reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD). Este plano incluye áreas necesarias para garantizar un flujo eficiente y seguro de operaciones dentro de la planta, teniendo en cuenta espacios administrativos, así como zonas para el control y la seguridad del proceso.

Figura 7

Esquema básico arquitectónico para la distribución de una planta de reciclaje de residuos de construcción y demolición.



4.3.6 Análisis DOFA

a) Debilidades

- **Capacidad inicial limitada:** Comenzar operando solo con 100 toneladas/mes podría limitar los ingresos y hacer que la empresa dependa de la pronta escalabilidad para lograr rentabilidad.
- **Dependencia de un Sitio de RCD:** Al concentrarse inicialmente en un solo sitio, cualquier cambio en la disponibilidad o calidad de los RCD del botadero de tierra El Parque S.A. podría afectar la producción.
- **Falta de experiencia en escala mayor:** La ampliación para procesar 100% del volumen de 386 toneladas o más requerirá experiencia y ajustes en la logística y en los procesos operativos que aún no se han probado a gran escala en estas condiciones de entorno.
- **Desafíos en la separación de residuos contaminados:** Aunque existen tecnologías para separar metales, plásticos, y maderas, algunos materiales contaminantes pueden requerir tratamiento especial, lo que aumentaría los costos y tiempo de procesamiento.
- **Limitaciones para el manejo de RCD de sitios ilegales:** Aunque recoger RCD de sitios no autorizados es positivo, implica desafíos en la logística de transporte y en el manejo de residuos de diferentes calidades, lo que podría dificultar su incorporación sin medidas adicionales de control.

b) Oportunidades

- **Creación de alianzas con gobiernos y municipios:** Colaborar con gobiernos locales para implementar políticas de recolección de RCD de sitios ilegales o desatendidos podría abrir nuevas fuentes de materiales y potenciar la expansión.

- **Incentivos y subsidios gubernamentales:** La empresa podría acceder a incentivos o subsidios enfocados en sostenibilidad, economía circular y manejo de residuos, que faciliten la ampliación de sus operaciones.
- **Mercado creciente de materiales reciclados:** La demanda de materiales reciclados en la industria de la construcción está en auge debido a las crecientes normativas de sostenibilidad y a la consciencia ambiental del sector, lo que crea un nicho favorable para los productos de la empresa.
- **Innovación en productos y servicios:** Existen oportunidades para desarrollar productos especializados como concretos autocompactantes o morteros ecológicos, que utilizan materiales reciclados y pueden tener aplicaciones específicas en el sector de la construcción.
- **Posicionamiento en un mercado sostenible:** Aprovechar la tendencia hacia prácticas constructivas sostenibles y de economía circular puede darle a la empresa una ventaja competitiva y promover el crecimiento de su base de clientes.

c) **Fortalezas**

- **Acceso a recursos constantes:** La empresa actualmente tiene a disposición el acceso a 386 toneladas/mes de RCD de un sitio específico, lo que garantiza una fuente confiable de materia prima.
- **Estrategia de escalabilidad:** El plan de crecimiento por etapas permite que la empresa incremente su capacidad de procesamiento de manera controlada y en función de la demanda.

- **Impacto ambiental positivo:** Al tratar y reciclar RCD, la empresa contribuye a la reducción de desechos en vertederos y a la disminución de la explotación de recursos naturales no renovables, lo cual fortalece su imagen sostenible y socialmente responsable.
- **Tecnología de procesamiento eficiente:** Los procesos de trituración, cribado, clasificación y separación de materiales permiten la obtención de áridos reciclados de diferentes tamaños, que pueden ser aprovechados en nuevas construcciones, pavimentos y obras civiles.
- **Responsabilidad social:** La intención de realizar obra social para la recolección de RCD en sitios no autorizados fortalece la relación de la empresa con las comunidades y autoridades locales, además de su reputación como agente de cambio ambiental.

d) **Amenazas**

- **Incertidumbre en normativas y regulaciones:** Las leyes relacionadas con la gestión de residuos y el reciclaje pueden variar, y los cambios regulatorios podrían afectar la viabilidad de algunos procesos de tratamiento o incrementar los costos operativos.
- **Fluctuación en la calidad de RCD disponibles:** La variabilidad en la composición y calidad de los RCD puede afectar la eficiencia de los procesos de separación y la calidad de los productos finales, reduciendo así la competitividad de la empresa.
- **Preferencia del mercado por materiales tradicionales:** Aunque la demanda de materiales reciclados está creciendo, algunas empresas de construcción aún prefieren materiales tradicionales, lo que podría limitar la expansión del mercado para productos reciclados.
- **Resistencia de las comunidades locales:** La recolección de RCD en zonas no autorizadas puede ser malinterpretada o rechazada por algunas comunidades o propietarios locales, lo

cual podría dificultar la logística de obtención de materiales y poner en riesgo el plan de obra social.

4.3.7 Maquinaria y equipos según etapa del proceso

La caracterización de los equipos y maquinarias estará determinada por las necesidades específicas de cada etapa del proceso ya descrito. Cada equipo será seleccionado y configurado en función de los requerimientos técnicos y operativos de las siguientes etapas:

a) Trituración

- **Cargadores frontales:** Para trasladar los RCD desde el área de depósito hasta la máquina clasificadora y mover materiales en las diferentes etapas.
- **Tolva metálica de recepción:** Para recibir los residuos y los canaliza hacia el siguiente proceso.
- **Overband con imán:** Separador magnético para retirar materiales metálicos ferrosos.
- **Tromel de clasificación:** Cilindro giratorio que realiza una separación inicial de los materiales por tamaño.
- **Cabina de triaje manual:** Espacio donde los operarios realizan una preselección manual para retirar materiales no pétreos.
- **Alimentador precribador vibrante:** Clasifica los materiales antes de la trituración, según su tamaño.
- **Molino impactor de eje horizontal:** Tritura los materiales en fracciones más uniformes mediante placas de impacto.

b) Cribado y separación

- **Criba vibrante:** Para clasificar los materiales triturados en fracciones específicas (0–25 mm, 25–50 mm, 50–80 mm).
- **Sistemas de aspiración:** Equipos de succión que separan materiales ligeros como plásticos y papeles.
- **Cintas transportadoras:** Para trasladar las diferentes fracciones clasificadas hacia el almacenamiento o la siguiente etapa.

c) Tratamiento final

- **Cargadores frontales:** Para transportar los materiales clasificados a las áreas de almacenamiento designadas.
- **Áreas de almacenamiento designadas:** Espacios adecuados para guardar los áridos clasificados y otros materiales recuperados.
- **Sistema de carga y transporte:** Para mover los áridos que cumplen con requisitos específicos hacia su destino final.

4.3.8 Escalamiento industrial**a) Fase inicial: 100 toneladas/mes**

En esta fase, la empresa se centrará en el tratamiento de una cantidad controlada de RCD (100 toneladas/mes) durante un periodo de 2 años. Esto permitirá establecer una operación eficiente y sostenible, sin comprometer recursos excesivos desde el principio. Es clave construir una base operativa sólida, establecer los flujos de trabajo de tratamiento de RCD y optimizar la infraestructura para poder escalar en el futuro.

b) Expansión intermedia: 386 toneladas/mes

En esta etapa, la empresa aprovechará el 100% de las 386.86 toneladas/mes disponibles en el botadero de tierra El Parque S.A. La ampliación se realizará de forma escalada y controlada: después de los primeros 2 años, se aumentará la capacidad a 200 toneladas/mes, y un año después, se aprovecharán las 386.86 toneladas/mes disponibles. Este aumento se hará de manera controlada para evitar cambios drásticos en la producción que puedan afectar el funcionamiento del equipo. Esto implicará una mayor capacidad operativa y podrá requerir inversión en maquinaria, tecnología y personal adicional. Lograr esta expansión demostrará la capacidad de la empresa para manejar un volumen considerable de RCD y optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles.

c) Expansión a largo plazo: incorporación de RCD de origen no controlado

Como estrategia a largo plazo, la empresa puede crecer aún más mediante la incorporación de RCD que actualmente son desechados de forma inapropiada. Esto podría lograrse mediante alianzas con municipios, incentivos para recolectores, y programas de recolección y concientización ambiental. Esta expansión, no sólo incrementará la capacidad de procesamiento de RCD, sino que también posicionará a la empresa como una entidad de impacto social positivo, ayudando a mejorar la gestión de residuos a nivel social y promoviendo prácticas sostenibles en el sector de la construcción.

Esta estructura escalable permite que la empresa se adapte progresivamente al aumento de la capacidad de procesamiento de RCD, garantizando una operación sostenible y rentable a medida que se incrementa el volumen de tratamiento y se reduce el impacto ambiental de estos residuos.

4.4 Fase 4: Análisis de la viabilidad financiera del proyecto

a) Captación de RCD

La empresa recicladora de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) está enfocada en promover la disposición adecuada y el aprovechamiento eficiente de estos materiales. Está dirigida a empresas medianas, pequeñas y particulares del área metropolitana de Bucaramanga, brindando una solución accesible para la gestión responsable de los residuos. Para facilitar este proceso, se ofrece el servicio en el que los generadores de RCD podrán llevar sus residuos directamente a las instalaciones sin ningún costo por la disposición. Este enfoque busca incentivar prácticas responsables en la gestión de RCD, y también generar un impacto positivo al reducir los costos asociados a la disposición final y garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales locales.

b) Proyección de ventas

Después del proceso de tratamiento de los RCD, se lleva a cabo la valorización de estos, obteniendo materiales aptos para la venta que cumplen con estándares de calidad para su reutilización en diversas aplicaciones descritas anteriormente. Los productos recuperados se clasifican según sus características físicas y químicas, tal como se presenta en la Tabla 11, donde se detallan los diferentes tipos de materiales reciclados y sus porcentajes estimados de valorización con respecto a la materia prima que ingresa al proceso.

Tabla 11*Rendimiento de valorización de RCD*

Producto valorizado	Porcentaje estimado
Bases granuladas	20% - 30%
Gravilla	10% - 20%
Arena de trituración	10% - 20%
Madera	2% - 5%
Metales	1% - 5%
Plásticos y otros	1% - 5%
Residuos no reciclables	10% - 20%

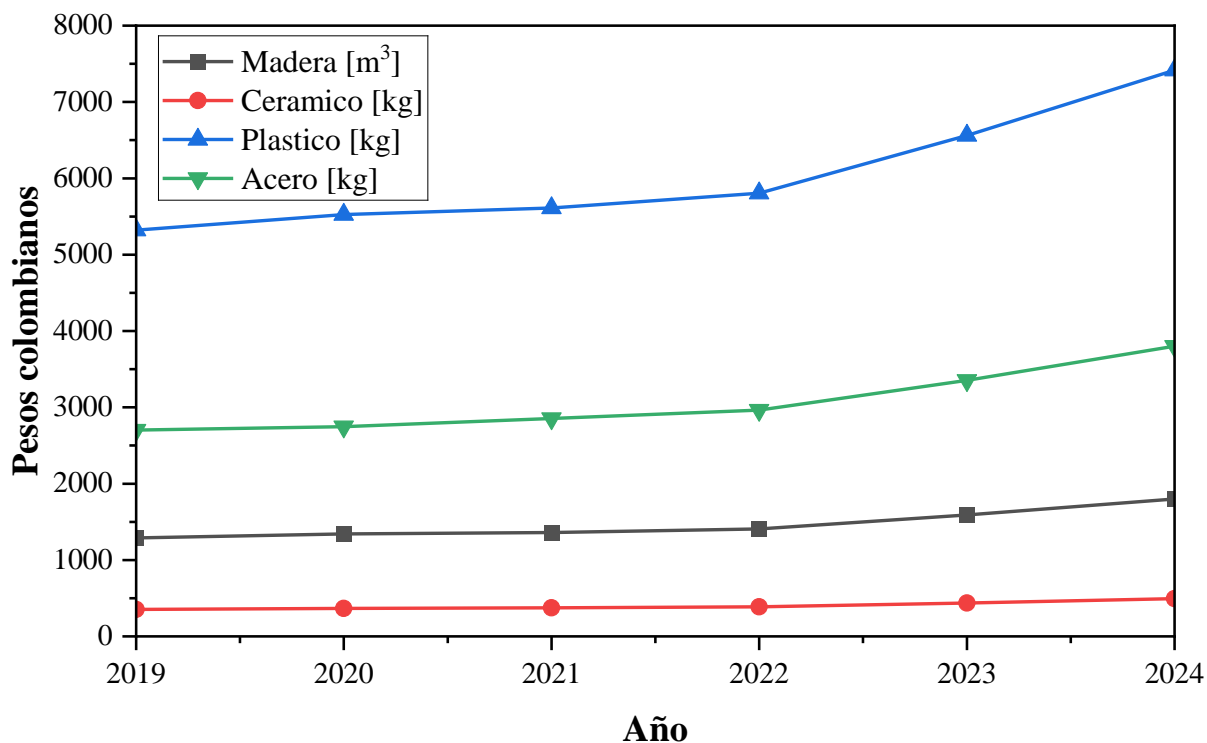
Tomado y adaptado de (Camino et al., 2009) (Martinez et al., 2015)

c) Precios

- **Estrategia de precios:** Realizando una búsqueda en diferentes centros de distribución de materiales para la construcción, como Homecenter, Construrama, Ferretería Panamericana, y Materiales Los Andes, se logró recopilar un historial detallado de los precios de diversos productos utilizados en el sector de la construcción. Los datos recopilados permiten identificar tendencias de precios y valorar el impacto de la inflación en cada uno de los materiales analizados. El proceso de reciclaje de RCD detallado se orienta inicialmente a la recuperación de materiales como madera, aceros, cerámicos y plásticos, que constituyen una parte fundamental del reciclaje en su fase temprana. Estos materiales se separan y clasifican eficientemente mediante los equipos descritos. Los materiales como aceros, plásticos, maderas y cerámicos han mostrado una tendencia de valorización significativa en los últimos años, como se observa en la Figura 8.

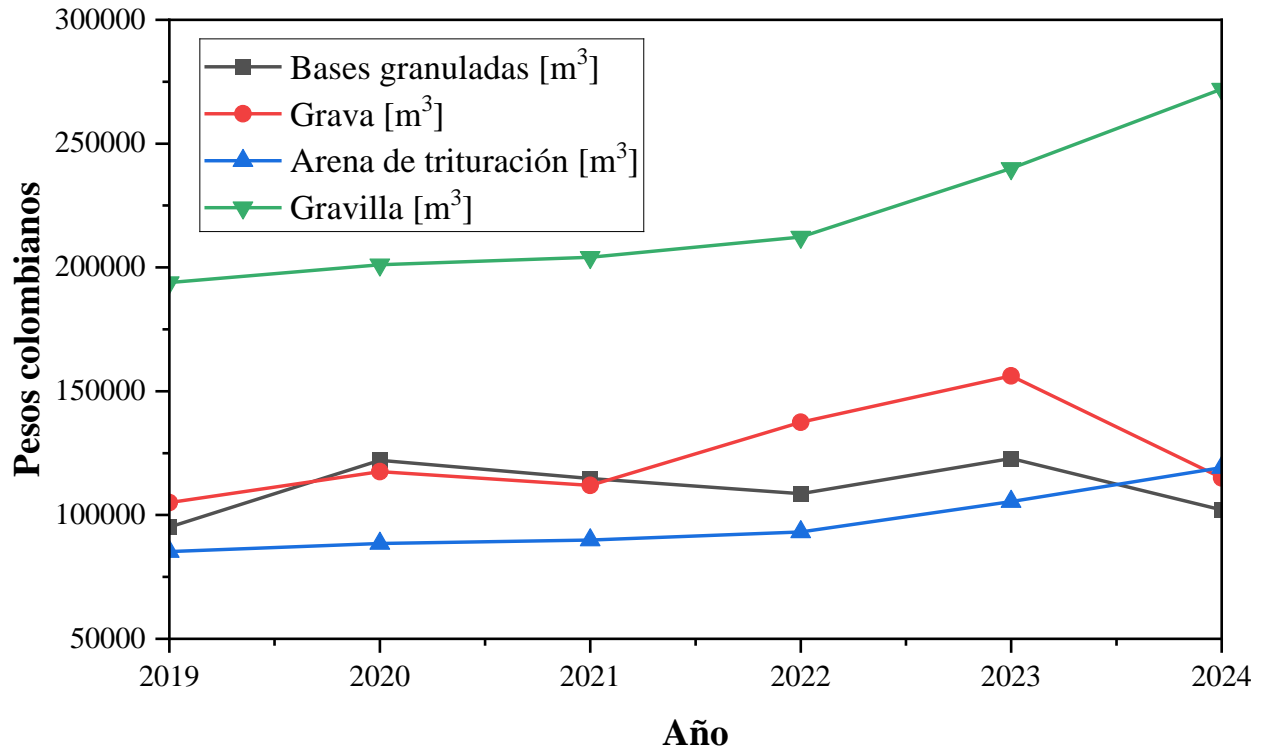
Figura 8

Historial de precios residuos no pétreos.



Este incremento es consecuencia de varios factores, entre los cuales destacan el aumento de la demanda de materiales reciclados en la industria de la construcción, así como la variabilidad de los precios debido a la inflación y la oferta de estos materiales en el mercado.

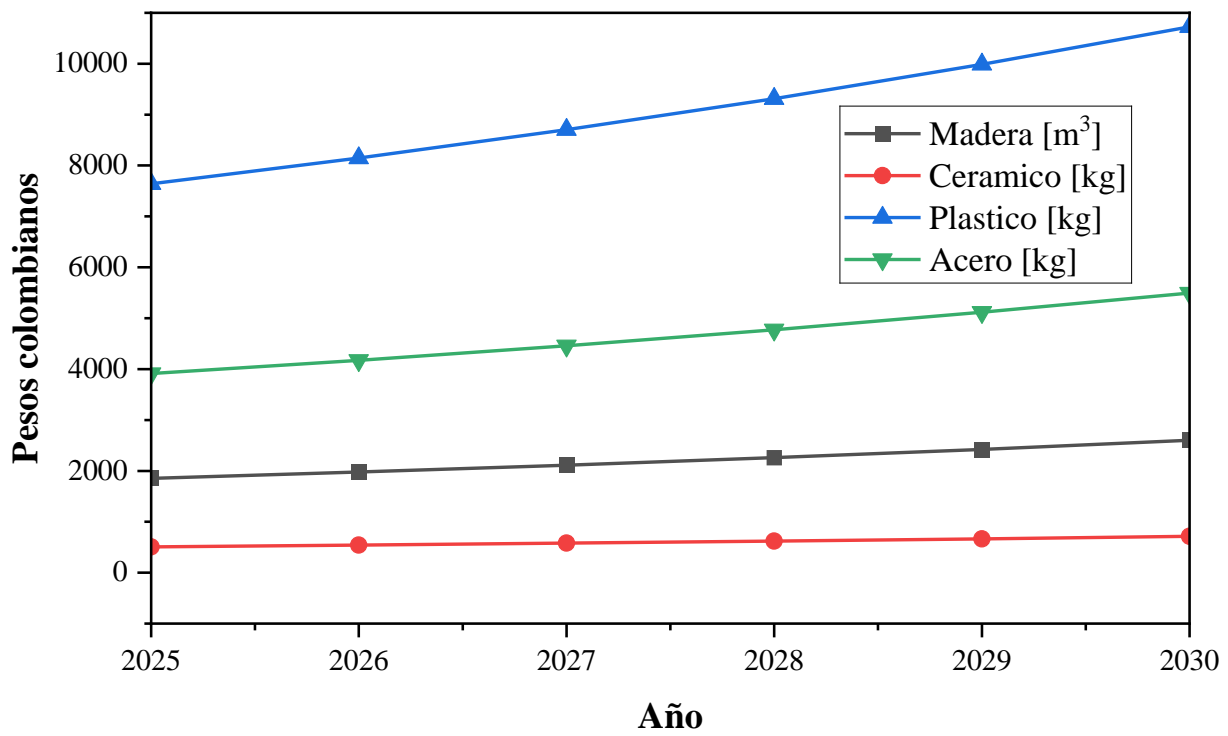
En la siguiente fase del proceso, se procede a la obtención de otros materiales como bases granuladas, gravas, arena de trituración y gravilla. Estos materiales son el resultado de las etapas posteriores de trituración, cribado y separación, y su valor también ha mostrado un comportamiento al alza, tal como se refleja en la Figura 9.

Figura 9*Historial de precios residuos pétreos.*

- Precios Proyectados:** Para la proyección de los precios, se tomaron como base los datos de precios recopilados para el año 2024. Utilizando el Informe de Política Monetaria (Banco de la República, 2024), se estima que la inflación se estabilizará en torno al 3% en los próximos años. Este indicador permitirá realizar cálculos ajustados que reflejen de manera precisa la evolución esperada de los costos de los materiales de construcción, considerando un escenario de estabilidad económica a mediano y largo plazo (ver Figura 10).

Figura 10

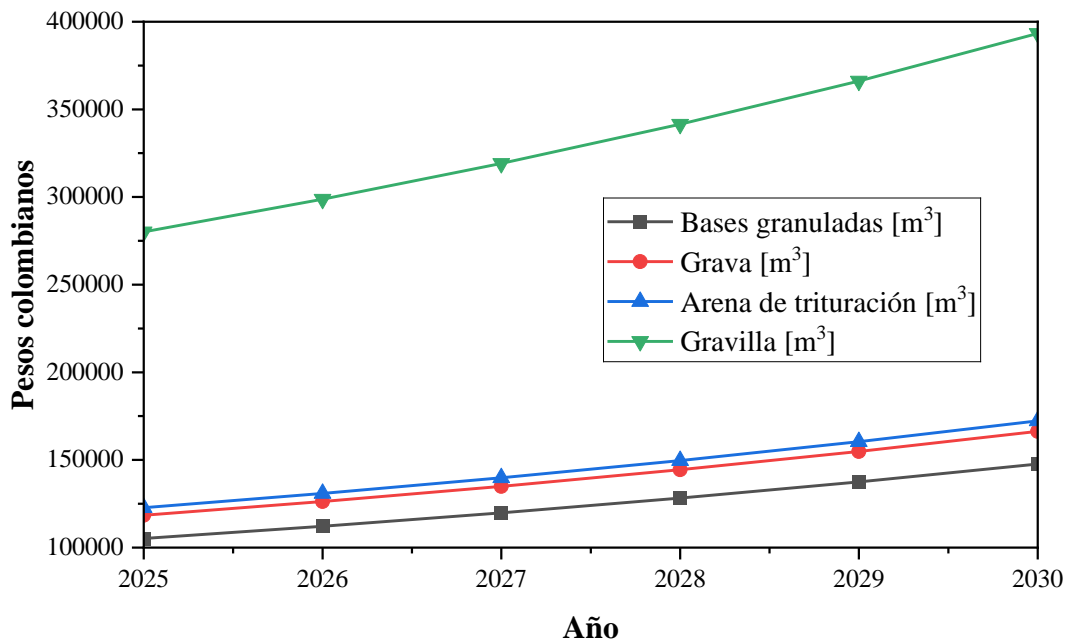
Proyección precios materiales no pétreos.



Aunque no se cuentan con estimaciones precisas para los años posteriores, es posible realizar una proyección en función de los datos históricos de inflación. De este modo, el cálculo de los precios presentados para los próximos años (Banco de la República, 2024) se basó en esta proyección, utilizando tanto las tendencias observadas como los valores pronosticados (ver Figura 10 y Figura 11).

Figura 11

Proyección precios materiales pétreos.



- Costos Operativos:** Según (COGERSA, 2024), la operación de una planta para el reciclaje de RCD requiere un suministro energético continuo para equipos como cargadores frontales, tromeles, molinos de impacto y cintas transportadoras. Estos equipos suelen demandar una potencia significativa dependiendo de la capacidad de procesamiento de la planta y su nivel de automatización. En el caso de la planta ubicada en Bucaramanga, Santander, operará 16 horas diarias en un predio de 1.800 m². Para el conjunto de equipos se estima tener una demanda promedio de 200 kW, lo que implica un consumo mensual de 96.000 kWh. Por otro lado, según la Comisión de Regulación de Energía y Gas, en el año 2024 los costos operacionales asociados al consumo eléctrico en Bucaramanga están determinados por las tarifas de energía para uso industrial, y oscilan entre \$550 COP y \$650 COP por kWh, dependiendo del tipo de contrato y el consumo mensual. Con una tarifa

promedio de \$600 COP/kWh, el costo mensual del consumo energético de la planta sería de aproximadamente \$57.600.000 COP (Comisión de regulación de energía y gas, 2024).

- **Costos de Producción:** En el análisis de los costos directos asociados al funcionamiento de la planta de tratamiento de RCD, uno de los principales componentes es el salario del personal encargado de las diferentes etapas del proceso. En la Tabla 12 se desglosa el personal requerido para las diferentes áreas operativas, técnicas y de apoyo, que incluyen roles como operarios, ingenieros, técnicos y personal de apoyo, quienes desempeñan funciones clave en áreas como trituración, cribado, separación, recuperación de materiales y tratamiento final. A su vez, se contempla la compensación de personal especializado en seguridad industrial y en la gestión de recursos humanos, que son fundamentales para el correcto desempeño del proceso y el cumplimiento de las normativas laborales y de seguridad. El salario de los empleados fue determinado a partir de una búsqueda realizada en diversas bolsas de empleo en Colombia y presentados en la Tabla 13, con el objetivo de asegurar que los salarios ofrecidos estén alineados con las condiciones del mercado y las necesidades de la empresa. Fuentes como Computrabajo, Indeed y Eempleo han sido consultadas para conocer las ofertas salariales de cargos similares en el sector, lo que permitirá establecer una remuneración competitiva y justa para el personal.

Tabla 12*Personal para operación y gestión de la planta de tratamiento de RCD.*

Área desempeño	Cargo laboral	Contratados	Funciones
Producción	Operadores de cargadores frontales	2	Manejo y transporte de RCD en diferentes etapas
	Operadores de trómel y cribas	2	Supervisión y operación de equipos de clasificación y cribado
	Operadores de molinos	1	Manejo de equipos de trituración para materiales
	Operarios en cabina de triaje	8	Separación manual de materiales no pétreos y reciclables
	Técnicos de supervisión	2	Supervisión de equipos como tolvas, sistemas de aspiración y transportadores
Mantenimiento	Técnicos de mantenimiento mecánico	2	Planificación y gestión de mantenimiento preventivo y correctivo
Supervisión y seguridad	Profesional de seguridad industrial	1	Supervisión y capacitación en medidas de seguridad
	Brigadistas de seguridad	2	Atención de emergencias y primeros auxilios
Administrativo	Gerente general	1	Dirige la operación de la empresa y toma decisiones estratégicas
	Talento humano	1	Gestión de personal, contratación y bienestar
	Abogado o asesor legal	1	Cumplimiento normativo y manejo legal
	Contador o administrador financiero	1	Gestión financiera y presupuestaria
	Jefe de logística	1	Coordinación de transporte y almacenamiento de materiales
Auxiliar	Personal de limpieza	2	Mantenimiento general de las instalaciones
	Guardias de seguridad	2	Protección de las instalaciones en turnos

Tabla 13*Estimación salarial mensual de empleados.*

Área desempeño	Cargo laboral	Contratados	Salario [COP/mes]
Producción	Operadores de cargadores frontales	2	\$1.623.500
	Operadores de trómel y cribas	2	\$1.623.500
	Operadores de molinos	1	\$1.623.500
	Operarios en cabina de triaje	8	\$1.623.500
	Técnicos de supervisión	2	\$2.500.000
Mantenimiento	Técnicos de mantenimiento mecánico	2	\$2.000.000
Supervisión y seguridad	Profesional de seguridad industrial	1	\$3.500.000
	Brigadistas de seguridad	2	\$1.623.500
Administrativo	Gerente general	1	\$7.000.000
	Talento Humano	1	\$2.800.000
	Abogado o asesor legal	1	\$2.800.000
	Contador o administrador financiero	1	\$1.800.000
	Jefe de logística	1	\$2.500.000
Auxiliar	Operador Volqueta	1	\$1.623.500
	Personal de limpieza	2	\$1.623.500
	Guardias de seguridad	2	\$1.623.500

- **Costos de Inversión:** Como primer costo de inversión, se tiene la adquisición del predio en donde se establecerá la planta operativa. Tal como se había mencionado, se decidió operar en la Zona Franca de Santander para aprovechar los beneficios otorgados por el gobierno a las empresas que operan en estas áreas especiales. Según (Zona franca Santander S.A., 2024) se encuentran múltiples lotes ofertados, para los cuales se realizó la cotización de algunos, obteniendo los siguientes resultados:

- **Lote de 1.830 m²**: Con un precio de \$1.372.500.000 COP.
- **Lote de 2.595 m²**: Disponible a \$1.610.000.000 COP.
- **Lote de 3.900 m²**: Ofrecido a \$2.620.000.000 COP.

Entre las alternativas, la oferta más atractiva es el lote de 1.830 m², ya que combina un área suficiente para las necesidades de la planta operativa con un precio competitivo, siendo el costo total de \$1.372.500.000 COP.

Adicionalmente, la Zona Franca Santander ofrece el servicio de arriendo o compra de sectores dedicados a oficinas, con superficies que van desde 48 m² hasta más de 100 m².

Como segundo costo de inversión, aparece la adquisición de la maquinaria y equipos necesarios para el funcionamiento. Para ello, se realizó una búsqueda y cotización en diversas fuentes como BBG, Thomas, Prometálicos, Croper, y Grúas Camiones Colombia. A continuación, se presentan los costos obtenidos, los cuales se detallan en la Tabla 14.

Como parte de las actividades iniciales de la empresa, se estima trasladar los RCD que actualmente se encuentran en el botadero de tierra El Parque, con el propósito de someterlos a un tratamiento adecuado y su posterior aprovechamiento. Esta iniciativa contribuirá significativamente a la reducción de la carga ocupacional del botadero, prolongando su vida útil y minimizando el impacto ambiental generado por la disposición inadecuada de estos residuos. El traslado de los RCD se llevará a cabo utilizando una volqueta propia de la empresa, con un operador incluido dentro de la nómina de empleados. La distancia entre el botadero y la planta de tratamiento es de aproximadamente 12 km por trayecto y considerando 5 viajes diarios se estimarían un costo operativo mensual de \$10.350.000 COP.

Tabla 14*Resumen de costos de equipos y maquinaria.*

Equipo requerido	Costo [COP]	Referencia
Cargador frontal	\$250,000,000	Cargador Frontal Sany Syl956h5, mod 2021
Tolva de recepción	\$21,600,000	Tolvas a medida Industriales de Espirales CHIA
Overband con imán	\$43,000,000	Imán Overband de Colubris Cleantech
Trómel de clasificación	\$167,300,000	Tromel Móvil Traserscreen DB-100
Cabina de triaje manual	\$186,687,200	Cabina de triaje JLM TR100E
Molino impactor de eje horizontal	\$1,200,000,000	Molino de Martillos Eagle Crusher
Criba vibrante	\$76,480,000	Criba Vibrante Circular de Fote Machinery
Cinta transportadora	\$11,529,600	Cinta Transportadora de Goma EP400
Volqueta	\$375,000,000	Volqueta International 2015
Báscula	\$26,400,000	Báscula Camionera BBG

- Factores Financieros:** Para la evaluación financiera, se tuvieron en cuenta todos los factores económicos necesarios para el correcto funcionamiento de la planta de reciclaje de RCD, incluyendo costos operativos, de mantenimiento y consumo energético. Adicionalmente, se consideraron datos financieros proporcionados por (Zona franca Santander S.A., 2024), ya que la operación en dicha zona franca genera beneficios tributarios que contribuyen a la optimización de los costos y al aumento de la rentabilidad proyectada de la empresa. Estos datos fueron utilizados en la elaboración de los flujos de caja y su correspondiente análisis financiero. Los resultados obtenidos se presentan resumidos en la Tabla 15, proporcionando una visión clara y detallada del desempeño financiero esperado para la empresa.

Tabla 15*Indicadores financieros del proyecto.*

Horizonte	Impuesto de renta	TMAR	Crédito
7	20%	14%	0
VPN	TIR	Payback	Payback descontado
2.626.947.417	26,42%	5	6

La evaluación financiera reflejada resultados positivos que respaldan la viabilidad y rentabilidad del proyecto. El Valor Presente Neto (VPN) es de \$2.626.947.417 COP, un valor positivo que indica que, durante el horizonte evaluado de 7 años, el proyecto generará ingresos suficientes para cubrir los costos de operación e inversión, además de producir valor agregado. Este indicador es clave, ya que un VPN positivo demuestra que los flujos de caja futuros, descontados a la Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR) del 14 %, superan las salidas de capital requeridas.

Por otra parte, la Tasa Interna de Retorno (TIR) del 26,42 % es significativamente mayor a la TMAR del 14 %, lo que evidencia que la inversión no solo es viable, sino también altamente rentable, con un retorno esperado considerablemente superior al costo de oportunidad del capital. Este margen de rentabilidad posiciona al proyecto como una opción atractiva frente a otras alternativas de inversión.

En cuanto al periodo de recuperación de la inversión, el análisis revela un payback simple de 5 años y un payback descontado de 6 años. Ambos valores se encuentran dentro del horizonte de 7 años planteado, lo que significa que la inversión inicial será recuperada antes

de finalizar el periodo proyectado, minimizando así el riesgo financiero para los inversores y asegurando la sostenibilidad económica del proyecto.

5 Conclusiones

La revisión bibliográfica reveló que Bucaramanga carece de una caracterización detallada de los RCD, lo que dificulta un diagnóstico preciso sobre la gestión de estos residuos en la región. Como base para este estudio, se utilizó la caracterización de otro municipio, Medellín, lo cual permitió establecer un marco de referencia adecuado. Además, se identificó la zona franca como el espacio ideal para la operación de la empresa, ya que ofrece ventajas fiscales y logísticas que facilitarían la gestión eficiente de los residuos y el proceso de valorización.

El análisis PESTEL permitió identificar varios aspectos clave para la implementación de un modelo de gestión de RCD más sostenible y eficiente. En primer lugar, los factores político y legal resultaron altamente favorables, ya que los gobiernos actuales han impulsado políticas y normativas que exigen un manejo adecuado de los residuos de construcción y demolición, favoreciendo la creación de empresas que trabajen en esta área. Además, el factor ambiental mostró un contexto favorable, dado que existe un creciente enfoque hacia la sostenibilidad y el tratamiento adecuado de los residuos, lo que crea oportunidades para iniciativas como esta. El factor social también se destacó, ya que el manejo adecuado de los RCD podría reducir los problemas derivados de su mala gestión, como la contaminación y la proliferación de vertederos ilegales. Estos aspectos permiten vislumbrar una alta viabilidad para el proyecto, respaldado por un entorno político, social y ambiental favorable para su desarrollo.

Se logró desarrollar el estudio técnico cumpliendo con los requisitos establecidos para la logística de recolección, transporte, clasificación, aprovechamiento, procesamiento y valorización de los RCD. Este análisis se fundamentó en bases conceptuales obtenidas de otras empresas que

operan en el sector, lo que permitió identificar buenas prácticas y adaptar estrategias eficientes a la realidad de Bucaramanga. Además, se aseguró que el modelo propuesto cumpla con las normativas ambientales y de seguridad vigentes, garantizando la viabilidad operativa y el cumplimiento de las regulaciones en todo el proceso.

La evaluación financiera del proyecto confirma que la planta de reciclaje de RCD tiene un gran potencial de rentabilidad y sostenibilidad económica. Los indicadores obtenidos, como el Valor Presente Neto (VPN) positivo y una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior a la tasa mínima requerida, evidencian que el proyecto no sólo es viable, sino también una opción atractiva de inversión. Además, los plazos de recuperación de la inversión, tanto simple como descontado, son adecuados y se ajustan al horizonte de 7 años, lo que minimiza el riesgo financiero y garantiza la viabilidad del proyecto a largo plazo. Estos resultados destacan la solidez financiera del proyecto, respaldando su capacidad para generar beneficios tanto económicos como ambientales.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Bucaramanga. (2022). *Gestión de la salud pública y desarrollo sostenible*. Plan de gestión integral de residuos sólidos : https://www.bucaramanga.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/plan_de_gestion_integral_de_residuos_solidos_bucaramanga_2016-2027.pdf
- Alcaldía de Bucaramanga. (2022, Marzo). *Plan de desarrollo Bucaramanga 2020-2023*. <https://www.bucaramanga.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/Primer-Documento-PDM-Final.pdf?>
- Alcaldía de Bucaramanga. (2024, Junio 24). *Secretaría de Salud y Ambiente de Bucaramanga y ONG Urban Participation firman Memorando de Entendimiento para Potencializar la Economía Circular*. <https://www.bucaramanga.gov.co/noticias/secretaria-de-salud-y-ambiente-de-bucaramanga-y-ong-urban-participation-firman-memorando-de-entendimiento-para-potencializar-la-economia-circular/>
- Alcaldía de Bucaramanga. (n.d.). *Historia Bucaramanga*. <https://www.bucaramanga.gov.co/bucaramanga-nuestra-ciudad/historia/>
- Banco de la República. (2024, Octubre 31). *Informe de política monetaria*. <https://repositorio.banrep.gov.co/server/api/core/bitstreams/8eaf213f-85d9-4456-931f-27a51bbc1400/content>
- Buñay Cantos, J. P., Carrión Aguilar, R. A., & Villamar Piguave, W. G. (2023). Análisis del entorno económico internacional y su incidencia en los negocios internacionales. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 8(8), 2420-2434.
- Cámara de comercio de Bucaramanga. (n.d.). *Cluster construcción*. Cluster construcción Santander: <https://www.camaradirecta.com/clusters/cluster-construccion/#integrantes>
- Camino, J., Gale, C., Manchon, E., Perez, J. C., Perez, P., & Pocovi, J. (2009). Gestión y valorización de RCD's para producción de áridos reciclados. *Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente*(184), 18-21.
- Castro Tuirán, S., Pinzón Bermúdez, J. A., Cubillos López, R., & Liliana Rebeca, R. R. (2018). *Departamento Nacional de Planeación*. Atlas de aglomeración Bucaramanga: https://osc.dnp.gov.co/administrator/components/com_publicaciones/uploads/Atlas_Aglomeracion_de_Bucaramanga.pdf
- Centro de Información Empresarial - CIE . (Octubre de 2024). *Cámara de comercio de bucaramanga*. https://www.camaradirecta.com/imagenes/vdo_conexion/cone_ee0866fabef4da4c4540800bda3fc4ad31a8c4c6.pdf
- COGERSA. (2024). Nueva planta de tratamiento de la fracción resto de COGERSA. *IndustriaAmbiente*.
- Comisión de regulación de energía y gas. (2024). *Guía de tarifas de energía eléctrica en Colombia*.
- Cuellar Palacios, D. F. (2018). *Diagnóstico financiero del sector de la construcción en Colombia ciu 4111*.

- Curaduría #2 de Bucaramanga. (2024). *Curaduría de Bucaramanga*. Informes a Entidades de control: <https://www.curaduria2bucaramanga.co/servicios/licencias-expedidas-2024/>
- Domingo, N., & Batty, T. (2021). Construction waste modelling for residential construction projects in New Zealand to enhance design outcomes. *Waste Management*, 120, 484-493.
- Eurofins Environment Testing Spain. (2023, Septiembre 13). *¿Qué es la construcción sostenible y por qué es importante?* Eurofins Environment Testing : <https://www.eurofins-environment.es/es/que-es-la-construccion-sostenible/>
- Florini, A. (2011). The International Energy Agency in Global Energy Governance. *Global Policy*, 2.
- Fueyo Casado, L. (2012). Mejoras tecnológicas en el reciclado de residuos de construcción y demolición (rcd). *Universidad politécnica de madrid*.
- Gobernación de Santander. (2020). *SIDALC, Alianza de Servicios de Información Agropecuaria*. Plan de desarrollo departamental: “Santander siempre contigo y para el mundo” 2020 – 2023: <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-bac-20.500.12324-36717/Description>
- Google earth. (2024). *Google earth*. https://earth.google.com/web/search/El+Carrasco+landfill,+Gir%c3%b3n,+Santander/@7.07428372,-73.1593517,763.04592231a,2786.16772295d,35y,330.15879285h,0t,0r/data=CiwiJgokCfMJPMPQqxxAEd_xn56HMxxAGYAo69w2R1LAIdQbIATKTILAQgIIAToDCgEwQgIIAEoNCP_____wEQA
- Kilroy, A. F., Mukim, M., & Negri, S. (2015). *Competitive cities for jobs and growth : what, who, and how (English)*. https://www.worldbank.org/en/topic/trade/publication/competitive-cities-a-local-solution-to-a-global-lack-of-growth-and-jobs?_gl=1*1cyc1yz*_gcl_au*MjAzNzk3MjkyNi4xNzI2MjU2NDY5
- Li, X., Zhu, Y., & Zhang, Z. (2009). An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes. *Building and Environment* 45 (2010) 766–775.
- Lull Noguera, J. J., & Galdón Salvador, J. L. (2024). Análisis PESTEL: analizando el entorno para la toma de decisiones. *Universitat Politècnica de València*.
- Martínez Sirera, L., & Sande, J. (2016, Junio 1). *Economía 4º ESO*. Economía: la ciencia social sobre elección y satisfacción de las necesidades: <https://josesande.com/wp-content/uploads/2016/06/libro-economicc81a-4eso-v1.pdf>
- Martinez, W., Torres, A., Alonso, E., Chavez, H., Hernandez, H., Lara, C., . . . Gonzalez, F. (2015). Concreto reciclado: una revisión. *ALCONPAT*, 5(3), 235-248.
- Mejía, E., Giraldo, J., & Martínez, L. (2013). Residuos de construcción y demolición Revisión sobre su composición, impactos y gestión. *CINTEX*, 18(105–130).
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolucion-0472-de-2017*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/resolucion-0472-de-2017.pdf>

- Suárez Silgado, S. S., Andrés Molina, J. D., Mahecha, L., & Calderón Valdiviezo, L. (2018). Diagnóstico y propuestas para la gestión de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Ibagué (Colombia). *Gestión y Ambiente*, 21(1), 9-21. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6687508>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2022). *Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos*. <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-Nacional-de-Disposicion-Final-de-Residuos-Solidos-2022.pdf>
- Zona franca Santander S.A. (2024, Septiembre). *zona franca santander*. oferta inmobiliaria: <https://zonafrancasantander.com//oferta-inmobiliaria-15-m/todas-las-ofertas.htm>