



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Estudio de la factibilidad y validación ambiental de una planta de conversión de neumáticos fuera de uso a combustible líquido en la ciudad de Riobamba

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental

Autor:

Cargua Meneses Diego Jair
Santos Muñoz Franklin Aníbal

Tutor:

MgSc. Lenin Santiago Orozco Cantos.

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, **Diego Jair Cargua Meneses** con cédula de ciudadanía **160082020-1** y **Franklin Aníbal Santos Muñoz** con cédula de ciudadanía **060442030-7**, autores del trabajo de investigación titulado: **Estudio de la factibilidad y validación ambiental de una planta de conversión de neumáticos fuera de uso a combustibles líquidos en la ciudad de Riobamba**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cessionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a la fecha de su presentación.



Diego Jair Cargua Meneses

C.I: 160082020-1



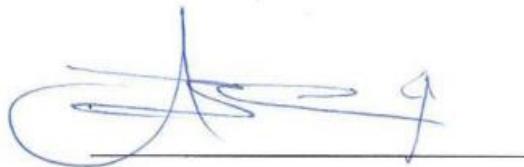
Franklin Aníbal Santos Muñoz

C.I: 060442030-7

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, MgSc. Lenin Santiago Orozco Cantos catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **Estudio de la factibilidad y validación ambiental de una planta de conversión de neumáticos fuera de uso a combustibles líquidos en la ciudad de Riobamba**, bajo la autoría de Diego Jair Cargua Meneses y Franklin Aníbal Santos Muñoz; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los veintisiete días del mes de octubre del 2025.



Lenin Santiago Orozco Cantos

C.I: 060376103-2

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “Estudio de la factibilidad y validación ambiental de una planta de conversión de neumáticos fuera de uso a combustibles líquidos en la ciudad de Riobamba” presentado por Diego Jair Cargua Meneses con cédula de ciudadanía 160082020-1 y Franklin Aníbal Santos Muñoz con cédula de ciudadanía 060442030-7, bajo la tutoría de MgSc. Lenin Santiago Orozco Cantos; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha de su presentación.

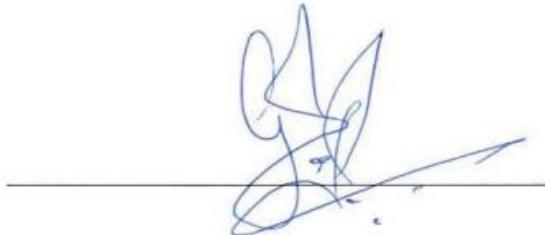
Dra. Silvia Hipatia Torres Rodríguez, PhD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. María Fernanda Rivera Castillo, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Guido Patricio Santillán Lima, MgS.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





CERTIFICACIÓN

Que, **CARGUA MENESES DIEGO JAIR** con CC: **160082020-1** y **SANTOS MUÑOZ FRANKLIN ANIBAL** con CC: **060442030-7**, estudiantes de la Carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**Estudio de la factibilidad y validación ambiental de una planta de conversión de neumáticos fuera de uso a combustible líquido en la ciudad de Riobamba**", cumple con el **10 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **Compilatio**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 27 de octubre de 2025



MgSc. Lenin Santiago Orozco Cantos
TUTOR

DEDICATORIA

A Dios, pilar fundamental en las decisiones de mi vida, quien ha guiado cada paso de mi camino, sabiendo otorgarme paciencia y coraje para superar las adversidades. A mi familia por su apoyo constante, en especial a mi tío Dr. Raúl Meneses Pérez, PhD., pilar fundamental en el comienzo de esta etapa de mi vida. A todos ellos les dedico este logro como testimonio de que con esfuerzo y perseverancia todo es posible en esta vida.

Diego Jair Cargua Meneses

Dedico este trabajo a mi familia, pilar fundamental en cada etapa de mi vida. A mis padres, Gladis Muñoz y Jorge Santos, por su amor incondicional, apoyo constante y por enseñarme el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la perseverancia. Ellos han sido mi mayor inspiración y mi fuerza en cada momento de dificultad, y gracias a su ejemplo hoy culmino una etapa fundamental en mi vida personal y profesional.

Este logro no es solo mío, sino también de todos aquellos que siempre creyeron en mí, gracias a todos hoy culmino una etapa fundamental en mi vida profesional y personal.

Franklin Aníbal Santos Muñoz

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, por darme la fortaleza y sabiduría necesarias para culminar este proceso.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, en especial a la Facultad de Ingeniería, por brindarme los conocimientos, las herramientas y el espacio de formación integral que han hecho posible mi desarrollo como profesional.

A mis docentes y tutores, quienes, con su guía académica, sus consejos y exigencia me motivaron a crecer tanto en lo profesional como en lo personal y un especial agradecimiento a la Mgs. Carla Fernanda Silva Padilla, docente que me ha apoyado desde el inicio hasta el final de la carrera, siendo mi docente en todos los semestres de la carrera y la persona a la que acudíamos en busca de sabiduría.

Diego Jair Cargua Meneses

Expresando primero mi agradecimiento a Dios, por brindarme conocimiento y fuerza todos los días de mi vida.

A la persona por la cual todo esto es posible, el amor de vida Laura Noemi que fue el pilar fundamental en mi carrera universitaria.

A los docentes de la Universidad Nacional de Chimborazo en especial agradecimiento al Dr. Iván Alfredo Ríos García, PhD. y al Ing. Guido Patricio Santillán Lima, MgS., quienes me aconsejaron en momentos difíciles que trascurrieron en el desarrollo de mi carrera, brindándome su apoyo y sabiduría.

Franklin Aníbal Santos Muñoz

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLA	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I.	17
1.1 INTRODUCCIÓN.....	17
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	19
1.3 OBJETIVOS.....	20
1.1.1 <i>Objetivo General</i>	20
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	20
CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE	21
2.1 MARCO REFERENCIAL.....	21
2.2 MARCO LEGAL.....	22
2.3 MARCO TEÓRICO.....	28
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.	34
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	34
3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	34
3.3 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	34
3.4 ESTIMACIÓN DE NFU'S.....	36
3.5 DETERMINACIÓN DEL MERCADO POTENCIAL.....	38

3.5.1	Identificación del producto o servicio.....	38
3.5.2	Mercado Meta	39
3.5.3	Segmentación del Mercado.....	39
3.5.4	Estimación del Precio	41
3.5.5	Localización de la planta	42
3.5.6	Identificación de la Oferta	43
3.5.7	Ánálisis de la capacidad de la planta	43
3.5.8	Determinación de Ingresos	43
3.6	ESTUDIO TÉCNICO – FINANCIERO.....	43
3.6.1	Ingeniería del proyecto	43
3.7	EVALUACIÓN FINANCIERA.....	44
3.7.1	Flujos netos de Caja	44
3.7.2	Criterios de evaluación	44
3.8	ESTUDIO DE VALIDACIÓN AMBIENTAL DEL PROYECTO.....	46
3.8.1	Identificación los impactos ambientales	46
3.8.2	Desarrollo de validación ambiental	46
3.8.3	Criterios de evaluación de la matriz Conesa	47
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		52
4.1	ANÁLISIS DE MATERIA PRIMA (NFU'S).....	52
4.2	ANÁLISIS DEL MERCADO POTENCIAL.....	53
4.2.1	Caracterización del producto final	53
4.2.2	Segmentación del Mercado.....	55
4.2.3	Precio de la materia prima para la extracción combustible y del acero reciclado de la transformación de NFU's a combustibles	55
4.2.4	Localización de la planta	56
4.2.5	Identificación de la Oferta	57
4.2.6	Ánálisis de la capacidad de la planta	58
4.2.7	Ingresos de la Planta	59

4.3	ESTUDIO TÉCNICO.....	60
4.3.1	Ingeniería del proyecto	60
4.3.2	Organigrama del Proceso Administrativo.....	61
4.3.3	Flujograma del proceso productivo	62
4.3.4	Flujograma de la maquinaria	63
4.3.5	Descripción productiva de la planta.....	63
4.3.6	Inversiones Fijas	67
4.3.7	Activos diferidos e Intangibles	71
4.3.8	Materia Prima.....	71
4.3.9	Costos de mano de obra	72
4.3.10	Gastos de Administración	74
4.3.11	Resumen de Inversiones	74
4.3.12	Estructura Financiera	75
4.3.13	Proyección de Egresos	76
4.3.14	Proyección de Ingresos y Egresos Totales	77
4.3.15	Flujo de caja Neto	80
4.4	CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	82
4.5	VALIDACIÓN AMBIENTAL.....	83
4.5.1	Análisis de los potenciales de Riesgos.....	89
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES		90
ANEXOS		93

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Composición de un neumático	29
Tabla 2 Límites del cantón Riobamba.....	35
Tabla 3 Total de neumáticos en la ciudad de Riobamba	36
Tabla 4 Listado de productores de NFU's en la ciudad de Riobamba para el año 2025	36
Tabla 5 Peso promedio de los neumáticos según su rin	38
Tabla 6 Parámetros para evaluar del nuevo combustible	38
Tabla 7 Listado de clientes potenciales para el nuevo combustible.....	40
Tabla 8 Ecovalor para cada tipo de neumático.....	41
Tabla 9 Valorización de la Extensión	48
Tabla 10 Valorización del Momento	48
Tabla 11 Valorización de la Persistencia	49
Tabla 12 Valorización de la Reversibilidad.....	49
Tabla 13 Valorización de la Sinergia.....	50
Tabla 14 Valorización de la Acumulación.....	50
Tabla 15 Valorización del Efecto	50
Tabla 16 Valorización de la Periodicidad.....	51
Tabla 17 Valorización de la Recuperabilidad.....	51
Tabla 18 Estimación de la materia prima en una proyección de 5 años	52
Tabla 19 Estimación de la cantidad de caucho y acero reciclado	53
Tabla 20 Estudios sobre las características fisicoquímicas del combustible.....	54
Tabla 21 Características del combustible a partir de la pirólisis de NFU's	54
Tabla 22 Determinación de la demanda de combustibles por parte de los clientes industriales..	55
Tabla 23 Precio estándar del acero reciclado en el Ecuador	56
Tabla 24 Análisis de conversión de productos.....	58
Tabla 25 Determinación de la oferta de los productos de la planta	58
Tabla 26 Capacidad de la planta.....	59
Tabla 27 Ingresos de la planta por la oferta de combustible	59

Tabla 28 Ingresos de la planta por la oferta de acero reciclado	60
Tabla 29 Gastos de Construcción	60
Tabla 30 Cuadro explicativo del proceso productivo de la planta de transformación de NFU's ..	63
Tabla 31 Muebles de Oficina	67
Tabla 32 Equipos de Computo	68
Tabla 33 Maquinaria y equipo.....	69
Tabla 34 Edificios	69
Tabla 35 Costos de Transporte para el combustible.....	70
Tabla 36 Costos de Transporte para el metal reciclado.....	70
Tabla 37 Costos de Transporte para los productos finales de la plata.....	71
Tabla 38 Gastos de constitución de la planta	71
Tabla 39 Costos de Materia Prima	72
Tabla 40 Personal necesario para el funcionamiento de la planta en general	73
Tabla 41 Descripción de los gastos de administración.....	74
Tabla 42 Determinación de la Inversión Total	75
Tabla 43 Estructura financiera	75
Tabla 44 Amortización del préstamo para un periodo de 5 años	76
Tabla 45 Gastos de Administración para una proyección de 5 años	76
Tabla 46 Gastos no operacionales para una proyección de 5 años	77
Tabla 47 Proyección total de ingresos.....	77
Tabla 48 Proyección total de egresos	78
Tabla 49 Estado de Resultados.....	78
Tabla 50 Tasa mínima aceptable de Retorno (TMAR)	80
Tabla 51 Flujo de efectivo de la operación de la planta.....	80
Tabla 52 Evaluación financiera final.....	82
Tabla 53 Período de recuperación	82
Tabla 54 Reducción de CO ₂ al ambiente por el uso de combustibles pirolíticos.....	84
Tabla 55 Identificación de las interacciones del proyecto para con el ambiente	85

Tabla 56 Caracterización del impacto ambiental por el funcionamiento de la planta. 87

Tabla 57 Medidas para los posibles riesgos por la operación de la planta..... 89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica del cantón Riobamba.....	35
Figura 2 Ubicación geográfica de las Importadoras de Neumáticos en la ciudad de Riobamba.	37
Figura 3 Ubicación geográfica de las empresas consumidoras para el nuevo combustible	40
Figura 4 Ubicación geográfica del área declarada como Parque Industrial	42
Figura 5 Imagen satelital de la infraestructura de la empresa IMSA estructuras metálicas	57
Figura 6 Gráfico del proceso administrativo de la planta de pirólisis convertir NFU's en combustible.....	61
Figura 7 Gráfico del proceso productivo de la planta de pirólisis de NFU's a combustible.....	62
Figura 8 Flujo de operaciones de la maquinaria MJL-15	63
Figura 9 Costos de mano de obra en general para el proyecto	73

RESUMEN

Este proyecto surge como respuesta al desafío ambiental generado por la generación de neumáticos fuera de uso (NFU) en Riobamba, Ecuador, donde el crecimiento vehicular (de 35.000 vehículos en 2022 a 65.000 vehículos en 2024) produce aproximadamente 1.500 toneladas anuales de NFU (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2022), contribuyendo a la degradación del suelo, agua y aire mediante vertederos saturados, quema incontrolada y liberación de contaminantes tóxicos como dioxinas y metales pesados (Wu et al., 2025).

El presente trabajo de titulación, con un enfoque mixto descriptivo evalúa la viabilidad técnica, económica y ambiental de implementar una planta de pirólisis para transformar neumáticos fuera de uso (NFU) en combustibles alternativos, alineándose con principios de economía circular e ingeniería ambiental sostenible. A través del proceso de pirólisis termoquímica anaeróbica (450-550°C), que transforma ¹NFU en combustibles líquidos, carbón black, acero reciclado y gas de síntesis, mediante un pretratamiento de triturado y pulverizado, y una planta de pirólisis modelo MJL-15 que procesará unas 1924 toneladas al año, evaluando los rendimientos y parámetros operativos.

En el análisis económico, se calcularon indicadores como un ²VAN de \$27.932,49, una ³TMAR de 20,27%, una ⁴TIR de 22,81% y un periodo de recuperación de la inversión de 3,7 años, lo que indica que la planta será rentable a largo plazo. En cuanto al impacto ambiental, se estima que el uso del combustible del nuevo combustible, es donde se genera un beneficio ambiental en reduciendo la emisión de CO₂ (Zhao et al., 2025), se evitará la emisión de 7.088,64 toneladas de CO₂ equivalente en los primeros cinco años de operación, apoyando los Objetivos de Desarrollo Sostenible 12 y 13. Los resultados económicos y ambientales muestran que la planta de pirólisis es una opción viable para la gestión de NFU.

¹ NFU; Neumáticos Fuera de Uso, 2 VAN; Valor Actual Neto, 3 TMAR; Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento, 4 TIR; Tasa Interna de Retorno

Palabras clave: ambiente, factibilidad, NFU's, pirólisis, validación.

ABSTRACT

This project emerges as a response to the environmental challenge caused by the generation of end-of-life tires (ELT) in Riobamba, Ecuador, where vehicle growth (from 35,000 vehicles in 2022 to 65,000 vehicles in 2024) produces approximately 1,500 tons of ELT annually (Ministry of Environment, Water and Ecological Transition, 2022). This contributes to soil, water, and air degradation through saturated landfills, uncontrolled burning, and the release of toxic pollutants such as dioxins and heavy metals (Wu et al., 2025).

This degree project, using a mixed-methods descriptive approach, evaluates the technical, economic, and environmental feasibility of implementing a pyrolysis plant to convert end-of-life tires (ELT) into alternative fuels, aligning with circular-economy principles and sustainable environmental engineering. Through anaerobic thermochemical pyrolysis (450–550°C), ELTs are converted into liquid fuels, carbon black, recycled steel, and syngas, following a pretreatment process of shredding and pulverization. A model MJL-15 pyrolysis plant will process approximately 1,924 tons per year, evaluating yields and operational parameters.

In the economic analysis, indicators were calculated, including an NPV of \$27,932.49, an IRR of 22.81%, a profitability index of 20.27%, and an investment recovery period of 3.7 years, indicating that the plant will be profitable in the long term. Regarding environmental impact, the use of the new fuel reduces CO₂ emissions (Zhao et al., 2025). A total of 7,088.64 tons of CO₂ equivalent emissions will be avoided during the first five years of operation, supporting Sustainable Development Goals 12 and 13. The economic and environmental results show that the pyrolysis plant is a viable option for ELT management.

Keywords: Environment, feasibility, NFUs, pyrolysis, validation.



Reviewed by:

Mgs. Sofía Freire Carrillo

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604257881

CAPÍTULO I.

1.1 INTRODUCCIÓN.

La acumulación de neumáticos fuera de uso representa un desafío ambiental significativo a nivel local y global, especialmente en lugares con poca infraestructura para manejar residuos. Cada año, se desechan más de 1,5 mil millones de neumáticos en el mundo, lo que agrava la contaminación ambiental, el uso de vertederos, el abandono ilegal y la quema sin control. Estas prácticas liberan contaminantes tóxicos como dioxinas, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP: benzopireno, antraceno, fenanreno y pireno) y metales pesados como Al, Fe, Mn, etc. (Zhao et al., 2025).

En Ecuador, el Ministerio del Ambiente calcula que se desechan unos 3,5 millones de neumáticos al año, y Riobamba aporta alrededor de 1.500 toneladas anuales de NFU debido a su crecimiento urbano e industrial (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2020). Estos datos muestran la urgencia de buscar soluciones sostenibles para la gestión de residuos, siguiendo los principios de la economía circular, que busca convertir los desechos en nuevos recursos y reducir el impacto ambiental.

El manejo inadecuado de los NFU presenta varios retos. Los vertederos en Ecuador están casi llenos y, como los neumáticos no son biodegradables, permanecen en el ambiente por mucho tiempo. Además, la quema sin control, que aún se practica en algunas zonas, libera gases de efecto invernadero como CO₂ y SO₂, lo que contribuye al cambio climático y la contaminación del aire. Los líquidos que se filtran de los montones de neumáticos también contaminan el suelo y las aguas subterráneas con metales pesados (Czajczyńska et al., 2017).

Actualmente, se usan métodos físicos como el reencauchado, la molienda o su uso como aditivos en pistas deportivas o asfalto, pero estos métodos no aprovechan el potencial energético de los NFU, que pueden generar hasta 40 MJ/kg de energía. Por eso, procesos térmicos como la gasificación o la pirólisis se consideran alternativas para generar energía (Trujillo, 2014). La pirólisis es un proceso que descompone materiales orgánicos a altas temperaturas, sin oxígeno, y puede transformar los NFU en productos útiles como combustible líquido, carbón black, acero y gas de síntesis. Estos productos pueden usarse en la industria o como fuente de energía en el mismo

proceso (Martínez et al., 2013). El combustible líquido tiene un valor energético similar al diésel (~40 MJ/kg) y puede emplearse en industrias como la cementera, mientras que el carbón black y el acero pueden reutilizarse en la manufactura.

El pirólisis se alinea los principios de la economía circular, ya que convierte residuos en recursos, reduce el uso de vertederos y disminuye las emisiones de la incineración. Sin embargo, para implementarla es necesario evaluar su viabilidad técnica (como la eficiencia del proceso y la calidad del producto), económica (costos de inversión y demanda de mercado) y ambiental (emisiones y cumplimiento de normas).

Este estudio busca analizar la viabilidad técnica, económica y ambiental de una planta de pirólisis de NFU en Riobamba, enfocándose en su aporte a la gestión de residuos y la producción de combustibles alternativos. El proyecto toma como referencia experiencias exitosas, como la planta Arrigoni Ambiental en Chile, que procesa 800 toneladas de NFU al mes (Rojas, 2025). Además, responde a los llamados internacionales para una gestión sostenible de residuos, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, en especial el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables) y el ODS 13 (Acción por el Clima).

1.2 JUSTIFICACIÓN

En la ciudad de Riobamba se evidencia un incremento constante del parque automotor, registrándose aproximadamente 65.000 vehículos matriculados en el año 2024, según datos proporcionados por la Dirección de Gestión de Movilidad, Tránsito y Transporte de Riobamba. Este número de automóviles contribuye significativamente a la generación de neumáticos usados, considerando que cada vehículo posee, como mínimo, cuatro unidades. Los neumáticos son sometidos a un proceso de vulcanización con azufre para una mejorar la resistencia a la tracción y al desgarro, el vulcanizado es químicamente irreversible, impide su reciclaje para la fabricación de nuevos neumáticos, convirtiéndolos en productos de un solo uso (Hita et al., 2016).

Una alternativa para alargar la vida útil de los neumáticos es el reencauche. Sin embargo, este sector no ha tenido éxito en el país por la falta de cultura y el manejo inadecuado de los neumáticos. Las empresas rechazan el 40% de los neumáticos recolectados porque no son aptos para el reencauche y se destinan a otros usos, como la trituración para asfalto, lo que desaprovecha su potencial energético (Vásquez, 2017).

La demanda de neumáticos reencauchados en el mercado es baja y presenta una limitada aceptación por parte de los consumidores esto se debe a que su vida útil suele ser bastante corta y pocos NFU cumplen con los estándares mínimos para el proceso (Zhao et al., 2025).

La industria ecuatoriana en busca de reducir costos ha empezado a usar combustibles hechos de residuos en sus procesos térmicos, casos ejemplares dentro de la ciudad es UCEM-Cemento Chimborazo empresa que utiliza aceites usados como aditivos para reducir el uso de combustibles fósiles. Estas acciones cuentan con el respaldo de la autoridad ambiental, bajo la política 7.4 del Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025, que promueve el uso sostenible de los recursos naturales y la reducción de emisiones.

Los proyectos alineados con los principios de economía circular inclusiva suelen considerarse de inversiones de alto riesgo, por lo que requieren estudios de factibilidad para evaluar su éxito o fracaso. De acuerdo con Córdoba (2011), estos estudios deben abordar, como mínimo, las siguientes dimensiones: técnica, ambiental y económica,

1.3 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Determinar la factibilidad y validación ambiental de una planta de conversión de NFU's a combustibles líquidos en la ciudad de Riobamba.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar una validación económica a nivel local para identificar el mercado potencial de los productos finales de la planta de conversión de NFU's a combustibles líquidos y así conocer la factibilidad de construcción de la misma.
- Desarrollar una validación ambiental sobre la operación de una planta de conversión de NFU's a combustibles líquidos como parte de una solución al problema de contaminación en la ciudad de Riobamba.

CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE

2.1 MARCO REFERENCIAL

El análisis sobre la viabilidad de plantas que transforman neumáticos fuera de uso (NFU) en nuevos combustibles ha sido abordado en investigaciones previas. En 2015, el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad del País Vasco realizó el estudio “Oportunidades y barrera para producir combustibles de alta calidad a partir del pirólisis de neumáticos usados”. Este estudio concluye que las plantas de pirólisis presentan un alto potencial de desarrollo a nivel industrial, debido a la versatilidad y valor comercial de los tres subproductos generados, combustibles líquidos, carbón black y gases que ofrecen diversas aplicaciones, lo que mejora la viabilidad económica del proceso (Hita et al., 2016).

Un ejemplo exitoso en Latinoamérica es la empresa Arrigoni Ambiental en Chile, que opera desde septiembre de 2019. Esta planta utiliza los NFU para producir combustible líquido similar al Fuel Oil 6, además de carbón black y acero. Su capacidad de procesamiento es de aproximadamente 10,000 toneladas de NFU al año, lo que representa el 7% de la producción anual del país. Destaca su habilidad para establecer alianzas estratégicas, permitiendo que los subproductos reemplacen materiales no renovables en sectores como la minería, la industria química, la construcción y la energía (Rojas, 2025).

En el ámbito nacional, se han desarrollado diversos estudios de factibilidad orientados a la gestión y eliminación de residuos no peligrosos. Sin embargo, son escasas las investigaciones que abordan específicamente la producción de combustibles derivados de neumáticos fuera de uso (NFU) como una alternativa de aprovechamiento energético. Este tipo de análisis es fundamental, ya que se enfoca en demostrar la viabilidad económica y ambiental del proceso, y por lo tanto, su factibilidad técnica y social de implementar estos proyectos.

2.2 MARCO LEGAL

Constitución de la República del Ecuador, publicada en el Registro Oficial No. 449 de 20 de octubre de 2008

Artículo 14: “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir; *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”.

Artículo 264: “Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas, sin perjuicio de otras que determine la ley:

4. *Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley*”.

Artículo 276: “El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:

4. *Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del suelo y del patrimonio natural*”.

Artículo 280: “El Plan Nacional de Desarrollo es el instrumento al que se sujetarán las políticas, programas y proyectos públicos; la programación y ejecución del presupuesto del Estado; y la inversión y la asignación de los recursos públicos; y coordinar las competencias exclusivas entre el Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados. Su observancia será de carácter obligatorio para el sector público e indicativo para los demás sectores”.

Artículo 415: “(...). Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción, reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos (...)”.

Agenda 2030 para el desarrollo sostenible de la ONU

Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles: “Pretende garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, algo fundamental para sostener los medios de subsistencia de las generaciones actuales y futuras (...), Los gobiernos deben implantar y poner en práctica políticas y normativas que recojan medidas como el establecimiento de objetivos para reducir la generación de residuos, el fomento de prácticas de economía circular, y el apoyo a políticas de contratación sostenible (...”).

Objetivo 12: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos: “Para limitar el calentamiento global a 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales, las emisiones ya deberían estar disminuyendo y necesitan reducirse casi a la mitad para 2030, dentro de solo siete años. Sin embargo, estamos muy lejos de lograr este objetivo. Es crucial tomar medidas urgentes y transformadoras que vayan más allá de meros planes y promesas. Esto exige aumentar las ambiciones, abarcar economías enteras y avanzar hacia un desarrollo resiliente al clima, al tiempo que se traza una trayectoria clara para lograr cero emisiones netas. El tiempo se acaba y es necesario tomar medidas inmediatas para evitar consecuencias catastróficas y garantizar un futuro sostenible a las generaciones venideras”.

Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD), publicado en el Registro Oficial No. 303 de 19 de octubre de 2010

Artículo 136: “Corresponde a los gobiernos autónomos descentralizados provinciales gobernar, dirigir, ordenar, disponer, u organizar la gestión ambiental, la defensoría del ambiente y la naturaleza, en el ámbito de su territorio; estas acciones se realizarán en el marco del sistema nacional descentralizado de gestión ambiental y en concordancia con las políticas emitidas por la autoridad ambiental nacional (...”).

Código Orgánico del Ambiente (CODA), publicado en el Registro Oficial No. 983 de 12 de abril de 2017

Artículo 23: “*Autoridad Ambiental Nacional. El Ministerio del Ambiente será la Autoridad Ambiental Nacional y en esa calidad le corresponde la rectoría, planificación, regulación, control, gestión y coordinación del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental*”.

Artículo 225: “- *Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos. Serán de obligatorio cumplimiento, tanto para las instituciones del Estado, en sus distintos niveles y formas de gobierno, regímenes especiales, así como para las personas naturales o jurídicas, las siguientes políticas generales:*

5. *El fomento al desarrollo del aprovechamiento y valorización de los residuos y desechos, considerándolos un bien económico con finalidad social, mediante el establecimiento de herramientas y mecanismos de aplicación;*
6. *El fomento de la investigación, desarrollo y uso de las mejores tecnologías disponibles que minimicen los impactos al ambiente y la salud humana;*
7. *El estímulo a la aplicación de buenas prácticas ambientales, de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, en todas las fases de la gestión integral de los residuos o desechos;*
9. *El fomento al establecimiento de estándares para el manejo de residuos y desechos en la generación, almacenamiento temporal, recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final;”*

Artículo 231: “*Obligaciones y responsabilidades. Serán responsables de la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos a nivel nacional, los siguientes actores públicos y privados:*

4. *Los gestores de residuos no peligrosos que prestan el servicio para su gestión en cualquiera de sus fases, serán responsables del correcto manejo, para lo cual deberán enmarcar sus acciones*

en los parámetros que defina la política nacional en el cuidado ambiental y de la salud pública, procurando maximizar el aprovechamiento de materiales”.

Artículo 232: “*Art. 232.- Del reciclaje inclusivo. La Autoridad Ambiental Nacional o los Gobiernos Autónomos Descentralizados, según su competencia, promoverán la formalización, asociación, fortalecimiento y capacitación de los recicladores a nivel nacional y local, cuya participación se enmarca en la gestión integral de residuos como una estrategia para el desarrollo social, técnico y económico(...)*”.

Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (CODA), publicado en el Registro Oficial No. 507 de 12 de junio de 2019

Artículo 572: “*Actores. - Las entidades públicas que participan en la gestión integral de residuos y desechos son las siguientes:*

- a) La Autoridad Ambiental Nacional;*
- b) La Autoridad Sanitaria Nacional;*
- c) La Autoridad Nacional de Electricidad y Energía Renovable; y,*
- d) Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos”.*

Artículo 573: “*Atribuciones de la Autoridad Ambiental Nacional. - Sin perjuicio de aquellas establecidas en la Constitución y la ley, las atribuciones de la Autoridad Ambiental Nacional, respecto a la gestión integral de residuos y desechos, son las siguientes:*

- o) Brindar acompañamiento técnico a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos respecto de sus modelos de gestión integral de residuos y desechos, con el fin de incrementar sus capacidades y minimizar el impacto en el ambiente; p) Promover la investigación científica en los centros especializados, institutos e instituciones de educación superior del país sobre el manejo de residuos y desechos;”*

Artículo 574: “Gestión de desechos de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos. - Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos para la gestión integral de los residuos y desechos, considerarán lo siguiente:

- j) Impulsar la instalación y operación de centros de recuperación y tratamiento de residuos sólidos aprovechables con la finalidad de fomentar el aprovechamiento;
- l) Determinar en sus Planes de Ordenamiento Territorial los sitios previstos para disposición final de desechos no peligrosos, y sanitarios, así como los sitios para acopio y transferencia de ser el caso”.

Artículo 578: “Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos. La Autoridad Ambiental Nacional elaborará el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos, con la participación de los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos, las entidades competentes, sector privado, sociedad civil y academia. El Plan Nacional será el instrumento de política pública a través del cual se generarán las políticas, estrategias, planes, programas y proyectos para la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos. A través del Plan, la Autoridad Ambiental Nacional establecerá objetivos y metas orientados a la aplicación y cumplimiento del principio de jerarquización de la gestión integral de residuos y desechos conforme el Código Orgánico del Ambiente”.

Ley orgánica de Economía Circular Inclusiva, publicada en el Registro Oficial Suplementario No. 488 de 02 de julio de 2021

Artículo 4: “Objetivos de la Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva. - Son objetivos de esta Ley los siguientes:

- 4. Fomentar la investigación, el desarrollo económico, la generación de empleo y la innovación en los ámbitos de la economía circular inclusiva, propiciando la participación comprometida y corresponsable del sector público, privado, del sector de la economía popular y solidaria y la ciudadanía.

6. Fomentar el aprovechamiento y valorización de residuos de productos priorizados mediante reciclaje.

Artículo 47: “*Incentivos y calificación de circularidad.- El Sistema Nacional de Economía Circular Inclusiva diseñará un sistema de calificación de sello Economía Circular dirigido a productores, y proveedores de bienes y servicios, basado en el cumplimiento de las metas establecidas en la Estrategia Nacional de Economía Circular Inclusiva y de otros parámetros de la economía circular inclusiva como ecodiseño e innovación, puntos de separación en la fuente, sistemas de gestión asociativos y cooperativos, reducción de residuos, reparación, reciclaje, información y educación en economía circular, entre otros”.*

2.3 MARCO TEÓRICO

Problemática de los neumáticos como residuos

La gestión de NFU como un residuo el cual es considerado especial por sus características de degradación partiendo de que ocupan gran volumen en vertederos, por su poder calorífico aumentan el riesgo de ignición y liberan sustancias nocivas para el ambiente, por estas razones se considera residuo especial y necesita de una gestión adecuada, la otra problemática viene encaminada a su generación la cual se ha visto en aumento en los últimos años y se prevé que lo siga haciendo por la importancia de los neumáticos en la sociedad (Grammelis et al., 2021).

Composición Química estándar de neumáticos

Los neumáticos son el resultado de un trabajo de alta ingeniería, se compone de una banda de rodadura, carcasa, el revestimiento interior y el flanco, cada componente fue diseñado para cumplir con características específicas de rendimiento para que el neumático presente dureza, resistencia y fiabilidad (Mayer et al., 2024).

El caucho pasa ser el material principal para su composición, caucho natural y caucho sintético, en proporciones 50/50 generalmente, la cual varía según el uso del neumático para vehículos livianos contienen más caucho sintético y para vehículos de carga pesada contienen mínimas proporciones o nulas, la importancia de conocer las proporciones de materiales en la composición es que los neumáticos por cuestiones de envejecimiento y disposición liberan contaminantes que se encuentran presente en las materias primas de fabricación (Mayer et al., 2024).

Conociendo las principales materias primas empleadas en la fabricación de neumáticos, se puede establecer que su composición química varía en función del tipo y propósito del neumático, ya que cada diseño requiere propiedades específicas de resistencia, durabilidad y desempeño. En la Tabla 1 se presenta la composición aproximada de los materiales utilizados en neumáticos destinados a vehículos livianos y vehículos pesados, evidenciando las diferencias en las proporciones de caucho natural, caucho sintético, cargas, aditivos y refuerzos metálicos.

Tabla 1*Composición de un neumático*

Tipo de Neumático	Caucho y elastómeros (%)	Negro de Carbono (%)	Metal (%)	Aditivos (%)	Azufre (%)
Vehículos livianos	43	28	13	14	1,5
Vehículos Pesados	45	20	25	10	1-2

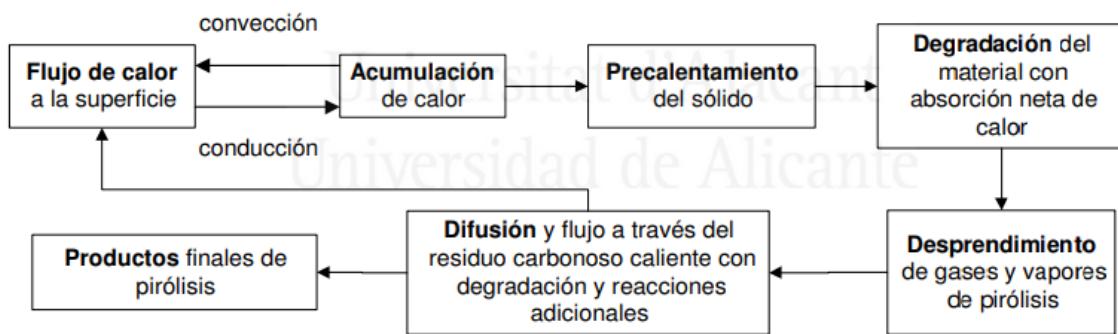
Nota: En esta tabla se encuentra la composición típica de neumáticos de vehículos ligeros y pesados, información obtenida de (Formela, 2021)

La Pirólisis del Neumático

La pirólisis es un proceso térmico que consiste en la descomposición física-química de la materia orgánica por la acción del calor y en ausencia de un medio oxidante, es decir en condiciones anaerobias, se requiere de un reactor, donde los productos finales son gases, líquidos y un residuo carbonoso, cuyas cantidades dependen del material a tratar y su comportamiento frente a los diversos fenómenos que intervienen en un proceso de pirólisis (Sáez, 2008).

Gráfico 1

Fenómenos que intervienen en el proceso de pirólisis



Nota. En esta imagen se observa el flujo de los diversos mecanismos que intervienen en el proceso de pirólisis, imagen obtenida de (Sáez, 2008).

Los neumáticos, debido a su alto contenido de carbono volátil y a su elevado poder calorífico (aproximadamente 3.335 MJ/kg), constituyen una materia prima idónea para procesos de recuperación energética. En estos procesos, la materia orgánica volátil presente en los neumáticos (alrededor del 60 % en peso) se descompone térmicamente en compuestos de bajo peso molecular, principalmente líquidos y gases, los cuales pueden aprovecharse como combustibles alternativos o como fuentes de productos químicos de valor agregado. Por otro lado, la fracción no volátil, compuesta por negro de humo y componentes inorgánicos (cerca del 40 % en peso), permanece como residuo sólido tras el proceso y puede ser reciclada o reutilizada en diversas aplicaciones industriales, como en la fabricación de materiales de construcción o en la industria del caucho (Haydary et al., 2006).

Economía circular inclusiva

Un plan de gestión de residuos debe incorporar proyectos basados en economías circulares inclusivas, los cuales promueven, la optimización de recursos, la reducción en el consumo de materias primas y el aprovechamiento de los residuos, reciclandolos o dándoles una nueva vida. Este enfoque fomenta la producción y consumo responsable, tanto en el ámbito social como ambiental revalorizando los residuos, priorizando la prevención en la generación de desechos y el aprovechamiento eficiente de los recursos.

La economía circular incide de manera directa en el mercado productivo, impulsando la inversión en infraestructuras sostenibles que promuevan la innovación tecnológica, la competitividad industrial y la transición hacia modelos de desarrollo más sostenibles. De esta forma, los proyectos de economía circular contribuyen al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), al integrar criterios de eficiencia, equidad e inclusión social dentro de los sistemas de producción (Cabanilla Galo, 2023).

Proyecto de Inversión

Un proyecto de inversión es una propuesta técnica, económica, legal y ambiental que se elabora como solución a un problema social, para ello se utiliza recursos tecnológicos, materiales y humanos con el fin de crear un documento escrito compilando los estudios que justifican la propuesta y permiten a los inversionistas conocer la viabilidad de la materialización del proyecto (Vásquez, 2017).

Estudio Prefactibilidad

Un estudio de prefactibilidad es la etapa en la cual se analizan a detalle que aspectos inciden en la factibilidad y rentabilidad del proyecto, se analizan distintas alternativas de mercado, tamaño, localización, financiamiento, sistemas de organización, tecnología y procesos productivos del proyecto tomando en cuenta criterios sociales, institucionales, legislativos y como se proyectarán en el tiempo. Se termina con la selección de una alternativa viable desde el punto de vista técnico y económico (Cevallos et al., 2022).

Estudio de Factibilidad

El estudio de factibilidad analiza una sola alternativa del informe de prefactibilidad para cuantificar los costos y beneficios con un grado de exactitud mayor al 75%, la alternativa escogida debe demostrar que es factible técnica y financieramente para la materialización del proyecto (Cevallos et al., 2022).

Mercado

El concepto de mercado de manera general se entiende como un medio para realizar un intercambio entre, comprador y vendedor, que les permita fijar un precio para un bien o servicio donde se beneficien ambas partes (Vásquez, 2017).

Estudio de Mercado

Los estudios de mercado tienen como intención básica determinar la demanda insatisfecha al comparar la demanda frente a la oferta de un producto o servicio, identifica el mejor producto a fabricar o servicio a ofrecer, el área de mercado donde vender, la demanda y oferta, estrategias y sistemas de comercialización, demanda insatisfecha y análisis de precios (Cevallos et al., 2022).

Demanda

Es la cantidad de productos o servicios que el cliente solicita al ofertante para el funcionamiento de su empresa, el tamaño de la demanda es un proceso en cadena ya que este es determinado por los clientes de la empresa (Córdoba, 2011).

El cliente industrial

Se considera cliente o consumidor industrial a las empresas que necesitan como materia prima el producto de otra empresa, para integrarlo en su proceso de producción para una transformación y su demanda de materia es una consecuente de la demanda de su producto final, por lo que se puede decir que su demanda no es decisión de ellos si no del mercado (Vásquez, 2017).

Oferta

La oferta es una proyección real de la cantidad de productos o servicios que una empresa puede colocar en el mercado, siempre se busca que la empresa tenga las condiciones de satisfacer la demanda, esto no depende simplemente del ofertante existe una serie de factores limitantes como el precio del producto del mercado o políticas de producción de la zona donde se desarrolla la empresa (Córdoba, 2011).

Estudio técnico

Es la continuación en el análisis de la factibilidad de un proyecto si el estudio de mercado arroja resultados de una demanda considerable para crear un producto o servicio, el estudio técnico determina el capital y la mano de obra necesaria para la materialización del proyecto, se busca responder las interrogantes; ¿Cuándo se hará?, ¿Dónde?, ¿Cómo? y ¿Con qué? (Córdoba, 2011).

Ingeniería del proyecto

La ingeniería del proyecto tiene como fin determinar que instalaciones que construirán, los servicios, maquinaria, equipos y la tecnología que se utilizará y que garantice una mayor eficiencia de producción, además debe garantizar las instalaciones para el almacenamiento y distribución del proyecto, es por ello que la ingeniería del proyecto es el alma del proyecto de inversión se encarga del funcionamiento del proyecto los demás estudios tienen influencia directa de la ingeniería del proyecto (Córdoba, 2011).

Estudio de impacto ambiental

El estudio de impacto ambiental es una herramienta de advertencia temprana que verifica el cumplimiento de las políticas ambientales, la EIA es previa se debe aplicar en etapas de estudios de prefactibilidad o diseño de proyectos de inversión, pierde sentido cuando se aplica a obras y actividades en operación, ya que su objetivo es evaluar el impacto negativo o positivos de la operación de un proyecto y proponer las medidas para ajustarlos a niveles de aceptabilidad (Espinoza, 2007)

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio adopta un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos con el propósito de evaluar la factibilidad técnica, económica y ambiental de la implementación de una planta de pirólisis destinada a la conversión de neumáticos fuera de uso (NFU) en combustible líquido en la ciudad de Riobamba, Ecuador.

La metodología se estructura en tres componentes: el análisis técnico, el análisis económico y la validación ambiental. Este diseño metodológico permite abordar los objetivos del proyecto de manera integral, integrando información técnica, financiera y ambiental que respalde la viabilidad y sostenibilidad de la planta dentro del contexto local.

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo descriptivo, ya que tiene como objetivo analizar y detallar la factibilidad económico-financiera de una planta de conversión de neumáticos fuera de uso (NFU) en combustibles líquidos, considerando además los impactos ambientales asociados a su operación. Estos aspectos resultan fundamentales para evaluar la viabilidad de la inversión y para sustentar la validación ambiental del proyecto.

El propósito principal de esta investigación es demostrar que la implementación de una planta de este tipo constituye una alternativa ambientalmente favorable, al promover la valorización de neumáticos recuperados, transformándolos en fuentes energéticas aprovechables. Al mismo tiempo, se busca evidenciar que el proyecto es económicamente rentable a lo largo del tiempo, garantizando una inversión sostenible y segura.

3.3 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se desarrolló en el área urbana del cantón Riobamba donde se analizó la ubicación, factibilidad e impactos de una planta de producción de combustibles líquidos en base a NFU's. El cantón cuenta con un área de 998,78 km^2 en donde se encuentra asentada la mayor

población de la provincia con 264.048 habitantes con una alta densidad demográfica de 266,72 hab/km^2 (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Chimborazo, 2019).

La ciudad se sitúa en la región sierra central a una altura de 2.754 metros sobre el nivel del mar, a los $1^{\circ} 41' 46''$ latitud Sur; $0^{\circ} 3' 36''$ longitud oeste, su temperatura promedio es $13^{\circ}C$ por lo que su clima es frío-templado, presenta límites cantonales y provinciales descritos en la Tabla 2 y se puede observar cómo se encuentran distribuidos en la Figura 2.

Tabla 2

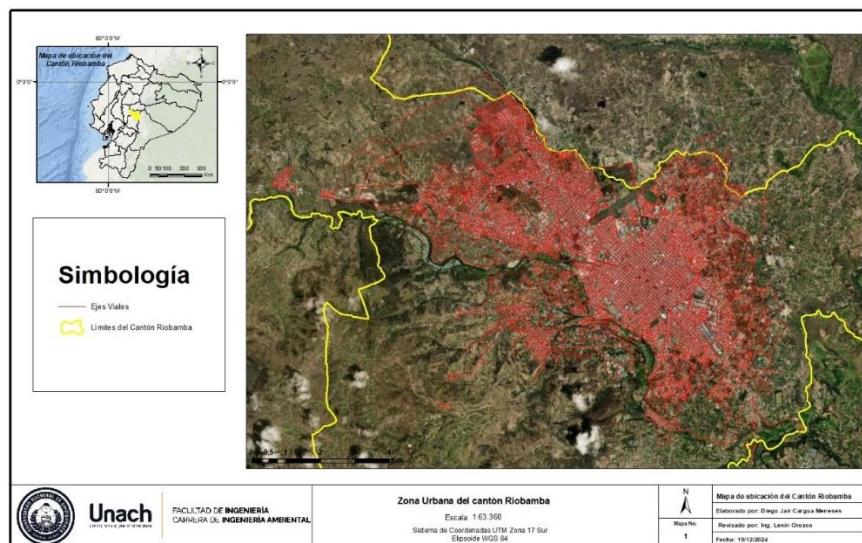
Límites del cantón Riobamba

Dirección	Límites Cantonales y Provinciales
Norte	Guano, Penipe
Sur	Colta, Guamote
Este	Chambo, Morona Santiago
Oeste	Bolívar, Tungurahua

Nota. En esta tabla se encuentran descrito los límites cantonales y provinciales del cantón Riobamba para cada punto cardenal.

Figura 2

Ubicación geográfica del cantón Riobamba



Nota. Ubicación del cantón Riobamba dentro de la provincia de Chimborazo y su zona urbana delimitada a través de sus ejes viales.

3.4 ESTIMACIÓN DE NFU'S

Según la Dirección de Gestión de Movilidad, tránsito y transporte de la ciudad de Riobamba se tiene conocimiento que para el mes de diciembre del 2022 se registró en promedio 35.000 automotores (InfoRio, 2022), para diciembre del 2024 el aproximado de vehículos matriculados es de 65.000.

Tabla 3

Total de neumáticos en la ciudad de Riobamba

Año	Vehículos Matriculados	Neumáticos vehículo	por	Total de neumáticos
2022	35.000	4		140.000
2024	65.000	4		260.000

Nota. En esta tabla se encuentran descrito los vehículos matriculados para los años 2022 y 2024 y la estimación de total neumáticos para cada año.

Para la estimación de NFU's real se tomará en cuenta las importadoras de neumáticos de la ciudad los cuales según el acuerdo ministerial MAATE-2022-131, Art.17 se dispone que todo productor de neumáticos debe presentar un Plan de Gestión Integral de neumáticos fuera de uso (MAATE, 2022).

Tabla 4

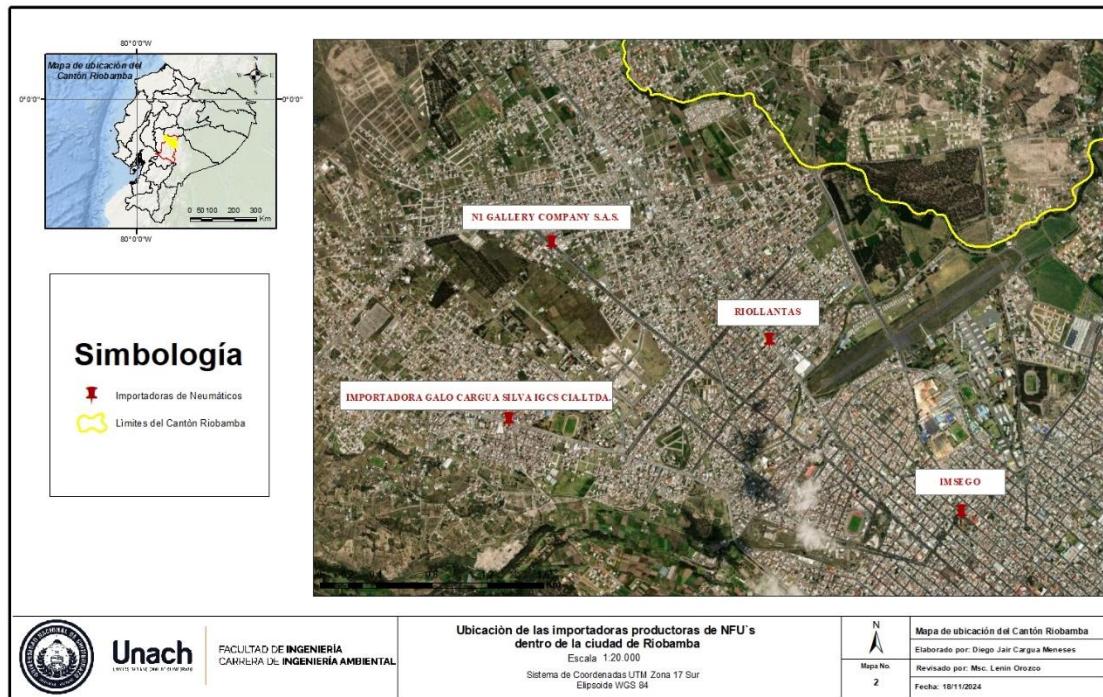
Listado de productores de NFU's en la ciudad de Riobamba para el año 2025

Nro.	Productor	X	Y
1	IGCS CIA.LTDA	757825,13	9816045,01
2	GALLERY COMPANY S.A.S	758131,63	9817673,49
3	RioLlanta	759694,88	9816975,84
4	IMSEGO	761069,36	9815742,97

Nota. En esta tabla se encuentran descrito las importadoras registradas como productores de NFU's en el MAATE en la ciudad de Riobamba.

Figura 3

Ubicación geográfica de las Importadoras de Neumáticos en la ciudad de Riobamba



Nota. En esta imagen se encuentran las importadoras de la ciudad de Riobamba y ver su dispersión dentro de zona urbana.

El cálculo del volumen disponible de neumáticos por años se realizó analizando la composición de los NFU's descritos en la tabla 1 y el peso promedio para los distintos tamaños según el rin, descritos en la tabla 5.

Tabla 5*Peso promedio de los neumáticos según su rin*

Tipo de neumático	Rines	Peso promedio (kg)
Vehículo liviano	R12 – R17	8,5
Vehículo Pesado	R20 – R24	65

Nota. En esta tabla se encuentran descrito el peso promedio de los neumáticos dependiendo de su rin, información descrita por la Asociación Europea de fabricantes de neumáticos y caucho (ETRMA)

3.5 DETERMINACIÓN DEL MERCADO POTENCIAL

3.5.1 Identificación del producto o servicio

En esta sección se describen las propiedades de los combustibles obtenidos a partir del proceso de pirólisis, como parte del estudio de factibilidad orientado a determinar las características del producto y su comparación con combustibles disponibles en el mercado (Cevallos et al., 2022).

Para ello, se realizó una caracterización del combustible pirolítico, identificando sus propiedades físicas y químicas mediante un análisis bibliográfico de investigaciones previas en las que diversos autores han estudiado combustibles obtenidos por procesos similares, especialmente desde el enfoque químico, con el fin de describir de manera detallada el producto generado.

Tabla 6*Parámetros para evaluar del nuevo combustible*

Parámetro	Unidad
Densidad	g/cm ³
Gravedad API	-
Viscosidad	Centipoise
Punto de inflamación	°C
Punto de congelación	°C

Número de cetano	-
Temperatura de destilación del 90%	°C
Porcentaje de Queroseno	%

Nota. En esta tabla se encuentran descrito los parámetros necesarios para la caracterización de un combustible resultado de un proceso de pirólisis.

3.5.2 Mercado Meta

Para la identificación del mercado meta, se analizaron las empresas que emplean combustibles poco refinados, como el diésel o fuel oil, en sus procesos productivos. El objetivo fue determinar dónde el combustible derivado del pirólisis de neumáticos fuera de uso (NFU) podría incorporarse de manera efectiva, ya sea como sustituto directo o como aditivo que complementa los combustibles tradicionales.

Este análisis permite establecer estrategias de comercialización y posicionamiento, considerando factores como compatibilidad del combustible pirolítico con los equipos existentes, costos operativos, beneficios ambientales y aceptación por parte de los usuarios finales. De esta manera, se identifica un segmento de mercado potencial que maximiza la viabilidad económica del proyecto, al mismo tiempo que contribuye a la reducción de residuos y al aprovechamiento energético de los NFU, promoviendo la sostenibilidad industrial y la economía circular.

3.5.3 Segmentación del Mercado

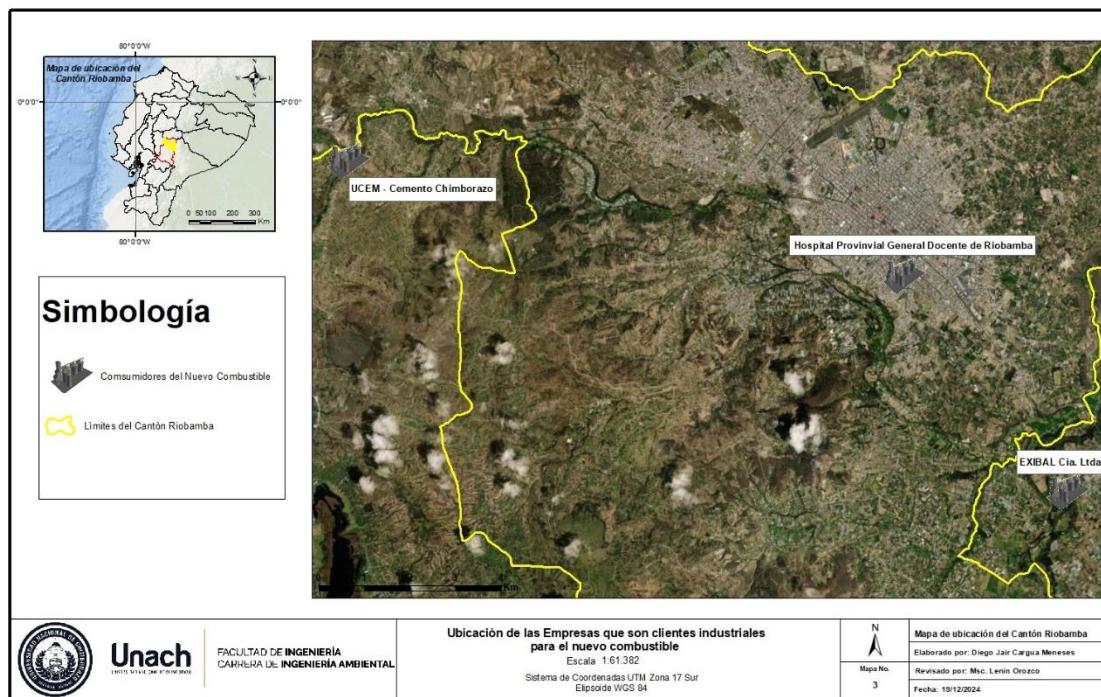
Del conjunto de empresas que utilizan combustibles en sus procesos productivos, se seleccionaron tres clientes industriales potenciales, considerando su representatividad dentro de la provincia. Estas empresas fueron elegidas también por su interés en la implementación de prácticas ambientales, específicamente en la reducción del consumo de combustibles fósiles y en la búsqueda de alternativas más sostenibles para sus procesos productivos.

Esta selección permite enfocar el estudio de factibilidad en casos concretos, evaluando tanto la compatibilidad técnica del combustible pirolítico con los sistemas existentes como la aceptación del mercado, lo que aporta información relevante para el análisis económico y la estrategia de implementación del proyecto.

Tabla 7*Listado de clientes potenciales para el nuevo combustible*

Nro.	Productor	X	Y
1	EXIBAL Cia. Ltda.	765751,37	9809208,09
2	UCEM – Cemento Chimborazo	749927,21	9816456,16
3	Hospital provincial general docente de Riobamba	762137,01	9813946,25

Nota. En esta tabla se encuentran descrito las coordenadas geográficas y el nombre de los clientes potenciales al nuevo combustible

Figura 4*Ubicación geográfica de las empresas consumidoras para el nuevo combustible*

Nota. En esta imagen se encuentran los clientes del nuevo combustible y ver su dispersión dentro de la ciudad.

3.5.4 Estimación del Precio

Para el análisis y fijación de precios, se realizó un análisis comparativo con la empresa considerada como competencia directa, la recicladora SEGINUS, la cual opera en conjunto con dos de las principales importadoras de neumáticos de la ciudad. Para la adquisición de neumáticos, SEGINUS utiliza el Ecovalor, regulado por el Código Orgánico del Ambiente en su Artículo 663, que establece lo siguiente:

"Gestión integral de residuos o desechos.- La gestión integral de residuos o desechos originados a partir del uso o consumo de productos sujetos a responsabilidad extendida del productor, constituye el conjunto de acciones y disposiciones regulatorias, técnicas, económicas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación, que tienen la finalidad de proporcionar a los residuos o desechos, el destino más adecuado desde el punto de vista técnico, ambiental y socioeconómico, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, posibilidades de aprovechamiento, entre otros".

En términos prácticos, el Ecovalor representa el aporte económico que todo productor de NFU debe pagar para garantizar que estos residuos reciban un tratamiento adecuado. Los precios de Ecovalor con los que opera SEGINUS se presentan en la Tabla 8. A partir de esta información, se establecerá una relación para determinar el precio de compra de los NFU, sirviendo como base para fijar la estrategia de adquisición y asegurar la competitividad del proyecto.

Tabla 8

Ecovalor para cada tipo de neumático

Tipo de Neumático	Ecovalor (\$)
Liviano	1
Pesado	1
Moto	0,50
Bicicleta	0,25

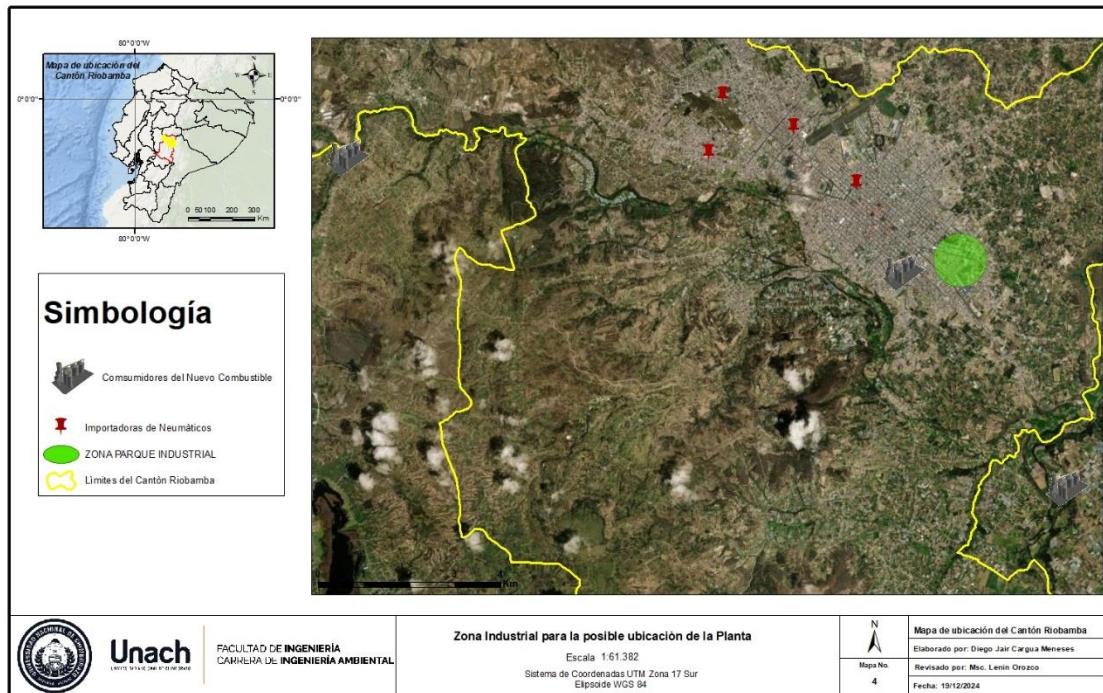
Nota. En esta tabla se encuentran descrito el valor que se necesita por tipo de neumáticos para su correcta gestión.

3.5.5 Localización de la planta

La planta de producción de combustibles a partir de neumáticos fuera de uso (NFU) se ubicará en la ciudad de Riobamba, dentro del área designada como parque industrial. Para determinar la ubicación exacta, se llevará a cabo un proceso de selección de galpones o espacios cubiertos existentes en el parque, considerando criterios como la superficie disponible, la existencia de instalaciones básicas y la facilidad de acceso para transporte de materia prima y distribución del producto final.

Figura 5

Ubicación geográfica del área declarada como Parque Industrial



Nota. En esta imagen se encuentran en color verde el área de parque industrial, donde se logra visualizar su posición geográfica a comparación de las Importadoras de neumáticos y las empresas consumidoras de combustibles.

3.5.6 Identificación de la Oferta

Para determinar la oferta de combustible como producto principal y el acero reciclado como producto secundario se realizó a través de una proyección para 5 años y los neumáticos que teóricamente se producen, para a través de los porcentajes de eficiencia de la planta.

3.5.7 Análisis de la capacidad de la planta

Este estudio nos permitió conocer si la proyección de producción de combustible para un período de 5 años va ser posible conociendo la capacidad de producción de la planta, según su ficha técnica, en otras palabras, si la maquinaria va alcanzar la proyección de la oferta o se deberá forzar la maquinaria (Vásquez, 2017).

3.5.8 Determinación de Ingresos

Para determinar los ingresos de la planta de producción de combustibles, se trabajó con las proyecciones de oferta para cada producto, multiplicado por el precio que se determinó al comienzo del estudio, luego se sumó el resultado de cada producto dentro de los 5 años para obtener los ingresos de la planta.

3.6 ESTUDIO TÉCNICO - FINANCIERO

3.6.1 Ingeniería del proyecto

El desarrollo de la ingeniería del proyecto es el estudio donde se analizó los requerimientos para el funcionamiento de la planta de producción de combustibles a partir de NFU's, para este estudio se realizó las siguientes operaciones:

- Determinación de los gastos de construcción.
- Organigrama del proceso administrativo
- Flujograma del proceso productivo
- Flujograma de la planta de pirólisis
- Descripción de los procesos de producción
- Descripción de los activos fijos
- Descripción de activos diferidos e intangibles

- Descripción de Costos de mano de obra
- Descripción de Gastos operacionales
- Descripción de Inversión total
- Descripción de la proyección de egresos
- Descripción de la proyección de ingresos
- Estudio de financiamiento
- Balance financiero de la empresa

3.7 EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación financiera de proyectos empresariales es un aspecto fundamental en la formulación y desarrollo de proyectos de inversión, es la continuación de las etapas de estudio preliminares(Ortíz & Soto, 2018), para esta evaluación se presenta los diferentes volúmenes tanto de costos como ventas y se obtuvo como resultado los flujos netos de caja correspondiente a los 5 años de proyección, para así llegar a la etapa de los criterios de evaluación.

3.7.1 Flujos netos de Caja

Los flujos netos de caja se obtuvieron a partir del estado de resultados previstos, específicamente de las utilidades proyectadas, analizando, el movimiento de fondos de las operaciones del proyecto a lo largo de su horizonte temporal (Ortiz & Soto, 2018).

3.7.2 Criterios de evaluación

Es la información que poseen las empresas para evaluar la decisión de invertir en proyectos de inversión, esto con el propósito de que se tomen decisiones acertadas en el manejo de recursos (Ortíz & Soto, 2025), la evaluación se utilizó para juzgar el proyecto desde la rentabilidad y dar una garantía a la inversión del proyecto, se calcularon los siguientes criterios una vez definido el mercado y la demanda actual;

- Valor Actual Neto (VAN).
- Relación Beneficio - Costo (B/C).
- Tasa Interna de Retorno (TIR).
- Período Real de Recuperación de la Inversión (PRR).

Se analizo cada criterio según dicta la formula y la interpretación del valor obtenido:

VAN. es la técnica que se utilizó para tomar decisiones de inversión en activos fijos. El Valor Actual Neto se define como: la diferencia entre el valor actual de los flujos netos de efectivo de un proyecto y la inversión neta (Ortiz & Soto, 2018). Ecuación 3:

$$VAN = \sum \text{Valor Actual de los flujos Netos de Caja} - \text{Inversión} \quad (Ec\ 3)$$

Para la interpretación del VAN se analizó los tres posibles resultados:

- Si el VAN es mayor que 0 se acepta el proyecto, de lo contrario se rechaza. Si el VAN es mayor a 0 la empresa obtendría un rendimiento mayor que el costo de oportunidad del capital y por lo tanto conviene ejecutar el proyecto.
- Si el VAN es igual a cero, el inversionista estará indiferente entre invertir en el proyecto o en cualquier alternativa. La decisión de inversión se producirá por razones diferentes a la rentabilidad del proyecto.
- Si el VAN es menor que cero es decir negativo, el proyecto no es viable porque no permite recuperar la inversión en términos de valor actual.

R B/C. Este método no difiere mucho del VAN ya que se utilizó los mismos flujos descontados, tanto de las entradas como de las salidas de caja. La diferencia está en que la sumatoria de las entradas a caja actualizadas se divide entre la inversión (Ortiz & Soto, 2018), como se observa en la ecuación 4.

$$\text{Relación B/C} = \frac{\text{Valor actual de los FNC}}{\text{Inversión}} \quad (Ec\ 4)$$

Si la razón B/C es mayor que 1, aceptar el proyecto en caso contrario se rechaza. Si la razón B/C es menor que 1 significa que el VAN es positivo.

TIR. Se analizó como el valor presente de los flujos de caja que genera que el proyecto sea igual a la inversión realizada (Ortiz & Soto, 2018) a.

Para su cálculo se utilizó las funciones del Excel, para ello se necesitó de los FNC desde la inversión y para cada año de vida útil, con la función TIR, el programa Excel ingresa los datos y nos otorga un valor de TIR.

PRI. El Período de recuperación real de una inversión es el tiempo que tarda exactamente en ser recuperada la inversión inicial en base a los flujos netos de caja que genere en cada periodo de su vida útil (Ortiz & Soto, 2018). Se calcula según la ecuación 5:

$$PRI = \frac{IT - FAMI}{FAS} + AT \quad (Ec\ 5)$$

Donde:

IT = Inversión Inicial

FAMI = Flujo acumulado menor a la inversión

FAS = Flujo del año siguiente al flujo acumulado seguido

AT = Años transcurridos

Las mejores inversiones son aquellas que tienen el menor plazo real de recuperación. Este es un criterio de liquidez antes que de rentabilidad.

3.8 ESTUDIO DE VALIDACIÓN AMBIENTAL DEL PROYECTO

3.8.1 Identificación los impactos ambientales

En la fase inicial de identificación de impactos ambientales se eligió cuáles son los elementos del ambiente que podrían ser afectados por la planta.

3.8.2 Desarrollo de validación ambiental

El objetivo de la validación ambiental es demostrar que el proyecto no representa una amenaza significativa para el ambiente. Este estudio se realiza de manera preventiva, dentro de las fases de prefactibilidad y factibilidad (Espinoza, 2007). Por ende, la validación se desarrolló en dos etapas. La primera consiste en la identificación de factores ambientales, a través de un banco de preguntas (Anexo 1) que permitió obtener una perspectiva clara sobre los factores y actividades del proyecto que interactúan con el ambiente. La metodología utilizada se encuentra descrita en el libro “Gestión y fundamentos de evaluación de impacto ambiental”.

La segunda consiste en la evaluación de impactos ambientales: Una vez identificados los impactos, se procedió a realizar una tipología de los mismos utilizando la matriz Conesa–Víctora, en la cual las filas representan los factores ambientales y las columnas las actividades del proyecto. Esta matriz permite realizar una valoración de los impactos a través de 11 criterios, facilitando un análisis sistemático y cuantitativo de la interacción entre las actividades del proyecto y el entorno ambiental.

3.8.3 Criterios de evaluación de la matriz Conesa

La matriz Conesa que se utilizó es la del método simplificado que consta de 11 criterios que permitieron analizar la tipología del impacto:

$$I = \pm(3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC) \quad (Ec \ 6)$$

Donde:

\pm = *Naturaleza del impacto.*

El signo del impacto hace alusión al carácter beneficioso (+) o perjudicial (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados.

i = *Intensidad o grado probable de destrucción*

Este término se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en el que actúa.

EX = *Extensión o área de influencia del impacto*

Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del Proyecto dividido el porcentaje del área, respecto al entorno, en que se manifiesta el efecto.

Tabla 9*Valorización de la Extensión*

Extensión (EX)	Valor
Puntual	1
Parcial	2
Extenso	4
Total	8
Crítica	12

Nota. En la tabla se encuentra el valor numérico que recibe cada tipo de extensión para el impacto, (Conesa, 2011).

MO = Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto

El plazo de manifestación del impacto alude al tiempo que trascurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor del medio considerado.

Tabla 10*Valorización del Momento*

Momento (MO)	Valor
Largo plazo	1
Medio plazo	2
Inmediato	4
Critico	8

Nota. En la tabla se encuentra el valor numérico que recibe según el momento del impacto, (Conesa, 2011).

PE = Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto

Se refiere al tiempo que permanecería el efecto desde su aparición y a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales o mediante la introducción de medidas correctoras.

Tabla 11*Valorización de la Persistencia*

Persistencia (PE)	Valor
Fugaz	1
Temporal	2
Permanente	4

Nota. En la tabla se encuentra el valor numérico que recibe según la persistencia del impacto, (Conesa, 2011).

RV = Reversibilidad

Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el Proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez que aquella deja de actuar sobre el medio.

Tabla 12*Valorización de la Reversibilidad*

Reversibilidad (RV)	Valor
Corto plazo	1
Medio plazo	2
Irreversible	4

Nota. En la tabla se encuentra el valor numérico para el facto de reversibilidad del impacto, según el tiempo de recuperación, (Conesa, 2011).

SI = Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples

Este atributo contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. El componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría de esperar de la manifestación de efectos cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente, no simultánea.

Tabla 13*Valorización de la Sinergia*

Sinergia (SI)	Valor
Sin sinergismo	1
Sinérgico	2
Muy sinérgico	4

Nota. En la tabla se encuentra el valor numérico que recibe cada tipo de extensión para el impacto, (Conesa, 2011).

AC = Acumulación o efecto de incremento progresivo

Este atributo da la idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.

Tabla 14*Valorización de la Acumulación*

Acumulación (AC)	Valor
Simple	1
Acumulativo	4

Nota. En la tabla se encuentra el valor numérico que recibe según el factor de acumulación del impacto, (Conesa, 2011).

EF = Efecto ya sea de tipo directo o indirecto

Este atributo se refiere a la relación causa-efecto, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.

Tabla 15*Valorización del Efecto*

Efecto (EF)	Valor
Indirecto	1
Directo	4

Nota. En la tabla se encuentra el valor numérico que recibe dependiendo el actuar del impacto (Conesa, 2011).

PR = Periodicidad

La periodicidad se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente, de forma impredecible en el tiempo o constante en el tiempo.

Tabla 16

Valorización de la Periodicidad

Periodicidad (PR)	Valor
Irregular	1
Periódico	2
Continuo	4

Nota. En la tabla se encuentra el valor numérico que recibe según la frecuencia de la actividad que genera el impacto (Conesa, 2011).

MC = Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos

La posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana.

Tabla 17

Valorización de la Recuperabilidad

Recuperabilidad (MC)	Valor
Recuperación Inmediata	1
Recuperable	2
Mitigable	4
Irrecuperable	8

Nota. En la tabla se encuentra el valor numérico que recibe según el nivel de factibilidad de recuperación el componente afectado, (Conesa, 2011).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DE MATERIA PRIMA (NFU'S)

El análisis de materia prima se realizó a partir de la información sobre vehículos matriculados en la ciudad, tabla 2, a través de una proyección datos:

$$b = \frac{Y_f - Y_o}{X_f - X_o} \quad (Ec 7)$$

$$b = \frac{65.000 - 35.000}{2024 - 2022}$$

$$b = 15.000$$

Una vez calculada la pendiente se puede aplicar la fórmula para la proyección lineal:

$$y = mx + b$$

Donde m es el valor de vehículos matriculados para el año 2022 = 35.000.

La siguiente parte fundamental es el factor reencauche en el país existen 9 empresas reencauchadoras registradas y certificadas (Ministerio de producción, comercio exterior, inversiones y pesca, 2025), para que la proyección de materia prima sea confiable se utilizara el peor de los episodios que es el descarte del 40% de neumáticos que no cumplen con las características para reencauche.

Tabla 18

Estimación de la materia prima en una proyección de 5 años

Año	Proyección (# de vehículos)	# de neumáticos por vehículo	Proyección teórica de neumáticos (# NFU's/año)	Porcentaje no aceptado para reencauchado (%)	Proyección realista de neumáticos (# de NFU's/año)
2024	65.000	4	260.000	40	104.000
2025	80.000	4	320.000	40	128.000
2026	95.000	4	380.000	40	152.000
2027	110.000	4	440.000	40	176.000
2028	125.000	4	500.000	40	200.000

Nota. En la tabla se encuentra la proyección de generación de neumáticos para 5 años.

Para la producción de combustibles de combustible a partir del pirólisis de NFU's, se debe realizar un proceso donde se separa el metal del caucho ya que este es el que entra al reactor para la transformación, por lo que, se determinó la cantidad de caucho que existe para cada año con los datos sobre la composición de los neumáticos de la tabla 1.

Tabla 19

Estimación de la cantidad de caucho y acero reciclado

Año	Proyección (# de neumáticos)	Peso promedio de un NFU (T)	% de Caucho * NFU's	% de Metal * NFU's	Peso total de los NFU's (T)	Peso total de Caucho (T)	Peso total de metal (T)
2024	104.000	0,0185	0,44	0,19	1.924	846,56	365,56
2025	128.000	0,0185	0,44	0,19	2.368	1.041,92	449,92
2026	152.000	0,0185	0,44	0,19	2.812	1.237,28	534,28
2027	176.000	0,0185	0,44	0,19	3.256	1.432,64	618,64
2028	200.000	0,0185	0,44	0,19	3.700	1.628	703

Nota. En esta tabla se encuentra calculado la cantidad de caucho y metal total que se obtiene por año, en un periodo de 5 años, el peso promedio de NFU's se realizó tomando en cuenta los 8,5 kg de peso para neumáticos de vehículos livianos debido y un 15% del peso de neumáticos de vehículos pesados, debido a que estos son los más requeridos para reencauche y su porcentaje de rechazo es menor.

4.2 ANÁLISIS DEL MERCADO POTENCIAL

4.2.1 Caracterización del producto final

Para la descripción del combustible que es el producto principal, se realizó una comparación de varios autores sobre los parámetros establecidos en la tabla 5, se analizó 2 estudios específicos sobre las características fisicoquímicas del combustible.

Tabla 20*Estudios sobre las características fisicoquímicas del combustible*

Código	Autores	Titulo
EC01	Idoia Hita, Miriam Arabiurrutia, Martin Olazar, Javier Bilbao, José María Arandes, Pedro Castaño Sánchez	Oportunidades y barreras para producir combustibles de alta calidad a partir de la pirólisis de neumáticos usados.
EC02	Myriam Mancheno, Pablo Arévalo, Jhison Romero, Inés Malo, Damian Matute, Ricardo Ramos	Análisis fisicoquímico de combustibles líquidos obtenidos en el proceso de pirólisis de caucho vulcanizado.

Nota. En esta tabla se muestran los autores y títulos sobre los estudios de caso donde se caracteriza el nuevo combustible.

Tabla 21*Características del combustible a partir de la pirólisis de NFU's.*

Parámetro	Unidad	Valor para EC01	Valor para EC02	Valor para el diésel	Valor para el fuel oíl tradicional
Densidad	<i>g/cm³</i>	0,88	0,894	0,815	0,890
Gravedad API	-	23,87	-	-	-
Viscosidad	Centipoise	1,11	6,30	2.80	2,10
Punto de Congelación	°C	20,5	20	51	79
Inflamación					
Punto de Congelación	°C	39,3	-	-	-15
Número de Cetano	-	46,7	-	53	-
Porcentaje de Queroseno	%	45,4	-	-	-
Poder Calorífico	<i>MJ/kg</i>	-	42,7	43,1	44,8

Nota. En esta tabla se muestran los valores de los parámetros fisicoquímicos del combustible de NFU's y también del diésel estos datos son de la norma técnica NTE INEN 1489:2021, los valores del fuel oíl son de la norma NTE INEN 1983 y sus enmiendas.

4.2.2 Segmentación del Mercado

la selección de empresas que son considerados clientes industriales para el combustible del pirólisis de NFU's, se realizó conociendo y analizando sus procesos productivos junto a sus equipos y la cantidad de combustible tradicional que utilizan en sus procesos y si puede ser sustituido por el nuevo combustible.

Tabla 22

Determinación de la demanda de combustibles por parte de los clientes industriales

Empresa	Proceso	Equipo	Cantidad de Combustible (gal/año)
EXIBAL Cia. Ltda.	Producción de Balanceado	Caldero	144.000,00
UCEM – Cemento Chimborazo	Producción de Clinker	Hornos rotativos cementeros	11.388.000,00
Hospital provincial general docente de Riobamba	Limpieza y esterilización	Caldera	153.219,79

Nota. En esta tabla se muestran los clientes industriales para la planta y cuál es la cantidad de combustibles en (gal/año).

4.2.3 Precio de la materia prima para la extracción combustible y del acero reciclado de la transformación de NFU's a combustibles

El precio se determinó analizando la competencia directa, para nuestro caso es la empresa SEGINUS que es la gestora que se encarga de la gestión integral de neumáticos usados de las empresas RIOLLANTA e IMSEGO, para la gestión de NFU's por parte de SEGINUS no compra neumáticos, los productores pagan (Tabla 7) para que estos reciban la gestión más eficiente desde el punto de vista técnico, ambiental y socioeconómico.

Para lograr adquirir la materia prima, se necesita hacer una propuesta económica de compra de lo NFU's a los productores, partiendo de la base de eco valor que ellos pagan.

$$Precio = \frac{Ecovalor}{Peso promedio de los neumáticos} \quad (Ec 8)$$

$$Precio = \frac{1\$}{18,5 \text{ kg}}$$

$$Precio = 0,054 \frac{\$}{kg}$$

El precio que se oferta por kg de NFU's es de 0,054 \$, esto se realiza para poder ser competitivo en el mercado de la obtención de la materia prima.

El acero reciclado es el subproducto de la planta, pero que también tiene un lugar en el mercado del país, el precio del acero reciclado esta normado por márgenes internacionales mermados por costos necesarios para su procesamiento.

Tabla 23

Precio estándar del acero reciclado en el Ecuador

Descripción	Precio por Tonelada (USD*T)
Precio Referencial por London Metal Exchange (LME)	398,50
(-) Costos Estiba (10%)	358,65
(-) Costos Transporte (20%)	318,80
(-) Costos de Oxicorte (10%)	358,65
Precio Final	239,10

Nota. En esta tabla se muestran los costos que se disminuyen del precio internacional para el acero reciclado, los porcentajes de costos son dispuestos por las autoridades ecuatorianas, pero no de superar el 40% (Ministerio de producción, comercio exterior, inversiones y pesca, 2024).

4.2.4 Localización de la planta

La macro localización de la planta es la ciudad de Riobamba en la zona destinada como parque industrial, del cual se analizó cuáles son los espacios cubiertos, coliseos, galpones que se encuentran en desuso y son aptos para la adecuación de la planta, el espacio más adecuado es el coliseo donde antes funcionaba la empresa IMSA Estructuras metálicas.

El factor espacio es el principal al momento de tomar decisiones, la planta que se instalará es la planta de pirólisis de la empresa MINGJIE el modelo MJL-15 con capacidad de 15-16 T/día y con espacio de 400 m^2 necesario para su instalación, el coliseo de IMSA cuenta con 694 m^2 cubiertos y un terreno total 1.835 m^2 disponible para adecuar más infraestructura.

Figura 6

Imagen satelital de la infraestructura de la empresa IMSA estructuras metálicas



Nota. En esta imagen se analiza el área de espacio cubierto y el área del terreno completo.

4.2.5 Identificación de la Oferta

Para determinar la oferta que presenta la empresa con respecto a la demanda productos finales por parte de los demandantes, clientes industriales, fue necesario evaluar las posibilidades de producción de la planta a través de una proyección de la cantidad de materia prima con el porcentaje de conversión de la maquinaria.

Tabla 24*Análisis de conversión de productos*

Materia prima	Producto Final
Producción de Combustible	
1 tonelada de caucho	133,57 galones de combustible
100 neumáticos de un vehículo liviano un promedio de 8,5 kg	49,95 galones de combustible
100 neumáticos de un vehículo pesado un promedio de 65 kg	382,01 galones de combustible

Nota. los valores de esta tabla son el resultado del análisis de la oferta, se pueden analizar como indicadores de producción para maquinarias que presenten un factor de conversión del 45% como el modelo MJL-15.

Tabla 25*Determinación de la oferta de los productos de la planta*

Año	Cantidad de neumáticos por año	Peso promedio por neumático (Tonelada)	Cantidad de caucho (44%) a procesar (T/año)	Porcentaje de conversión (%)	Cantidad de combustible que logra la planta (%)	Cantidad de acero por neumático (%)	Cantidad de combustible a ofertar por año (Tonelada)	Acero a ofertar por año (Tonelada)
2024	104.000	0,0185	846,56	0,45	0,19	113.075,1	365,56	
2025	128.000	0,0185	1.041,9	0,45	0,19	139.169,4	449,92	
2026	152.000	0,0185	1.237,3	0,45	0,19	165.263,6	534,28	
2027	176.000	0,0185	1.432,6	0,45	0,19	191.357,9	618,64	
2028	200.000	0,0185	1.628	0,45	0,19	217.452,1	703	

Nota. la determinación de la oferta parte de una base donde se toma el peso de NFU's livianos más un 15% del peso de NFU's para vehículos pesados.

4.2.6 Análisis de la capacidad de la planta

El análisis de la planta se realizó partiendo de la base que se adquiere una planta prefabricada y su capacidad viene dispuesta por la ficha técnica de la planta.

Tabla 26*Capacidad de la planta*

Año	Capacidad de maquinaria T/día	Capacidad de maquinaria T/mes	Capacidad de maquinaria T/año	Cantidad de Materia prima a procesar en T/año	% de utilización de maquinaria anual
2024	16	352	4.176	846,56	20,27
2025	16	352	4.176	1.041,92	24,95
2026	16	352	4.176	1.237,28	29,63
2027	16	352	4.176	1.432,64	34,31
2028	16	352	4.176	1.628	38,99

Nota. los resultados de la tabla permiten conocer si la maquinaria es la adecuada para la duración del proyecto para los primeros 5 años no supera el 50% de su capacidad de uso, garantizando la permanencia del proyecto pasado los primeros 5 años.

4.2.7 Ingresos de la Planta

Tabla 27*Ingresos de la planta por la oferta de combustible*

Año	Oferta (gal)	Precio (USD * gal)	Ingreso por año (USD)
2024	113.075,114	1,85	209.188,96
2025	139.169,371	1,85	257.463,34
2026	165.263,629	1,85	305.737,71
2027	191.357,886	1,85	354.012,09
2028	217.452,143	1,85	402.286,46
Total	826.318,143		1.528.688,56

Nota. En esta tabla se encuentran descrito los ingresos de la planta por producción de combustible para una proyección de 5 años.

Tabla 28*Ingresos de la planta por la oferta de acero reciclado*

Año	Oferta (Toneladas)	Precio (Tonelada * año)	Ingreso por año (\$)
2024	365,56	239,10	87.405,396
2025	449,92	239,10	107.575,872
2026	534,28	239,10	127.746,348
2027	618,64	239,10	147.916,824
2028	703	239,10	168.087,30
Total	2.671,4		638.731,74

Nota. En esta tabla se encuentran descrito los ingresos de la planta por recolección de acero reciclado para una proyección de 5 años.

4.3 ESTUDIO TÉCNICO

4.3.1 Ingeniería del proyecto

Tabla 29*Gastos de Construcción*

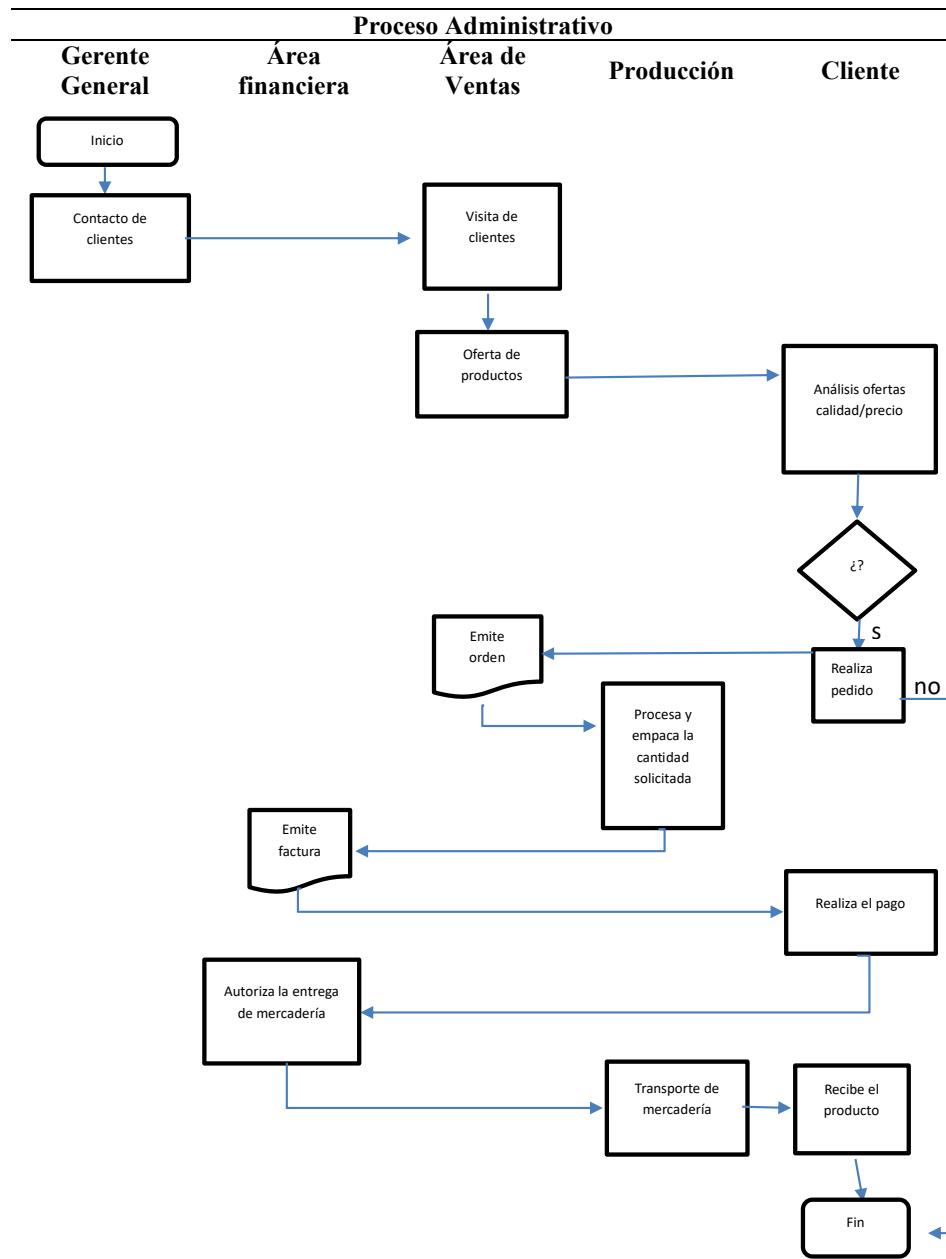
Trabajos Constructivos	Recursos	Costo Total (USD)
Alquiler del galpón	Alquiler mensual del coliseo de IMSA	5.000
Construcción de Servicios Higiénicos	Pintura, cerámica, porcelana, brochas, rodillos, lija, cemento, ripio, arena, bondex, estuco, bloques, sanitarios, lavabos e implementos, tuberías internas, mano de obra	5.000
Adaptación para el funcionamiento de la planta	Lámparas, alarma, cables, cámaras, conexiones de luz, agua, tuberías, etc.	10.000

Nota. En esta tabla se encuentran los costos promedio para la infraestructura necesaria para el funcionamiento de la planta, extraídos del índice de precios de materiales, equipo y maquinaria de la construcción Boletín No.305 actualizado hasta agosto del 2025.

4.3.2 Organigrama del Proceso Administrativo

Figura 7

Gráfico del proceso administrativo de la planta de pirólisis convertir NFU's en combustible

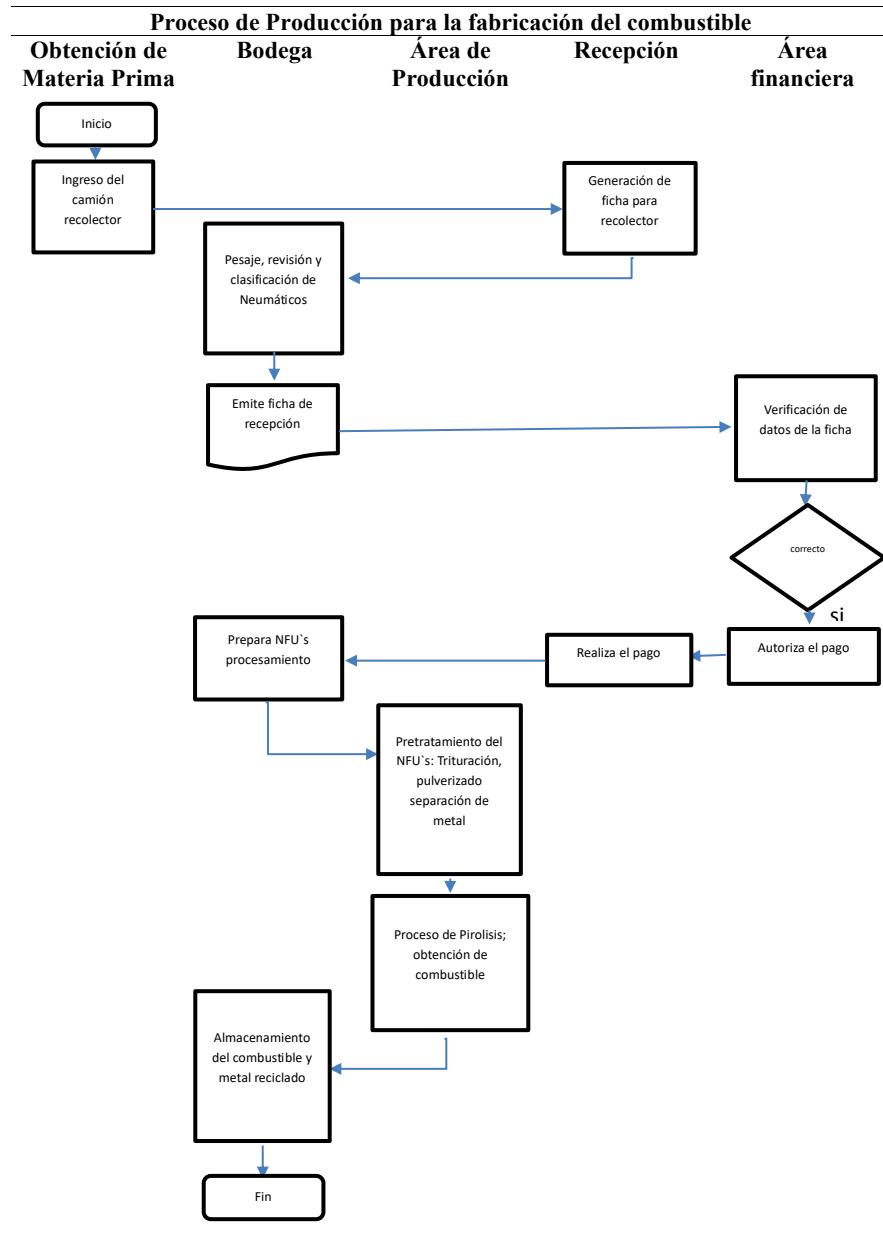


Nota. Representación del proceso productivo y las operaciones de cada área de la empresa.

4.3.3 Flujograma del proceso productivo

Figura 8

Gráfico del proceso productivo de la planta de pirólisis de NFU's a combustible.

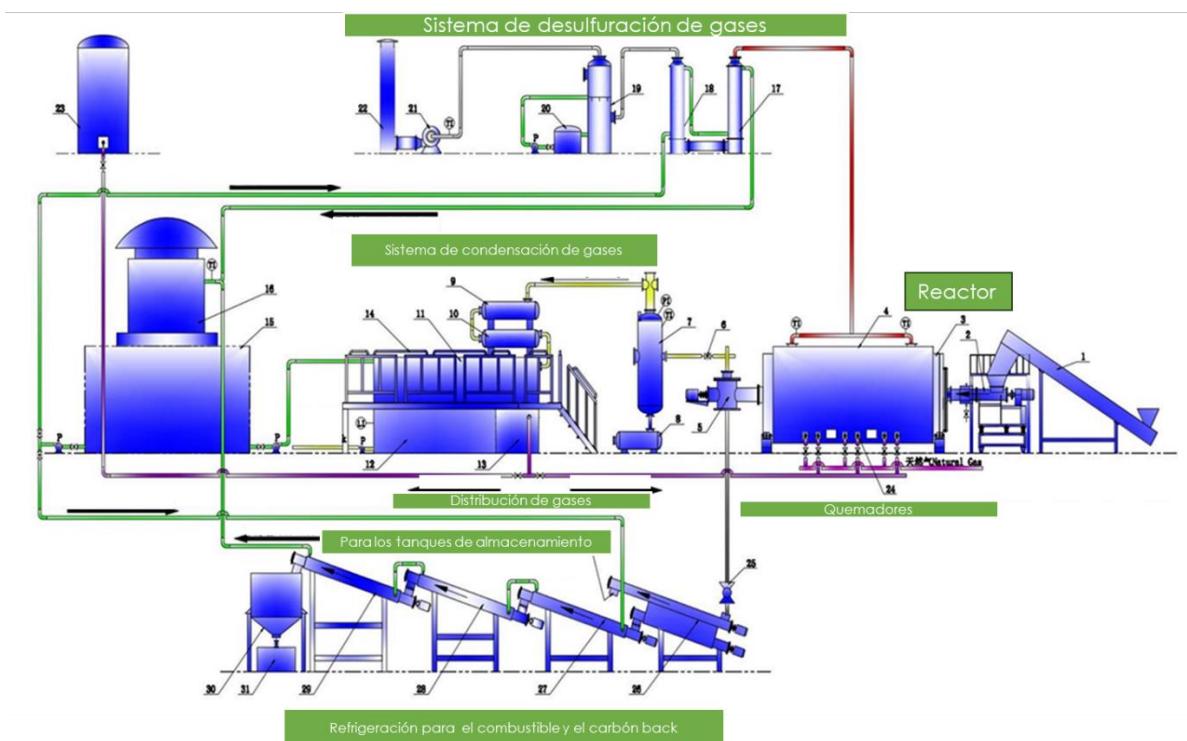


Nota. Representación gráfica del proceso productivo de combustibles a partir de NFU's, operaciones de cada área de la empresa, partiendo la llegada de materia prima hasta el almacenamiento del producto.

4.3.4 Flujograma de la maquinaria

Figura 9

Flujo de operaciones de la maquinaria MJL-15



Nota. en esta imagen se representa gráficamente el orden los procesos que se realiza dentro de la maquinaria para poder identificar entradas y salidas.

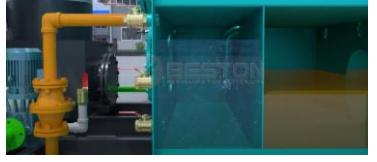
4.3.5 Descripción productiva de la planta

Tabla 30

Cuadro explicativo del proceso productivo de la planta de transformación de NFU's.

Orden	Proceso	Descripción	Equipo
1	Recepción de materia prima	La materia prima será recolectada directamente de los productores y transportada hacia la planta, donde será almacenada en el área destinada para el acopio.	

2	Separación de Cubiertas	Inicio del pretratamiento de NFU's, con la maquina separadora de cubierta, la cual retira todos los componentes que se encuentran en la banda de rodamiento.	
3	Sacado de puntas	En esta etapa, el neumático se corta mediante cuchillas para obtener bandas para facilitar su manipulación.	
4	Cortado, trituración y pulverización	Las bandas de caucho son sometidas a un proceso de trituración donde se convierten en pequeños gránulos de caucho.	
5	Separación de Alambres	Posteriormente, el material triturado pasa por un separador magnético que clasifica el acero reciclado el cual es un subproducto de la planta.	
6	Obtención de granulado de caucho	Fase final del pretratamiento, los gránulos de caucho pasan por un sistema de filtrado y clasificación por tamaño, que asegurar que solo las partículas menores a 50 mm ingresen al reactor de pirólisis y a la vez se eliminan los restos de material textil.	

7	Alimentación automática del reactor	Los gránulos ingresan a la banda de transporte a un alimentador automático que se puede programar para la cantidad adecuada, recordando que la planta es de proceso semicontinuo, es decir, trabaja en lotes de hasta 8 toneladas.	
8	Proceso de Pirólisis	Una vez que el reactor se encuentra cargado, se cierra herméticamente e inicia su movimiento rotatorio mientras es calentado hasta alcanzar una temperatura de 450 °C. Durante esta etapa de pirólisis, el material se transforma en gases, líquidos y residuos sólidos; todo el proceso dura alrededor de 8 horas.	
9	Separación de gases (vapor – gases)	Proceso de separación por gravedad en gases: condensables y no condensables, dentro de este proceso los vapores, que formaran el combustible.	
10	condensación de vapores	Los vapores condensables son direccionados al sistema de condensación de los vapores donde por medio del enfriamiento se obtendrá combustible líquido.	
11	Separación agua- aceite	Debido a la condensación de gases se obtiene como subproducto agua por lo que a través de gravedad se puede separar y se reutiliza.	

12	Sistema de desulfuración	Los gases no condensables llevan en si muchos compuestos sulfurosos por lo que en este proceso el gas se depura con una suspensión de caliza recirculante, que elimina el 95 % de SO ₂ del gas de combustión. Además, dentro de este proceso se elimina casi todo el HCl contenido en el gas de combustión.	
13	Almacenamiento de gases para su utilización	Una ventaja de las plantas de pirólisis es que pueden ser casi autosustentables los gases una vez desulfurados se pueden ocupar para el calentamiento del siguiente lote, por ende, este se almacena.	
14	Almacenamiento del combustible	El combustible se almacenará en tanques con gran capacidad de almacenamiento, pues la planta cuenta 2 tanques con capacidad de 30000 L.	
15	Descarga de carbón	La descarga de carbón black se realiza al finalizar cada lote de manera automática a través de un tornillo sin fin para su almacenamiento.	

Nota. En esta tabla se encuentran de manera ordenada las etapas y procesos que realiza la planta para la transformación de NFU's a combustible, también se encuentran imágenes de los diversos equipos, toda esta información fue extraída de la ficha técnica de la planta (HENAN MINGJIE ENVIROMENTAL EQUIPMENT CO. LTD, 2019).

4.3.6 Inversiones Fijas

Activos Fijos

El análisis de activos fijos de la planta, se consideró a todos los equipos y materiales que se requiere para el funcionamiento de la planta y presentan depreciación:

- Muebles de Oficina
- Equipos de Computo
- Maquinaria y equipo

Además, se determinó como activo fijo al arrendamiento del coliseo y el servicio de fletes para los productos finales.

Tabla 31

Muebles de Oficina

Activo	Can t.	Costo unitari o (USD)	Costo total (USD)	Vid a útil	% de salva ment o	Valor de salvam ento (USD)	Base despre ciable (USD)	Depreci ación Anual (USD)
Escrítorios	4	225	900	10	10%	90	810	81
Silla tipo gerente	4	179	716	10	10%	71,6	644,4	64,44
Sillas	12	55	660	10	10%	66	594	59,4
Escrítorio Recepción	1	1.783	1.783	10	10%	178,3	1.604,7	160,47
Sillón sala de espera	4	346,96	1.387,8	10	10%	138,8	1.249,1	124,91
Estantería	4	140	560	10	10%	56	504	50,4
Pizarra de tiza líquida	2	59	118	10	10%	11,8	106,2	10,62
Estantería Aérea	4	110	440	10	10%	44	396	39,6
Mesa de reuniones	1	380	380	10	10%	38	342	34,2
Casilleros	4	140	560	10	10%	56	504	50,4
Total			7.504,8			750,5		675,44

Nota. En esta tabla se encuentran todo lo necesario para el funcionamiento de una oficina lo cual se denomina como un activo fijo, bienes fundamentales para que el personal del área administrativa desempeñe sus actividades, en esta tabla se detalló los costos de adquisición de los muebles con sus correspondientes depreciaciones, la fuente de los precios fue Mercado Libre para julio 2025.

Tabla 32

Equipos de Computo

Activo	#	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)	Vida útil	% de salvamento	Valor de salvamento (USD)	Base despreciable (USD)	Depreciación Anual (USD)
Teléfono	5	49	245	3	33,33	81,66	163,3	54,4
Ventilador industrial	4	170	680	3	33,33	226,64	453,4	151,1
Computador	5	400	2.000	3	33,33	666,6	1.333,4	444,4
Regulador	10	19	190	3	33,33	63,33	126,7	42,2
Copiadora	2	239	478	3	33,33	159,32	318,7	106,2
Proyector	1	547	547	3	3333	182,32	364,7	121,5
Total		4.140				1.379,9		920

Nota. En esta tabla se detalla el equipo para el funcionamiento de la oficina administrativa, los precios fueron analizados de Mercado Libre para julio del 2025.

Tabla 33*Maquinaria y equipo*

Activo	#	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)	Vida útil	% salvamento de	Depreciación Anual (USD)
Línea de reciclaje de NFU's de la empresa Zhengzhou	1	50.000	50.000	20	0,1	4.500
Planta de transformación de NFU's	1	122.500	122.500	20	0,1	11.025
Modelo MJL-15						
Tanque de combustible de 30000 L	2	9.560	191.20	10	0,1	1.720,8
Total			191.620			17.245,8

Nota. En esta tabla se encuentra el costo de la maquinaria completa para la producción de combustible a partir de NFU's, pretratamiento, producción y almacenamiento.

Tabla 34*Edificios*

Activo	Características	Costo Unitario (USD)	Costo Anual (USD)
Arrendamientos y cánones	Coliseo dentro del parque industrial de la ciudad, antigua empresa IMSA	5.000	60.000

Nota. En esta tabla se encuentra los costos anuales para el arriendo del coliseo donde se implementará la planta.

Costos de transporte para los productos finales de la planta

El costo de flete se analizó a través de la variable distancia, la ubicación de los clientes industriales no sobrepasa una distancia de 70 km desde la planta por lo que se utilizó el costo un mínimo de un flete, este valor se obtuvo del análisis de documentos que incluían el servicio de transporte terrestre de carga pesada incluido conductor publicados en el Servicio Nacional de Contratación Pública (SERCOP).

Tabla 35

Costos de Transporte para el combustible

Año	Producción total de combustible (gal)	Capacidad de Tanquero (gal)	Viajes al año	Costo de Flete mínimo de 1 a 70 km (USD)	Costo Total de Fletes al año (USD)
2024	113.075,11	5.000	23	250,68	5.669,13
2025	139.169,37	5.000	28	250,68	6.977,40
2026	165.263,63	5.000	33	250,68	8.285,66
2027	191.357,89	5.000	38	250,68	9.593,92
2028	217.452,14	5.000	44	250,68	10.902,18

Nota. En esta tabla se encuentran la estimación de costos para el transporte del combustible que se produce al año en una proyección de 5 años.

Tabla 36

Costos de Transporte para el metal reciclado

Año	Producción total de Metal (T)	Capacidad de camión (T)	Viajes al año	Costo de Flete mínimo de 1 a 70 km (USD)	Costo Total de Fletes al año (USD)
2024	365,56	5	73	250,68	18.327,72
2025	449,92	5	90	250,68	22.557,19
2026	534,28	5	107	250,68	26.786,66
2027	618,64	5	124	250,68	31.016,14
2028	703	5	141	250,68	35.245,61

Nota. En esta tabla se encuentran la estimación de costos para el transporte de la producción anual de metal, teniendo en cuenta los centros de reciclaje donde se pueden entregar el acero reciclado, no sobrepasa los 70 km también se utilizó el valor de un mínimo.

Tabla 37

Costos de Transporte para los productos finales de la plata

Año	Costo Total de fletes al año para el Combustible (USD)	Costo fletes al año para el Metal (USD)	Costo Total Fletes (USD)
2024	5.669,13	18.327,71	23.996,85
2025	6.977,40	22.557,19	29.534,59
2026	8.285,66	26.786,66	35.072,32
2027	9.593,92	31.016,14	40.610,05
2028	10.902,18	35.245,61	46.147,79

Nota. En esta tabla se encuentra la sumatoria a los costos totales del flete para ambos productos.

4.3.7 Activos diferidos e Intangibles

Tabla 38

Gastos de constitución de la planta

Concepto	Valor (USD)
Patente Municipal	1000
Permiso de Bomberos	500
Obtención del Ruc	60
Total	1.560

Nota. En esta tabla se encuentran los valores para la obtención de los permisos necesarios para la constitución de la planta.

4.3.8 Materia Prima

$$\text{Costo total MPD} = \text{Peso total de neumáticos (T)} * \text{Precio de NFU} \left(\frac{\text{USD}}{\text{T}} \right) \quad (\text{Ec 9})$$

La materia prima directa para la planta de pirólisis consiste en neumáticos fuera de uso (NFU), adquiridos a un precio de 0,054 USD por kilogramo, equivalente a 54 USD por tonelada.

Este costo se calcula considerando el Ecovalor establecido en el reglamento al Código Orgánico del Ambiente (Art. 663) y el análisis de la competencia directa, como la empresa SEGINUS, para asegurar competitividad en la obtención de la materia prima (ver Ecuación 8 en el documento).

Tabla 39

Costos de Materia Prima

Año	Proyección de Neumáticos	Peso promedio del neumático (T)	Peso Total de los neumáticos (T)	Precio de NFU's (USD*T)	Costo Total de Materia Prima
2024	104.000	0,0185	1.924	54	103.896
2025	128.000	0,0185	2.368	54	127.872
2026	152.000	0,0185	2.812	54	151.848
2027	176.000	0,0185	3.256	54	175.824
2028	200.000	0,0185	3.700	54	199.800

Nota. Estos costos representan el gasto anual necesario para la adquisición de NFU, alineándose con la demanda proyectada y la capacidad de la planta (modelo MJL-15, con eficiencia de conversión del 45% en combustible).

El análisis económico indica un incremento anual del 23% en costos, impulsado por el crecimiento del parque automotor en Riobamba (de 35.000 vehículos en 2022 a 65.000 en 2024), lo que asegura un suministro constante, pero requiere proyecciones conservadoras para mitigar riesgos de escasez.

4.3.9 Costos de mano de obra

Para el análisis de mano de obra se realizó un listado del personal necesario para cada área de la empresa.

$$MOI Total = \sum (Costo total anual de personal de apoyo) \quad (Ec 10)$$

Tabla 40

Personal necesario para el funcionamiento de la planta en general.

Equipo Técnico Multidisciplinario	Desempeño
Coordinador general del proyecto (Ingeniero ambiental)	Encargado de la planificación, gestión de tiempos, coordinación de equipos, relación con autoridades. Identificación de impactos, elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA)
Ingeniero Mecánico	Ánalisis del proceso de pirólisis/tecnología de conversión.
Ingeniero Industrial	Diseño de capacidad, balances de materia y energía, costos de producción.
Técnico de campo	Apoyo en muestras, encuestas y logística. (Distribución y recepción)
Operario 1	Polifuncional
Operario 2	Polifuncional

Nota. En esta tabla se encuentra descrito el personal necesario y las funciones que desarrollaran dentro de la planta.

Figura 9

Costos de mano de obra en general para el proyecto

NOMBRE DEL PUESTO	ROL DE PAGOS DEL PERSONAL						Fondos de Reserva 8,33%	Vacaciones
	SUELDO MENSUAL	SUELDO ANUAL	DECIMO TERCERO	DECIMO CUARTO	APORTE IESS	COST. TOTAL ANUAL		
Coordinador general del proyecto	\$ 1.000,00	\$ 12.000,00	\$ 1.000,00	\$ 470,00	\$ 1.338,00	\$ 14.808,00	\$ 83,30	\$ 41,67
Ingeniero Mecánico	\$ 800,00	\$ 9.600,00	\$ 800,00	\$ 470,00	\$ 1.070,40	\$ 11.940,40	\$ 66,64	\$ 33,33
Ingeniero Industrial	\$ 800,00	\$ 9.600,00	\$ 800,00	\$ 470,00	\$ 1.070,40	\$ 11.940,40	\$ 66,64	\$ 33,33
Técnico de campo	\$ 470,00	\$ 5.640,00	\$ 470,00	\$ 470,00	\$ 628,86	\$ 7.208,86	\$ 39,15	\$ 19,58
Operario 1	\$ 470,00	\$ 5.640,00	\$ 470,00	\$ 470,00	\$ 628,86	\$ 7.208,86	\$ 39,15	\$ 19,58
Operario 2	\$ 470,00	\$ 5.640,00	\$ 470,00	\$ 470,00	\$ 628,86	\$ 7.208,86	\$ 39,15	\$ 19,58
TOTAL		48.120,00	4.010,00	2.820,00	5.365,38	60.315,38	\$ 334,03	\$ 167,08
FONDOS DE RESERVA	4.008,40	ANUAL				*12	4.008,40	2.005,00
VACACIONES	2.005,00	ANUAL						

Nota. En esta imagen se encuentra el análisis de sueldos para todo el personal del proyecto desarrollado para un período de un año, tomando en cuenta décimo tercero, décimo cuarto, aporte al IESS y vacaciones.

4.3.10 Gastos de Administración

Tabla 41

Descripción de los gastos de administración

Gastos de Administración				
Concepto	Parcial (USD)	Presupuesto Anual (USD)	Tipo	Cálculo
Servicios básicos de administración	-	3.600,00	Variable	\$ 300 mensuales por 12 meses
Sueldos y salarios	-	60.315,38	Fijo	Sumatoria de los sueldos anuales del personal del área
Coordinador general del proyecto (Ingeniero ambiental)	12.000	-	Fijo	\$ 1000 mensuales por 12 meses
Ingeniero Mecánico	8.000	-	Fijo	\$ 800 mensuales por 12 meses
Ingeniero Industrial	8.000	-	Fijo	\$ 800 mensuales por 12 meses
Técnico de campo	5.640	-	Fijo	\$ 470 mensuales por 12 meses
Operario 1	5.640	-	Fijo	\$ 470 mensuales por 12 meses
Operario 2	5.640	-	Fijo	\$ 470 mensuales por 12 meses
Total de Gastos	63.915,38			

Nota. En esta tabla se encuentra en manera de resumen los gastos administrativos con su presupuesto anual con su respectiva justificación, obteniendo así \$63.915,38 de la sumatoria de los diferentes gastos del área administrativa.

4.3.11 Resumen de Inversiones

Para el resumen de inversiones o el cálculo de la inversión total se incluyó: Inversión de activos fijos (maquinaria, construcción), inversión de activos diferidos e intangibles e inversión en capital de trabajo.

Tabla 42*Determinación de la Inversión Total*

Resumen de Inversiones	
Concepto	Rubro (USD)
Inversión de activos fijos	287.261,69
Inversión de activos diferidos e intangibles	1.560,00
Inversión en capital de trabajo	63.915,38
Inversión Total	352.737,07

Nota. El valor de inversión total es la sumatoria de todos los activos necesarios para la materialización de la planta.

4.3.12 Estructura Financiera

Para el financiamiento del proyecto se cuenta con 3 socios que contribuirán con el 38.14% de la inversión total el otro 61.86% viene del capital financiado, la entidad que nos financiara es el Banco de Desarrollo del Ecuador B.P., el cual tiene como propósito impulsar el mercado de valores y diversificar estratégicamente sus fuentes de financiamiento, a través de bonos verdes, prestamos con plazos máximos de 5 años a un interés del 9%.

Tabla 43*Estructura financiera*

Detalle	Monto de Inversión (USD)	Porcentaje de Inversión (%)
Capital Propio	-	0,00
Aporte de Socios	134.529,00	38,14
Capital Financiado	218.208,07	61,86
Total	352.737,07	100

Nota. En esta tabla se encuentran las cantidades exactas que financiaron los socios y el préstamo del banco, para cubrir la inversión total.

La amortización del préstamo se realizó a través del sistema alemán ya que se desea ir disminuyendo intereses al pasar de los años, a diferencia del sistema francés que acumula intereses.

Tabla 44*Amortización del préstamo para un periodo de 5 años*

Año	Saldo inicial (USD)	Intereses (USD)	Monto (USD)	Amortización (USD)	Cuota (USD)	Saldo Final (USD)
0						218.208,07
1	218.208,07	3.927,75	222.135,82	43.641,61	47.569,36	174.566,46
2	174.566,46	3.142,20	177.708,65	43.641,61	46.783,81	130.924,84
3	130.924,84	2.356,65	133.281,49	43.641,61	45.998,26	87.283,23
4	87.283,23	1.571,10	88.854,33	43.641,61	45.212,71	43.641,61
5	43.641,61	785,55	44.427,16	43.641,61	44.427,16	-
Total	11.783,24		218.208,07		229.991,31	

Nota. La tabla de amortización nos da como resultados las cuotas que deberíamos pagar cada año y la cantidad final que se pagara por el préstamo.

4.3.13 Proyección de Egresos

Tabla 45*Gastos de Administración para una proyección de 5 años*

Concepto	Año (USD)	1 (USD)	2 (USD)	3 (USD)	4 (USD)	5 (USD)
Servicios básicos administración	3.600,00	3.711,60	3.826,66	3.945,29	4.067,59	
Sueldos y salarios personal administrativo						
Coordinador general del proyecto	12.000,00	12.384,00	12.780,29	13.189,26	13.611,31	
Ingeniero Mecánico	9.600,00	9.907,20	10.224,23	10.551,41	10.889,05	
Ingeniero Industrial	9.600,00	9.907,20	10.224,23	10.551,41	10.889,05	
Técnico de campo	5.640,00	5.820,48	6.006,74	6.198,95	6.397,32	
Operario 1	5.640,00	5.820,48	6.006,74	6.198,95	6.397,32	
Operario 2	5.640,00	5.770,28	5.903,58	6.039,95	6.179,47	
Beneficios de ley						
Décimo tercer sueldo	4.010,00	4.138,32	4.270,75	4.407,41	4.548,45	
Décimo cuarto sueldo	2.820,00	2.910,24	3.003,37	3.099,48	3.198,66	
Aporte patronal	5.365,38	5.537,07	5.714,26	5.897,11	6.085,82	
Fondos de reserva		5.850,00	6.037,20	6.230,39	6.429,76	

Vacaciones	-	-	-	-	-	-
Total	63.915,38	71.756,88	73.998,03	76.309,60	78.693,80	

Nota. En esta tabla se encuentra los costos para los 5 años de proyección, donde se puede observar el aumento de sueldos y beneficios de la ley, lo que nos permitió conocer el valor de inversión por capital de trabajo para cada año, con una tasa de crecimiento del 3,1%.

Tabla 46

Gastos no operacionales para una proyección de 5 años

Concepto	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Gastos financieros					
Pago de préstamo	47.569,36	46.783,81	45.998,26	45.212,71	44.427,16
Total	48.569,36	47.814,81	47.061,22	46.308,62	45.557,05

Nota. Como principal gasto no operacional se tiene el pago del préstamo más un valor para imprevistos o emergencias con una tasa de crecimiento del 3,1%.

4.3.14 Proyección de Ingresos y Egresos Totales

Tabla 47

Proyección total de ingresos

Año	Valor Total (USD)
1	296.594,36
2	365.039,21
3	433.484,06
4	501.928,91
5	570.373,76

Nota. Los valores establecidos en esta tabla es la suma de los valores calculados en las tablas 27 y 28 sobre los ingresos para producto de la planta.

Tabla 48*Proyección total de egresos*

Concepto	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Egresos Variables					
Costos de compra de Materia Prima	103.896,00	127.872,00	151.848,00	175.824,00	199.800,00
Egresos Fijos					
Gastos Operacionales					
Gastos administrativos	63.915,38	71.756,88	73.998,03	76.309,60	78.693,80
Depreciaciones	21.791,33	21.791,33	21.791,33	18.298,00	18.298,00
Amortizaciones	312,00	312,00	312,00	312,00	312,00
Gastos no operacionales					
Gastos financieros	60.649,36	59.647,81	58.646,26	57.644,71	56.643,16
Otros gastos	1.000,00	1.031,00	1.062,96	1.095,91	1.129,89
Total	251.564,07	282.411,02	307.658,58	329.484,22	354.876,85

Nota. El total de egresos es la sumatoria de toda salida de recurso para cumplir un pago, como lo es la adquisición de materia prima ya que al final de cuentas es una inversión.

Tabla 49*Estado de Resultados*

Concepto	Año 1 (USD)	Año 2 (USD)	Año 3 (USD)	Año 4 (USD)	Año 5 (USD)
Ingresos Operacionales	296.594,36	365.039,21	433.484,06	501.928,91	570.373,76
(-) Costo de Ventas	103.896,00	127.872,00	151.848,00	175.824,00	199.800,00
(=) Utilidad bruta en ventas	192.698,36	237.167,21	281.636,06	326.104,91	370.573,76
(-) Gastos Operacionales					
(-) Gastos administrativos	63.915,38	71.756,88	73.998,03	76.309,60	78.693,80

(-)	Depreciaciones	22.001,64	22.001,64	22.001,64	21.081,64	21.081,64
(-)	Amortizaciones	312,00	312,00	312,00	312,00	312,00
(=) Resultado						
gastos	86.229,02	94.070,52	96.311,67	97.703,24	100.087,44	
operacionales						
Gastos no						
operacionales						
(-) Gastos						
financieros	47.569,36	46.783,81	45.998,26	45.212,71	44.427,16	
(-) Otros gastos						
no operacionales	1.000,00	1.031,00	1.062,96	1.095,91	1.129,89	
(=) Resultado						
gastos no						
operacional	48.569,36	47.814,81	47.061,22	46.308,62	45.557,05	
Total de Gastos	134.798,38	141.885,33	143.372,89	144.011,86	145.644,49	
(=) Resultado						
del ejercicio						
operacional	57.899,98	95.281,88	138.263,17	182.093,05	224.929,27	
(-) 15% participación						
empleados	8.685,00	14.292,28	20.739,48	27.313,96	33.739,39	
(=) Resultado						
antes de						
impuestos	49.214,98	80.989,60	117.523,69	154.779,09	191.189,88	
(-) 22% impuesto a la						
renta	12.303,75	20.247,40	29.380,92	38.694,77	47.797,47	
(=) Resultado						
antes de						
reservas	36.911,24	60.742,20	88.142,77	116.084,32	143.392,41	
(-) 5% Reserva						
Legal	1.845,56	3.037,11	4.407,14	5.804,22	7.169,62	
(=) Resultado						
neto en el						
ejercicio	35.065,67	57.705,09	83.735,63	110.280,10	136.222,79	

Nota. La interpretación de la tabla se basa en el aumento de la utilidad del año 1 al 5, el proyecto mejora su rentabilidad con el tiempo.

Tabla 50*Tasa mínima aceptable de Retorno (TMAR)*

Indicadores macroeconómicos	Datos
Riesgo país	12%
Inflación	0,53%
Tasa pasiva	7,74%
TMAR	20,27%

Nota. Los datos de los indicadores necesarios para calcular la TMAR fueron tomados del banco central del Ecuador para el 2024.

4.3.15 Flujo de caja Neto

Tabla 51*Flujo de efectivo de la operación de la planta*

	Año 1 (USD)	Año 2 (USD)	Año 3 (USD)	Año 4 (USD)	Año 5 (USD)	
ingresos operacionales	352.737,07	296.594,36	365.039,21	433.484,06	501.928,91	570.373,76
(-) costo de ventas		103.896,00	127.872,00	151.848,00	175.824,00	199.800,00
(=) utilidad bruta en ventas		192.698,36	237.167,21	281.636,06	326.104,91	370.573,76
(-) gastos operacionales						
(-) gastos administrativos	63.915,38	71.756,88	73.998,03	76.309,60	78.693,80	
(-) depreciaciones	22.001,64	22.001,64	22.001,64	21.081,64	21.081,64	
(-) amortizaciones	312,00	312,00	312,00	312,00	312,00	
(=) resultado gastos operacional	86.229,02	94.070,52	96.311,67	97.703,24	100.087,44	
gastos no operacionales						
(-) gastos financieros	47.569,36	46.783,81	45.998,26	45.212,71	44.427,16	
(-) otros gastos no operacionales	1.000,00	1.031,00	1.062,96	1.095,91	1.129,89	

(=) resultado	48.569,36	47.814,81	47.061,22	46.308,62	45.557,05
gastos no operacional					
total gastos	134.798,38	141.885,33	143.372,89	144.011,86	145.644,49
utilidad antes de impuestos	57.899,98	95.281,88	138.263,17	182.093,05	224.929,27
(-) 15% participación empleados	8.685,00	14.292,28	20.739,48	27.313,96	33.739,39
(-) 22% impuesto a la renta	\$ 12.738,00	\$ 20.962,01	\$ 30.417,90	\$ 40.060,47	\$ 49.484,44
(-) 5% reserva legal	3.419,23	5.918,09	8.869,59	12.115,75	15.433,39
utilidad neta	57.899,98	95.281,88	138.263,17	182.093,05	224.929,27
(+) depreciación	22.001,64	22.001,64	22.001,64	21.081,64	21.081,64
(+) amortización	312,00	312,00	312,00	312,00	312,00
(+) reservas	1.845,56	3.037,11	4.407,14	5.804,22	7.169,62
(-) inversión en propiedad					
planta y equipo (activos fijos)	287.261,69				
(-) inversión diferidos e intangibles	1.560,00				
(-) capital de trabajo	63.915,38				
(+) recuperación del capital de trabajo					63.915,38
(+) valor residual					95.096,64
(+) crédito recibido	218.208,07				
(-) pago del capital		43.641,61	43.641,61	43.641,61	43.641,61
Flujo de efectivo	-	352.737,07	38.417,57	76.991,02	121.342,33
					165.649,29
					368.862,94

Nota. En esta tabla se presenta como resultado final los valores de flujo neto para cada año de manera individual.

4.4 CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Tabla 52

Evaluación financiera final

Indicador	Resultados (USD)
VAN	27.932,49
TIR	22,81%
B/C	1,08
TMAR	20,27%

Nota. los valores de esta tabla son los que permitirán tomar la decisión final si se avanza o no con el proyecto.

Tabla 53

Período de recuperación

Años	Flujos Netos (USD)	Flujo de Fondos Acumulados (USD)
(-) Inversión	352.737,07	
1	38.417,57	38.417,57
2	76.991,02	115.408,58
3	121.342,33	236.750,92
4	165.649,29	402.400,21
5	368.862,94	771.263,15
Total	771.263,15	

Nota. En esta tabla se resalta el valor de flujo de fondos acumulados para el cuarto año debido a que es el año en el que se supera la inversión inicial.

El flujo de fondos acumulados reporto que para el cuarto año la acumulación de efectivo es de \$ 402.400,21 superando la inversión inicial de \$ 352.737,07, para calcular el período de recuperación de la inversión (PRI), se seleccionó para FAMI = \$ 236.750,92, FAS = \$ 165.649,29 y para AT = 3 años, como lo solicita la Ec 5.

$$PRI = \frac{352.737,07 - 236.750,92}{165.649,94} + 3 \text{ años}$$

$$\textbf{PRI = 3,70 años}$$

El proyecto después de iniciar sus operaciones recupera su inversión en un periodo exacto de 3.80 años, lo cual es realmente aceptable.

4.5 VALIDACIÓN AMBIENTAL

La validación ambiental de un proyecto para gestionar NFU y crear combustibles líquidos se basa en comparar este método con otros tradicionales, como los vertederos y la incineración, para demostrar su aporte ambiental. Los vertederos tienen dos problemas principales: en primer lugar, es que los neumáticos no se compactan, por lo que ocupan mucho espacio y dificultan el uso del suelo, y en segundo lugar liberan sustancias tóxicas como hidrocarburos aromáticos policíclicos y metales pesados, que afectan la calidad del suelo y el agua subterránea (Zhao et al., 2025).

Además, los NFU se degradan muy lentamente, lo que agrava el problema ambiental. Por su parte, la incineración se usa para reducir el volumen de los NFU, pero presenta tres inconvenientes: primero suele hacerse en espacios abiertos sin control de la quema; segundo requiere combustibles fósiles para iniciar el proceso y destruye completamente los neumáticos sin recuperar recursos, y tercero emite CO₂, NO_x y gases tóxicos como dioxinas debido a la composición de los NFU (Zhao et al., 2025), lo que afecta la calidad del aire y dificulta el avance hacia el ODS 13 sobre acción climática.

El pirólisis de NFU para generar combustibles se ajusta a los principios de la economía circular, ya que reduce residuos, extiende la vida útil de los materiales y produce nuevos recursos como combustibles líquidos, gaseosos y negro de humo, además de disminuir las emisiones de carbono (Zhao et al., 2025). El análisis de los beneficios ambientales de una planta de pirólisis muestra que el mayor impacto positivo se da al usar los productos finales, aunque el funcionamiento de la planta también puede tener efectos ambientales. Zhao et al. (2025) lo analizaron en su estudio sobre tecnologías de reciclaje de neumáticos usados.

El combustible obtenido por pirólisis, gracias a su alto poder calorífico, puede reemplazar o complementar el diésel en quemadores industriales como calderas y hornos de cemento, lo que

genera un impacto ambiental positivo, ya que sustituir 1 kg de diésel por combustible pirolítico puede reducir entre 2,7 y 3,2 kg de CO₂ equivalente (Wu et al., 2025).

Se realizó un análisis teórico sobre la reducción de CO₂ al usar todo el combustible producido por la planta, y se estimó que por cada tonelada de combustible se evitan 2,95 toneladas de CO₂ equivalente.

Tabla 54

Reducción de CO₂ al ambiente por el uso de combustibles pirolíticos.

Año	Combustible que produce la planta (T)	Reducción de CO ₂ por la sustitución del combustible (T de CO ₂ eq)	Reducción total de T de CO ₂ eq, al ambiente
2025	468,9	2,95	1.383,15
2026	556,8	2,95	1.642,49
2027	644,7	2,95	1.901,83
2028	732,6	2,95	2.161,17
Total			7.088,64

Nota. En esta tabla se encuentra la producción de combustible en toneladas que tendrá la planta para el año 2025 hasta el 2028, en esos 4 años se logró una reducción de 7.088,64 T de CO₂ eq en el ambiente.

De igual manera, se realizó un análisis para identificar cuáles son las actividades de la planta que generan un impacto al ambiente partiendo de la hipótesis que la compensación ambiental se crea por la utilización de los productos de la planta mas no por la operación de la planta.

Para la identificación de impactos se realizó en 2 etapas: como primera etapa, se analizó la interacción que tiene el proyecto con el ambiente (se tomó en cuenta todas las operaciones de la planta) y como segunda etapa, se realizó la tipología de impactos a través de la matriz Conesa-Vitora.

Tabla 55*Identificación de las interacciones del proyecto para con el ambiente*

Elemento	Preguntas	Respuesta		Descripción
		Si	No	
Impactos significativos sobre el ambiente socioeconómico y cultural	¿El proyecto podría vincularse con creación de peligros para las personas?		X	
	¿El proyecto podría vincularse con la ocupación de nuevas tierras en zonas de importancia ecológica?		X	
	¿El proyecto podría vincularse con la generación de procesos de ruptura de redes o alianzas sociales?		X	
	¿El proyecto podría vincularse a conflictos con comunidades afectadas por deterioro ambiental?		X	
	¿El proyecto podría vincularse a conflictos con autoridades y líderes locales?		X	
	¿El proyecto podría vincularse con emisión de efluentes líquidos, gaseosos o combinaciones de ellos?	X		El proyecto tiene emisiones de aguas: agua que se utiliza para el proceso de refrigeración de la maquina y agua resultante del proceso.
Impactos significativos sobre la salud de la población	¿El proyecto podría vincularse con generación de ruidos, vibraciones o radiaciones, especialmente	X		

	en zonas habitadas por personas?	
	¿El proyecto podría vincularse con riesgos asociados a factores humanos (explosiones, derrames de petróleo y productos químicos)?	Al tratarse del factor Humano existe un riesgo de manejo de combustibles, dentro del Art 435.- Plan de manejo ambiental, se debe contar con sub planes para aspectos ambientales y riesgos identificados, el riesgo explosiones y derrames de combustibles por el factor humano se puede manejar en los planes: prevención y mitigación de impactos, plan de contingentes y plan de capacitación.
Impactos significativos sobre los recursos naturales	¿El proyecto podría vincularse con afectación de biota nativa de especial valor ambiental?	X
Impactos significativos sobre áreas protegidas y de valor ambiental	¿El proyecto podría vincularse con alteración de la composición del agua de manera tal que se elimine o modifique la flora o fauna acuática?	X
Impactos significativos sobre el paisaje	¿El proyecto podría vincularse con modificaciones del paisaje y la existencia de belleza escénica?	X

Nota. En esta tabla se encuentra el análisis sobre las operaciones de la planta y si representan un impacto para con el ambiente y una descripción en los procesos que si presentan una interacción.

Tabla 56*Caracterización del impacto ambiental por el funcionamiento de la planta.*

Acción/Actividad	Impacto	Carácter	Tipología
Vertido diario de aguas residuales de la industria de producción de combustibles, agua condensación del combustible.	Alteración fisicoquímica de los hábitats acuáticos; bloqueo de luz solar y agotamiento de resultante de la oxígeno.	Negativo	<p>Categoría: Intensidad o grado probable de destrucción.</p> <p>Tipo: Impactos Medio y alto, existe la alteración de las propiedades fisicoquímicas del agua que es desalojada por el sistema de alcantarillado sin conocer su paradero final.</p> <p>Categoría: Extensión o Área de influencia del impacto.</p> <p>Tipo: Impacto Parcial, es la contaminación del río donde se descargue el agua de alcantarillado.</p> <p>Categoría: Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto.</p> <p>Tipo: corto a mediano plazo, la descarga diaria de aguas residuales va a superar los límites permisibles por acumulación y sinergia.</p> <p>Categoría: Por su persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto.</p> <p>Tipo: Temporal o Pertinaz, los efectos pueden durar de entre 1-3 años o de 4-10 años, pero no es un efecto permanente.</p> <p>Categoría: Reversibilidad</p> <p>Tipo: Irreversible, no hay posibilidad de retornar a las condiciones iniciales del elemento agua por medios naturales.</p> <p>Categoría: Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples.</p>

Tipo: **Impacto Sinérgico**, con la descarga de aguas se produce un efecto conjunto con los contaminantes que contienen las aguas que recoge el sistema de alcantarillado.

Categoría: **Acumulación o efecto de incremento progresivo**

Tipo: **Acumulativo**, la acción que lo genera es de forma reiterada.

Categoría: **Por la relación causa efecto.**

Tipo: **Impacto Directo**, la descarga de aguas residuales tiene una incidencia directa en la contaminación del agua.

Categoría: **Por la periodicidad**

Tipo: **Impacto Periódico**, al ser descargas diarias y la planta opera todos los días.

Categoría: **Por la necesidad de aplicación de medidas correctoras.**

Tipo: **Impacto Severo**, exige medidas de mitigación y recuperación en un tiempo considerable para la recuperación de la calidad del agua

Nota. En esta tabla se encuentra el análisis de la tipología del impacto Alteración fisicoquímica de los hábitats acuáticos; bloqueo de luz solar y agotamiento de oxígeno como resultado de la actividad del vertido de agua que se utiliza para la refrigeración de la planta y agua que se genera en la producción por condensación.

4.5.1 Análisis de los potenciales de Riesgos

El plan aborda riesgos ambientales y operativos identificados en la validación ambiental, enfocándose en emisión de aguas contaminadas, factor humano (explosiones/derrames por error) y derrame de combustible (manejo de subproductos). Se integra en planes de prevención, mitigación, contingencias y capacitación, cumpliendo con Acuerdo Ministerial 097-A y ODS 12/13.

Tabla 57

Medidas para los posibles riesgos por la operación de la planta

Riesgo	Descripción	Medidas de Prevención/Mitigación	Responsable	Monitoreo
Emisión de Aguas Contaminadas	Vertido diario de agua residual de condensación; impacto medio-alto, parcial, temporal (alteración hábitats acuáticos, bloqueo luz solar, agotamiento oxígeno).	Tratamiento primario recirculación del agua antes de su descarga en alcantarillado con límites permisibles; plan de contingencia para sinergia/acumulación	Gerente Ambiental	Análisis mensual de efluentes; reportes MAE.
Derrame de Combustible	Errores operativos causando explosiones/derrames; riesgo impredecible, reversible pero persistente.	Capacitación anual (manejo seguro); protocolos SOP; auditorías internas; seguro contra accidentes.	Gerente de Operaciones	Evaluaciones trimestrales ; simulacros.
	Fugas durante almacenamiento/transporte; impacto directo, medio, recuperable con intervención humana.	Contenedores doble pared; alarmas derrames; kits de respuesta; plan contingencia (absorbentes, contención).	Equipo de Mantenimiento	Inspecciones diarias; registros incidentes.

Nota. Este plan se alinea con matriz Conesa-Víctora y Código Orgánico del Ambiente (2017). Prioriza prevención para minimizar impactos significativos (APA: Martínez et al., 2013).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

Después de completar los estudios de validación económica, financiera y ambiental, se puede concluir que el proyecto “Estudio de la factibilidad y validación ambiental de una planta de conversión de neumáticos fuera de uso a combustible líquido en la ciudad de Riobamba” es rentable y viable.

Los resultados obtenidos reflejan que el valor presente de los flujos anuales asciende a \$380.669,56, reflejando los beneficios generados por la operación de la planta. El Valor Actual Neto (VAN) es de \$27.932,49, lo que indica la ganancia adicional tras recuperar la inversión, considerando una Tasa Mínima Aceptable de Rentabilidad (TMAR) del 20,27 % calculada para 2024. La Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanzó el 22,81 %, superando la rentabilidad mínima requerida y confirmando la viabilidad del proyecto a largo plazo. Además, la relación beneficio-costo es de 1,08, lo que representa un margen de ganancia de \$0,08 por cada dólar invertido; aunque este margen puede parecer reducido, en un contexto industrial constituye una ganancia real que respalda la sostenibilidad económica del proyecto. El periodo de recuperación de la inversión se estima en 3,7 años, lo que disminuye el riesgo para los inversionistas y aumenta la atractividad del proyecto, respaldando su viabilidad económica y financiera; puesto que el PRI también reconfirma la factibilidad del proyecto.

En cuanto al análisis ambiental, el estudio demuestra que la planta es viable desde el punto de vista ambiental. Según el análisis de mercado y las estimaciones de reducción de emisiones, el uso del combustible obtenido por pirólisis podría evitar la liberación de 7.088,64 toneladas de CO₂ equivalente en cinco años de operación. La planta en Riobamba incorpora prácticas amigables con el medio ambiente, como el uso de aguas residuales para refrigeración. No obstante, existen riesgos asociados, como posibles derrames de combustible debido a fallas técnicas o errores humanos, lo que requiere la implementación de planes de capacitación y mitigación para minimizar impactos negativos. En conjunto, los resultados económicos y ambientales respaldan que la planta de conversión de NFU a combustibles líquidos es un proyecto rentable, sostenible y ambientalmente responsable, adecuado para su implementación en la ciudad de Riobamba.

BIBLIOGRÁFIA

- Cevallos, V., Esparza, F., Balseca, J., & Chafla, J. (2022). *FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS PARA FINANCIAMIENTO*. <https://repositorio.cidecuador.org/bitstream/123456789/2073/5/Libro%20Formulacion%20y%20Evaluacion%20de%20Proyectos%20VF.pdf>
- Còrdoba, M. (2011). *Formulaciòn y Evaluaciòn de Proyectos 2da Edicion*. 38–39. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/20.500.14624/1206/1/C%C3%B3rdoba-evaluaci%C3%B3n%20d%20proyectos%202da%20ed.pdf>
- Espinoza, G. (2007). *Gestión y fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*.
- Formela, K. (2021). Sustainable development of waste tires recycling technologies – recent advances, challenges and future trends. In *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research* (Vol. 4, Issue 3, pp. 209–222). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.06.004>
- Grammelis, P., Margaritis, N., Dallas, P., Rakopoulos, D., & Mavrias, G. (2021). A review on management of end of life tires (Elts) and alternative uses of textile fibers. In *Energies* (Vol. 14, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en14030571>
- HENAN MINGJIE ENVIRONMENTAL EQUIPMENT CO. LTD. (2019). *MJL-15 WASTE PLASTICS PYROLYSIS SOLUTION-SEMI-CONTINUOUS*. www.mingjiegrou.com
- InfoRio. (2022). *Más de 26 mil vehículos han sido matriculados en Riobamba*. <https://www.inforiocomunicaciondigital.com/post/m%C3%A1s-de-26-mil-veh%C3%ADculos-han-sido-matriculados-en-riobamba>
- MAATE. (2022, December 29). *Instructivo para la aplicación de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) en la gestión integral de neumáticos fuera de uso*. <file:///C:/Users/Diego/Downloads/ACUERDO-MINISTERIAL-Nro.-MAATE-2022-131-rn4zbj.pdf>
- Mayer, P. M., Moran, K. D., Miller, E. L., Brander, S. M., Harper, S., Garcia-Jaramillo, M., Carrasco-Navarro, V., Ho, K. T., Burgess, R. M., Thornton Hampton, L. M., Granek, E. F., McCauley, M., McIntyre, J. K., Kolodziej, E. P., Hu, X., Williams, A. J., Beckingham, B. A., Jackson, M. E., Sanders-Smith, R. D., ... Mendez, M. (2024). Where the rubber meets the road: Emerging environmental impacts of tire wear particles and their chemical cocktails. In *Science of the Total Environment* (Vol. 927). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171153>

Ministerio de producción, comercio exterior, inversiones y pesca. (2024). *Precios Referenciales para el Acero Reciclado.* <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2024/03/Precios-referenciales-chatarra-Febrero-2024.pdf>

Ministerio de producción, comercio exterior, inversiones y pesca. (2025). *Registro de Empresas Reencauchadoras certificadas en el Ecuador.* <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/07/REENCAUCHADORAS-AUTORIZADAS-MAYO.pdf>

Ortiz, F., & Soto, C. (2018). *Gestión Financiera Empresarial.* <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14357/1/Cap.5%20Criterios%20de%20evaluaci%C3%B3n%20financiera.pdf>

Ortíz, M., & Soto, C. (n.d.). *Gestión Financiera Empresarial.*

Rojas, D. (2025). *Arrigoni Ambiental NFU_ Innovación chilena _ Reciclaje de neumáticos y caucho.* <https://www.tyreandrubberrecycling.com/articles/news/arrigoni-ambiental-nfu-chilean-innovation/>

Sáez, I. (2008). *Formación de contaminantes y estudio cinética en la pirolisis y combustión de plásticos (PE, PVC y PCP).* <https://rua.ua.es/server/api/core/bitstreams/72b1221a-85be-4a25-a74b-c5eed3e45af4/content>

Vàsquez, S. (2017). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA REUTILIZACIÓN, RECICLAJE Y PROCESAMIENTO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO EN LA CIUDAD DE IBARRA.* <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7279/1/04%20IND%20097%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

Wu, Y., Zhao, Q., Xu, J., Liu, S., Xu, J., Zhu, H., & Li, G. (2025). On the Potential of Waste Tire Pyrolysis in Carbon Mitigation: A Review. *Recycling*, 10(5), 172. <https://doi.org/10.3390/recycling10050172>

Zhao, Q., Wu, Y., Xu, J., Xu, J., Zhu, H., He, W., & Li, G. (2025). Pathways to Carbon Neutrality: A Review of Life Cycle Assessment-Based Waste Tire Recycling Technologies and Future Trends. In *Processes* (Vol. 13, Issue 3). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/pr13030741>

ANEXOS

Anexo 1

Preguntas para la identificación de impactos

Elemento	Preguntas
Impactos significativos sobre el ambiente socioeconómico y cultural	<ul style="list-style-type: none">• ¿El proyecto podría vincularse con creación de peligros para las personas?• ¿El proyecto podría vincularse con la ocupación de nuevas tierras en zonas de importancia ecológica?• ¿El proyecto podría vincularse con la generación de procesos de ruptura de redes o alianzas sociales?• ¿El proyecto podría vincularse a conflictos con comunidades afectadas por deterioro ambiental?• ¿El proyecto podría vincularse a conflictos con autoridades y líderes locales?
Impactos significativos sobre la salud de la población	<ul style="list-style-type: none">• ¿El proyecto podría vincularse con emisión de efluentes líquidos, gaseosos o combinaciones de ellos?• ¿El proyecto podría vincularse con generación de ruidos, vibraciones o radiaciones, especialmente en zonas habitadas por personas?• ¿El proyecto podría vincularse con riesgos asociados a factores humanos (explosiones, derrames de petróleo y productos químicos)?
Impactos significativos sobre los recursos naturales	<ul style="list-style-type: none">• ¿El proyecto podría vincularse con afectación de biota nativa de especial valor ambiental?
Impactos significativos sobre áreas protegidas y de valor ambiental	<ul style="list-style-type: none">• ¿El proyecto podría vincularse con alteración de la composición del agua de manera tal que se elimine o modifique la flora o fauna acuática?
Impactos significativos sobre el paisaje	<ul style="list-style-type: none">• ¿El proyecto podría vincularse con modificaciones del paisaje y la existencia de belleza escénica?

-
- ¿El proyecto podría vincularse con la afectación de recursos paisajísticos que sirven de base a la población?
 - ¿El proyecto podría vincularse con la afectación de recursos paisajísticos que sirven de base a la población?
-

Nota. La siguiente tabla se encuentra descrito las preguntas utilizadas para identificar impactos sobre varios factores ambientales, las preguntas se extrajeron de un banco de preguntas desarrollada por (Espinoza, 2007).