



Energía Selecta y su modelo de aprovechamiento de residuos plásticos a través de la pirólisis en el municipio de Buenaventura.

Lida Daniela Buitrago Bejarano.

Daniel Felipe Beltrán Pilonieta.

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería.

Bogotá, Colombia.

10/12/2024

Energía Selecta y su modelo de aprovechamiento de residuos plásticos a través de la pirólisis en el municipio de Buenaventura.

Daniel Felipe Beltrán Pilonieta

Lida Daniela Buitrago Bejarano.

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Magíster en Proyectos de Desarrollo Sostenible

Director:

José Alejandro Martínez Sepúlveda.

Modalidad:

Trabajo Dirigido

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería.

Maestría en Proyectos de Desarrollo Sostenible.

Bogotá, Colombia

10/12/2024

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Ciudad, día/mes/año

Resumen

El planeta tierra, hoy sufre la crisis ambiental más importante del Antropoceno. Uno de los componentes representativos en esta situación es la contaminación por microplásticos. En el puerto de Buenaventura, ubicado en el departamento del Valle del Cauca en Colombia confluyen de manera representativa dinámicas mercantiles relacionadas con el turismo y el comercio marítimo debido a su cercanía con el océano pacífico. Estas actividades representan para el municipio una fuente importante de generación de desechos plásticos que finalmente terminan contaminando el entorno y especialmente las playas del mar del sur, hogar de más de 200.000 especies y lugar de recreo para nativos y turistas. En el 2021 la ciudad generó aproximadamente 6.700 toneladas de residuos sólidos mensuales, de los cuales solo se recuperó el 6,4%. Esta baja eficiencia y la falta de infraestructuras adecuadas han impulsado la acumulación de plásticos, generando un problema ambiental grave en suelos y cuerpos de agua de la región. El modelo diseñado utiliza la pirólisis, un proceso térmico que descompone la materia orgánica en ausencia de oxígeno, produciendo biochar, bioaceite y gases. Estos subproductos pueden ser reutilizados como fuentes de energía y en aplicaciones agrícolas, contribuyendo a la economía circular.

El estudio incluyó un análisis de la problemática de los residuos en Buenaventura, así como el diseño de un modelo de aprovechamiento basado en la tecnología de pirolisis para reducir la presión sobre los rellenos sanitarios y generar ingresos económicos para los recuperadores de la zona y la empresa ejecutora “Energía Selecta”.

La tecnología de pirólisis en Buenaventura representa una solución innovadora para la gestión de residuos plásticos, generando combustibles útiles y contribuyendo tanto al desarrollo sostenible como al bienestar de la comunidad local.

Palabras clave: Crisis ambiental, Contaminación por microplásticos, Pirólisis, Economía circular, Desarrollo sostenible, Buenaventura.

Abstract

This study explores the viability of pyrolysis as a solution for plastic waste management in Buenaventura, Colombia, a region heavily impacted by waste accumulation, which negatively affects the environment and tourism. In 2021, the city generated approximately 6,700 tons of solid waste per month, of which only 6.4% was recovered. The objective of this work is to evaluate the feasibility of implementing a plastic waste treatment model using pyrolysis in Buenaventura through a review of information from primary and secondary sources. This review aims to establish an operational model and an implementation plan that is both relevant and practical for the company Energía Selecta.

The main finding is that the model is viable and represents a sustainable solution that is economically profitable by converting plastic waste into inputs for the petrochemical industry. Building on these findings, which are supported by documented academic evidence validating pyrolysis as a thermal process that decomposes organic matter in the absence of oxygen, the process produces biochar, bio-oil, and gases. At the same time, it helps mitigate environmental problems in the municipality by reducing soil and water contamination, while also creating value for the waste pickers who are part of the value chain.

Contenido

1.	Introducción	10
2.	Antecedentes.....	12
3.	Descripción del problema.....	15
3.1	Pregunta problema.....	20
4.	Objetivos.....	21
5.	Justificación	22
6.	Marco Institucional.....	24
6.1.	<i>Presentación de la empresa</i>	25
6.2.	<i>Referentes estratégicos</i>	25
6.2.1.	<i>Misión de Energía Selecta</i>	25
6.2.2.	<i>Visión de Energía Selecta</i>	26
6.2.3.	<i>Estrategia Corporativa</i>	26
6.3.	<i>Estructura organizacional</i>	27
6.4.	<i>Productos o servicios ofertados</i>	28
6.5.	<i>Análisis del sector.....</i>	31
	6.5.1. <i>Análisis del Mesoentorno</i>	32
7.	Marco de Referencia	38
7.1.	<i>Del Desarrollo sostenible a la Restauración ecológica</i>	38
7.2.	<i>Generación de residuos.....</i>	41
7.3.	<i>Disposición de residuos</i>	43
7.4.	<i>Sobre los plásticos de origen fósil y el proceso de la pirólisis</i>	45
7.5.	<i>Pirólisis de plásticos.....</i>	51
8.	Diseño Metodológico	54

8.1. Tipo de investigación.....	55
8.2. Población, muestra y ficha técnica.....	61
8.4. Definición de términos de búsqueda sobre la literatura de pirólisis para el análisis bibliométrico.....	62
8.5. Presentación de resultados sobre la literatura de pirólisis para el análisis bibliométrico.....	63
8.6. Análisis bibliográfico del estado actual de generación, disposición y aprovechamiento de residuos en Buenaventura.....	69
8.7. Análisis externo o PESTAL del aprovechamiento de residuos en Buenaventura.....	74
8.8. Análisis interno o DOFA del aprovechamiento de residuos plásticos en Buenaventura.....	77
8.9. Presentación de la información de fuente primaria.....	80
9. Modelo de Intervención para la gestión de un proyecto de pirólisis de plásticos en Buenaventura, bajo la oferta de servicios de Energía Selecta.....	83
9.1. Modelo Operativo.....	84
9.2. Modelo de Implementación.....	94
10. Conclusiones y Recomendaciones.....	101
11. Referencias.....	107
12. Anexos.....	112

Energía Selecta y su modelo de aprovechamiento de residuos plásticos a través de la pirólisis en el municipio de Buenaventura.	8
--	---

Lista de Figuras

Figura 1 Ubicación Buenaventura.....	15
Figura 2 Basura en Buenaventura	16
Figura 3 Logo Energía Selecta	25
Figura 4 Organigrama de Energía Selecta.....	28
Figura 5 <i>Termo procesadores de Energía Selecta</i>	31
Figura 6 <i>Diagrama de barras para describir la rivalidad entre competidores</i>	33
Figura 7 Diagrama de barras para la describir la amenaza de entrada de nuevos competidores.....	34
Figura 8 Diagrama de barras para la describir el desarrollo de productos sustitutos.	34
Figura 9 Diagrama de barras para la describir el poder de negociación de los proveedores.	35
Figura 10 Diagrama de barras para la describir el poder de negociación de los proveedores.	36
Figura 11 Gráfica de radar para resumir los resultados del análisis Porter.	37
Figura 12 Pasos para la generación de proyectos en el marco de la restauración Ecológica.....	39
Figura 13 Descripción de los productos obtenidos del proceso de pirólisis.	49
Figura 14 Unidades y turnos para el manejo de los termo procesadores para pirólisis de plásticos de Energía Selecta.	86
Figura 15 Modelo de aprovechamiento de plásticos por pirólisis en Buenaventura.	87
Figura 16 Diagrama Gantt para la descripción de actividades y tiempos en el desarrollo de un proyecto de pirólisis en Buenaventura.	94

Lista de Tablas

Tabla 1 Generación de residuos en la ciudad de Buenaventura.	16
Tabla 2 Descripción de plásticos aptos para tratar a través de pirólisis.....	46
Tabla 3 Descripción de los términos de búsqueda para las temáticas de investigación. 62	
Tabla 4 Análisis PESTAL de la gestión de residuos en Buenaventura.	75
Tabla 5 Análisis matriz DOFA de la gestión de residuos en Buenaventura.	77
Tabla 6 Clasificación de tipo de plásticos y presentación apta para aprovechar a través de pirólisis en Buenaventura.	88
Tabla 7 Costos directos e indirectos de Operación.	90
Tabla 8 Proyección de Ingresos por ventas de Combustóleo y Carboncillo.	92
Tabla 9 Estado de Pérdidas y Ganancias Proyectado.....	93
Tabla 10 Cuadro de Inversión para la planta de pirólisis en Buenaventura.	95

1. Introducción

En Buenaventura, el manejo de residuos sólidos está enfrentando serios desafíos, según el portal Buenaventura News, la ciudad experimenta problemas significativos con la recolección de residuos sólidos, lo que ha llevado a la acumulación de basura en varios puntos críticos y ha contribuido a problemas de salud pública (Buenaventura News, 2022). La situación de los rellenos sanitarios también es preocupante, reflejando un escenario que se replica en varias regiones de Colombia, el país enfrenta desafíos significativos en la gestión y disposición de residuos sólidos, con un número considerable de rellenos sanitarios en estado crítico, esto incluye problemas de cumplimiento de la vida útil y la capacidad de manejo adecuado de los residuos, lo cual tiene un impacto directo en la salubridad pública y el medio ambiente; un informe reciente indica que 18 rellenos sanitarios en Colombia, incluyendo algunos en Buenaventura, están cerca de alcanzar el límite de su vida útil y que su capacidad para manejar residuos es una preocupación inminente (Caraballo, 2019).

Así mismo, según el documento Plan de abastecimiento de combustibles líquidos del año 2022 emitido por la Unidad de Planeación Minero-Energética, se han identificado diversas indisponibilidades en los poliductos que afectan la eficiencia en el transporte de combustibles desde Yumbo hacia Buenaventura, lo que puede tener impactos directos en la logística y la distribución de combustibles en esa región (UPME, 2022).

Frente a la problemática global ambiental de la generación y el tratamiento de residuos, la pirólisis es una alternativa positiva para mejorar los indicadores de aprovechamiento de residuos sólidos en el distrito de Buenaventura donde para el año 2019 estaba alrededor de 6,09% y para el año 2021 del 6,40% (Alcaldía Distrital de Buenaventura, 2021). La pirólisis, siguiendo a (Acosta y Castro, 2021) en su

investigación, como proceso de degradación o reversión térmica de materia orgánica e inorgánica, en ausencia de oxígeno, es considerado como uno de los primeros pasos para la combustión; ya que absorbe el calor transformándolo en diferentes tipos de materiales aprovechables y materias primas.

En primera medida, se desarrollará un análisis bibliométrico sobre el proceso de pirólisis en escenarios a nivel mundial, se revisarán sus antecedentes, su aplicabilidad y algunos de sus resultados. Posteriormente se presentará un análisis bibliográfico, que tiene como objetivo, el examinar información sobre la situación actual del municipio de Buenaventura en cuanto a la generación de residuos plásticos, la problemática ambiental y la revisión del modelo de pirólisis planteado por energía selecta. Finalmente, se plantearán conclusiones y recomendaciones, sobre el proceso de diseño de un modelo de pirólisis implementado por Energía Selecta en el municipio de Buenaventura.

2. Antecedentes

Las investigaciones en el campo de la pirólisis son relativamente nuevas, los primeros indicios de su aplicación, con respaldo científico, se encuentran en la Universidad de Nueva York en la década de los años sesenta, más precisamente en 1967, donde el empresario de la construcción naval norteamericana Henry Jhon Kaiser y el científico S. B. Friedman, realizaron el estudio Pruebas exploratorias de laboratorio de la destilación destructiva de residuos orgánicos y los prospectos para la gasificación completa de materia orgánica. A partir de residuos, materiales orgánicos, se determinó que, si los gases producidos podían ser utilizados como una fuente de combustible para generar vapor, esto permitiría que el sistema se mantuviera a sí mismo sin la adición de otro combustible. Los resultados fueron positivos, sugiriendo Kaiser y Friedman que el carbón producido por la pirólisis podía ser gasificado a través de la adición de oxígeno convirtiéndose en combustible y esto haría el sistema autosuficiente en términos energéticos (SEDESOL, 1998).

Más adelante, al finalizar el siglo XX en China, un grupo de investigadores realizó los Estudios Experimentales sobre pirólisis de residuos sólidos urbanos en un horno rotatorio a escala de laboratorio (Li,1999), allí se analizó la exposición de diferentes tipos de residuos como cartón, PVC, plástico polietileno, caucho y orgánicos como maderas y cáscaras de naranja, evaluando condiciones y resultados en el marco del rendimiento de la transformación, llegando a la conclusión de que la pirólisis en condiciones óptimas de baja humedad genera un tipo de combustible susceptible de ser utilizado en la industria petrolera, siendo el residuo más rentable a la hora de procesar.

En consecuencia, es posible decir que Estados Unidos y China, poseen una importante ventaja de experiencia acumulada frente a estudios y pruebas de laboratorio

que caracterizan el proceso de la pirólisis y todos sus beneficios y derivados. De acuerdo con un análisis de resultados arrojado por la base de datos Scopus, en el último siglo se han generado 206 artículos relacionados con Pirólisis, de los cuales tan solo 3 fueron publicados por autores colombianos, equivalente al 1,4%.

Estudios latinoamericanos de la aplicación de pirólisis a residuos.

Ahora, y en un contexto semejante, la pirólisis como reversión termoquímica de residuos se estudió en España, Cuba y Colombia durante la década pasada. En (Aguilar, 2015) se cuenta cómo se realizan pruebas con biomasa vegetal como el residuo de naranja, cascarilla de arroz, aserrín y otros tipos de sobrantes maderosos secos, llegando a la conclusión de que es una vía para extraer combustibles alternos que pueden reemplazar o mezclarse para hacer más eficientes los productos como los carburantes, bencinas y gasóleos, que en últimas van a generar biodiesel, alquitrán, gas y/o carbón.

Por otro lado, la pirólisis también aplica a otro tipo de residuos. Las llantas también son susceptibles de tratar a través de la pirólisis. Se demostró que la factibilidad de la función de un reactor de pirólisis para procesar distintos tipos de llantas, cuyos principales componentes correspondían a cauchos sintéticos, aceites derivados del petróleo y negro de humo, tomando como principios temperaturas y presiones superiores a la utilizadas en la generación de carbón (Martínez, Murillo, García y Veses, 2013). En este proceso se identificaron los rendimientos líquidos, sólidos y gaseosos; sin embargo, el estudio precisa, que la utilidad de esta información corresponde más al carácter investigativo, ya que para este tipo de residuo es una tecnología incipiente.

Ahora, respecto a la evaluación ambiental de la pirólisis de plásticos, se realizó un estudio de valoración ambiental que demostró el autoabastecimiento de energía en el

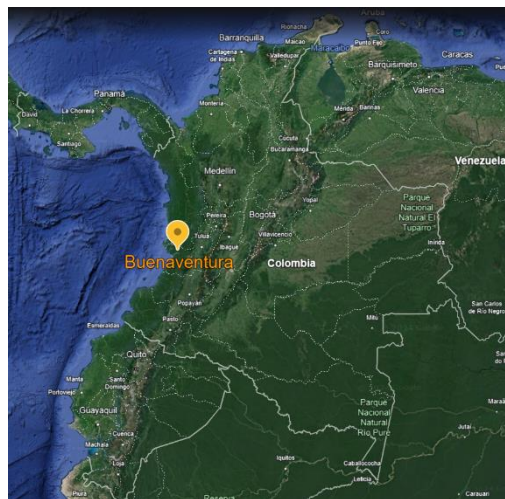
proceso de pirólisis con bajo impacto ambiental, lo que implica la posibilidad de sustitución de gas natural para el encendido y trabajo de los reactores, disminuyendo la presión atmosférica de los gases de efecto invernadero sin alterar las técnicas establecidas del proceso y la eficiencia del mismo (Caleño, 2020).

De acuerdo con los anteriores estudios, tanto los residuos orgánicos como inorgánicos se pueden procesar a través de pirólisis. Este proceso permite generar biocombustibles en estado líquido, ácido piroleñoso, gas para la generación de energía y carbonos sólidos. Sin embargo, dentro de los inorgánicos, las llantas no cuentan con suficiente evidencia para determinar análisis de oferta y demanda de precio ya que se encuentran aún en fase exploratoria. Así, los plásticos resultan ser la alternativa de residuo procesable con mayor posibilidad de incluir subproductos en el mercado.

3. Descripción del problema

A nivel Colombia, Buenaventura es uno de los lugares más importantes tanto por su impacto turístico y comercial como por ser reserva natural y baluarte de millones de especies (Alcaldía Distrital de Buenaventura, 2021). A pesar de ser un lugar clave para la economía interna y externa de nuestro país, Buenaventura presenta dificultades en la gestión de residuos debido a la presión por demanda de servicios públicos. En la figura 1 se muestra la ubicación geográfica del municipio a nivel País, importante en términos de dinámicas relacionadas con la cercanía al océano pacífico.

Figura 1 Ubicación Buenaventura



Buenaventura, según la circular emitida por la Dirección Técnica Ambiental de la Alcaldía Distrital de Buenaventura, solamente cuenta con el Relleno Sanitario de Zacarías, operado por la entidad BMS S.A E.S.P., en coordinación con Buenaventura Medio Ambiente S.A. E.S.P., encargada del servicio de aseo del municipio. Frente a estos servicios, de acuerdo con lo reportado en el Sistema Único de Información (SUI), al año 2020 la disposición final de los residuos sólidos en el distrito de Buenaventura fue de 70.140,04 Toneladas/Año en promedio (Alcaldía Distrital de Buenaventura, 2021). Frente

a este dato, asegura el comunicado, cerca de 900 toneladas no son enterradas en el relleno y tampoco son aprovechadas. En la figura 2 se expresa un ejemplo del tipo de contaminación que se encuentra frecuentemente en las playas del municipio.

Figura 2 Basura en Buenaventura



Fuente: (El Espectador, 2022)

La Bocana recibe una cantidad de basura del mar considerablemente mayor en comparación con otras áreas más grandes. Específicamente, acumula 20 veces más residuos marinos que lugares con poblaciones 15 veces mayores, como Guapi, Tumaco y Bahía Solano (Torres, 2015). A continuación se evidencian datos relevantes sobre generación de residuos en la Tabla 1.

Tabla 1

Generación de residuos en la ciudad de Buenaventura.

Variable	Cantidad	Medida	Aspecto
Residuos sólidos por mes (2021)	6.700	Toneladas/mes	Información dada por el operador del servicio, sin embargo, no se

Variable	Cantidad	Medida	Aspecto
Número de habitantes (2021)	313.508	Cantidad de personas	tiene información precisa de disposición clandestina de residuos Total de habitantes en el distrito de Buenaventura para el año 2021 (DANE).
Residuos generados por familia durante un mes	74.80 Kg	Kilogramo	Se toma como referencia entre 3 y 4 integrantes de una familia
Residuos sólidos aprovechados	6,40%	Porcentaje	413 toneladas recuperadas por mes
Disposición final por mes de residuos en el distrito de Buenaventura	5.500	Toneladas	Este dato corresponde a residuo sólido urbano(RSU)
Residuos sólidos urbanos con disposición final efectiva	87,7%	Porcentaje	Bajo la reglamentación dispuesta y el control del operador de aseo

Fuente: (Dirección técnica ambiental de Buenaventura, 2021)

La acumulación de residuos sólidos municipales está prevista a crecer significativamente, impulsada por el crecimiento económico y las prácticas ineficientes de gestión de residuos, este reporte destaca la importancia de adoptar un enfoque de reducción de residuos y mejores prácticas para manejar esta creciente carga; este contexto global resalta cómo las ciudades costeras como Buenaventura pueden enfrentar desafíos similares debido a su crecimiento económico y el aumento en la generación de

residuos, lo que subraya la necesidad de mejorar la infraestructura y las políticas locales de gestión de residuos para prevenir problemas ambientales mayores (UNEP, 2024). Por otro lado, los hechos que se evidencian como resultado de esos factores son las afectaciones a las quebradas Gamboa, Aguacatico 1, San Antonio 1 y San Antonio 2; también, la contaminación producto de la actividad comercial en el puerto ha ocasionado una disminución considerable de la fauna en la zona, como reptiles, mamíferos y anfibios. Lo que en últimas genera erosión del suelo y representa también un problema para el mar, porque propicia la destrucción de las zonas de manglares poniendo en riesgo la captura de carbono y contribuyendo al calentamiento global, dejando en situación de riesgo la calidad de vida de los habitantes del municipio.

Según los datos encontrados, sobre el borde marítimo de Buenaventura, los sectores más afectados son Pueblo Nuevo, La Playita, La Zona Pesquera del Piñal, Juan XXII, Bellavista y La Zona del Estero El Pailón. Otro de los agravantes a la situación, es la diferencia entre la prestación del servicio público de aseo, ya que en la zona urbana 94,7% de los hogares cuenta con el servicio, mientras que la zona rural solamente el 43,8% tiene acceso, dando cuenta de una brecha significativa en la disponibilidad del servicio, lo que implica inequidad en la calidad de vida, salud pública y derecho a un medio ambiente sano (Gutiérrez, 2013).

Asimismo, los efectos del problema socioambiental se generan también en la extracción aurífera dentro del corregimiento de Zaragoza, en el Río Dagua que fue contaminado entre el 2009 y 2010 por minería ilegal, con ello convirtiéndose en un foco de residuos sólidos. También, es importante mencionar el caso de la reserva del Bajo Anchicayá, dónde la pesca, que representa la principal actividad económica más importante para la región, se suspendió casi por completo, debido a la contaminación, afectando los medios para sobrevivir de esta población (Córdoba, 2017).

Un estudio, realizado para las zonas costeras de Buenaventura entre 2015 y 2019, encontró que la densidad de microplásticos ha aumentado un 28,7% anual, con mayor presencia en el estuario externo y en épocas de lluvia y transición, cuando el incremento de escorrentía lleva más microplásticos al agua. Los fragmentos y fibras fueron los tipos predominantes de microplásticos, variando en cantidad según la proximidad a fuentes urbanas y la época del año (Vidal, 2021).

El incremento en la producción, consumo y manejo inadecuado de plásticos ha llevado a su acumulación en los ecosistemas marinos, convirtiéndolos en depósitos de microplásticos (< 5 mm). Una investigación desarrollada en las playas de Buenaventura buscó identificar variaciones espaciales y temporales en la distribución, densidad y tipos de microplásticos en los sedimentos de la Bahía de Buenaventura. Se recolectaron muestras de sedimento en el estuario interno, cercano a ríos, y en el externo, más influenciado por el mar, durante las épocas seca, de transición y lluviosa en 2015 y 2019. Los microplásticos se extrajeron mediante separación por densidad y se clasificaron mediante microscopía óptica. La densidad osciló entre 11 y 1.354 partículas por kilogramo, con promedios que aumentaron de 194,9 en 2015 a 359,6 en 2019, lo que supone un aumento del 84,4%. En ambos años, el estuario interno registró la mayor densidad, predominando las fibras, que representaron el 63,7% en 2015 y el 56,03% en 2019 (Vásquez-Molano, 2021).

Se ha demostrado que los microplásticos son ingeridos por una variedad de especies marinas, incluyendo peces y moluscos, lo que puede provocar inflamación, reducción de la actividad de alimentación, y en algunos casos, mortalidad. Estos efectos se agravan al ser transferidos a través de las cadenas tróficas (Quirós-Rodríguez, 2021).

Los microplásticos pueden actuar como sustrato para microorganismos patógenos, aumentando los riesgos ecológicos en los ecosistemas marinos. Estos

materiales flotantes proporcionan hábitats para colonizadores oportunistas que pueden ser transportados a grandes distancias (Quirós-Rodríguez, 2021).

En conclusión, Buenaventura es uno de los municipios que, del 2010 al presente, más crisis socioambientales ha presentado. Una de las más notorias es el mal manejo de los residuos orgánicos e inorgánicos. Se evidencia que no hay un aprovechamiento directo de sus residuos. Una posible ruta para mejorar esta situación sería aprovechar uno de los desechos más difíciles de manejar: el plástico. De la mano con lo anterior, la pirólisis podría ser un método efectivo para la prosperidad de la región: no solo aprovecha uno de los residuos más difíciles de eliminar, también produce materias primas y combustibles.

3.1 Pregunta problema

Tras analizar diversas ventajas de la pirólisis y ciertas problemáticas propias y particulares del municipio de Buenaventura frente al manejo y el aprovechamiento de residuos, surge la siguiente pregunta: ¿Cómo diseñar un modelo de gestión de residuos plásticos mediante pirólisis en Buenaventura que sea operativa y económicamente viable para su implementación por la empresa Energía Selecta?

4. Objetivos

Objetivo general

Diseñar un modelo de aprovechamiento de residuos plásticos mediante pirólisis en el municipio de Buenaventura implementado por la empresa Energía Selecta.

Objetivos específicos

- Identificar referentes teóricos que enmarquen las temáticas de pirólisis de plásticos, así como aspectos empíricos y experiencias sobre el uso de este tipo de residuo.
- Desarrollar un análisis situacional del municipio de Buenaventura que permita hacer una caracterización a partir de fuentes secundarias, en cuanto a la generación, disposición y manejo de residuos plásticos.
- Estructurar un modelo operativo para el aprovechamiento de residuos plásticos en el municipio de Buenaventura a través de la pirólisis, bajo la oferta de servicios de Energía Selecta.
- Establecer un modelo de implementación del modelo operativo para el aprovechamiento de residuos plásticos en el municipio de Buenaventura, bajo la oferta de servicios de Energía Selecta.

5. Justificación

El proyecto tiene una relevancia alta para la empresa ejecutora, puesto que ya existe una experiencia previa aprovechando otros tipos de residuos por parte de la empresa Energía Selecta en otras zonas del País, y este modelo representaría un escalamiento operativo, táctico y estratégico para la organización. Durante el segundo y tercer trimestre del 2024, Energía Selecta desarrolló un proyecto de pirólisis en Timbiquí, Valle de Cauca, con la integración de las comunidades indígenas del territorio, Yanaconas, Guambianos y Siapirada; sus principales aliados para la recuperación y alistamiento del material reciclado son Ecoconciencia, un colectivo de mujeres afrodescendientes que promueve espacios de educación ambiental y recupera plásticos en la zona, y la Asociación de Recicladores de Timbiquí, conformada por más de cuarenta jóvenes que acopian plástico y promueven el manejo integral de residuos. Cada semana Ecopetrol realiza la respectiva recogida del material, para ser procesado en sus instalaciones. En Ciudad de México se encuentra otro caso de éxito relacionado con la gestión de Energía Selecta, al interior del parque empresarial Gustavo Madero, existe una planta de pirólisis que procesa plástico recuperado principalmente de los residuos de empresas que cuentan con presencia en la industria plástica como Videci, Bets Hold y el Grupo Alpek, así, la petrolera Pemex se encarga de recoger el combustóleo producido por Energía Selecta y refinarlo (Energía Selecta, 2024). Adicionalmente, la implementación de este tipo de soluciones tendría un impacto significativo en la calidad de vida de las personas del municipio de Buenaventura, al incidir directamente en la reducción de la contaminación por presencia de microplásticos en el agua y suelo de las playas. Los resultados exitosos de este modelo podrán replicarse en otras poblaciones con problemáticas y condiciones similares, no solo a nivel nacional sino internacional con las mismas particularidades y características de una zona costera con alto tráfico

marítimo como la del puerto de Buenaventura. El proceso de investigación y desarrollo asociado al logro de objetivos relacionados con el proyecto planteado se encuentran alineados totalmente tanto con el programa de maestría cursado al tratarse de una solución que aporta a la regeneración y al desarrollo sostenible desde la aplicación de sistemas y modelos basados en la ingeniería y el diseño, como también con la experiencia y perfil de los estudiantes Lida Buitrago y Daniel Beltrán quienes actualmente se encuentran trabajando en temas relacionados con la economía circular. El modelo de aprovechamiento de residuos plásticos por pirólisis en la zona de estudio debe ser realizado teniendo en cuenta que la generación de desperdicios, sobre todo plásticos, aumentan exponencialmente, comparado con el crecimiento geométrico de la población.

También, es relevante y útil esta solución, considerando la problemática de la disposición final de residuos, que se configura como una externalidad negativa para el desarrollo económico del municipio de Buenaventura, con sus dinámicas asociadas como el comercio, turismo, importaciones y exportaciones de materias primas o bienes, así como el extenso tráfico marítimo de cargas. Dentro del desarrollo sostenible, la economía verde presenta un enfoque en el marco del bienestar humano y la equidad social para abordar los limitados recursos naturales, propendiendo por la baja en emisiones de carbono y el aumento en los ingresos de las poblaciones locales, según el Annual Report Detail UNEPs es tendencia, el manejo ambientalmente sostenible de los residuos que incorpora la dimensión social, económica y ambiental (Nájera, 2018).

Asimismo, las zonas costeras en Colombia presentan una limitada transferencia de conocimiento tecnológico, aunque tienen un alto impacto dentro de la responsabilidad social extendida del productor dentro del sector manufacturero, incluyendo la industria maderera, derivados del petróleo y carbón, industria química, plástica, caucho, entre otros, lo que representa para un donante nacional o internacional, la oportunidad de

cumplir con la normatividad sobre impacto ambiental, y obtener beneficios tributarios por manejo de residuos, control de emisiones y prevención de la contaminación de las fuentes hídricas y marinas. Es importante la información que se compilará a través de este proyecto de grado para Energía Selecta, porque demostrará a través del análisis interno y externo de la situación actual de Buenaventura, cómo producir impactos en la gestión de residuos a través de intervenciones con resultados medibles.

La situación actual de la organización mejorará, ya que se está apoyando la promoción de producción sostenible a través de la unión de esfuerzos para garantizar que la actividad comercial e industrial en general reduzcan su impacto en las presiones ambientales y no afecten los recursos naturales. Este trabajo se enmarca dentro de la línea de gestión ambiental, teniendo en cuenta que el enfoque que se pretende desarrollar tiene el apoyo de la empresa privada Energía Selecta dedicada exclusivamente a la sostenibilidad ambiental, el trabajo con comunidades y la responsabilidad social corporativa.

6. Marco Institucional

Energía Selecta cuenta con un personal superior a 50 trabajadores en staff, y 100 contratistas, por ende, es una mediana empresa con ingresos superiores a los 204.995 UVT anuales, tomando como referencia el Decreto 957 del 05 de junio de 2019 (Mincomercio, 2020). Por otro lado, su planta principal de funcionamiento está ubicada en Barrancabermeja, muy cerca del Complejo de Refinería de Ecopetrol; existen dos proyectos más, uno está ubicado en Cartagena, dentro de la zona industrial de Mamonal, y el otro, en la Zona Franca del Valle de Aburrá en Antioquia. En palabras de su CEO Raúl Fonseca: “Nos encontramos en proceso de expansión, promoviendo el desarrollo e instalación de dos plantas más, cerca del Parque Industrial Coronel al interior de

Concepción en Chile, y en Gustavo Madero en Ciudad de México” (Fonseca, 2023).

Figura 3 Logo Energía Selecta



Fuente: (EnergíaSelecta, 2024)

6.1. Presentación de la empresa

Energía Selecta es una empresa fundada en el año 2004, dedicada a la producción de energías limpias. En los últimos años ha dedicado sus esfuerzos al estudio de la viabilidad y desarrollo de proyectos de producción de energías limpias no convencionales. Cuenta con asesores nacionales e internacionales en diferentes campos de la producción de energía limpia, tales como Energía Solar, Energía Eólica, Pirólisis, Gasificación y en el campo de Generación Eléctrica, Transmisión, Comunicaciones y Comercialización.

6.2. Referentes estratégicos

Los apartados que vienen a continuación fueron tomados y adaptados a este trabajo de la página oficial de la organización <https://energiasselecta.co/>

6.2.1. Misión de Energía Selecta

Impulsar la transición hacia un futuro sostenible mediante la producción de tecnologías limpias y eficientes, especializándonos en la fabricación de paneles solares de vanguardia, el asesoramiento integral en proyectos de autogeneración de energía, y la

creación de termo procesadores de pirólisis innovadores. Nos comprometemos a liderar el cambio hacia un mundo más verde, contribuyendo activamente a la conservación del medio ambiente y promoviendo el bienestar de las generaciones presentes y futuras (Energía Selecta, 2023).

6.2.2. Visión de Energía Selecta

Para el año 2030, Energía Selecta busca ser reconocidos globalmente como líderes en la industria de la energía sostenible, destacándonos por nuestra excelencia en la producción de paneles solares de alta eficiencia, servicios de asesoramiento de proyectos de autogeneración de energía y termo procesadores de pirólisis innovadores. En Energía Selecta, aspiramos a ser pioneros en soluciones energéticas limpias, transformando la manera en que el mundo genera y consume energía para crear un impacto positivo en el medio ambiente y en la calidad de vida de las comunidades que servimos (Energía, 2023).

6.2.3. Estrategia Corporativa

Compromiso Ambiental: Nos comprometemos a operar de manera sostenible, minimizando nuestro impacto ambiental y contribuyendo activamente a la conservación de los recursos naturales (Energía Selecta, 2023).

Innovación Tecnológica: Buscamos constantemente la excelencia a través de la innovación, desarrollando tecnologías avanzadas y eficientes que impulsen la transición hacia un sistema energético más sostenible (Energía Selecta, 2023).

Integridad Empresarial: Actuamos con honestidad y ética en todas nuestras operaciones, estableciendo relaciones sólidas y de confianza con nuestros clientes, colaboradores y socios (Energía Selecta, 2023).

Responsabilidad Social: Reconocemos nuestra responsabilidad en la sociedad y trabajamos para mejorar el bienestar de las comunidades a través de iniciativas de desarrollo sostenible y acceso a energía limpia (Energía Selecta, 2023).

Colaboración Global: Fomentamos la colaboración a nivel nacional e internacional, creando alianzas estratégicas que impulsen el avance conjunto hacia un futuro más sostenible (Energía Selecta, 2023).

En Energía Selecta, nos dedicamos a ser agentes de cambio positivo, guiados por la convicción de que la adopción de tecnologías limpias y la gestión sostenible de la energía son fundamentales para preservar nuestro planeta y mejorar la calidad de vida de las personas en todo el mundo (Energía Selecta, 2023).

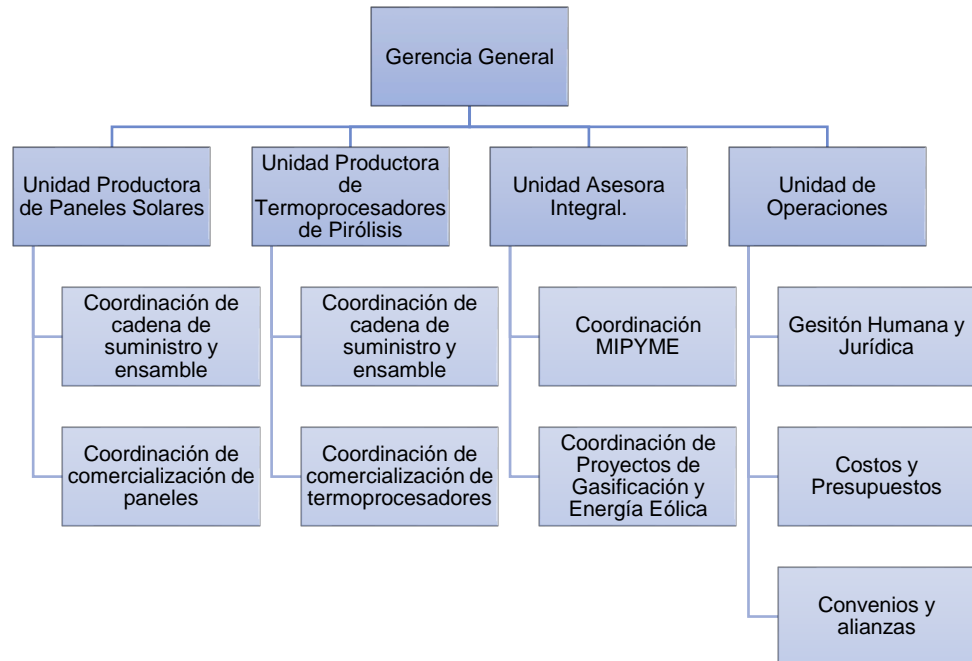
6.3. Estructura organizacional

Energía Selecta cuenta con una Gerencia General, Unidad productora de Paneles Solares, Unidad Productora de Paneles Solares, Unidad Productora de Termo procesadores de Pirólisis, Unidad Asesora Integral y Unidad de Operaciones. En consecuencia, la Unidad Productora de Paneles Solares y la Unidad Productora de Termo procesadores de Pirólisis, tienen su respectiva coordinación de la cadena de suministro, ensamble y comercialización. La Unidad Asesora Integral, es la encargada de ofrecer consultorías a pequeñas y medianas empresas, en materia de autogeneración de energía, analizando temáticas como la optimización de procesos para la recuperación de energía térmica, captura y utilización de gases, gestión de residuos, todo esto en el marco de la investigación, consideraciones ambientales y normativa vigente.

Finalmente, la Unidad de Operaciones cuenta con un equipo de gestión humana para los procesos de selección y análisis jurídicos, control de costos y desarrollo de

presupuestos, así como la gestión efectiva de convenios y alianzas. En la figura 4 se muestra la estructura organizacional de Energía Selecta.

Figura 4 Organigrama de Energía Selecta.



Fuente: (Energía Selecta, 2024)

6.4. Productos o servicios ofertados

La Unidad Productora de Termoprocесadores de Pirólisis, no solo se enfoca en la fabricación de equipos, sino que ofrecen soluciones integrales para aprovechar al máximo esta tecnología.

a. Equipos Avanzados:

Desarrollan y fabrican termo procesadores de pirólisis de última generación. Estos equipos son diseñados para la conversión eficiente de biomasa y residuos sólidos en productos valiosos como biochar, bioaceites, gases combustibles y combustibles derivados del plástico (Energía Selecta, 2023).

b. Coordinación de la Cadena de Suministro:

Desde la adquisición de materias primas hasta la entrega de sus termo procesadores, gestionan cuidadosamente toda la cadena de suministro. Aseguran la calidad de los componentes y materiales utilizados en la fabricación, garantizando un rendimiento óptimo de sus termo procesadores (Energía Selecta, 2023).

c. Ensamble Especializado:

Cuentan con instalaciones de ensamblaje especializadas y un equipo altamente capacitado para garantizar la integración perfecta de cada componente. Su proceso de ensamblaje sigue estrictos estándares de calidad, asegurando la confiabilidad y durabilidad de cada termo procesador que sale de sus instalaciones (Energía Selecta, 2023).

d. Comercialización y Soporte Técnico:

Más allá de la fabricación, se comprometen con la comercialización efectiva de sus termo procesadores. Ofrecen servicios de asesoramiento y soporte técnico continuo para garantizar que sus clientes maximicen los beneficios de la pirólisis energética, en sus operaciones (Energía Selecta, 2023).

e. Investigación y Desarrollo Continuo:

Están constantemente comprometidos con la innovación. Su equipo de I+D trabaja en la mejora continua de sus termo procesadores, incorporando avances tecnológicos y adaptándose a las últimas tendencias en sostenibilidad y eficiencia energética (Energía Selecta, 2023).

f. Capacitación Especializada:

Ofrecen programas de capacitación especializados para los operadores y personal técnico que trabajará con sus termo procesadores. Esto garantiza un manejo adecuado de los equipos y maximiza la eficiencia operativa (Energía Selecta, 2023).

g. Servicios de Mantenimiento Preventivo y Correctivo:

Su oferta incluye servicios de mantenimiento preventivo y correctivo para asegurar un rendimiento óptimo a lo largo del tiempo. Esto incluye inspecciones regulares, actualizaciones de software y reparaciones, si es necesario (Energía Selecta, 2023).

En resumen, en el marco de su compromiso con la excelencia, Energía Selecta no solo suministra termo procesadores de pirólisis, sino que ofrece una experiencia completa, desde la adquisición del equipo hasta su operación y mantenimiento continuo. Contar con sus termo procesadores es contar con el futuro de la gestión sostenible de residuos y la generación de energía. En la figura 5 se evidencian algunos equipos instalados en Colombia por la empresa Energía Selecta.

Figura 5 Termo procesadores de Energía Selecta.



Fuente: (EnergíaSelecta, 2024)

6.5. Análisis del sector

A nivel internacional, el mercado de aceite de pirólisis está experimentando un ascenso constante debido a la creciente demanda de fuentes de energía limpias y renovables, en 2023, el tamaño del mercado de aceite de pirólisis de residuos plásticos alcanzó los USD 641.1 millones y se espera que crezca a una tasa compuesta anual del 5,3% hasta 2032, alcanzando una proyección de valor de USD 1,02 mil millones, este crecimiento está respaldado por iniciativas gubernamentales favorables, urbanización rápida, y un aumento en la cantidad de residuos sólidos municipales (Gupta & Shukla, 2023). Por otro lado, el mercado global de aceite de pirólisis estaba valorado en USD 377,3 millones en 2023 y se anticipa que alcance los USD 595,4 millones para 2032, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 5,2%, este mercado se beneficia de la creciente preocupación ambiental y la necesidad de soluciones energéticas sostenibles (Report & Insights, 2024).

Entre los factores que impulsan este mercado global están las preocupaciones ambientales y las iniciativas gubernamentales que fomentan el uso de soluciones de energía limpia, sin embargo, la falta de infraestructura adecuada para la producción, almacenamiento y distribución del aceite de pirólisis es un desafío significativo que limita el crecimiento del mercado; además, la calidad del aceite de pirólisis, que puede ser ácida y dañar los sistemas de combustible, es otra preocupación (Market Data Forecast, 2024).

A nivel nacional aún no se encuentran cifras teniendo en cuenta que este mercado es aún incipiente en Colombia, sin embargo, el Análisis institucional y de las finanzas del sector ambiental colombiano para los años 2016-2020, cuenta que según la Ley 99 de 1993 a través de la cual se crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA), entendido como el compilado de normas, principios, recursos, programas y entidades para la promoción de los principios del desarrollo sostenible, que incluyen la proyección y uso de la biodiversidad, el derecho a una vida saludable, costos ambientales, herramientas económicas, patrimonio común y prevención de desastres; se establece el trabajo conjunto entre el Estado, la comunidad, el sector privado como es el caso de Energía Selecta y las ONG, como Conservación Internacional, Fundación Natura, Centro de Desarrollo Sostenible para América Latina, Parques Cómo Vamos, The Nature Conservancy (TNC), Conservación Internacional (CI), y World Wildlife Fund for Nature (WWF).

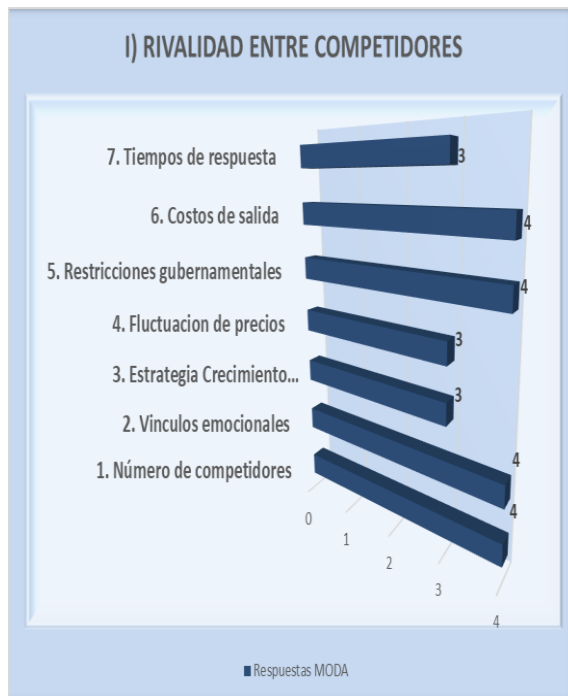
6.5.1. Análisis del Mesoentorno

El presente análisis está basado en la identificación de 5 fuerzas competitivas fundamentales: 1) Rivalidad entre competidores existentes, 2) Entrada potencial de

competidores nuevos, 3) Desarrollo potencial de productos sustitutos, 4) Poder de negociación de los proveedores y 5) Poder de negociación de los consumidores.

Figura 6

Diagrama de barras para describir la rivalidad entre competidores.



Fuente: Elaboración Propia

Rivalidad entre competidores en la industria de la pirólisis. Calificación: 3,5

Amenaza Baja

En Colombia, el principal competidor en la industria es Pyrcom, el cual estableció una alianza con Ecopetrol y Esenttia para el tratamiento de residuos plásticos y el posterior aprovechamiento y procesamiento de aceite pirolítico en la refinería de Barrancabermeja. Sin embargo, no tiene presencia en el municipio de Buenaventura.

Figura 7

Diagrama de barras para la describir la amenaza de entrada de nuevos competidores.



Fuente: Elaboración Propia.

Entrada de Nuevos

Competidores en la industria de la pirólisis.

Calificación: 4

Amenaza Baja

Se identifica a Veolia como posible nuevo competidor por su experiencia con una planta de pirólisis en Mosquera, sin embargo no tiene presencia en Buenaventura .

Desarrollo de Productos Sustitutos en la industria de la pirólisis.

Figura 8

Diagrama de barras para la describir el desarrollo de productos sustitutos.



Fuente: *Elaboración Propia.*

Calificación: 3,75

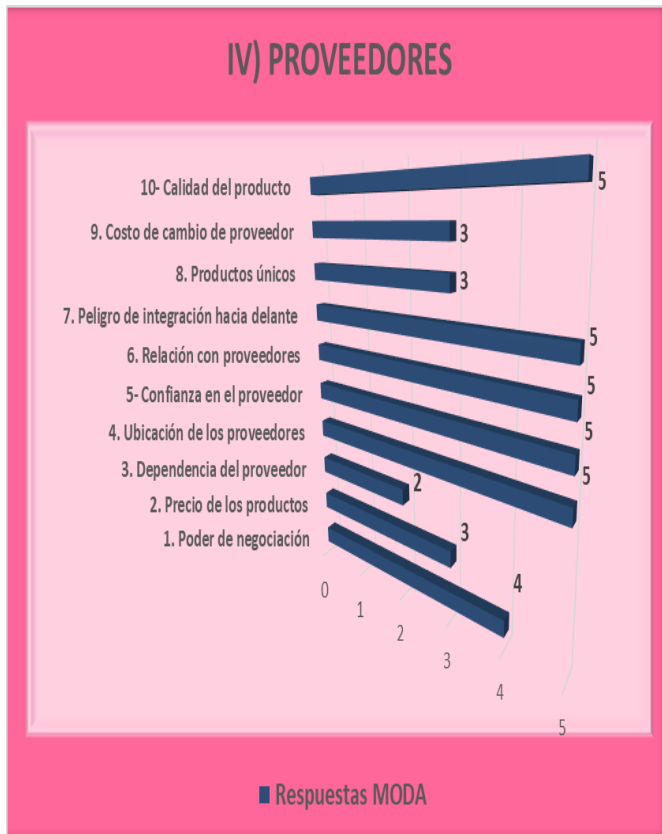
Amenaza Baja

Los productos sustitutos son los mismos compuestos generados desde la extracción de crudo; sin embargo, en Colombia actualmente, de acuerdo con políticas de estado, no se están otorgando permisos para nuevas exploraciones de pozos petroleros, lo que genera un efecto de escasez de crudo en el país, que se traduce en limitaciones de materias primas para la elaboración de combustibles e insumos para la industria de los plásticos.

Figura 9

Diagrama de barras para la describir el poder de negociación de los proveedores.

Calificación: 4



Fuente: Elaboración Propia

Poder de negociación de los proveedores en la industria de la pirólisis:

Amenaza Baja

En el puerto de Buenaventura se cuenta con una relación importante con la Asociación de Gestores Ambientales del Pacífico (ASOGESAMPA), quienes serían los principales proveedores, además de otros gestores independientes. De acuerdo con conversaciones previas, la asociación está dispuesta a vender el material separado a Energía Selecta, de acuerdo al estándar tarifario que convenga para todos.

Figura 10

Diagrama de barras para la describir el poder de negociación de los proveedores.



Fuente: Elaboración Propia.

Poder de Negociación de los clientes en la industria de la pirólisis.

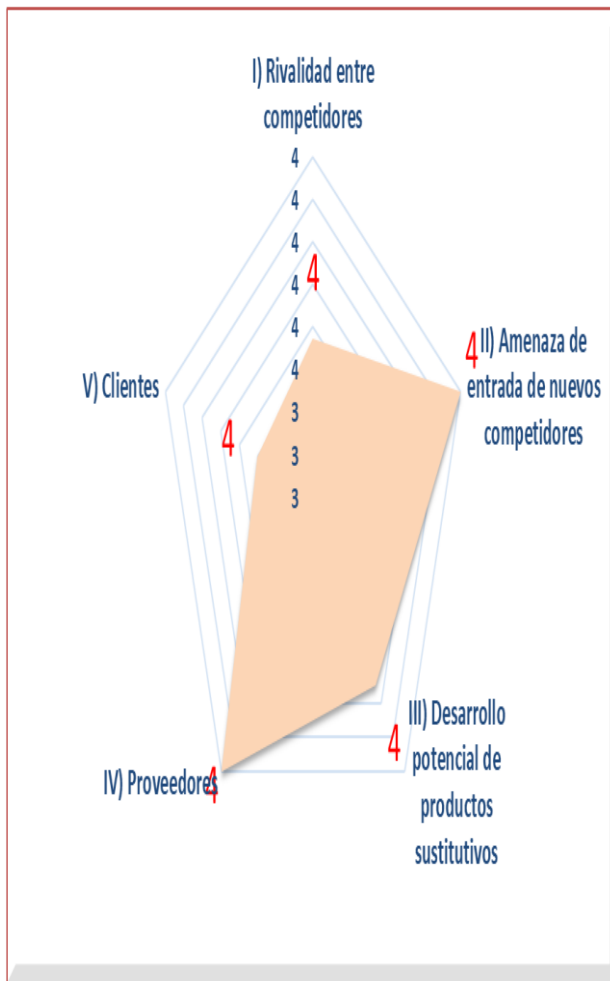
Calificación: 3,5

Amenaza Baja

Uno de los clientes del aceite pirolítico a nivel mundial es BASF Químicos; sin embargo, gracias a las buenas relaciones entre Energía Selecta y Ecopetrol, este último y su aliado Esenttia serían los mayores y principales compradores del aceite pirolítico y otros derivados del proceso de pirólisis de plásticos desarrollado en el municipio de Buenaventura.

Figura 11

Gráfica de radar para resumir los resultados del análisis Porter.



Resumen del análisis de Porter

Posición de la empresa: 3,76

De acuerdo con la gráfica y teniendo en cuenta las puntuaciones y apreciaciones en cada descripción de las 5 dimensiones, se puede evidenciar que en general existe un entorno favorable para el modelo de negocio. Es importante mencionar que las dimensiones menos fuertes; clientes y rivalidad entre competidores, se relacionan con una dependencia de Ecopetrol y su aliado Essentia como compradores a escala industrial.

Fuente: Elaboración Propia

7. Marco de Referencia

El marco de referencia proporciona una base conceptual y práctica que guía la implementación de tecnologías de valorización de residuos en Buenaventura. Este enfoque se fundamenta en los principios de desarrollo sostenible y su progresión hacia prácticas de restauración ecológica, lo cual permite optimizar los procesos de gestión de residuos mediante el uso eficiente de los recursos y la minimización de impactos ambientales.

7.1. Del Desarrollo sostenible a la Restauración ecológica

La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo define el desarrollo sostenible como la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Naciones Unidas, 1987). A partir de allí, el desarrollo sostenible es el principio rector para el desarrollo mundial. Para lograr este objetivo, el desarrollo sostenible se debe cimentar en tres pilares: el desarrollo social, el desarrollo económico y la protección del medio ambiente.

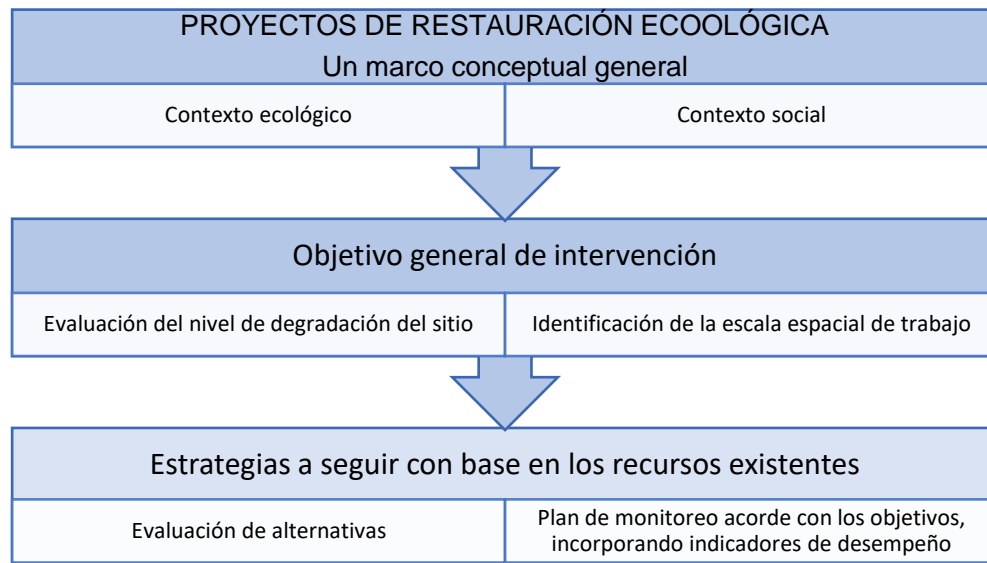
Otro momento cumbre del desarrollo sostenible tuvo lugar en el encuentro internacional Rio+20 en el 2012, una conferencia de desarrollo sustentable organizada por las Naciones Unidas. Allí fue el lanzamiento del proceso de establecimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que significaría la fusión del proceso internacional hacia el desarrollo sostenible con la agenda internacional de desarrollo para el período post-2015, dando un paso importante hacia la real integración del desarrollo sostenible como concepto orientador, más allá de las instituciones ambientales y el discurso (CEPAL, 2012).

Para responder a esta directriz global, enfocada en el desarrollo social, económico y del medio ambiente, nuestro proyecto responde a varios ODS como Agua limpia y saneamiento; Energía asequible y no contaminante; Industria, innovación e infraestructura; Producción y consumo responsables; entre otros. Para alcanzar estos objetivos, que hacen parte de una agenda internacional, proponemos realizar una Restauración Ecológica en la zona de Buenaventura donde, apoyados por el proceso de pirólisis, se dé un mejor manejo a todos los residuos plásticos de la zona.

La Restauración Ecológica, de aquí en adelante RE, es todo un paso a paso para crear proyectos favorables a nuestro ecosistema. La RE se define como la aplicación de técnicas y estrategias tendientes al restablecimiento parcial o total de la estructura y función de los ecosistemas disturbados (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, 2003). En ese orden de ideas, una propuesta de pirólisis para el aprovechamiento de residuos es una estrategia que, podría llegar a restablecer las funciones del ecosistema de Buenaventura que se han visto afectadas por la mala administración de residuos. Para la planeación, implementación y evaluación de la RE se pueden tener en cuenta los elementos presentados en la ilustración referida en la figura 12.

Figura 12

Pasos para la generación de proyectos en el marco de la restauración Ecológica.



Fuente: (Vargas, 2007)

Según la Guía Metodológica para la Restauración del Bosque Altoandino, muchas áreas en el mundo están tan alteradas que ya es difícil hablar de restauración y se pueden emprender otras acciones como la rehabilitación, la reclamación o reemplazo y la revegetalización. En general el concepto de restauración abarca o incluye actividades como la rehabilitación o reemplazo (Vargas, 2007). Es importante esta aclaración ya que la RE no es solo restablecer parcial o totalmente una función disturbada, la RE muchas veces implica otros caminos: se regresa a un estado de utilidad, mas no a un estado original y primitivo.

Para terminar, las cinco fases claves en este tipo de proyectos pueden ser, según Vargas (2007):

- Identificar y tratar las causas y procesos responsables de la degradación del ecosistema.
- Definir en forma realista los objetivos y sus formas de evaluación.
- Desarrollar metodologías para implementar tales objetivos.

- Incorporar las metodologías desarrolladas en las prácticas de manejo ecosistémico.
- Evaluar el grado de éxito y monitorear el curso de la restauración.

7.2. Generación de residuos

En el amplio campo de la gestión ambiental, uno de los temas más críticos y debatidos es la generación de residuos, pues este concepto no sólo se centra en la acumulación cuantitativa de desechos generados por actividades humanas, sino que también abarca las implicaciones socioeconómicas, culturales y ambientales inherentes a este fenómeno; diversos autores han explorado esta temática desde múltiples ángulos, proporcionando una amplia variedad de interpretaciones y definiciones que reflejan la complejidad desde la que puede interpretarse el tema, al analizar las definiciones de generación de residuos desde la mirada de diferentes expertos, se revelan no sólo sus distintas perspectivas, sino también la evolución del pensamiento en torno a la gestión de residuos y su impacto en la sostenibilidad ambiental.

La generación de residuos se define como la cantidad total de residuos producidos por actividades humanas en un área específica durante un período determinado (Szanto y otros, 1998). Esta definición enfatiza la importancia de medir y caracterizar los residuos de manera precisa, teniendo en cuenta factores como la densidad de población, los patrones de consumo y las diferencias estacionales.

Este enfoque permite no solo comprender la magnitud de los residuos generados, sino también analizar las influencias subyacentes de las prácticas humanas; de este modo, la perspectiva de los autores resalta cómo el estilo de vida y las actividades económicas impactan directamente en la generación de residuos, ofreciendo una base

para desarrollar estrategias de gestión de residuos más efectivas y adaptadas a cada contexto.

El estilo de vida actual, basado en el consumo y desperdicio contribuye a la acumulación de residuos, haciéndolo un proceso inevitable, un flujo constante de materiales desechados que refleja la cultura del uso y desuso, traduciendo prácticas cotidianas en residuos (Royte, 2006). Cada producto que se compra, cada envase que se descarta y cada artículo que se considera obsoleto, contribuye a una montaña creciente de basura, de este modo pone especial énfasis en cómo la sociedad moderna, distraída en los bienes de consumo y la obsolescencia planificada, genera una cantidad enorme y siempre creciente de residuos, este enfoque es tanto un comentario sobre el consumismo como una exploración del impacto ambiental del mismo, invitando a los lectores a reflexionar sobre su propio papel en la generación de residuos y las posibles vías hacia una gestión más sostenible y consciente de los mismos.

La generación de residuos, desde una perspectiva crítica y holística del sistema de producción y consumo global; se define como el final inevitable de un sistema de producción lineal donde los bienes son **extraídos**, producidos, consumidos y desechados sin considerar la sostenibilidad, un modelo económico lineal, los recursos se extraen a un ritmo insostenible, se transforman en productos a menudo diseñados para tener una vida útil limitada, y luego se desechan, creando un flujo continuo de residuos, de modo que este proceso está impulsado por una cultura de comprar y tirar que valora la novedad y el consumo sobre la durabilidad y la sostenibilidad; además, la falta de responsabilidad de los productores en el manejo de los residuos generados por sus productos, poniendo la carga en los consumidores y en los sistemas de gestión de residuos públicos (Leonard, 2007).

7.3. Disposición de residuos

El concepto de acumulación de residuos se centra en cómo los procesos de producción y consumo tradicionales conducen a una acumulación insostenible de residuos. Una solución radical a este problema puede lograrse a través de un enfoque de diseño que elimine la noción de residuos por completo. En el modelo convencional de la cuna a la tumba, los productos se fabrican, se usan y luego se desechan, lo que lleva a una acumulación constante de residuos; este ciclo lineal resulta en la creación de enormes cantidades de desechos que a menudo terminan en vertederos o contaminando el medio ambiente, de modo que la acumulación de estos residuos no solo representa un problema ambiental, sino también una pérdida de recursos valiosos (McDonough & Braungart, 2003).

Rediseñar los productos y sistemas de tal manera que imiten los ciclos cerrados encontrados en la naturaleza, puesto que en ella no existe el residuo como tal; los subproductos de un organismo o proceso se convierten en nutrientes o insumos para otros. Aplicando este principio al diseño industrial, los productos se crean con la intención de que, al final de su vida útil, puedan descomponerse de manera segura y volver a ser utilizados, ya sea como nutrientes biológicos que se reintegran al medio ambiente o como insumos técnicos que se reciclan en nuevos productos.

Este enfoque reduce significativamente la acumulación de residuos, ya que los materiales se mantienen en un ciclo de uso continuo, eliminando la noción tradicional de residuos y reemplazándola con un flujo circular de materiales; así, en lugar de acumular residuos, se acumulan recursos que se pueden reutilizar de manera eficiente y sostenible (Fundación General de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2021). Esta propuesta es revolucionaria, en el sentido de que se propone no solo reducir la acumulación de

residuos, sino rediseñar los sistemas de producción y consumo para que la acumulación de residuos tal como la conocemos deje de existir.

Por otra parte, el concepto de acumulación de residuos desde una perspectiva global e interconectada; los residuos se acumulan no solo como un subproducto de las sociedades de consumo, sino también como una mercancía valiosa en la economía global y explora la idea de que la acumulación de residuos no es simplemente un problema de desechos descontrolados, sino un complejo entramado económico y social, mostrando cómo lo que se considera residuos en un lugar puede transformarse en un recurso valioso en otro, destacando la cadena de valor de los residuos a nivel mundial (Minter, 2013). Aunque la acumulación de residuos es un problema ambiental significativo, también representa una oportunidad económica, de modo que se adentra en el mundo del reciclaje y la reutilización de residuos, mostrando cómo estos procesos pueden convertir lo que se acumula como desecho en materiales útiles y rentables; su enfoque no solo se limita a criticar las prácticas actuales de manejo de residuos, sino que también ofrece una visión de cómo la acumulación de residuos puede gestionarse de manera más eficiente y sostenible a nivel global.

El 62% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero provienen de la economía basada en la producción de materiales, que abarca desde su extracción hasta su disposición final. En los inventarios nacionales, estas emisiones se distribuyen entre los sectores industrial, agrícola, de transporte, energético y de residuos. No obstante, al reducir la generación de residuos y aplicar estrategias de gestión más eficaces, sería posible evitar emisiones a lo largo de todo el ciclo de vida de los materiales, desde su obtención hasta el final de su uso. Esto destaca que el potencial de mitigación del sector de gestión de residuos ha sido considerablemente subestimado (Global Alliance for Incinerator Alternatives [GAIA], 2022).

Finalmente, la importancia de entender la acumulación de residuos no solo como un desafío ambiental, sino también como un fenómeno influenciado por factores políticos, económicos y sociales, pone especial énfasis en los impactos ambientales y sociales de los vertederos y sitios de disposición de residuos, señalando cómo estos afectan desproporcionadamente a las comunidades más vulnerables, especialmente en países en desarrollo; además, examina el papel crucial que juegan las políticas y regulaciones en la gestión eficaz de la acumulación de residuos, y cómo la innovación tecnológica puede ofrecer soluciones prometedoras para el reciclaje y la conversión de residuos en energía (O'Neill, 2019). Representando una crítica a la cultura de consumo actual, sugiriendo que es una causa raíz de la creciente acumulación de residuos, y aboga por un cambio hacia patrones de consumo más sostenibles. Además, promueve la idea de la economía circular como un modelo viable para reducir la generación de residuos y minimizar su impacto ambiental.

7.4. Sobre los plásticos de origen fósil y el proceso de la pirólisis

Después de un estancamiento en 2020 debido a la pandemia del COVID-19, en 2021 la producción de plásticos a escala mundial aumentó hasta los 390,7 millones de toneladas (Europe Plastics, 2022). Lo más preocupante de este dato es que la mayoría de esos millones de toneladas son aún plásticos de origen fósil, es decir, que para su producción requiere de procesos con elementos que se encuentran a gran profundidad bajo tierra tales como el petróleo, el carbón o el gas natural: fuentes no renovables, además, distingue entre los distintos tipos de plásticos producidos al menos hasta el 2021 donde el 90,2% de la producción mundial de plásticos era de origen fósil. Los plásticos reciclados post-consumo y los plásticos de origen biológico/bioatribuidos

representaron, respectivamente, el 8,3% y el 1,5% de la producción mundial de plásticos.

Los plásticos reciclados post-consumo son todos aquellos plásticos que son producidos gracias a la desviación de varios materiales recolectados como desechos y empleados como materia prima para la producción de un nuevo envase. Los plásticos de origen biológico/bioatribuidos son todos aquellos que están producidos con materiales biológicos o plantas en lugar de petróleo.

La situación en Colombia sigue siendo preocupante, a pesar de que ya se han tomado acciones como el Pacto por los Plásticos. La cual es una iniciativa que promueve un modelo de economía circular a partir de una plataforma colaborativa en donde las empresas de toda la cadena de valor del plástico, academia, Gobierno y sociedad civil abordan la problemática de la contaminación de este material, redirigiendo la producción y su respectivo manejo hacia la eliminación, el reciclaje, la reutilización, el compostaje y el incremento de material reciclado en artículos nuevos (WWF, 2023).

En Colombia, se generan anualmente alrededor de 700.500 toneladas de envases y empaques plásticos, y solo el 30% es reciclado en nuevos empaques (WWF, 2023).

Los polímeros se pueden agrupar de acuerdo con su comportamiento térmico-mecánico, así:

Tabla 2 Descripción de plásticos aptos para tratar a través de pirólisis.

Tipos	Clasificación
Termoplásticos	Policloruro de vinilo (PVC) Poliestireno

	Polietileno
	Polipropileno
	Polibuteno
Elastómeros	Cauchos
	Gomas
	Látex
	Polisopreno
Termoestables	Las resinas
	Fenoplásticos o plásticos de Fenol
	Formaldeído

Fuente: (Chela, Figueroa, 2021)

En consecuencia, el proceso de aprovechamiento de plásticos de origen fósil mediante la pirólisis cobra gran importancia: su ejecución y estandarización facilitara la toma de acciones concretas y sostenibles frente a la gran cantidad de envases desechados.

Es importante generar estrategias para la mitigación del impacto de la acumulación de plásticos en este momento en Colombia, y más en una zona tan álgida como lo es el puerto de Buenaventura. La relación con el océano es vital para todo el país. En un escenario como el actual, se espera que el océano contenga 1 tonelada de plástico por cada 3 toneladas de peces para 2025, poniendo en riesgo nuestra seguridad alimentaria y repercutiendo en actividades económicas como la pesca y el turismo (Wrap, s. f.). Ahora, la pirólisis como proceso de degradación de los materiales orgánicos involucra la ruptura de enlaces, endotérmicos mediante el efecto del calor y en ausencia de oxígeno produciendo moléculas más pequeñas de cadenas carbonadas (Aquino,

2021). Este proceso tiene como principal aspecto, la temperatura dependiendo del resultado que se desee: un producto sólido, líquido o gaseoso.

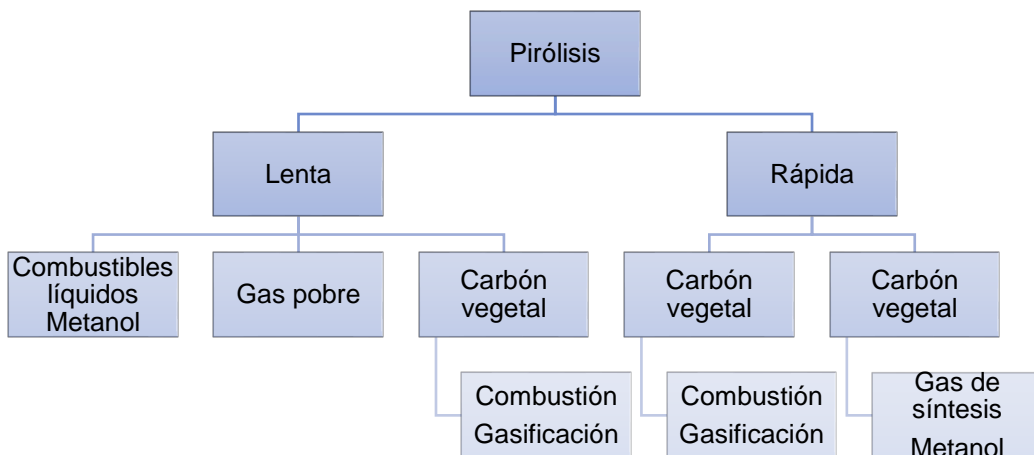
La temperatura, puede tener tres etapas. La primera que comprende entre los 220°C y 330°C donde se obtienen productos sólidos. La segunda que comprende entre los 330°C y 450°C donde se obtienen productos líquidos. Y la tercera que supera temperaturas de 500°C donde se obtienen gases, siendo determinante para la viabilidad del proyecto ya que determina el funcionamiento mecánico y la utilidad del reactor. En conclusión, siempre se podrán producir estos tres productos, pero las proporciones y los objetivos pueden variar ampliamente dependiendo de los parámetros de uso y del reactor; sin embargo, la pirólisis rápida es de particular interés y aprovechamiento (Bridgwater, 2012).

Ahora, ¿por qué la pirólisis en residuos plásticos y no en otros? Como ya se explicó, la mayoría de los envases plásticos que encontramos como desechos son polímeros de origen fósil. Al ser polímeros son derivados del petróleo y cumplen con unas características esenciales, los polímeros son livianos y poseen densidades inferiores de 1.000 kg/m³ comparados con las del vidrio o aluminio entre 2.200 kg/m³ o el acero de 7.800 kg/m³ (SENA, 2023) esto hace que sean materiales sensibles a las transformaciones y fáciles de manipular mediante procesos más o menos simples o, mejor aún, un procesamiento bajo en consumo de energía.

Al observar la clasificación de la tabla 2, concluimos que todo el grupo de termoplásticos son aptos, por sus propiedades mencionadas anteriormente, para el reciclaje y/o el aprovechamiento de sus componentes. En el proyecto se propone un proceso de reciclaje químico que consiste en aprovechar la química del residuo plástico para obtener productos combustibles. Además, transforma las largas cadenas poliméricas en cadenas de hidrocarburo más livianas (Chela, Figueroa, 2021). En el

siguiente esquema expresado en la figura 13 podemos ver todos los posibles y ventajosos productos que resultan de la pirólisis:

Figura 13 Descripción de los productos obtenidos del proceso de pirólisis.



Fuente: (Chela, Figueroa, 2021)

Dicho esto, existe la tendencia a catalogar los tipos de pirólisis entre: pirólisis lenta y pirólisis rápida, dependiendo de las velocidades del calentamiento, el tiempo del proceso, la presión de trabajo, la temperatura interna del reactor, la temperatura ambiente y algunos otros parámetros que van a depender del tipo de material que va a ser sometido a pirólisis, tales como la humedad, el tipo de presentación en fardos, escamas, molido y en general de la densidad aparente del material con que alimentamos el reactor.

Esta clasificación tradicional del tipo de pirólisis, pierde su importancia cuando se debe enfrentar a un proceso industrial. El objetivo en el proceso industrial es la alimentación con fórmula o mezcla del reactor, la estandarización de los parámetros del proceso y del batch o lote de producción y la normalización de los productos de salida.

De todas formas, si se quiere catalogar entre lenta o rápida la pirólisis de Energía Selecta debería ser catalogada como rápida (Fonseca, 2023).

En el caso de los plásticos, con el fin de estandarizar los productos de salida, Energía Selecta está desarrollando un batch de 10 horas de duración, en los cuales: 1 hora es de cargue del reactor, 1 de calentamiento, 4 de proceso a 420 Grados centígrados, 3 de enfriamiento del reactor y 1 de descargue. Hoy, los batches son de 12 horas, pero el tratar de reducir este tiempo redundaría en la eficiencia económica y operativa del proceso industrial de pirólisis (Fonseca, 2023).

A continuación, se presenta la fórmula que se está utilizando para obtener los mejores resultados con combustible muy parecidos a la gasolina: 47% Polietileno de Alta Densidad, 25% Polietileno de Baja Densidad y 28% Polipropileno. Esta fórmula tiene su origen en investigaciones hechas por la empresa consultora Dr. Calderón Laboratorios en 2016, esta empresa es aliada estratégica de Ecopetrol y de Energía Selecta en el ámbito de la pirólisis, ya que se ajusta a las necesidades y normalizaciones de los combustibles en Colombia, contando con la certificación ISO 9001:2015 con el número de registro CO 18.00546.

Para Energía Selecta, los plásticos son empacados en fardos comprimidos con plástico en láminas como bolsas, lo más limpias que se pueda lograr, con poco nivel de humedad y durante el proceso la presión de trabajo nunca pasa de 2 libras por pulgada cuadrada, para garantizar la seguridad de los operarios que deben estar cerca a la máquina durante todo el proceso (Fonseca, 2023).

De acuerdo con el proceso descrito anteriormente se obtienen un 10% de Gas Sintético o Syngas, 51% de combustóleo, 29% de parafina, 5% de carbonilla y 10% de vapor de agua. El Syngas se utiliza para realimentar el proceso térmico (Fonseca, 2023).

Al observar todas estas temáticas, podemos concluir que el aprovechamiento de desechos constituidos por polímeros sí acarrea un beneficio a corto y largo plazo. En cuanto a lo inmediato, todo este proceso generará un beneficio en combustible, ya sea gaseoso o líquido, que puede generar una ganancia y un impacto positivo en nuestra relación frente a las fuentes de energía. En cuanto al largo plazo, el aprovechamiento de los polímeros apunta a un objetivo global: el desarrollo sostenible, la protección de la naturaleza y sus ecosistemas y la salvaguarda de los ODS.

7.5. Pirólisis de plásticos

La creación de materia prima a partir de plástico mediante el proceso de pirólisis es un enfoque tecnológico que busca la conversión de desechos plásticos en recursos aprovechables; este método involucra una secuencia de etapas fundamentales que transforman los desechos plásticos en aceite, gas y carbón, lo que abre nuevas perspectivas para abordar el problema global de la acumulación de plásticos y promover la sostenibilidad (Biakhmetov, 2023).

En primer lugar, se realiza la preparación de la alimentación del sistema, donde los residuos plásticos, generalmente de origen municipal, se someten a una selección y trituración; esto tiene como objetivo eliminar cualquier material no deseado o contaminante y reducir los plásticos a partículas más pequeñas para facilitar su procesamiento posterior; la etapa esencial de la pirólisis se lleva a cabo en un reactor especialmente diseñado, en este ambiente controlado, los plásticos se someten a altas temperaturas, típicamente en un rango de 300°C a 800°C. Lo distintivo de este proceso es la atmósfera sin oxígeno en el reactor, lo que evita la combustión de los plásticos y su conversión en cenizas, en cambio, los plásticos se descomponen en sus componentes

básicos: aceite, gas y carbón. El aceite producido en esta fase, conocido como aceite pirolítico, se asemeja al petróleo crudo; este aceite es el producto más valioso de la pirólisis y tiene diversas aplicaciones potenciales, dado que puede ser refinado para cumplir con especificaciones particulares y servir como materia prima en la fabricación de nuevos plásticos, teniendo en cuenta que esta aplicación, puede tener un costo elevado debido al tratamiento adicional de parafinado que se debe realizar posterior a la reversión química, así como su operación logística, sin embargo, en este punto no se analizará su costo, se expresa que técnicamente es posible realizarlo; también puede transformarse en combustible, ya sea como parte de una mezcla con combustibles convencionales como el Diesel o la gasolina, o incluso como un combustible independiente.

Además del aceite, también se genera un gas combustible durante la pirólisis, este gas posee un alto potencial energético y puede utilizarse para generar calor o electricidad, contribuyendo así a la producción de energía sostenible; el residuo sólido que resulta después del proceso de pirólisis se llama carbón o biochar. A pesar de su apariencia simple, el carbón pirolítico es un material versátil y puede utilizarse como adsorbente para eliminar contaminantes del agua o como enmienda para mejorar la fertilidad del suelo agrícola.

Es importante destacar que los productos generados durante la pirólisis a menudo requieren procesos adicionales de purificación y mejora para eliminar impurezas y cumplir con las especificaciones deseadas; esto puede incluir técnicas de destilación y purificación química; en este sentido, los autores expresan que la pirólisis ofrece una solución prometedora para abordar el creciente problema de los residuos plásticos, transformándolos en recursos valiosos y contribuyendo a la economía circular; sin embargo, es esencial considerar factores como la composición de los plásticos y las

condiciones de operación para determinar la eficacia y viabilidad económica de este proceso en aplicaciones específicas.

El proceso de pirólisis como una innovadora técnica para transformar residuos plásticos en materias primas valiosas; la pirólisis, en esencia, es un proceso termoquímico que opera en ausencia de oxígeno y se basa en el calentamiento rápido de los plásticos, este calor intenso provoca la descomposición de las largas cadenas de polímeros presentes en los plásticos, dividiéndolas en hidrocarburos más cortos y otras sustancias (Antzela Fivga, 2018).

Este proceso de pirólisis se divide en cuatro etapas fundamentales: iniciación, transferencia, descomposición y terminación, a lo largo de estas etapas, se generan vapores de pirólisis que comprenden tanto gases que pueden condensarse como gases no condensables; la condensación de estos vapores condensables da lugar a la formación de una sustancia conocida como cera/aceite de pirólisis, esta cera/aceite es el producto principal de la pirólisis y es extremadamente versátil en su uso.

Por un lado, la cera/aceite de pirólisis se presenta como un sustituto viable del aceite pesado en aplicaciones de combustible, lo que abre la puerta a su uso en motores y calderas industriales; por otro lado, esta materia prima también encuentra su utilidad en la industria petroquímica, donde puede servir como insumo para la producción de una amplia variedad de productos químicos y compuestos, este enfoque dual de la pirólisis, tanto como una solución de gestión de residuos plásticos como una fuente de materias primas, agrega un valor significativo al proceso.

Como ejemplos de la aplicación de esta tecnología en el centro de Ludwigshafen, Alemania, existe Badische Anilin- und Soda-Fabrik, una empresa química que desarrolla el proyecto de pirólisis de plásticos ChemCycling, a través del cual, producen carros de compra denominados Ecocart E-180 que son vendidos a cadenas de supermercados y el

resto de aceite generado en el proceso de pirólisis es vendido a empresas que lo utilizan como sustituto del Diesel, esta dinámica comercial está operando desde el año 2020, promoviendo el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como el consumo y la producción sostenible (ODS 12), la acción climática (ODS 13), energía asequible y no contaminante (ODS 7), trabajo decente y crecimiento económico (ODS 8), industria, innovación e infraestructura (ODS 8) (Fundación General de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2021).

La reutilización de plástico y el reciclaje, entre ellos el químico, crea alrededor de 70 veces más empleos que la disposición final de residuos y la incineración, por ejemplo, en São Paulo, Brasil, la cooperativa de Recicladores YouGreen, se encarga de recolectar, clasificar y analizar los flujos de residuos plásticos, generando 292 empleos, en Goa, India, la empresa VRecycle contrata a antiguos recicladores informales para los servicios de recolección del reciclaje, selección, y educación, generando 140 puestos de trabajo (Global Alliance for Incinerator Alternatives [GAIA], 2022).

8. Diseño Metodológico

Este estudio organiza su diseño metodológico para definir el enfoque, las herramientas y los pasos requeridos en el desarrollo y evaluación de un modelo de aprovechamiento de residuos plásticos mediante pirólisis en Buenaventura. Con un enfoque práctico, esta metodología no solo pretende diseñar un modelo operativo sostenible, sino también ofrecer una solución concreta a la problemática de residuos en el municipio de Buenaventura. Para ello, incluye un análisis bibliométrico para identificar investigaciones previas sobre pirólisis y un análisis situacional en Buenaventura basado en fuentes primarias y secundarias, detallando los aspectos fundamentales de la generación y disposición de residuos. Esta estructura metodológica garantiza que cada

fase del proyecto esté enfocada en una implementación efectiva y sostenible del modelo, integrando tanto elementos teóricos como prácticos en la gestión de residuos a partir de pirólisis.

8.1. Tipo de investigación

Se trata de una investigación aplicada, ya que busca desarrollar un modelo concreto de aprovechamiento de residuos plásticos mediante la tecnología de pirólisis en el municipio de Buenaventura, con el objetivo de abordar un problema ambiental y proporcionar una solución práctica, también, es una investigación teórica que incluye una revisión bibliométrica de la pirólisis y una revisión bibliográfica del estado actual de residuos en Buenaventura.

Primero, se desarrolla un análisis bibliométrico que dará cuenta de los documentos que existen alrededor de la temática de literatura de pirólisis de plásticos, dando cuenta del interés investigativo en esta temática a través de los siguientes pasos:

1. Identificación de Bases de Datos: Seleccionar bases de datos académicas relevantes (algunas de las más relevantes que se podrían considerar en principio son Scopus, Web of Science, Google Académico, EBSCO) para buscar artículos científicos y trabajos académicos relacionados con pirólisis de plásticos y la gestión de residuos plásticos.

2. Definición de Términos de Búsqueda: Desarrollar una lista de términos de búsqueda relevantes, como "pirólisis de plásticos", "residuos plásticos", "aprovechamiento de plásticos", etc.

3. Presentación de Datos: Realizar búsquedas en las bases de datos utilizando los términos de búsqueda y recopilar los resultados, incluyendo metadatos como título, autor, fuente, año de publicación y citas, con el fin de evaluar el interés

investigativo al respecto de la pirólisis de plásticos y que tanto se ha escrito al respecto en el contexto de los objetivos de este proyecto de investigación.

Para la medición de esta primera temática, el desarrollo del análisis bibliométrico, se da a partir de la aplicación de la escala de Likert, con las fuentes de información al respecto de la literatura sobre pirólisis de plásticos, se emplea la estructura de la ficha documental como herramienta altamente efectiva para evaluar y recopilar información relevante de fuentes bibliográficas, por otro lado, la inclusión de una escala Likert en cada pregunta permite que el investigador asigne una calificación numérica que refleja el grado de relevancia de la fuente en relación con cada variable de estudio, esto proporciona una medida cuantitativa de la utilidad de cada fuente para cumplir con los objetivos de investigación, además, la escala de Likert facilita la comparación y clasificación de las fuentes en función de su importancia relativa, sin embargo, lo que hace que esta ficha sea aún más efectiva es la inclusión de conversaciones abiertas después de cada pregunta, estos espacios permiten al investigador registrar información adicional o detalles específicos que no pueden ser capturados mediante una escala de Likert, esto es particularmente valioso en el contexto de una revisión bibliográfica, donde las fuentes pueden variar ampliamente en términos de contenido y enfoque.

Dado que no todas las fuentes proporcionarán la misma información, la capacidad de registrar detalles adicionales brinda flexibilidad y permite que el investigador capture de manera efectiva los matices y las particularidades de cada fuente, esto es esencial para comprender completamente el panorama y extraer la información más relevante para cumplir con los objetivos del proyecto. El instrumento construido se presenta en el Anexo a.

A continuación, se describen brevemente las preguntas que se usaron para el estudio bibliométrico y su importancia en el contexto del proyecto de investigación:

Literatura sobre Pirólisis de Plásticos para el Diseño del Modelo

Pregunta 1: Evalúa si la fuente proporciona información esencial para el diseño del modelo de aprovechamiento de residuos plásticos a través de pirólisis. Esta pregunta es fundamental, ya que se centra en la adquisición de conocimientos clave necesarios para la construcción del modelo.

Pregunta 2: Analiza si la fuente presenta investigaciones científicas que respalden la viabilidad de pirólisis como método de aprovechamiento. Esto es esencial para fundamentar el modelo en evidencia científica sólida.

Pregunta 3: Indaga si la fuente incluye recomendaciones prácticas relacionadas con la pirólisis de plásticos en el contexto de Buenaventura. Estas recomendaciones pueden ser valiosas para guiar el diseño y la implementación del modelo.

Pregunta 4: Examina si la fuente menciona los desafíos y consideraciones clave para el diseño del modelo de pirólisis. Esto ayudará a identificar posibles obstáculos y riesgos que deben abordarse en el modelo.

Pregunta 5: Investiga si la fuente aporta información sobre posibles aplicaciones y beneficios económicos de la pirólisis en Buenaventura. Esto es relevante para comprender cómo el modelo puede generar impactos económicos positivos en la región.

Segundo, se desarrolla un análisis bibliográfico para entender el contexto de la aplicación de la pirólisis en el municipio de Buenaventura, se emplea un análisis PESTAL

(acrónimo de Político, Económico, Social, Tecnológico, Ambiental y Legal) como una herramienta integral y completa para evaluar el entorno externo en el contexto del proyecto de aprovechamiento de residuos plásticos a través de pirólisis en Buenaventura.

Asimismo, a través de una matriz DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas), como herramienta fundamental que resumirá toda la información obtenida a partir de la revisión documental, para analizar el contexto interno del proyecto y la organización. Tanto la matriz DOFA como el análisis PESTAL tienen como fin presentar los datos de las variables relacionadas con el estado actual de generación, disposición y aprovechamiento de residuos plásticos en Buenaventura.

Teniendo en cuenta la limitación frente a la información actualizada en el análisis bibliográfico, a partir de fuentes secundarias, al respecto de los actores y/o proveedores de plásticos reciclados en Buenaventura, se realizó una revisión a partir de fuentes primarias, la cual incluye dos entrevistas, con preguntas que fueron validadas por el grupo asesor de gerencia de Energía Selecta; una aplicada a la Asociación de Gestores Ambientales del Pacífico, (Asogesampa), bajo la comprensión de, ser la entidad privada que recupera más de cuatro (4) toneladas de plástico al mes en el Pacífico colombiano (Conservación Internacional, 2023) y otra al Establecimiento Público Ambiental de Buenaventura (EPA), como el ente gubernamental de carácter ambiental con principal injerencia en la toma de decisiones al respecto de la construcción de los instrumentos de planificación ambiental como el Plan de Gestión de Residuos Sólidos PGIRS de Buenaventura y el componente de medio ambiente dentro de la aprobación del Plan de Desarrollo (EPA, 2022).

Tercero, se recurre a la información proporcionada por Energía Selecta y a partir de la información recolectada, se presenta el modelo operativo de un proyecto de pirólisis

en Buenaventura. Cuarto, a través de un Diagrama Gantt y el estimado de costos de inversión se da el resumen teórico o de actividades del proyecto.

En cuanto al grado de profundidad, se trata de una investigación descriptiva, ya que se enfoca en describir detalladamente la situación actual de la gestión de residuos plásticos en Buenaventura y proponer un modelo específico para su aprovechamiento. Toma datos de informes oficiales y de los proyectos realizados por Energía Selecta, ya que no hay procesos de experimentación, ni análisis correlacionales o similares, en conjunto, los objetivos apuntan a crear un entendimiento detallado y descriptivo de cómo se pueden aprovechar los residuos plásticos para la generación de materias primas mediante la pirólisis en un contexto específico, utilizando métodos que describen y documentan el fenómeno en estudio; esto es característico de las investigaciones descriptivas, que buscan ilustrar, clasificar o especificar fenómenos sin necesariamente adentrarse en probar relaciones causales, tiene un componente exploratorio; en un nivel descriptivo, se busca comprender y documentar exhaustivamente el estado actual de la gestión de residuos plásticos en el municipio de Buenaventura, incluyendo la cantidad de residuos generados, los métodos de disposición y sus impactos ambientales, esto implica la recopilación y análisis de datos con el fin de proporcionar una visión completa y precisa de la situación.

Con relación a las fuentes de datos, se empleará una metodología mixta, lo que significa que combina tanto enfoques cuantitativos como cualitativos para obtener una comprensión más completa de la problemática y para desarrollar propuestas efectivas. Desde el enfoque cuantitativo se buscará recopilar datos numéricos y estadísticos relacionados con la generación de residuos plásticos en Buenaventura, así como datos sobre la eficiencia y descripción técnica de la tecnología de pirólisis. Esto se logrará a

través de la revisión de informes, registros, y datos disponibles en fuentes gubernamentales y organizaciones relevantes.

Por otro lado, en el enfoque cualitativo, la revisión bibliográfica se centrará en la recopilación y análisis crítico de la literatura existente sobre la gestión de residuos plásticos y la tecnología de pirólisis, esto incluirá estudios, investigaciones, informes técnicos y artículos científicos relacionados con el tema, así, la revisión bibliográfica permitirá obtener una base teórica sólida y una comprensión detallada de las mejores prácticas y lecciones aprendidas en la gestión de residuos plásticos a nivel internacional.

El enfoque de inferencia utilizado en esta investigación es deductivo, lo que significa que se parte de teorías, conceptos y marcos teóricos existentes relacionados con la gestión de residuos plásticos y la tecnología de pirólisis para desarrollar hipótesis y propuestas específicas, así como de los informes técnicos desarrollados por Energía Selecta, reportes financieros, manuales y demás información que nos dé el equipo de la empresa, partiendo de la premisa de que las teorías y conceptos existentes en la literatura científica y técnica proporcionarán una base sólida para comprender y abordar el problema de la gestión de residuos plásticos en Buenaventura; también se incorpora un componente inductivo en la metodología, especialmente en la recopilación de datos cuantitativos y cualitativos relacionados con la generación de residuos plásticos y la viabilidad técnica y económica de la pirólisis dada con el apoyo de Energía Selecta, puesto que a través de la recopilación y análisis de datos empíricos, se buscará identificar patrones, tendencias o relaciones que puedan no estar completamente explicados por la teoría existente, estos hallazgos inductivos contribuirán a enriquecer la comprensión de la problemática y a ajustar y validar las propuestas desarrolladas.

En cuanto a la temporalidad, se trata de una investigación transversal, ya que se enfoca en un momento específico en el tiempo para abordar la problemática actual de la gestión de residuos plásticos en Buenaventura.

8.2. Población, muestra y ficha técnica

Dado que este proyecto se centra en una revisión bibliográfica, un análisis situacional del municipio de Buenaventura, y la información obtenida a partir de Energía Selecta, la identificación de grupos poblacionales a los que se aplicaría un instrumento de medición no es relevante en este contexto; en lugar de grupos poblacionales específicos, el enfoque se centra en la recopilación y análisis de información documental, literatura especializada y datos relevantes relacionados con la pirólisis de plásticos y la situación de los residuos plásticos en Buenaventura. El proyecto busca obtener conocimiento a partir de fuentes existentes y realizar un análisis exhaustivo de la información disponible para lograr sus objetivos específicos, por lo tanto, no se requiere la determinación de grupos poblacionales ni la aplicación de instrumentos de medición.

8.3. Identificación de bases de datos sobre la literatura de pirólisis para el análisis bibliométrico

Para dar inicio al análisis bibliométrico de la investigación, se emplearán las bases de datos Scopus, Web of Science, Science Direct y Google Académico, estas plataformas se consideran adecuadas para cumplir con los objetivos específicos de la investigación debido a su amplio alcance y diversidad de fuentes. Science Direct, Scopus y Web of Science son reconocidas por su extensa cobertura de publicaciones científicas y académicas de alta calidad, lo que permitirá identificar los referentes teóricos que enmarcan la investigación sobre la pirólisis de plásticos, así como obtener las temáticas

clave y experiencias empíricas relevantes; por otra parte, Google Académico complementa este análisis al ofrecer acceso a una amplia gama de literatura, incluyendo artículos, tesis y documentos técnicos que pueden proporcionar perspectivas adicionales, estas herramientas combinadas proporcionarán una base sólida para desarrollar un análisis situacional del municipio de Buenaventura, caracterizando la generación, disposición y manejo de residuos plásticos a partir de fuentes secundarias.

Además del uso de bases de datos académicas, se llevará a cabo una búsqueda manual a través del motor Google para identificar información en páginas web oficiales y otros sitios web confiables, dicha búsqueda permitirá profundizar sobre el estado actual de la generación, disposición y manejo de residuos plásticos en Buenaventura, identificando fuentes como informes gubernamentales, documentos de organizaciones no gubernamentales, noticias relevantes y estudios locales que complementarán la información obtenida de las bases de datos académicas, este enfoque garantizará una visión integral y actualizada de la situación en el municipio, facilitando una caracterización precisa y detallada que contribuya al análisis situacional propuesto en la investigación.

8.4. Definición de términos de búsqueda sobre la literatura de pirólisis para el análisis bibliométrico

A continuación, se presentan los términos de búsqueda para cada una de las temáticas de investigación en la tabla 3.

Tabla 3

Descripción de los términos de búsqueda para las temáticas de investigación.

Temática de Estudio	Términos de Búsqueda
----------------------------	-----------------------------

	"pirólisis AND plásticos", "degradación AND térmica AND plásticos", "energía AND a AND partir AND de AND plásticos", "pirólisis AND residuos AND plásticos", "pyrolysis AND plastics" "tecnologías AND pirólisis, pyrolysis AND of AND polyethylene"
1) Literatura sobre Pirólisis de Plásticos	

Fuente: Elaboración Propia

8.5. Presentación de resultados sobre la literatura de pirólisis para el análisis bibliométrico

La investigación de Optimización y Caracterización de Combustibles Líquidos Obtenidos a partir de la Pirólisis Catalítica de Residuos Plásticos, tomada de Scopus, detallada en el artículo incluye un modelo matemático de optimización para la pirólisis catalítica de residuos plásticos, este modelo considera la temperatura de operación de la pirólisis y la relación catalizador/materia prima para maximizar el rendimiento de productos líquidos; entre los resultados del artículo se identificó que las condiciones óptimas para el proceso son una temperatura de 654°C y una relación catalizador/materia prima de 1,2%, lo que resultó en un rendimiento de productos líquidos del 83% (Ramos & Pretell, 2021).

La fuente también incluye una caracterización fisicoquímica de los productos obtenidos, analizando parámetros como el poder calorífico, la viscosidad, el punto de inflamación y la composición química mediante espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), estos análisis son necesarios para entender las propiedades del combustible resultante y su potencial uso; respecto a esto, los resultados mostraron que los productos líquidos contenían hidrocarburos, con fracciones de

gasolina, nafta/kerosene, diésel y residuos, además de componentes aromáticos y oxigenados (Ramos & Pretell, 2021).

La fuente respalda la viabilidad del método ya que presenta investigaciones científicas que lo demuestran, como por ejemplo, experimentos de pirólisis catalítica de residuos plásticos, mostrando que la utilización de catalizadores como el E-Cat de FCC puede optimizar significativamente el rendimiento de productos líquidos, reportando un rendimiento óptimo de productos líquidos del 83% bajo condiciones específicas de temperatura y relación catalizador/materia prima, esta optimización pone en evidencia la eficiencia y viabilidad del proceso. Se incluyen también referencias a estudios previos que han investigado métodos de reciclaje químico de residuos plásticos para la obtención de combustibles líquidos, como por ejemplo trabajos en Arabia Saudita, Malasia e Irán, donde se ha explorado la pirólisis como una alternativa viable para convertir residuos plásticos en combustibles líquidos, exaltando la doble ventaja de reutilizar residuos plásticos, por un lado, el impacto ambiental, y por otro, satisfacer la demanda de combustibles (Ramos & Pretell, 2021).

No relaciona el contexto específico de Buenaventura, pero menciona la importancia de ajustar el proceso de pirólisis a los tipos específicos de residuos plásticos disponibles en cada región; también asocia los beneficios ambientales y económicos de la pirólisis de residuos plásticos, destacando la reducción de contaminantes y la producción de combustibles líquidos. Si bien como se mencionó no se habla específicamente de Buenaventura, indirectamente reafirma la conveniencia del estudio en un municipio donde el manejo de residuos y la autosuficiencia energética son prioridades (Ramos & Pretell, 2021).

El documento no plantea de manera concreta desafíos, pero expresa la importancia de que el modelo de optimización sea validado experimentalmente para

asegurar la precisión y aplicabilidad del modelo en un entorno específico; esto podría considerarse como un trabajo futuro vinculado al proyecto en desarrollo.

Aún sin especificar el contexto de Buenaventura, la investigación destaca que la pirólisis catalítica puede convertir residuos plásticos en productos líquidos útiles como gasolina, diésel y nafta/kerosene, estos productos pueden contribuir no solo a reducir la dependencia de importaciones de combustibles en la región (ofreciendo una fuente local de energía), sino también en abordar el problema de los residuos plásticos, transformándolos en productos útiles en lugar de contaminantes ambientales; esto es especialmente relevante para Buenaventura, donde la gestión de residuos es un desafío significativo. El estudio también menciona que los productos gaseosos generados durante la pirólisis tienen una energía de combustión alta, lo cual podría cubrir las necesidades energéticas del propio proceso de pirólisis, mejorando su eficiencia y sostenibilidad.

Para el caso del Análisis Tecno-Económico de una Planta de Pirólisis Obtenida por Simulación Para Producir Petróleo Sintético a Partir de Residuos Plásticos, tomado de Scopus, se considera una fuente relevante ya que presenta una simulación de una planta de pirólisis que procesa 60 toneladas por día de residuos plásticos (polietileno, polipropileno y poliestireno), lo cual provee datos importantes para la planificación y diseño de una planta, lo cual sería una parte importante del modelo; el documento también detalla la producción que se obtiene por mes de petróleo sintético, permitiendo estimar unos rendimientos de acuerdo con los volúmenes de plástico procesados, esto también permite proyectar una comparación con productos comerciales como el petróleo WTI y el diésel B5-S50. Por otra parte, se detalla un balance de materia y energía destacando la energía total requerida para el proceso de pirólisis de acuerdo con las toneladas de plástico procesadas (Timana, Ubillas, Pretell, & Manrique, 2024).

También proporciona un diagrama de bloques del proceso de producción de crudo sintético, dividiendo el proceso en pretratamiento, pirólisis y condensación, este diseño incluye la clasificación y separación de residuos, la implementación de una zona de lavado, la trituración y molienda de los plásticos, y el uso de intercambiadores de calor y separadores bifásicos para obtener el producto final. El texto relaciona estudios realizados en Europa y Asia que demuestran la viabilidad de la pirólisis para tratar desechos plásticos y producir petróleo sintético; se mencionan investigaciones específicas que han utilizado plásticos como polietileno, polipropileno y poliestireno debido a su alto poder calorífico y su adecuación para la producción de petróleo sintético; así mismo, se mencionan estudios que han postulado la pirólisis como una de las tecnologías más viables dentro de las categorías de reciclaje de plásticos y tratamiento químico. También se incluyen validaciones experimentales de modelos de simulación, demostrando que las condiciones operativas óptimas maximizan el rendimiento de productos líquidos; esto es útil para asegurar que los resultados teóricos puedan ser replicados en un entorno real.

Se detalla la importancia de seleccionar adecuadamente los residuos plásticos (PE, PP, PS) y el pretratamiento necesario, que incluye clasificación, separación, y limpieza de los plásticos antes de ser triturados y alimentados al reactor de pirólisis; también asocia las temperaturas y la presión a las que deben someterse los residuos para obtener los resultados esperados.

En el artículo “A Review of the Interaction of Natural and Synthetic Zeolites in the Pyrolysis of Plastics” (Almirón & Valencia, 2022) se comparan los rendimientos de aceites y gases obtenidos usando diferentes tipos de zeolitas (empleadas como catalizadores en los procesos de pirólisis), permitiendo identificar las de mejor desempeño para dichos fines; también se discute la influencia de diversos parámetros como la temperatura, el

tiempo de residencia y el tipo de reactor utilizado en el rendimiento y calidad de los productos obtenidos. Finalmente, también analiza la producción de diferentes subproductos como aceites líquidos, gases y carbón, destacando las aplicaciones potenciales de estos productos en la industria petroquímica. Se incluyen análisis comparativos de la eficiencia de diferentes catalizadores y condiciones de proceso, proporcionando una visión clara de cómo mejorar la viabilidad y eficiencia de la pirólisis mediante la selección adecuada de materiales y parámetros operativos, discute elementos técnicos para la construcción de reactores, sin embargo, no se considera relevante la información para el diseño del modelo, no presenta datos adicionales que no hayan sido obtenidos en los documentos anteriores.

En el documento “Study of the Decomposition of Low Density Polyethylene Blends with Vacuum Gas Oils: Evolution of the Gases” (Gómez, 2008) se provee información muy técnica como por ejemplo el detalle de cómo la mezcla de polietileno de baja densidad con aceites de vacío afecta la descomposición térmica y la evolución de los gases; desde el nivel del modelo no se considera que sea información que aporte significativamente. El documento revisado no incluye recomendaciones prácticas específicas para la pirólisis de plásticos en el contexto de Buenaventura. Destaca las condiciones que son fundamentales para determinar los parámetros operativos del reactor de pirólisis y optimizar el rendimiento del proceso; también se observan discusiones sobre cómo la mezcla de polietileno de baja densidad con aceites de vacío afecta la descomposición térmica y la evolución de los gases, esta información es relevante para optimizar la mezcla de residuos plásticos y otros materiales para mejorar la eficiencia del proceso de pirólisis.

Uno de los estudios más citados es el de Ramos (2021); este trabajo es de gran utilidad para el diseño del modelo de aprovechamiento de residuos plásticos en

Buenaventura debido a su detallado análisis de las condiciones óptimas para la pirólisis catalítica, los datos empíricos sobre la temperatura, tipo de catalizador y velocidad de calentamiento que pueden ser aplicadas directamente para mejorar la eficiencia y la producción de combustibles líquidos a partir de residuos plásticos en Buenaventura. Otra fuente frecuentemente citada es el artículo de Almiron (2022), que permite entender cómo diferentes tipos de zeolitas pueden influir en los resultados de la pirólisis, mejorando la eficiencia y selectividad del proceso. Williams Ramos y Victor Pretell emergen como autores influyentes en el campo de la pirólisis de plásticos, sus investigaciones han aportado significativamente al entendimiento y mejora de los procesos de pirólisis; la experiencia de estos autores en la optimización de las condiciones de pirólisis es invaluable para el diseño del modelo operativo en Buenaventura.

El análisis bibliométrico y la evaluación de las fuentes según la escala de Likert revelan dos impactos cruciales para Buenaventura al implementar un modelo de aprovechamiento de residuos plásticos a través de pirólisis: la generación de combustibles y la mitigación de los impactos ambientales del plástico; este análisis no solo identifica las fuentes más influyentes y relevantes, sino también destaca cómo la información proveniente de estas fuentes puede ser aplicada para abordar las necesidades específicas del municipio. Las fuentes evaluadas confirman que la pirólisis de plásticos es una solución viable para generar combustibles líquidos, esto es particularmente importante para Buenaventura, ya que permitiría al municipio generar ingresos para los recuperadores de oficio mientras se reduce el volumen de residuos plásticos; por otra parte, la optimización de las condiciones de pirólisis, como la temperatura y el uso de catalizadores específicos, es fundamental para maximizar la eficiencia del proceso y la calidad del combustible producido, estudios como los de

Williams Ramos. y Victor Pretell, proporcionan datos empíricos detallados que son esenciales para diseñar un proceso eficiente y adaptado a las condiciones locales de Buenaventura.

Finalmente, según las fuentes analizadas, está comprobada la mitigación de los problemas ambientales causados por los residuos plásticos, dado que Buenaventura enfrenta graves desafíos debido a la acumulación de plásticos, que contaminan suelos y cuerpos de agua, y contribuyen a la proliferación de vectores de enfermedades, la implementación de tecnologías de pirólisis puede reducir considerablemente la cantidad de residuos plásticos, transformándolos en productos útiles y disminuyendo así la carga ambiental, estudios que abordan el uso de zeolitas como catalizadores destacan cómo mejorar la eficiencia y selectividad del proceso, minimizando los subproductos no deseados y mejorando el perfil ambiental de la tecnología.

8.6. Análisis bibliográfico del estado actual de generación, disposición y aprovechamiento de residuos en Buenaventura.

Según el Plan de Desarrollo Distrital 2020-2023: Buenaventura con Dignidad, se enfatiza la importancia de una gestión integral de residuos sólidos y destaca la necesidad de mejorar las infraestructuras y prácticas para el manejo adecuado de estos residuos; dentro de las estrategias ambientales, se menciona la gestión de residuos sólidos, pero no se detallan específicamente los residuos plásticos, además, se resalta la importancia de la educación ambiental y la implementación de tecnologías limpias, lo cual indica un compromiso general con la mejora del manejo de residuos. A pesar de estos enfoques generales, el plan no proporciona datos específicos sobre la cantidad de residuos plásticos generados o acumulados en Buenaventura, lo cual limita la capacidad de

realizar un análisis detallado sobre este tipo de residuos en particular (Buenaventura, 2020).

Aunque no se presentan detalles en concreto sobre los residuos plásticos, como se mencionaba antes, el documento enfatiza la importancia de la gestión integral de residuos sólidos y menciona la necesidad de mejorar la infraestructura y las prácticas para manejar adecuadamente estos residuos, se resalta la educación ambiental y la implementación de tecnologías limpias como estrategias clave para mitigar el impacto ambiental de los residuos en general. El documento se enfoca en estrategias y objetivos amplios relacionados con la gestión ambiental y de residuos, pero carece de un enfoque particular sobre cómo la generación de residuos plásticos ha cambiado con el tiempo o cómo se espera que cambie en el futuro.

En el artículo periodístico “Bahía de Buenaventura, sumergida en microplásticos en aguas superficiales” (Espectador, 2022). Aunque la información es detallada respecto a la presencia de microplásticos, no proporciona una visión completa sobre la generación de residuos plásticos en general; de acuerdo con el artículo, entre 2015 y 2019, la densidad de microplásticos en la superficie de la bahía aumentó en un 114,7%; los estudios realizados identificaron una mayor densidad de microplásticos en las áreas más cercanas a las zonas urbanas y durante las épocas de lluvia, lo cual se asocia con un incremento de la escorrentía, además, el estudio destaca que la mayor parte de los microplásticos encontrados eran fragmentos de objetos plásticos más grandes, fibras de plástico, y pellets, lo cual señala una importante presencia y acumulación de residuos plásticos en la región. De lo anterior se puede inferir que el proyecto propuesto podría constituirse como una alternativa viable no solo para la generación de combustibles, sino para aportar en la solución de una problemática ambiental en el municipio. No presenta investigaciones científicas que respalden la viabilidad de la pirólisis como método de

aprovechamiento de residuos plásticos y relaciona el desafío ambiental de la gestión de residuos plásticos, lo que indirectamente respalda la importancia del diseño del modelo.

En el documento Manejo de los residuos sólidos en el Consejo Comunitario de la comunidad Negra de Citronela, Buenaventura, Colombia (Arboleda, 2013), se describen algunas debilidades y problemas generales relacionados con la gestión de residuos sólidos en la vereda Citronela, Buenaventura, mencionando aspectos importantes como por ejemplo, que se realiza la quema a cielo abierto de algunos residuos plásticos, y que en la mayoría de las viviendas no hay recipientes para almacenar y/o clasificar los residuos sólidos, también señala que la producción per cápita de residuos sólidos es alta (0,96) y que no se presta el servicio de aseo en la vereda, lo cual dificulta el manejo de residuos en el lugar. Si bien provee datos interesantes, es importante destacar que las estadísticas en primera instancia son antiguas ya que datan de 2013, y por otra parte se enfocan en una única comunidad de Buenaventura, no en el municipio en general.

El documento menciona algunos impactos ambientales y sociales relacionados con la gestión inadecuada de residuos sólidos, incluyendo plásticos, en la vereda Citronela de Buenaventura, destacando que la quema a cielo abierto de residuos plásticos y la falta de servicio de aseo en la vereda complican el manejo adecuado de estos residuos, lo cual podría tener efectos negativos sobre la salud y el medio ambiente, también se menciona que la mayoría de las personas tienen un bajo nivel educativo y falta de sensibilización y capacitación ambiental, lo cual afecta la gestión de residuos. Además de focalizada en una comunidad específica de Buenaventura, la información es bastante general y no se enfoca específicamente en los residuos plásticos ni proporciona detalles exhaustivos sobre estos impactos, por ejemplo, no se discuten en detalle cómo los residuos plásticos afectan el suelo, el agua, la biodiversidad o la salud humana, ni se

proporciona información específica sobre los efectos sociales más allá de la falta de sensibilización y educación ambiental.

El Plan de Acción Cuatrienal 2020-2023 Buenaventura Biodiversa y Sostenible, proporciona información general sobre la gestión de residuos sólidos en el municipio, incluyendo algunas iniciativas para el manejo y aprovechamiento de residuos sólidos, sin embargo, no se detalla específicamente la generación y acumulación de residuos plásticos; también menciona programas y proyectos relacionados con la descontaminación de la Bahía y los Esteros del Distrito de Buenaventura a través de la extracción efectiva de residuos sólidos, así como el apoyo a procesos de transformación de residuos sólidos orgánicos y el fortalecimiento de la red de recuperadores; aunque estas iniciativas pueden incluir residuos plásticos, no se proporciona una cuantificación específica de la generación y acumulación de residuos plásticos en el documento (EPA C. D., 2020).

El documento menciona la contaminación ambiental y la pérdida acelerada de la calidad ambiental como indicadores de ineficiencias en la producción y uso de productos y servicios, y destaca la necesidad de promover hábitos más sostenibles para reducir estos impactos, sin embargo, no hace un énfasis específico en los residuos plásticos; también se menciona la importancia de la participación comunitaria y la gestión articulada con actores institucionales para mitigar los impactos ambientales.

El actual Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de Buenaventura, incluye análisis de tendencias en la generación de residuos plásticos, también se proporcionan datos históricos y proyecciones sobre la producción de residuos plásticos de alta densidad para un período de 20 años, desde 2005 hasta 2025, dichos datos muestran un crecimiento progresivo en la generación de plásticos, indicando una tendencia clara hacia el aumento de residuos plásticos en la región. Las proyecciones

indican cómo la producción de plásticos de alta densidad ha evolucionado y se espera que siga creciendo, proyectando un aumento desde 6,49 toneladas en 2005 a 7,57 toneladas diarias en 2025, esta información proporciona una base sólida para entender las tendencias en la generación de residuos plásticos en el municipio, aunque podría beneficiarse de una actualización y mayor especificidad en los tipos de plásticos analizados (EPA, 2022).

El documento identifica varias actividades económicas y sectores que contribuyen a la generación de residuos plásticos. Entre estos, se destaca el sector comercial, donde los residuos plásticos de baja y alta densidad representan una parte significativa de los residuos generados; respecto a este sector se amplía que los residuos plásticos comprenden aproximadamente un 14% de plástico de baja densidad y un 5% de plástico de alta densidad de los residuos totales generados, además, se mencionan otras fuentes como los envases de polietileno de alta densidad y las industrias que generan residuos plásticos destinados al reciclaje. También, señala la participación del sector maderero y pesquero en la generación de residuos plásticos, aunque estos no son los principales productores, asimismo, se describe el reciclaje de residuos plásticos post-consumo en el hogar, comercio e industria, y el proceso de recuperación mediante reciclaje mecánico y químico. Esta información permite identificar de manera efectiva las principales fuentes de residuos plásticos en Buenaventura, proporcionando una base sólida para comprender el origen de estos residuos en la región.

Con base en la tendencia, el documento proporciona datos específicos sobre la proyección de la producción de residuos sólidos inorgánicos de plástico de alta densidad para un período de 20 años, desde 2005 hasta 2025, estos datos muestran una tendencia de crecimiento en la generación de plásticos, con cifras anuales que aumentan de 6,49 toneladas en 2005 a 7,57 toneladas en 2025. El documento menciona que uno

de los principales problemas ambientales es la contaminación generada por los residuos plásticos, los cuales pueden producir lixiviados con carga contaminante, especialmente durante la época de lluvias, estos lixiviados afectan las calles, prados y desagües, generando contaminación del suelo y del agua; también menciona las prácticas de selección y recolección de residuos reutilizables como una actividad económica para algunas personas, aunque estas prácticas a menudo resultan en desorden y mayor contaminación cuando no se manejan adecuadamente (EPA, 2022).

8.7. Análisis externo o PESTAL del aprovechamiento de residuos en Buenaventura.

El análisis PESTAL, acrónimo de Político, Económico, Social, Tecnológico, Ambiental y Legal, se presenta como una herramienta integral y completa para evaluar el entorno externo en el contexto del proyecto de aprovechamiento de residuos plásticos a través de pirólisis en Buenaventura. El uso de este recurso permite ofrecer una visión holística de los factores que pueden influir en el éxito o fracaso del proyecto.

La elección de PESTAL como instrumento se justifica por su capacidad para identificar oportunidades y amenazas que pueden surgir de manera significativa en cada uno de estos ámbitos, permitiendo una comprensión profunda de las dinámicas y desafíos del entorno que rodea la iniciativa; esto facilita la toma de decisiones informadas y estratégicas, así como la adaptación del proyecto a las condiciones cambiantes del entorno, lo que lo convierte en la opción más adecuada para llevar a cabo un análisis externo completo y preciso. A continuación se muestra en análisis Pestal en la tabla 4.

Tabla 4

Análisis PESTAL de la gestión de residuos en Buenaventura.

PESTAL	
Político	<p>Se observa un interés gubernamental en promover proyectos sostenibles y la economía circular; las regulaciones ambientales colombianas establecen estándares rigurosos para la gestión de residuos, lo que exige que cualquier iniciativa en esta área cumpla con normativas específicas de sostenibilidad y responsabilidad ambiental, esto puede representar una oportunidad para el proyecto, siempre y cuando se cumplan todas las regulaciones y normativas gubernamentales para garantizar su éxito a largo plazo en la ciudad.</p>
Económico	<p>Buenaventura es un importante puerto marítimo y centro de actividad comercial en Colombia, lo que genera una gran cantidad de residuos plásticos; aprovechar estos residuos para la generación de materias primas mediante pirólisis podría no solo reducir costos de disposición, sino también crear una fuente de ingresos a través de la venta de los productos obtenidos; además, existe interés en la economía circular y la sostenibilidad, lo que respalda la viabilidad económica del proyecto.</p>
Social	<p>La gestión adecuada de los residuos plásticos contribuiría a la mejora de la calidad de vida de la comunidad al reducir la contaminación en las playas y cuerpos de agua, así como al promover la conciencia ambiental y la participación ciudadana en la gestión de residuos. Además, podría crear oportunidades de empleo local en la recolección de residuos y la operación de la planta de pirólisis, lo que beneficiaría a la población y contribuiría al desarrollo socioeconómico de la región.</p>
Tecnológico	<p>La adopción de sistemas avanzados de pirólisis y maquinaria especializada permitirá la transformación eficiente de</p>

los residuos plásticos en materias primas y combustibles; además, se requerirá la implementación de sistemas de monitoreo y control para garantizar un funcionamiento óptimo de la planta. La tecnología desempeñará un papel fundamental en la viabilidad y eficacia de este proyecto, contribuyendo a la reducción de la contaminación ambiental y a la generación de productos de valor a partir de los residuos plásticos.

Ambiental

El proyecto de aprovechamiento de residuos plásticos mediante pirólisis en Buenaventura busca abordar los desafíos ambientales de la contaminación por plásticos y la gestión inadecuada de residuos en la región, pues permitiría la reducción de la presencia de plásticos en el agua y suelo de las playas, así como en la protección de los ecosistemas costeros y marinos. La implementación de pirólisis como una tecnología amigable con el medio ambiente tiene el potencial de disminuir la contaminación y contribuir a la conservación de la biodiversidad en esta zona costera, al tiempo que promueve prácticas sostenibles en la gestión de residuos.

Legal

Se debe considerar la legislación nacional e internacional relacionada con la gestión de residuos, la protección del medio ambiente y los estándares de calidad del agua y el suelo. Es esencial cumplir con los requisitos legales y regulaciones ambientales vigentes en Colombia para la disposición y tratamiento de residuos, de modo que la operación de la planta de pirólisis debe estar en conformidad con las leyes ambientales y de salud pública, y se deben considerar los permisos y licencias requeridos para su funcionamiento.

Fuente: Elaboración propia

8.8. Análisis interno o DOFA del aprovechamiento de residuos plásticos en Buenaventura.

La matriz DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas) es una herramienta fundamental para analizar el contexto interno de un proyecto y la organización; en este caso, se utiliza para evaluar tanto los factores internos como aquellos relacionados con el entorno institucional que pueden influir en el éxito del proyecto de aprovechamiento de residuos plásticos mediante pirólisis en Buenaventura.

Esta matriz permite identificar las debilidades y fortalezas internas que la organización Energía Selecta y el proyecto en sí mismo poseen, así como las oportunidades y amenazas que provienen del contexto en el que se desarrolla; a través de este análisis, se podrán tomar decisiones estratégicas informadas y diseñar estrategias efectivas para maximizar las fortalezas y aprovechar las oportunidades, al mismo tiempo que se abordan las debilidades y se mitiguen las amenazas, garantizando así la viabilidad y el éxito del proyecto. En la tabla 5 se visualiza la matriz DOFA.

Tabla 5

Análisis matriz DOFA de la gestión de residuos en Buenaventura.

Debilidades	Oportunidades
La organización puede enfrentar desafíos en la obtención de financiamiento sostenible para proyectos a largo plazo, a pesar de contar con aliados y socios, además, su efectividad está ligada a la colaboración interinstitucional, lo que podría generar complicaciones si las dinámicas de colaboración cambian. La gestión de proyectos en el campo	La creciente conciencia pública sobre la importancia de la conservación ambiental y el desarrollo sostenible puede generar mayor apoyo y participación de la comunidad en proyectos locales; el interés del sector privado en la producción sostenible y la responsabilidad social corporativa ofrece la posibilidad de establecer alianzas y acuerdos para

energético y de economía circular, pueden ser complejos y demandar recursos considerables, así mismo, cambios en la legislación ambiental colombiana pueden influir en sus operaciones, y la sensibilidad a eventos climáticos extremos es una preocupación dado su enfoque en ecosistemas marinos y costeros.

impulsar iniciativas conjuntas, también es importante mencionar que la evolución de la legislación ambiental en Colombia también puede brindar oportunidades para alinear los proyectos de la organización con políticas y programas gubernamentales.

Fortalezas

Su larga trayectoria y experiencia en proyectos de producción de energía limpias no convencionales a nivel global y local le otorgan un conocimiento profundo de las dinámicas ecológicas y sociales de la zona; la organización cuenta con una red de aliados estratégicos a nivel gubernamental, académico y de la sociedad civil, lo que le brinda un sólido respaldo institucional y la capacidad de colaborar en proyectos multidisciplinarios.

Su enfoque basado en la ciencia y la colaboración le permite diseñar e implementar soluciones sostenibles respaldadas por evidencia científica, además, la organización tiene la capacidad de movilizar recursos financieros y técnicos para llevar a cabo proyectos productivos sostenibles a gran escala.

Amenazas

Una de las amenazas clave radica en la posibilidad de cambios en las políticas gubernamentales relacionadas con la gestión de residuos y la sostenibilidad ambiental; alteraciones en la legislación o la falta de apoyo continuo de las autoridades locales y nacionales podrían poner en peligro la viabilidad y continuidad del proyecto, además, la disponibilidad de fondos y recursos por parte de la organización Energía Selecta para respaldar el proyecto puede fluctuar, lo que podría influir en el propósito de llevar a la realidad el modelo que se genere como producto de investigación.

El análisis de las citas presentadas en el análisis bibliométrico, destaca la relevancia de estudios que abordan el impacto ambiental y la pertinencia del manejo de residuos plásticos en Buenaventura, la ciudad enfrenta desafíos significativos en la gestión de residuos sólidos, lo que exalta la necesidad de implementar soluciones efectivas y sostenibles; por ejemplo, el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos para el Área Urbana del Municipio de Buenaventura, proporciona un marco contextual que identifica las necesidades específicas de la región en términos de generación, acumulación y manejo de residuos plásticos. Los estudios también asociaron el impacto ambiental y social de la generación de residuos plásticos subrayando la importancia de adoptar tecnologías de tratamiento que no solo sean eficientes, sino también sostenibles, la implementación de tecnologías de pirólisis debe considerar la reducción de la contaminación del suelo y el agua, así como la minimización de la emisión de gases tóxicos.

Por otro lado, la investigación en pirólisis de plásticos ha experimentado un crecimiento significativo, especialmente en la última década, este crecimiento refleja un interés cada vez mayor en desarrollar tecnologías de tratamiento de residuos más eficientes y sostenibles; inicialmente, la investigación se centraba en estudios teóricos y modelaciones matemáticas para comprender los mecanismos de la pirólisis, sin embargo, ha habido una transición hacia enfoques más experimentales, validando los modelos teóricos mediante pruebas de laboratorio y estudios a escala piloto; además de los avances técnicos, hay un creciente interés en los impactos ambientales y sociales de la pirólisis, estudios recientes se han enfocado en evaluar la viabilidad económica y la sostenibilidad ambiental del proceso, documentos como el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos para el Área Urbana del Municipio de Buenaventura, destaca la necesidad de considerar estos impactos y la importancia de adoptar tecnologías de

tratamiento que no solo sean eficientes, sino también sostenibles, considerando la reducción de la contaminación del suelo y el agua, y minimizando la emisión de gases tóxicos.

Finalmente, la tendencia hacia la integración de actores locales e institucionales en Buenaventura es evidente en los estudios revisados, la colaboración con instituciones educativas, organizaciones no gubernamentales y la comunidad local es crucial para el éxito de los proyectos de gestión de residuos, este enfoque participativo no solo mejora la eficacia del modelo operativo, sino que también asegura la sostenibilidad a largo plazo del proyecto.

Ahora, considerando que la caracterización de Buenaventura desde su estado actual de generación y manejo de residuos plásticos aún requiere profundización frente a los proveedores de plástico reciclado, se realiza una validación de las preguntas a través de la herramienta V de Aiken de acuerdo a criterio de expertos en la empresa Energía Selecta y a continuación se realizan entrevistas como información complementaria para el estudio; de acuerdo con esto, del proceso se buscó asociar información para responder a las preguntas de caracterización, para lo cual se presentan los siguientes resultados.

8.9. Presentación de la información de fuente primaria

En este estudio no se realizó una selección formal de la muestra, dado que en la región no se han llevado a cabo proyectos de pirólisis antes de esta investigación. Por ello, fue necesario realizar una aproximación inicial con los actores directamente involucrados en la gestión de residuos para comprender el contexto, sus desafíos y la realidad del territorio. Considerando el enfoque aplicado de este trabajo de grado, se entrevistó a actores claves disponibles, como representantes de la sociedad civil

organizada La Asociación de Gestores Ambientales del Pacífico (ASOGESAMPA) y por parte del Estado El Establecimiento Público Ambiental (EPA), entidad responsable de la gestión de residuos en Buenaventura. La información recopilada permitió obtener una visión cualitativa valiosa para comprender las dinámicas locales en la gestión de residuos plásticos.

A partir de entrevistas realizadas a María Teresa Sinisterra, gerente de ASOGESAMPA, organización local dedicada a la recuperación de residuos plásticos y Euclides Urrutia, asesor del Establecimiento Público Ambiental de Buenaventura (EPA). Basados en cuatro (4) preguntas como base del análisis bibliográfico:

¿La fuente proporciona datos específicos sobre la generación y disposición de residuos plásticos en Buenaventura?

¿La fuente incluye información sobre las fuentes principales de residuos plásticos en la región?

¿Se presentan estadísticas actualizadas sobre la cantidad de residuos plásticos generados en Buenaventura?

¿La fuente describe el impacto ambiental y social de la generación de residuos plásticos en la región?

Se obtuvo la siguiente información a manera de resultado:

Asogesampa actualmente recupera 4 toneladas mensuales de residuos plásticos, pero tiene el potencial de aumentar esta cifra hasta entre 10 y 20 toneladas diarias si contara con una bodega propia para almacenamiento, siendo la falta de infraestructura el mayor obstáculo.

Las colaboraciones de Asogesampa con empresas como Pyrcom y Ecopetrol demuestran un interés en el polipropileno reciclado, lo que resalta el potencial de la asociación para expandir operaciones si se superan las barreras logísticas.

La fuente no proporciona un desglose detallado de las fuentes principales de residuos plásticos en la región, pero se menciona que Asogesampa recupera plásticos de actividades comerciales e industriales.

El Establecimiento Público Ambiental de Buenaventura (EPA) no dispone de datos claros sobre las fuentes de generación de residuos plásticos, lo que refleja una falta de información precisa y actualizada sobre esta problemática en la región.

Asogesampa señala que recupera 8 toneladas mensuales de diversos materiales reciclables, pero no cuenta con estadísticas específicas sobre la generación total de residuos plásticos, ya que esta información depende de otras instituciones públicas.

El Establecimiento Público Ambiental de Buenaventura (EPA) reconoce la falta de estadísticas actualizadas sobre la cantidad de residuos plásticos generados y la ausencia de coordinación interinstitucional, lo que limita la efectividad de las iniciativas de reciclaje en Buenaventura.

Asogesampa enfatiza las malas condiciones laborales de los recuperadores de oficio, quienes carecen de equipo adecuado y protección social, lo que afecta su capacidad de trabajo y su bienestar general.

El Establecimiento Público Ambiental de Buenaventura (EPA) describe el impacto negativo de los residuos plásticos en el turismo local, como en Playa Bocana y Ladrilleros, donde la mala disposición de estos desechos ha afectado tanto al ecosistema como a la economía de las comunidades que dependen del turismo.

9. Modelo de Intervención para la gestión de un proyecto de pirólisis de plásticos en Buenaventura, bajo la oferta de servicios de Energía Selecta.

Según el texto Innovación social en comunidades rurales: experiencia en aprovechamiento de residuos sólidos (Cauca, Colombia), tomado de Scopus, se describen las experiencias de innovación social en comunidades rurales del Cauca, enfocándose en la gestión y aprovechamiento de residuos sólidos, sin embargo, no provee información que aporte al diseño del modelo (Delgado, Concha, Vidal, & Fernandez, 2021). Enfatiza la importancia de la participación comunitaria y el empoderamiento de las comunidades en este tipo de experiencias de aprovechamiento de residuos, aunque se enfoca en la gestión de residuos sólidos en comunidades rurales, pero no aborda específicamente los aspectos técnicos y logísticos relacionados con la gestión de residuos plásticos, por otro lado, mencionan los beneficios ambientales y sociales obtenidos a partir de la implementación de proyectos de gestión de residuos sólidos en el Cauca, que podrían ser aplicables a otros contextos; también se menciona la colaboración con instituciones educativas y organizaciones no gubernamentales (ONG) para apoyar y desarrollar proyectos relacionados con la gestión de residuos sólidos, sin embargo, no se abordan estrategias concretas de integración con actores locales e institucionales.

Ahora, según el libro: A comprehensive review on integrative approach for sustainable management of plastic waste and its associated externalities (Tejaswini, Pankaj, Seeram, & Sankar, 2022), se propone un modelo integral de gestión sostenible de residuos plásticos (SPWM), que se enfoca en la reducción de externalidades ambientales y la conversión de residuos plásticos en recursos mediante la minería urbana y otras tecnologías, allí se revisan diferentes tecnologías integrativas para el

tratamiento de residuos plásticos reciclables y no reciclables, evaluando los beneficios y costos asociados en cada etapa del tratamiento.

Se menciona la importancia de la clasificación y separación de residuos plásticos como un paso crucial en el proceso de gestión de residuos, incluyendo la identificación y separación de diferentes tipos de plásticos para su procesamiento adecuado; así mismo, también aborda la logística de recolección de residuos plásticos, incluyendo la necesidad de establecer sistemas eficientes de recolección y transporte para asegurar que los residuos sean procesados de manera efectiva (Tejaswini, Pankaj, Seeram, & Sankar, 2022). Finalmente, también se observa que el documento presenta las necesidades de infraestructura y equipos específicos para la implementación efectiva de las tecnologías de tratamiento de residuos plásticos, incluyendo plantas de reciclaje, instalaciones de pirólisis y equipos de clasificación (Tejaswini, Pankaj, Seeram, & Sankar, 2022).

El modelo propuesto también integra tanto sectores formales como informales en la gestión de residuos, promoviendo la colaboración entre diferentes actores para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del proceso, siendo esta información útil para el diseño del modelo adaptado a las condiciones de Buenaventura y se basa en principios de economía circular, promoviendo la reducción, reutilización y reciclaje de plásticos para minimizar el desperdicio y maximizar el uso de recursos, lo cual es fundamental para la sostenibilidad económica y ambiental. En la actualidad ya existe en la unidad de negocios de Barrancabermeja de la empresa Energía Selecta el esquema de compra de combustóleo por parte de Ecopetrol, por lo cual se asume que la comercialización está garantizada.

9.1. Modelo Operativo

Revisando el análisis preliminar de modelos de pirólisis de biomasa para generación de combustibles a partir de residuos, los documentos ofrecen una valiosa

perspectiva sobre los procesos de pirólisis y sus aplicaciones en la generación de energía, sin embargo, no abordan la implementación operativa específica para el tratamiento de residuos plásticos en Buenaventura.

No habiéndose encontrado un modelo de implementación para el aprovechamiento de residuos plásticos basado en pirólisis en zonas portuarias colombianas, tampoco es posible encontrar orientaciones para orientar su implementación, desde la revisión bibliográfica, por ende, se recurre a las directrices de Energía Selecta, es decir, a la información disponible de carácter práctico.

Para Energía Selecta, el combustóleo que produce es apto para que empresas refinadoras, obtengan combustibles muy similares a los combustibles tradicionales y de uso masivo, como la gasolina, la nafta y el kerosene. Otro aspecto que influye mucho en la calidad de los subproductos obtenidos y la eficiencia económica del proceso es el combustible utilizado para el calentamiento del reactor.

Así, los equipos o termoprocesados de Energía Selecta están diseñados para trabajar con gas o combustibles sólidos como la leña y el carbón. Dentro de sus investigaciones, se ha podido comprobar que, en el pico de temperatura del proceso, en el caso de los plásticos y de las llantas, se produce un exceso de gas que, si no se almacena o se utiliza en alguna otra función dentro de la planta, debería ir a la chimenea (Fonseca, 2023).

Teniendo en cuenta que los proyectos tienen el enfoque del desarrollo sostenible, se ha podido comprobar que utilizando cuatro unidades de 5 toneladas por batch cada una, el gas que se produce en el pico del proceso de una de las máquinas se puede utilizar en el calentamiento o inicio del proceso de otra de las máquinas, permitiendo que el sistema de cuatro termoprocesados sea autosostenible y no se requiera combustible de inicio sino en casos muy especiales de operación.

Inclusive se puede utilizar el gas sobrante, para alimentar una planta a gas que suministre la energía eléctrica requerida para los equipos auxiliares y complementarios del termo procesador como son las bombas, los compresores y la lavadora de humos. En la figura 14, se ilustra esta situación en el primer turno del día de ocho horas.

Figura 14 Unidades y turnos para el manejo de los termo procesadores para pirólisis de plásticos de Energía Selecta.

TERMOPROCESO	TURNO 1							
	0:00:00	1:00:00	2:00:00	3:00:00	4:00:00	5:00:00	6:00:00	7:00:00
UNIDAD 1	Cargue	Calent	Proceso				Enfriamiento	
	1 Operario							
UNIDAD 2	Proceso		Enfriamiento			Descargue	Cargue	
	1 Operario							
UNIDAD 3	Enfriamiento	Descargue	Cargue	Calent	Proceso			
	1 Operario							
UNIDAD 4	Calent	Proceso			Enfriamiento			
	1 Operario							

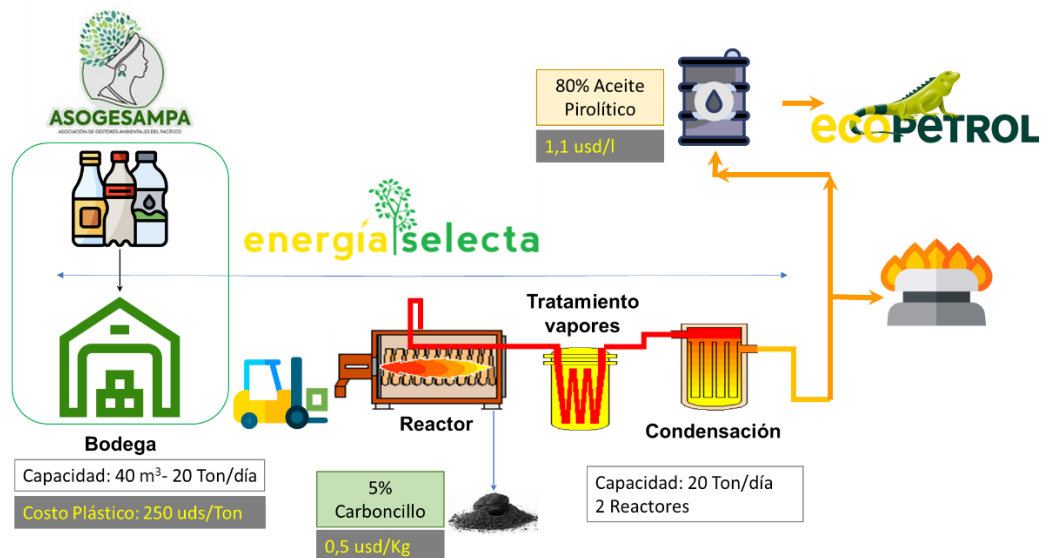
Fuente: (EnergíaSelecta, 2024) (Fonseca, 2023)

En la pirólisis de madera, se obtiene un carbón que se exporta con fines de uso recreativo en Estados Unidos y Europa, este carbón puede ser: turba, lignito, hulla o antracita. Por otro lado, realizando el proceso de pirólisis al residuo del cuesco, obtenido de la palma africana o palma de aceite, obtenemos alquitrán vegetal, ácido piroleñoso y un carbón que alcanza a estar muy cercano a las condiciones del carbón activado mineral bituminoso, para uso en filtros y purificadores de agua o acueductos.

Energía Selecta también, desarrolla equipos para la pirólisis de las llantas, comportándose en forma muy similar a la pirólisis de los plásticos. Asimismo, esta empresa desarrolla equipos para la pirólisis de los residuos orgánicos, convirtiendo una tonelada de residuos en 300 kilogramos de un carbón más manejable en el sentido

logístico y de utilidad en la agricultura y en la recuperación de tierras para el agro (Fonseca, 2023). Una representación del modelo se encuentra en la figura 15.

Figura 15 Modelo de aprovechamiento de plásticos por pirólisis en Buenaventura.



Fuente: Elaboración Propia.

Separación

El modelo inicia con la recolección en campo de residuos plásticos, en esta etapa es importante identificar proveedores de materias primas, para el caso de la producción de aceite pirolítico, deberán ser recuperadores de plásticos. En el puerto de Buenaventura existe una asociación de recuperadores denominada Asociación de gestores ambientales del Pacífico “Asogesampa” con la cual, ya se han realizado algunas reuniones de acercamiento y se ha firmado un acuerdo de voluntades, para evaluar la viabilidad de realizar transacciones comerciales en cuanto a la compra por parte de Energía Selecta de plástico recuperado. Para la recepción del plástico usado, este deberá llegar separado de acuerdo con su clasificación como se expresa en la tabla 6.

Tabla 6 Clasificación de tipo de plásticos y presentación apta para aprovechar a través de pirólisis en Buenaventura.

Código	Clasificación	Presentación
1	PET (Polietileno Tereftalato)	Botellas de bebidas, envases de alimentos, fibras textiles (poliéster).
2	HDPE (Polietileno de Alta Densidad)	Botellas de detergente, tubos, cañerías y juguetes.
3	PVC (Policloruro de Vinilo)	Envases de alimentos, tapas de botellas, piezas de automóviles.
4	LDPE (Polietileno de Baja Densidad)	Bolsas de plástico, películas de embalaje, contenedores flexibles.
5	PP (Polipropileno)	Envases de alimentos, tapas de botellas, piezas de automóviles.
6	PS (Poliestireno)	Envases de alimentos, aislantes de espuma (EPS).
7	Otros	Piezas de automóviles y electrónicos, equipos médicos, aplicaciones de alta tecnología.

Fuente: Energía Selecta (2024)

La anterior clasificación representa diferencias en el desempeño en un proceso de Pirólisis, de acuerdo con la temperatura y presión, resultando en diferentes subproductos cada cual con características y usos específicos.

Compra y Almacenaje de Material

Es importante la asignación de un espacio para el bodegaje de material, con el objetivo de consolidar cargas y baches dirigidos al termo procesador, la empresa Energía Selecta dispondrá de un espacio cercano a la planta de procesamiento, para el almacenaje y configuración de fardos de producción. Este espacio, permitirá el libre ingreso de recuperadores pertenecientes a Asogesampa, quienes entregaran el material,

separado y pesado de acuerdo con la clasificación de plásticos, el espacio debe contar con una capacidad mínima para 20 Toneladas o 40 m^3 ($\rho = 2\text{g/cm}^3$).

Los precios promedio de compra de material oscilan alrededor de 250 dólares por Tonelada. Teniendo en cuenta que la capacidad total del sistema será de 20 Toneladas al día. Este proyecto tendrá la capacidad de generar 5.000 USD en ventas al día para la asociación de recuperadores.

Activación del Reactor

La pirólisis se describe como la descomposición molecular de un material por efecto del aumento de la temperatura, en ausencia de oxígeno. Una vez recolectado el material, residuos plásticos que se convertirán en el insumo principal del proceso. Se da paso a la alimentación de los reactores con una capacidad individual de procesar 10 toneladas de plástico usado por cada termo procesador en 8 horas de trabajo aproximadamente dependiendo de las condiciones de presión, para una capacidad total de 20 toneladas al día para el sistema. El proceso inicia con el cargue y encendido del mecanismo de combustión de gas que en aproximadamente 180 minutos establece una temperatura que puede llegar a oscilar entre los 400 y 600 grados centígrados para el reactor.

Generación de Subproductos

Una vez el sistema alcanza la temperatura adecuada, inicia la descomposición del plástico, la cual puede durar de 720 minutos dependiendo del tipo de material y las condiciones de presión de la línea de producción. La primera etapa, está compuesta por la formación de gases en el reactor, estos pasan al separador ciclónico, en donde se decantan las partículas de polvo, a continuación, los gases pasan al condensador en

donde ocurre el enfriamiento de gases de pirólisis y la formación de líquidos. El tanque colector almacena los líquidos condensados que se convertirán en el insumo a comercializar para refinerías y otros tipos de clientes de acuerdo al tipo de producto generado esta etapa de enfriamiento puede durar alrededor de 540 minutos. La chimenea es el medio para facilitar la salida de gas metano que sirve como combustible, este se puede quemar y usar para transferir calor al reactor, mejorando la eficiencia energética del sistema.

Para la operación de la planta se proyecta contar con 18 operarios, que cubrirán 3 turnos al día para mantener operativo el sistema las 24 horas del día. Adicionalmente, 2 SISO, 2 Supervisores y un jefe de planta. A continuación se relacionan los costos directos e indirectos de operación en la tabla 7.

Tabla 7

Costos directos e indirectos de Operación.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029
Compra de Materia Prima Plásticos	1.750.000	1.811.250	1.874.644	1.940.256	2.008.165
Gastos Fijos de Operación	877.063	907.760	939.532	972.415	1.006.450
Costo de Personal Planta	298.524	308.972	319.786	330.979	342.563
Gastos Administrativos	57.300	59.306	61.381	63.530	65.753
Gastos Transporte y	83.300	86.216	89.233	92.356	95.589

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Empaque de Derivados Seguros	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
I&D, Marketing y ventas	379.834	395.028	410.829	427.262	444.352
Impuesto 4 X 1000	30.387	31.602	32.866	34.181	35.548
SuperSociedades	37.983	39.503	41.083	42.726	44.435
Impuesto Industria y Comercio	37.983	39.503	41.083	42.726	44.435
Total costos de Operación	3.652.375	3.779.139	3.910.437	4.046.432	4.187.291

Fuente: Elaboración Propia con datos de (Energía Selecta C. , 2024)

Comercialización

Un proceso de pirólisis puede generar diferentes tipos de subproductos, dependiendo del origen del material que se usa para la reacción térmica. Para el caso de modelo a implementar en el municipio de Buenaventura, se usarán residuos plásticos provenientes de diferentes tipos de industria como; turismo, salud, construcción, alimentos, etc. El sistema mencionado debe contar con una capacidad de 20 toneladas al día de las cuales el 80% resultan en aceite pirolítico y el 5% en Carboncillo. Por lo anterior y teniendo en cuenta la densidad del aceite pirolítico (1 Ton/1.204,81927710843 L) el proceso generará 19.277,1 Litros de combustóleo que será vendido a Ecopetrol y 1.000 Kilogramos de Carboncillo al día. Asumiendo como supuesto un precio de compra

del aceite Pirofítico de 1,10 USD por litro y 0,5 USD por Kilogramo de Carboncillo. El termo reactor tendrá la capacidad de generar ventas por 21.294,8 USD por concepto de venta de combustóleo y 500 USD por concepto de venta de carboncillo al día. De acuerdo a la capacidad de producción proyectada. Lo que representa 7.596.687 USD al año. En la tabla 8 se muestra la proyección de Ingresos por venta de subproductos.

Tabla 8

Proyección de Ingresos por ventas de Combustóleo y Carboncillo.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
PLASTICO					
Plástico a procesar Total Planta Ton/día	20	20	20	20	20
Toneladas de Plástico Procesadas Año	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
Ingresos por Combustóleo					
Combustóleo (TON - Dia)	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
Combustóleo (Litros-Año)	6.746.988	6.746.988	6.746.988	6.746.988	6.746.988
Valor Venta de Combustóleo (\$/Litro)	1,10	1,14	1,19	1,24	1,29
Total Ingresos por Combustóleo	7.421.687	7.718.554	8.027.296	8.348.388	8.682.324
Ingresos por bunker y carboncillo					
Bunker y carboncillo (Ton- Dia)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Bunker y carboncillo (Kg-Año)	350.000	350.000	350.000	350.000	350.000
Valor Venta bunker y carboncillo (\$)	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58
Total Ingresos por bunker y carboncillo	175.000	182.000	189.280	196.851	204.725
RESUMEN					
Total Ingresos por Combustóleo	7.421.687	7.718.554	8.027.296	8.348.388	8.682.324
Total Ingresos por bunker y carboncillo	175.000	182.000	189.280	196.851	204.725
Ingresos					
Anuales Totales (usd)	7.596.687	7.900.554	8.216.576	8.545.239	8.887.049

Fuente: Elaboración Propia con datos de (Energía Selecta C. , 2024)

Teniendo en cuenta los ingresos proyectados, los costos directos e indirectos de operación y otras variables importantes, se puede proyectar un estado de pérdidas y ganancias en donde se evidencia que el ejercicio es rentable desde el primer año de operación. Lo anterior expresado en la tabla 9.

Tabla 9

Estado de Pérdidas y Ganancias Proyectado.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029
Ingresos					
Anuales Totales					
Total Ingresos por Combustóleo	7.421.687	7.718.554	8.027.296	8.348.388	8.682.324
Total Ingresos por bunker y carbonillo	175.000	182.000	189.280	196.851	204.725
Ingresos Anuales Totales	7.596.687	7.900.554	8.216.576	8.545.239	8.887.049
Costos					
Operacionales					
Gastos Directos e Indirectos	3.652.375	3.779.139	3.910.437	4.046.432	4.187.291
Total Costos Operacionales	3.652.375	3.779.139	3.910.437	4.046.432	4.187.291
EBITDA	3.944.312	4.121.415	4.306.139	4.498.808	4.699.758
Margen	51,9%	52,2%	52,4%	52,6%	52,9%
Gasto Depreciación	(348.287)	(348.287)	(348.287)	(348.287)	(348.287)
Utilidad antes de Impuestos e Intereses	3.596.025	3.773.128	3.957.852	4.150.521	4.351.471
Margen	47,3%	47,8%	48,2%	48,6%	49,0%
Gastos Financieros	-	(109.441)	(100.112)	(90.456)	(80.463)
Ingresos Financieros	-	-	-	-	-
Utilidad antes de Impuestos	3.596.025	3.663.687	3.857.740	4.060.064	4.271.007
Margen	47,3%	46,4%	47,0%	47,5%	48,1%
Impuesto de Renta	-	359.602	366.369	385.774	406.006
Utilidad Neta del Ejercicio	3.596.025	3.304.085	3.491.372	3.674.290	3.865.001
Margen	47,34%	41,82%	42,49%	43,00%	43,49%

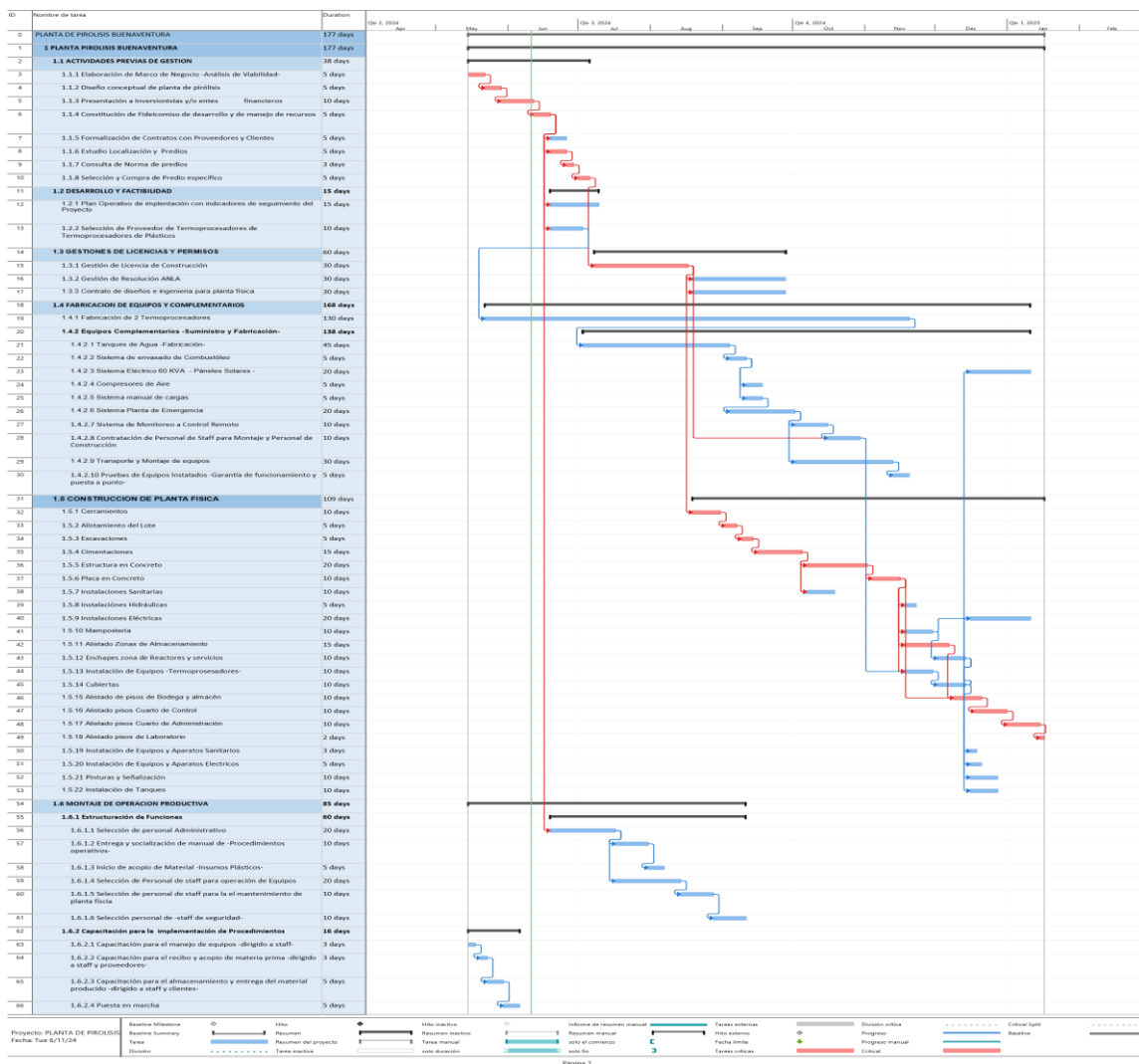
Fuente: Elaboración Propia con datos de (Energía Selecta C. , 2024)

9.2. Modelo de Implementación

A continuación, se presenta el modelo de implementación para la ejecución del proyecto, mediante la herramienta de diagrama de Gantt y posteriormente el despliegue de actividades en la figura 16.

Figura 16

Diagrama Gantt para la descripción de actividades y tiempos en el desarrollo de un proyecto de pirólisis en Buenaventura.



Fuente: Elaboración Propia con datos de (Energía Selecta C. , 2024)

Nota: Este diagrama se actualizó según los requerimientos de inversión para un proyecto en Buenaventura, con la información que se tiene. En la tabla 10 se visualizan las inversiones requeridas.

Tabla 10 Cuadro de Inversión para la planta de pirólisis en Buenaventura.

Item	Descripción	Unidad	Cant	Valor Unitario Cop	Valor Total Cop	Valor Total USD
1	Desarrollo				1.095.187.150	273.797
1.1	Dirección General Proyecto	Glb	1	\$ 365.187.150	\$ 365.187.150	\$ 91.297
1.2	Diseño Conceptual	Glb	1	\$ 80.000.000	\$ 80.000.000	\$ 20.000
1.3	Prefactibilidad	Glb	1	\$ 110.000.000	\$ 110.000.000	\$ 27.500
1.4	Negociaciones previas Terrenos	Glb	1	\$ 30.000.000	\$ 30.000.000	\$ 7.500
1.5	Presentación a Inversionistas	Glb	1	\$ 50.000.000	\$ 50.000.000	\$ 12.500
1.6	Estudios y licencias iniciales	Glb	1	\$ 290.000.000	\$ 290.000.000	\$ 72.500
1.7	Contrato de diseños e ingeniería	Glb	1	\$ 440.000.000	\$ 440.000.000	\$ 110.000
2	Procura y Construcción				12.172.905.000	3.043.226
2.1	Termoprocesador por piólisis	U	2	\$ 1.960.000.000	\$ 3.920.000.000	\$ 980.000
2.2	Compra Bodega	M2	2.000	\$ 2.500.000	\$ 5.000.000.000	\$ 1.250.000
3	Planta de Reciclaje				3.252.905.000	813.226
3.1	Planta y Sistema de Emergencia	U	1	\$ 294.000.000	\$ 294.000.000	\$ 73.500
3.2	Montacargas	U	2	\$ 160.000.000	\$ 320.000.000	\$ 80.000
3.3	Almacenamiento Gas	U	1	\$ 721.500.000	\$ 721.500.000	\$ 185.000
3.4	Tanques de Agua	M3	60	\$ 1.500.000	\$ 90.000.000	\$ 22.500
3.5	Tanque de Combustóleo	M3	60	\$ 4.500.000	\$ 270.000.000	\$ 67.500
3.6	Sistema de envasado de Combustibles	U	1	\$ 150.000.000	\$ 150.000.000	\$ 37.500
3.7	Sistema Eléctrico 30 KVA	U	2	\$ 65.000.000	\$ 130.000.000	\$ 32.500
3.8	Compresores de Aire	U	2	\$ 12.000.000	\$ 24.000.000	\$ 6.000

3.9	Sistema manual de cargas	Glb	2	\$ 18.000.000	\$ 36.000.000	\$ 9.000
3.10	Sistema Contra Incendios	U	1	\$ 450.000.000	\$ 450.000.000	\$ 112.500
3.11	Montaje de equipos	Glb	2	\$ 75.000.000	\$ 150.000.000	\$ 37.500
3.12	Sistema monitoreo a control remoto	Glb	1	\$ 180.000.000	\$ 120.000.000	\$ 30.000
3.13	Básculas camioneras	Glb	1	\$ 452.405.000	\$ 452.405.000	\$ 113.101
3.14	Laboratorio	Glb	1	\$ 45.000.000	\$ 45.000.000	\$ 11.250
Total Costos					\$ 13.268.092.150	\$ 3.317.023
Capital de trabajo para preoperativos					\$ 663.404.608	\$ 165.851
VALOR TOTAL OBRA					\$ 13.931.496.758	\$ 3.482.874

Fuente: Elaboración propia con datos de (Energía Selecta R. F., 2024)

Nota: Esta tabla se actualizó según los requerimientos de inversión para un proyecto en Buenaventura, con la información que se tiene.

Para efectos de generar una agenda relacionada con el desarrollo de una planta de pirólisis para la ciudad de Buenaventura, con un costo total de \$14.269.071.758 en el departamento del Valle del Cauca en Colombia, se estructuró un listado de seis grandes grupos que contiene las actividades y la cronología necesaria que permitirá en el desarrollo del proyecto de pirólisis.

De acuerdo a lo anterior las actividades relacionadas en el diagrama GANNT están definidas de acuerdo con:

1.1 Actividades Previas de Gestión

Este primer grupo del programa corresponde a las gestiones necesarias para identificar que los componentes necesarios para el montaje de la planta se encuentren disponibles.

Elaboración del marco de Negocio -Análisis de Viabilidad

Corresponde al análisis de acuerdo a las perspectivas técnicas, económicas y legales. El análisis y las conclusiones de cada una de estas temáticas permitirá determinar si es posible el desarrollo del proyecto.

Diseño conceptual de la planta de pirólisis

Se realiza una ilustración gráfica para efectos de visualizar conceptualmente los componentes de la planta física, el área resultante y la evaluación inicial de costos. Esta información sirve también para determinar el área del lote necesaria para su implantación.

Presentación a Inversionistas o entes Financieros

Corresponde a la formalidad de la consecución de recursos para el desarrollo del proyecto.

Constitución de Fideicomiso de desarrollo y de manejo de recursos

En esta etapa se centra toda la gestión y desarrollo del proyecto bajo la figura de fideicomiso con objeto de garantizar que cada una de los componentes sean manejados adecuadamente y dentro de parámetros protegidos de factores externos.

Formalización de Contratos de Proveedores y Clientes

Dentro de lo esperado al inicio de operaciones de la planta se espera tener varios proveedores de material para procesar y varios clientes que compran los productos resultantes. Cada uno deberá tener una legalización formal de contrato mediando el fideicomiso para su cumplimiento.

Estudio y Localización de predios

A partir del punto 1.1.2 se estudiarán varias opciones de predios para la implantación de la planta. Localización, normas locales y costos constituirán parámetros para la toma de decisiones.

Consulta de Norma de Predios

En continuidad con el punto anterior se evaluarán los predios de acuerdo a las normas locales.

Selección y Compra de Predio específico

Teniendo en cuenta los términos de norma favorable, el precio y a la localización estratégica respecto a facilidad de acceso y salida de productos se procederá a la compra del predio.

Desarrollo y Factibilidad

Plan operativo de implementación con indicadores de seguimiento del proyecto

La operación comprende la implementación de equipos y personal necesarios para la puesta en marcha de la planta. El seguimiento coordinado se realizará en el paso a paso.

Selección de proveedor de termo procesadores de plástico

Se seleccionará un proveedor único de procesadores a partir de la oferta nacional e internacional de fabricantes de equipos.

Gestiones de Licencia y Permisos/ Gestión de licencia de construcción

Se efectuará la gestión correspondiente con el fin de obtener la licencia de construcción para el desarrollo de la planta. Esto se hará ante cualquiera de las 2 curadurías de la ciudad.

Gestión de resolución ANLA

Se gestionará la licencia ambiental ante el ente regulador ANLA (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales)

Contrato de diseños e ingeniería para la construcción de la planta física

Para efectos de la construcción de la planta física se convocara a empresas locales de diseño y construcción.

Fabricación de Equipos y Complementarios

Fabricación de 2 equipos termo procesadores

En esta etapa se coordinará el desarrollo de la fabricación de los procesadores.

Equipos complementarios Suministro y Fabricación

De forma similar al punto anterior, se realizará una coordinación al desarrollo de la fabricación de los equipos complementarios.

Construcción de Planta Física

En esta etapa se desarrollará la construcción efectiva de la planta física. Profesionales encargados efectuarán el desarrollo y a través del fideicomiso se controlarán los recursos y se hará la vigilancia técnica del desarrollo.

Montaje de Operación Productiva

Estructuración de Funciones

Capacitación para la Implementación de Procedimientos

El adiestramiento de personal para todos y cada uno de los procedimientos relacionados con el manejo de equipos, selección y recibo de material, así como el control de calidad de los productos resultantes su almacenamiento y despacho como claves en el buen desempeño de las funciones de la planta.

Puesta en marcha

Completados los puntos anteriores se procederá realizar una puesta a punto de los equipos y con esto iniciar la operación del sistema.

10. Conclusiones y Recomendaciones

A continuación, se presentan las conclusiones de la intervención desarrollada en la empresa, así como las recomendaciones para la implementación del plan de intervención propuesto.

Conclusiones

De acuerdo a la exploración de fuentes secundarias referentes a literatura relacionada con termo procesamientos anaerobios, se concluye que la pirólisis es especialmente adecuada para tratar residuos plásticos debido a que la mayoría de estos son polímeros de origen fósil, derivados del petróleo, que poseen características como baja densidad y facilidad de manipulación. Estas propiedades hacen que los polímeros, en particular los termoplásticos, sean ideales para reciclarse y aprovecharse mediante procesos de bajo consumo energético. El proceso propuesto busca utilizar la química de los residuos plásticos para obtener productos combustibles, transformando las largas cadenas poliméricas en hidrocarburos más livianos, lo que facilita su aprovechamiento.

Tomando como referencia el análisis bibliométrico y bibliográfico se evidencia que la implementación de tecnologías de pirólisis, respaldada por el uso de zeolitas como catalizadores para lograr procesos de mayor eficiencia, se presenta como una solución viable para la restauración ecológica en regiones como Buenaventura, donde la acumulación de residuos plásticos ha generado serios problemas ambientales e impactado negativamente el sector del turismo como sucede actualmente en las zonas de Playa Bocana y Ladrilleros, teniendo en cuenta que según datos del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Buenaventura para el 2025 se proyecta que el municipio genere 7,75 Toneladas diarias. Esta tecnología implementada en Buenaventura por la

empresa Energía Selecta, con la capacidad de procesar 20 Toneladas diarias, no solo permitirá reducir la cantidad de plásticos contaminantes en suelos y cuerpos de agua de Buenaventura y otros municipios y asentamientos adyacentes, sino que también transforma estos residuos en productos útiles, con aplicaciones potenciales en la industria petroquímica.

Realizando un análisis detallado del modelo operativo, se puede evidenciar que la solución además, de aportar a la mitigación de agentes contaminantes al medio ambiente y de generar valor para los recuperadores de plástico del municipio, es además un modelo de negocio rentable desde el primer año de operación generando ingresos proyectados para la empresa por un valor de \$7'596'687 USD y teniendo en cuenta sus costos de operación y otros como impuestos y amortizaciones, se genera una utilidad después de impuesto proyectada de \$3'596.025 USD.

Entendiendo el modelo de implementación como el despliegue de actividades importantes a ejecutar para dar inicio a la operación de sistema de pirólisis, se identifica como proceso importante de la Ruta Crítica, la obtención de licencia de construcción con una duración de 30 días, sin embargo la empresa no tiene injerencia sobre la eficiencia de este proceso, ya que depende netamente de la curaduría urbana del municipio, sin embargo la empresa si puede prestar especial énfasis en las actividades relacionadas con la construcción que hacen parte también de la cadena crítica con una duración de 109 días y en la cual la empresa si puede agilizar algunos procesos para acortar los tiempos de duración y así, disminuir el tiempo total proyectado de 177 días. En adición a lo anterior e concluye que el proyecto es sostenible por cuanto cuenta evidentemente con un componente ambiental importante, un componente social al vincular personal recuperador del municipio bajo condiciones de comercio justo y además proyectar una recuperación de la inversión en 1 año de operación, entendiendo que la inversión total es

de \$ 3'567.268 USD y la utilidad después de impuesto corresponde a \$3'596.025 USD, se evidencia tomando como referencia las proyecciones de flujo de caja una TIR real del 112,84%. Lo anterior revela la naturaleza de proyecto sostenible del modelo de pirólisis para Buenaventura.

Otro de los impactos positivos de la pirólisis de plásticos es la sostenibilidad fiscal, ya que permite disminuir la entrada de material a los rellenos sanitarios y con ello, disminuir la dependencia de los municipios al enterramiento de residuos, disminuyendo el costo de mantenimiento de los mismos. Asimismo, se fortalecen los procesos de cooperación entre empresas, generando dinámicas de innovación, para fortalecer procesos alternativos en las cadenas de suministro, dando origen a la creación de nuevas empresas. También, aumenta las posibilidades de acceso a la energía, a través del combustóleo y con ello, promueve la disminución de la pobreza, sobre todo en zonas donde se presentan cortes de energía a lo largo del día, como lo es Buenaventura. Por otro lado, se incluye en el sistema de seguridad social, una población históricamente marginada, como lo son los recicladores.

Recomendaciones

Ubicación Estratégica

El sector de La isla Cascajal es el lugar donde confluyen la actividad de comercio marítimo más importante de Colombia, el turismo de paisaje y la sede de Ecopetrol, por lo anterior se recomienda que la planta termo procesadora de plásticos, diseñada y puesta en marcha por Energía Selecta, deberá operar dentro del sector mencionado, ya que esta ubicación equidistante a la actividad de generación de insumos y el comprador final, reduciría considerablemente los costos de transporte, tanto para la Energía Selecta

como para el gremio de los recuperadores, para quienes se facilitaría el traslado de material.

Eficiencia en la recuperación

La separación en la fuente en los hogares también es primordial para facilitar la cadena de suministro del principal insumo, el plástico reciclado. Por lo cual, Energía Selecta deberá coordinar y liderar campañas de sensibilización y concientización en Colegios, Universidades, Unidades residenciales, Supermercados, Restaurantes, Centros Empresariales, Juntas de Acción Comunal, entre otros, con el fin de promover las buenas prácticas de gestión de residuos con el fin de facilitar la labor de los recuperadores de oficio, reducir la presión sobre los rellenos sanitarios y los cuerpos de agua, promoviendo la reutilización no solo del plástico, sino también de otros materiales, como el vidrio, el cartón, el cobre y los residuos orgánicos como insumo para la elaboración de abonos con aplicación en jardines o huertas caseras.

Fidelizar Proveedores

Con el fin de anticipar una probable llegada de otros competidores a la zona, que potencialmente adquieran parte de la disponibilidad del material recuperado, “Plástico Usado”, se recomienda desplegar desde el inicio, una estrategia de fidelización de los recuperadores pertenecientes a Asogesampa, que consiste en la creación de un fondo a través de una figura de cooperativa o corporación que pueda desembolsar pequeños créditos para vivienda con tasas y descuentos bajos, con el fin de brindar herramientas a los proveedores para que mejoren su calidad de vida en el mediano y largo plazo, de esta manera consolidar la relación entre Energía Selecta y las personas que hacen parte de la cadena de valor.

Ampliación de red de proveedores

Actualmente Energía Selecta mantiene conversaciones y se han dado las condiciones para potencialmente concretar un acuerdo de proveeduría de residuos plásticos por parte de la asociación Asogesampa hacia la empresa productora de aceite pirolítico, sin embargo la alta dependencia de este proveedor puede ser un riesgo para Energía Selecta, por lo tanto, se recomienda buscar otras asociaciones de la zona y/o de otros municipios como Nuqui a través de estrategias de consolidación de cargas terrestres y marítimas, para alivianar los costos de transporte o incluso lograr asociar a pequeños grupos de recuperadores la zona de influencia, para convertirlos en nuevos proveedores y de esta forma diversificar y además reducir el poder de negociación de los proveedores mitigando con esto posibles afectaciones a la operación por causa de desacuerdos con Asogesampa. En adición a la estrategia mencionada, es pertinente transferir capacidades a los recuperadores independientes del municipio de Buenaventura y sus alrededores, tanto en habilidades blandas, así como en habilidades duras, en cuanto a la separación de residuos, su clasificación y valorización, complementario a sesiones de formación en alianza con el Establecimiento Público Ambiental de Buenaventura (EPA) en fortalecimiento del cooperativismo y la asociatividad, con el fin de generar una cultura y formación a las futuras generaciones de recuperadores, quienes se convertirán en los próximos proveedores de plástico para Energía Selecta.

Diversificación de productos

La generación de ingresos de energía selecta actualmente depende 100% de otras empresas que realizan el proceso de refinería para la comercialización de

combustibles que serán usados en diferentes industrias como la automotriz y la agrícola, si bien es cierto que por ejemplo en Colombia, actualmente el gobierno propende por la disminución en la exploración de nuevos pozos petroleros a través de la reducción en la emisión de licencias, y esto por supuesto inclina la balanza hacia la utilización de aceite pirolítico por parte de la grandes productoras para suplir la demanda de plásticos en el País, es importante explorar alternativas de diversificación de productos. Como, por ejemplo, la elaboración de parafina para comercializar con empresas de la región, tal es el caso de Velas y Veladoras Santa Elena SAS, la cual podría ser un potencial comprador del material mencionado.

Formación Continua a Recuperadores

Los recuperadores de oficio en Buenaventura, en su mayoría hacen parte de Asogesampa y son personas de escasos recursos que encontraron en la separación y valoración de residuos una fuente de ingresos para ellos y sus familias. Como parte de la estrategia de transformación social de Energía Selecta, se recomienda implementar un programa de formación en habilidades blandas y duras, dirigido a los recuperadores y sus familias con el fin de que su labor sea cada vez mas eficiente y segura y su calidad de vida mejore de manera incremental.

El programa podrá contener talleres enfocados en los siguientes temas:
Técnicas de Clasificación y Recolección de Residuos, Finanzas Personales, Buenas Prácticas en SST, Asociatividad y Cooperativismo, Habilidades Comunicativas.

11. Referencias

- Almirón, J., & Valencia, H. F. (2022). *A review of the interaction of natural and synthetic zeolites in the pyrolysis of plastic . 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions", Hybrid Event, Boca Raton, Florida- USA, July 18 - 22, 2.*
- Antzela Fivga, I. D. (2018). *Pyrolysis of plastic waste for production of heavy fuel substitute: A techno-economic assessment. Sciencedirect, 865-874.*
- Arboleda, N. (2013). *Universidad del Pacífico. Obtenido de Manejo de los residuos sólidos en el Consejo Comunitario de la comunidad negra de Cirtronela, Buenaventura, Colombia:*
<https://repositorio.unipacifico.edu.co/handle/unipacifico/677>
- Asogesampa. (29 de 2 de 2024). *Entrevista a María Teresa Sinisterra, Cofundadora de la Asociación de Gestores Ambientales del Pacífico. Tema: Energía Selecta y su modelo de aprochamiento de plásticos por pirólisis en Buenaventura. . (L.*
- Biakhmetov, B., Dostiyarov, A., Ok, Y. S., & You, S. (2023). *A review on catalytic pyrolysis of municipal plastic waste. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment. Obtenido de <https://pure.korea.ac.kr/en/publications/a-review-on-catalytic-pyrolysis-of-municipal-plastic-waste>*
- Buenaventura News. (2022). *Buenaventura News. Obtenido de <https://www.soydebuenaventura.com/index.php?articulos=hay-un-deterioro-en-el-manejo-de-los-residuos-solidos-en-buenaventura>*
- Buenaventura, A. D. (2020). *Plan de Desarrollo Distrital 2020- 2023.*
https://www.buenaventura.gov.co/images/multimedia/20200707_plan_de_desarrollo_distrital_2020_2023_oficial.pdf.

Campbell, A., & Guitierrez, M. L. (2017). *Operating Model Canvas: Aligning Operations and Organization with Strategy*.

Caraballo, J. (2019). *Semana*. Obtenido de <https://www.semana.com/contenidos-editoriales/servicios-publicos-hoy-con-mas-equidad/articulo/como-solucionar-el-problema-de-los-rellenos-sanitarios-en-colombia-con-economia-circular/644215/>

Conservación Internacional, C. (3 de 7 de 2023). *Laboratorio de Comunicaciones del Pacífico, Empuja. "Sembrando Semilla"*. (L. S. Buitrago, Entrevistador)

Delgado, A., Concha, M., Vidal, J., & Fernandez, L. (2021). *Innovación social en comunidades rurales, experiencia en aprovechamiento de residuos sólidos (Cauca, Colombia)*. *AGER: Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural*.

Energía Selecta, C. (2024). *Diagrama Gantt, Proyecto Buenaventura . SF*.

Energía Selecta, R. F. (2024). *Cuadro de inversión para un proyecto de pirólisis de plásticos en Buenaventura*. Bogotá, Colombia: SF.

EnergíaSelecta. (2024). Obtenido de <https://energiasselecta.co/termoprocesadores>

EPA. (2022). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Buenaventura .*

EPA, C. D. (2020).

Espectador, E. (2022). *Monsalve, Mónica*. Obtenido de <https://www.elespectador.com/ambiente/bahia-de-buenaventura-sumergida-en-microplasticos-en-aguas-superficiales/>

Fonseca, R. (2023). *Energía Selecta .* Obtenido de <https://energiasselecta.co/equipo>

Fundación General de la Universidad de Castilla-La Mancha. (2021). *ChemCycling: El reciclado químico de residuos plásticos*. Fundación General UCLM. Obtenido de <https://fundaciongeneraluclm.es/chemcycling-el-reciclado-quimico-de-residuos-plasticos/>

- Gómez, M. (2008). *Study of the Decomposition of Low Density Polyethylene Blends with Vacuum Gas Oils: Evolution of the Gases. Polyner Degradation and Stability Elsevier* .
- Gupta, A., & Shukla, V. (2023). *Global Market Insights*. Obtenido de <https://www.gminsights.com/industry-analysis/plastic-waste-pyrolysis-oil-market>
- Global Alliance for Incinerator Alternatives (GAIA). (2022). *De basura cero a cero emisiones: Por qué reducir los residuos es clave para combatir el cambio climático*.
- Leonard, A. (2007). *La Historia de las Cosas*. Estados Unidos, Estados Unidos.
- Leonard, A. (2010). *The Story of Stuff*. New York: Simon and Schuster.
- Lummus technology. (2021). *Lummus technology*. Obtenido de <https://www.lummustechnology.com/news/releases/press-2021-9338d8e66269fd928a04051ef5d9b69a/lummus-signs-loi-with-phigenesis-for-recycling-of>
- Market Data Forecast. (2024). *Market Data Forecast*. Obtenido de <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/pyrolysis-oil-market>
- McDonough, W., & Braungart, M. (2003). *Cradle to cradle*. Mc Graw Hill.
- Mincomercio. (2020). *Ministerio de Industria y Comercio*. . Obtenido de <https://www.mipymes.gov.co/temas-de-interes/definicion-tamano-empresarial-micro-pequena-median>
- Minter, A. (2013). *Junkyard Planet: Travels in the Billion-Dollar Trash Trade*. Londres: Bloomsbury Press.
- O'Neill, K. (2019). *Waste*. Cambridge: Polity Press.
- Ramos, W., & Pretell, V. (2021). *Optimización y Caracterización de Combustibles Líquidos* . 19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education,

and Technology: "Prospective and trends in technology and skills for sustainable social development" "Leveraging emerging technologies to construct the future", Buenos Aires - Argentin.

Report & Insights. (2024). Report & insights. Obtenido de

<https://www.reportsandinsights.com/report/pyrolysis-oil-market>

Royte, E. (2006). Garbage Land: On the Secret Trail of Trash. Little, Brown and Company.

Szanto, M., Gil, J., Tejero, J., Vigil, S., Theisen, H., & George, T. (1998). Gestión integral de residuos sólidos. McGraw Hill México.

Tejaswini, Pankaj, P., Seeram, R., & Sankar, G. (2022). A comprehensive review on integrative approach for sustainable management of plastic and its associated externalities .

Timana, J., Ubillas, C., Pretell, V., & Manrique, W. (2024). Análisis tecno-económico de una planta de pirólisis obtenida por simulación para producir petróleo sintético a partir de residuos plásticos. 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions", Hybrid Event, Boca Raton, Florida- USA, July 18 - 22, 2.

Torres, K. (2015). UNIVALLE. Obtenido de

<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/c7a51b7c-ffc6-44dd-87f7-474bdf421f61/content>

UNEP. (2024). Naciones Unidas. Obtenido de <https://www.unep.org/resources/global-waste-management-outlook-2024>

UPME. (2022). Plan de abastecimiento de combustibles líquidos. Bogotá.

Urrutia, E. (11 de 6 de 2024). Entrevista Euclides Urrutia. Asesor del Establecimiento

Público Ambiental de Buenaventura Tema: Energía Selecta y su modelo de aprochamiento de plásticos por pirólisis en Buenaventura. (L. Buitrago, & D. Beltrán, Entrevistadores)

Vargas, O. (2007). Guía metodológica para la Restauración Ecológica del bosque

altoandino. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia.:

<https://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2016/06/guia-metodologica-restauracion-ecologica.pdf>

Vidal, Laura, Molina, Andrés, & Duque, Guillermo. (2021). Incremento de la

contaminación por microplásticos en aguas superficiales de la bahía de

Buenaventura, Pacífico colombiano. Boletín de Investigaciones Marinas y

Costeras - INVEMAR, 50(2), 113-132. Epub December 03,

2021.<https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2021.50.2.1032>

Vásquez-Molano, D., Molina, A., & Duque, G. (2021). Distribución espacial y aumento a

través del tiempo de microplásticos en sedimentos de la Bahía de Buenaventura,

Pacífico colombiano.

Quirós-Rodríguez, J. A., Nisperuza-Pérez, C., & Yepes-Escobar, J. (2021). Los

microplásticos, una amenaza desconocida para los ecosistemas marinos de

Colombia: perspectivas y desafíos a enfrentar. Gestión y Ambiente, 24(1), 91615-

91615.

Wrap. (s. f.). Pacto por los plásticos – Economía circular del plástico. Cempre.

<https://cempre.org.co/pacto-plasticos/>

12. Anexos

Anexo a.

Título de la Fuente: La investigación de Optimización y Caracterización de Combustibles Líquidos Obtenidos a partir de la Pirólisis Catalítica de Residuos Plásticos

Autor(es): Williams Ramos y Victor Pretell

Año de Publicación: 2021

Editorial o Fuente: *19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Prospective and trends in technology and skills for sustainable social development" "Leveraging emerging technologies to construct the future", Buenos Aires - Argentina.*

Enlace o Referencia (si aplica): SCOPUS

1. ¿La fuente proporciona información esencial para el diseño del modelo de aprovechamiento de residuos plásticos a través de pirólisis? (Escala Likert: 1 - 5)

1__ 2__ 3__ 4 X 5__

Relacione la información que considera pertinente la fuente

<p>La investigación detallada en el artículo incluye un modelo matemático de optimización para la pirólisis catalítica de residuos plásticos, este modelo considera variables como la temperatura de operación de la pirólisis y la relación catalizador/materia prima para maximizar el rendimiento de productos líquidos; entre los resultados del artículo se identificó que las condiciones óptimas para el proceso son una temperatura de 654°C y una relación</p>

catalizador/materia prima de 1.2%, lo que resultó en un rendimiento de productos líquidos del 83%.

La fuente también incluye una caracterización fisicoquímica de los productos obtenidos, analizando parámetros como el poder calorífico, la viscosidad, el punto de inflamación y la composición química mediante espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), estos análisis son necesarios para entender las propiedades del combustible resultante y su potencial uso; respecto a esto, los resultados mostraron que los productos líquidos contenían principalmente hidrocarburos, con fracciones de gasolina, nafta/kerosene, diésel y residuos, además de componentes aromáticos y oxigenados.

2. ¿La fuente presenta investigaciones científicas que respaldan la viabilidad de pirólisis como método de aprovechamiento? (Escala Likert: 1 - 5)

1__ 2__ 3__ 4__ 5X

Relacione la información que considera pertinente la fuente

La fuente respalda la viabilidad del método ya que presenta investigaciones científicas que lo demuestran, como por ejemplo, experimentos de pirólisis catalítica de residuos plásticos, mostrando que la utilización de catalizadores como el E-Cat de FCC puede optimizar significativamente el rendimiento de productos líquidos, reportando un rendimiento óptimo de productos líquidos del 83% bajo condiciones específicas de temperatura y relación catalizador/materia prima, esta optimización pone en evidencia la eficiencia y viabilidad del proceso. Se incluyen también referencias a estudios

previos que han investigado métodos de reciclaje químico de residuos plásticos para la obtención de combustibles líquidos, como por ejemplo trabajos en Arabia Saudita, Malasia e Irán, donde se han explorado la pirólisis como una alternativa viable para convertir residuos plásticos en combustibles líquidos, exaltando la doble ventaja de reutilizar residuos plásticos, por un lado, el impacto ambiental, y por otro satisfacer la demanda de combustibles.

3. ¿La fuente incluye recomendaciones prácticas relacionadas con pirólisis de plásticos en el contexto de Buenaventura? (Escala Likert: 1 - 5)

1__ 2 X 3__ 4__ 5__

Relacione la información que considera pertinente la fuente

No relaciona el contexto específico de Buenaventura, pero menciona la importancia de ajustar el proceso de pirólisis a los tipos específicos de residuos plásticos disponibles en cada región; también asocia los beneficios ambientales y económicos de la pirólisis de residuos plásticos, destacando la reducción de contaminantes y la producción de combustibles líquidos. Si bien como se mencionó no se habla específicamente de Buenaventura, indirectamente reafirma la conveniencia del estudio en un municipio donde el manejo de residuos y la autosuficiencia energética son prioridades.

- ¿La fuente menciona los desafíos y consideraciones clave para el diseño del modelo de pirólisis? (Escala Likert: 1 - 5)

1__ 2 X 3__ 4__ 5__

Relacione la información que considera pertinente la fuente

El documento no plantea de manera concreta desafíos, pero expresa la importancia de que el modelo de optimización sea validado experimentalmente para asegurar la precisión y aplicabilidad del modelo en un entorno específico; esto podría considerarse como un trabajo futuro vinculado al proyecto en desarrollo.

¿La fuente aporta información sobre posibles aplicaciones y beneficios económicos de la pirólisis en Buenaventura? (Escala Likert: 1 - 5)

1__ 2__ 3__ 4__ 5 X

Relacione la información que considera pertinente la fuente

Aún sin especificar el contexto de Buenaventura, la investigación destaca que la pirólisis catalítica puede convertir residuos plásticos en productos líquidos útiles como gasolina, diésel y nafta/kerosene, estos productos pueden contribuir no solo a reducir la dependencia de importaciones de combustibles en la región (ofreciendo una fuente local de energía), sino también en abordar el problema de los residuos plásticos, transformándolos en productos útiles en lugar de contaminantes ambientales; esto es especialmente relevante para Buenaventura, donde la gestión de residuos es un desafío significativo.

El estudio también menciona que los productos gaseosos generados durante la pirólisis tienen una energía de combustión alta, lo cual podría cubrir las necesidades energéticas del propio proceso de pirólisis, mejorando su eficiencia y sostenibilidad.

Información General:

Título de la Fuente: Análisis Tecno-Económico de una Planta de Pirólisis

Obtenida por Simulación Para Producir Petróleo Sintético a Partir de Residuos Plásticos

Autor(es): Juan Timana, Bach, Carlos Ubillas, Víctor Pretell, Herbert Manrique, Williams Ramos

Año de Publicación: 2022

Editorial o Fuente: 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions", Hybrid Event, Boca Raton, Florida- USA, July 18 - 22, 2022.

Enlace o Referencia (si aplica): SCOPUS

¿La fuente proporciona información esencial para el diseño del modelo de aprovechamiento de residuos plásticos a través de pirólisis? (Escala Likert: 1 - 5)

1__ 2__ 3__ 4__ 5 X

Relacione la información que considera pertinente la fuente

<p>Se considera una fuente relevante ya que presenta una simulación de una planta de pirólisis que procesa 60 toneladas por día de residuos plásticos (polietileno, polipropileno y poliestireno), lo cual provee datos importantes para la planificación y diseño de una planta, lo cual sería una parte importante del modelo; el documento también detalla la producción que se obtiene por mes de petróleo sintético, permitiendo estimar unos rendimientos de acuerdo con los volúmenes de plástico procesados, esto también permite proyectar una comparación con productos comerciales como el petróleo WTI y el diésel B5-S50. Por otra parte, se detalla un balance de materia y energía destacando la</p>

energía total requerida para el proceso de pirólisis de acuerdo con las toneladas de plástico procesadas.

También proporciona un diagrama de bloques del proceso de producción de crudo sintético, dividiendo el proceso en pretratamiento, pirólisis y condensación, este diseño incluye la clasificación y separación de residuos, la implementación de una zona de lavado, la trituración y molienda de los plásticos, y el uso de intercambiadores de calor y separadores bifásicos para obtener el producto final.

¿La fuente presenta investigaciones científicas que respaldan la viabilidad de pirólisis como método de aprovechamiento? (Escala Likert: 1 - 5)

1__ 2__ 3__ 4__ 5 X

Relacione la información que considera pertinente la fuente

El texto relaciona estudios realizados en Europa y Asia que demuestran la viabilidad de la pirólisis para tratar desechos plásticos y producir petróleo sintético; se mencionan investigaciones específicas que han utilizado plásticos como polietileno, polipropileno y poliestireno debido a su alto poder calorífico y su adecuación para la producción de petróleo sintético; así mismo, se mencionan estudios que han postulado la pirólisis como una de las tecnologías más viables dentro de las categorías de reciclaje de plásticos y tratamiento químico.

También se incluyen validaciones experimentales de modelos de simulación, demostrando que las condiciones operativas óptimas maximizan el rendimiento de productos líquidos; esto es útil para asegurar que los resultados teóricos puedan ser replicados en un entorno real.

¿La fuente incluye recomendaciones prácticas relacionadas con pirólisis de plásticos en el contexto de Buenaventura? (Escala Likert: 1 - 5)

1 X 2__ 3__ 4__5__

Relacione la información que considera pertinente la fuente

No se encontraron recomendaciones

¿La fuente menciona los desafíos y consideraciones clave para el diseño del modelo de pirólisis? (Escala Likert: 1 - 5)

1__ 2__ 3__ 4__5 X

Relacione la información que considera pertinente la fuente

Se detalla la importancia de seleccionar adecuadamente los residuos plásticos (PE, PP, PS) y el pretratamiento necesario, que incluye clasificación, separación, y limpieza de los plásticos antes de ser triturados y alimentados al reactor de pirólisis; también asocia las temperaturas y la presión a las que deben someterse los residuos para obtener los resultados esperados.

¿La fuente aporta información sobre posibles aplicaciones y beneficios económicos de la pirólisis en Buenaventura? (Escala Likert: 1 - 5)

1__ 2 X 3__ 4__5__

Relacione la información que considera pertinente la fuente

Se muestran indicadores económicos que ponen en evidencia la rentabilidad y sostenibilidad de proyectos basados en pirólisis.

Información General:

Título de la Fuente: A Review of the Interaction of Natural and Synthetic Zeolites in the Pyrolysis of Plastics

Autor(es): Jonathan Almirón, Angel Valencia-Huaman, Sandro Fuentes-Mamani, Luis Mamani-De La Cruz.

Año de Publicación: 2022

Editorial o Fuente: 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions", Hybrid Event, Boca Raton, Florida- USA, July 18 - 22, 2022

Enlace o Referencia (si aplica): SCOPUS

¿La fuente proporciona información esencial para el diseño del modelo de aprovechamiento de residuos plásticos a través de pirólisis? (Escala Likert: 1 - 5)

1__ 2__ 3__ 4__ 5 X

Relacione la información que considera pertinente la fuente

<p>Se comparan los rendimientos de aceites y gases obtenidos usando diferentes tipos de zeolitas (empleadas como catalizadores en los procesos de pirólisis), permitiendo identificar las de mejor desempeño para dichos fines; también se discute la influencia de diversos parámetros como la temperatura, el tiempo de residencia y el tipo de reactor utilizado en el rendimiento y calidad de los productos obtenidos. Finalmente, también analiza la producción de diferentes subproductos como aceites líquidos, gases y carbón, destacando las aplicaciones potenciales de estos productos en la industria petroquímica.</p>
--

¿La fuente presenta investigaciones científicas que respaldan la viabilidad de pirólisis como método de aprovechamiento? (Escala Likert: 1 - 5)

1__ 2__ 3__ 4 X 5 __

Relacione la información que considera pertinente la fuente

El documento incluye análisis comparativos de la eficiencia de diferentes catalizadores y condiciones de proceso, proporcionando una visión clara de cómo mejorar la viabilidad y eficiencia de la pirólisis mediante la selección adecuada de materiales y parámetros operativos

¿La fuente incluye recomendaciones prácticas relacionadas con pirólisis de plásticos en el contexto de Buenaventura? (Escala Likert: 1 - 5)

1 X 2__ 3__ 4__ 5__

Relacione la información que considera pertinente la fuente

Discute elementos técnicos para la construcción de reactores, sin embargo, no se considera relevante la información para el diseño del modelo.

¿La fuente menciona los desafíos y consideraciones clave para el diseño del modelo de pirólisis? (Escala Likert: 1 - 5)

1 X 2__ 3__ 4__ 5__

Relacione la información que considera pertinente la fuente

No presenta datos adicionales que no hayan sido obtenidos en los documentos anteriores.

¿La fuente aporta información sobre posibles aplicaciones y beneficios económicos de la pirólisis en Buenaventura? (Escala Likert: 1 - 5)

1 X 2 __ 3__ 4__ 5__

Relacione la información que considera pertinente la fuente

No presenta datos adicionales que no hayan sido obtenidos en los documentos anteriores.

Información General:

Título de la Fuente: Study of the Decomposition of Low Density Polyethylene Blends with Vacuum Gas Oils: Evolution of the Gases

Autor(es): Marcilla, Gómez-Siurana, Berenguer

Año de Publicación: 2008

Editorial o Fuente: Polymer Degradation and Stability, Elsevier

Enlace o Referencia (si aplica): Web of Science

¿La fuente proporciona información esencial para el diseño del modelo de aprovechamiento de residuos plásticos a través de pirólisis? (Escala Likert: 1 - 5)

1 X 2__ 3__ 4__ 5__

Relacione la información que considera pertinente la fuente

Provee información muy técnica como por ejemplo el detalle de cómo la mezcla de polietileno de baja densidad con aceites de vacío afecta la descomposición térmica y la evolución de los gases; desde el nivel del modelo no se considera que sea información que aporte significativamente.

¿La fuente presenta investigaciones científicas que respaldan la viabilidad de pirólisis como método de aprovechamiento? (Escala Likert: 1 - 5)

1 X 2__ 3__ 4__ 5__

Relacione la información que considera pertinente la fuente

Provee información muy técnica como por ejemplo el detalle de cómo la mezcla de polietileno de baja densidad con aceites de vacío afecta la descomposición térmica y la evolución de los gases; desde el nivel del modelo no se considera que sea información que aporte significativamente.

¿La fuente incluye recomendaciones prácticas relacionadas con pirólisis de plásticos en el contexto de Buenaventura? (Escala Likert: 1 - 5)

1 X 2__ 3__ 4__5__

Relacione la información que considera pertinente la fuente

El documento revisado no incluye recomendaciones prácticas específicas para la pirólisis de plásticos en el contexto de Buenaventura.

¿La fuente menciona los desafíos y consideraciones clave para el diseño del modelo de pirólisis? (Escala Likert: 1 - 5)

1__ 2__ 3 X 4__5__

Relacione la información que considera pertinente la fuente

Destaca las condiciones son fundamentales para determinar los parámetros operativos del reactor de pirólisis y optimizar el rendimiento del proceso; también se observan discusiones sobre cómo la mezcla de polietileno de baja densidad con aceites de vacío afecta la descomposición térmica y la evolución de los gases, esta información es relevante para optimizar la mezcla de residuos plásticos y otros materiales para mejorar la eficiencia del proceso de pirólisis.

¿La fuente aporta información sobre posibles aplicaciones y beneficios económicos de la pirólisis en Buenaventura? (Escala Likert: 1 - 5)

1 X 2__ 3__ 4__5__

Relacione la información que considera pertinente la fuente

No presenta este tipo de información.

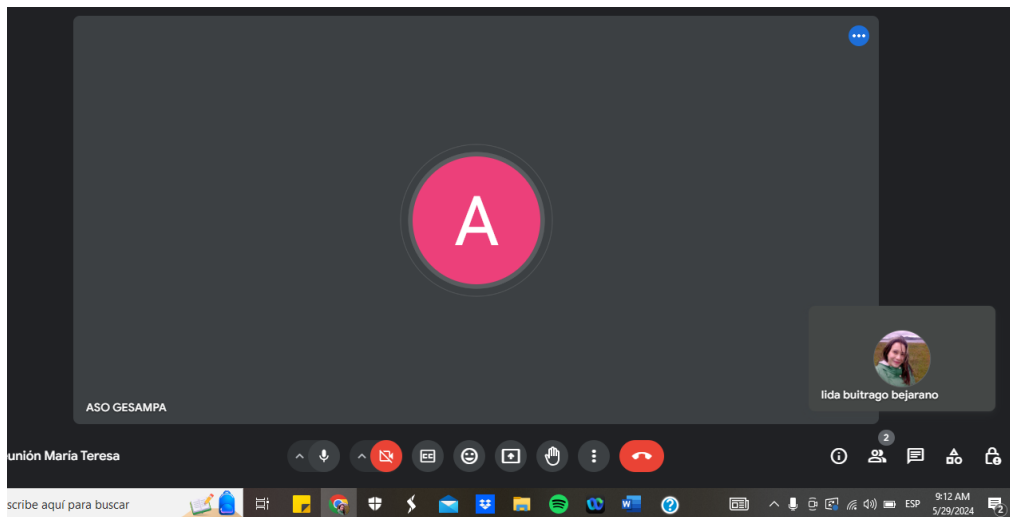
Variable	Pregunta	Promedio Evaluador 1	Promedio Evaluador 2	Promedio Evaluador 3	Promedio Evaluador 4	Promedio Evaluador 5	V de Aiken Calculada
para el Diseño del Modelo	económicos de la pirólisis en Buenaventura?						

Anexo c. Evidencias de las entrevistas a Asogesampa y el Establecimiento Público Ambiental de Buenaventura.

Nombre: María Teresa Sinisterra.

Cargo: Co-fundadora.

Empresa: Asociación de Gestores Ambientales del Pacífico (Asogesampa)



Nombre: Mauricio Murillo.

Cargo: Asesor de la Subdirección de Educación Ambiental.

Entidad: Establecimiento Público Ambiental de Buenaventura.

