

**Procesos de elaboración de fibras textiles a partir de PET reciclado para la mitigación de
impactos ambientales aplicables en el Cauca**



Naren Daryana Mueses Daza

Oscar Ernesto Rincón Salcedo

Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Ambiental y Sanitaria

Línea de Investigación de Gestión Ambiental

Popayán

2025

**Procesos de elaboración de fibras textiles a partir de PET reciclado para la mitigación de
impactos ambientales aplicables en el Cauca**

Naren Daryana Mueses Daza

Oscar Ernesto Rincón Salcedo

Trabajo de investigación para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario

Directora

Ph. D. Diana Milena Muñoz Solarte

Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Ambiental y Sanitaria

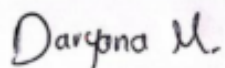
Línea de Investigación de Gestión Ambiental

Popayán

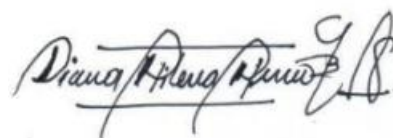
2025

Nota de aceptación

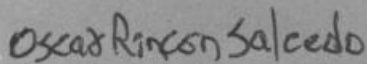
El director y los jurados del trabajo de grado, modalidad Monografía “**Procesos de elaboración de fibras textiles a partir de PET reciclado para la mitigación de impactos ambientales aplicables en el Cauca**”, realizado por: **Naren Daryana Mueses Daza** y **Oscar Ernesto Rincón Salcedo**, una vez revisado el informe final y aprobado la sustentación, autorizan para que se realicen los trámites concernientes para optar el título profesional de **Ingeniera Ambiental y Sanitaria**



Naren Daryana Mueses Daza



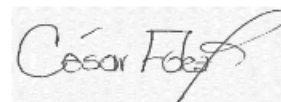
Director
Ph. D. Diana Milena Muñoz Solarte



Oscar Ernesto Rincón Salcedo



Jurado Esp. Arnol Arias Hoyos



Jurado Ph. D. César fernández

Dedicatoria

Con amor

A Élida y Jairo Eduardo, mis padres.

A Jerson y Emmanuel, mis hermanos

Naren Daryana Mueses Daza

Con amor:

A Elizabet y óscar Julián, mis padres.

A Lucía, mi hermana.

A Matías, mi hijo y Yeni, mi compañera de vida.

Oscar Ernesto Rincón Salcedo

Agradecimientos

Con gran satisfacción y humildad, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo de grado.

En primer lugar, agradezco a Dios, por haberme dado la vida, la fortaleza y la sabiduría para enfrentar cada etapa de este proceso académico. Sin su guía, este logro no habría sido posible. A mis padres, por su amor incondicional, sacrificios constantes y apoyo firme en cada momento de mi formación. Gracias por creer en mi incluso en los momentos en los que yo dudé. A mi madre Elida por ser mi ejemplo de ternura y verriquera; y a mi padre Jairo Eduardo, por enseñarme el valor del esfuerzo y la humildad.

A mis hermanos Jerson y Emmanuel, quienes han sido fuente de ánimo, alegría y motivación estaré siempre agradecida con ustedes y aunque no se los diga todos los días los amo mucho y admiro. Le agradezco a Dios por tenerlos en mi vida.

A mi tutor (a) y profesores, gracias por compartir sus conocimientos y por la paciencia, el tiempo y la orientación brindada. Sus enseñanzas han dejado huella significativa en mi formación profesional y personal.

A mis compañeros y amigos, gracias por su apoyo, por los buenos momentos compartidos y el aprendizaje mutuo que me han dejado.

Finalmente, agradezco a la institución educativa por brindarme las herramientas necesarias para desarrollarme académicamente y por haber sido el espacio donde crecí como estudiante y como ser humano.

Este logro no es mío, sino también de todos ustedes. A todos, mi sincero y eterno agradecimiento.

Naren Daryana Mueses Daza

Agradezco a Dios por ser mi guía en todo este proceso y permitirme culminar esta etapa tan importante en mi vida.

A mis padres, Elizabet y Óscar, por ser mi apoyo incondicional, mi ejemplo a seguir y por brindarme amor en cada paso del camino. Gracias por ser mi motivación constante para seguir adelante con mis sueños y metas. Les estaré eternamente agradecido por su respaldo inquebrantable, por estar siempre presentes cuando más los he necesitado, por ser una familia unida en todos los aspectos y por enseñarme los valores de la honestidad, la humildad y el respeto hacia los demás. Gracias por mostrarme que cada día es una oportunidad para ser mejor y para cambiar y crecer como ser humano.

A mi hermanita querida, Lucía, por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba. Tu amor, alegría, sinceridad y apoyo han sido fundamentales a lo largo de este camino lleno de retos. Gracias por ser esa persona especial que con su energía positiva me impulsó a seguir adelante. Mil gracias, mi "nena".

A mi hijo, Matías, y a mi compañera de vida, Yeni, quienes han sido el impulso constante para mantenerme firme ante las dificultades de la vida. Gracias por su cariño, y apoyo incondicional. Sé que no ha sido fácil, pero con su compañía todo ha sido posible. Este logro también es de ustedes.

A mis abuelos, Eliza y Pablo, que, aunque ya no están con nosotros, siguen vivos en nuestro corazón. Gracias por su legado de humildad y humanidad. Este logro también les pertenece.

A toda mi familia: abuelos, tíos, primos, y a mis amigos, gracias por su estima, su compañía y cada granito de arena aportado a lo largo de este exigente proceso. Su confianza, afecto y amistad han sido una fuente de fortaleza invaluable.

En segunda instancia, agradezco a mi directora de investigación, la doctora Diana Muñoz, por su valioso apoyo, su paciencia, sus enseñanzas y sus consejos, que hicieron posible el desarrollo de esta investigación. Gracias por su aval y por la confianza que depositó en mí desde el inicio.

En tercer lugar, a todos los docentes que formaron parte de mi proceso como estudiante, gracias por compartir su conocimiento y por su compromiso con la formación de profesionales íntegros, críticos y responsables. Cada enseñanza recibida me ha permitido llegar hasta aquí.

Finalmente, agradezco a mis compañeros de estudio, por compartir el camino, el conocimiento, las tareas, los desvelos y los logros. Con muchos de ustedes se forjaron amistades sinceras, vivencias inolvidables y momentos que siempre recordaré con cariño.

Gracias a todos los que, de una u otra forma, hicieron parte de esta historia.

Oscar Ernesto Rincón Salcedo

Tabla de contenido

	Pág.
Introducción	15
1. Planteamiento del problema.....	17
2. Justificación	20
3. Objetivos	22
3.1. Objetivo general.....	22
3.2. Objetivos específicos	22
4. Marco teórico	23
5. Metodología	28
5.1. Fase 1. Impactos ambientales de los residuos de PET: un mapeo sistemático.	28
5.2. Fase 2. Estado actual de la gestión de residuos de PET en el Cauca.	32
5.3. Fase 3. Diseño de guía metodológica para elaborar fibras de PET reciclado	35
6. Resultados.....	40
6.1. Resultados de la fase 1: Impactos ambientales de los residuos de PET.....	40
6.1.1. Bibliometría de impactos ambientales de residuos de PET	40
6.1.2. Impactos de residuos de PET sobre el agua.....	44
6.1.3. Impactos de residuos de PET sobre el suelo	47
6.1.4. Impactos de residuos de PET sobre el aire	48
6.1.5. Análisis de resultados de impactos ambientales de residuos de PET	50
6.2. Resultados fase 2: Estado de la gestión de residuos de PET en el Cauca.	51
6.2.1. Bibliometría de gestión de residuos de PET	51
6.2.2. Caracterización de residuos PET en el Cauca.....	53
6.2.3. Métodos de manejo de residuos de PET en el Cauca	54
6.2.4. Cadena de manejo de residuos PET en el Cauca	56

6.2.5.	Alternativas de transformación de residuos PET en el Cauca	62
6.2.6.	Análisis de resultados de la gestión de residuos de PET en el Cauca.....	62
6.3.	Resultados de la fase 3: Diseño de guía metodológica de obtención de fibras.....	63
6.3.1.	Caracterización de experiencias de transformación de residuos PET en fibras.....	63
6.3.2.	Bibliometría de producción de fibras de PET reciclado	70
6.3.3.	Protocolo de procesos de obtención de fibras a partir de residuos de PET	74
6.3.4.	Guía de transformación de PET reciclado en fibras para el Cauca.....	77
6.3.5.	Análisis de resultados de diseño de guía de transformación de PET reciclado en fibras	91
7.	Conclusiones	93
8.	Recomendaciones	96
	Referencias bibliográficas.....	98
	Anexos	111

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Fase de identificación de impactos ambientales de residuos de PET</i>	28
Tabla 2 <i>Preguntas orientadoras del mapeo sistemático sobre impactos ambientales del PET ..</i>	29
Tabla 3 <i>Palabras clave para búsqueda de literatura sobre impactos ambientales del PET.....</i>	30
Tabla 4 <i>Ecuación de búsqueda de literatura sobre impactos ambientales del PET.....</i>	30
Tabla 5 <i>Criterios de inclusión y exclusión de literatura de impactos ambientales del PET</i>	31
Tabla 6 <i>Fase de descripción del estado de la gestión de residuos de PET en el Cauca</i>	32
Tabla 7 <i>Preguntas para mapeo sistemático sobre gestión de residuos de PET en Cauca</i>	33
Tabla 8 <i>Palabras clave para búsqueda de literatura sobre gestión de PET en Cauca</i>	34
Tabla 9 <i>Ecuación de búsqueda de literatura sobre gestión del PET en el Cauca.....</i>	34
Tabla 10 <i>Criterios de inclusión y exclusión de literatura de gestión del PET en Cauca</i>	35
Tabla 11 <i>Fase de diseño de guía metodológica de transformación de PET reciclado en fibras</i>	36
Tabla 12 <i>Preguntas de mapeo sistemático de estudios sobre fibras de PET reciclado.....</i>	37
Tabla 13 <i>Palabras clave para búsqueda de literatura sobre fibras de PET reciclado</i>	38
Tabla 14 <i>Ecuación de búsqueda de literatura sobre fibras de PET reciclado</i>	38
Tabla 15 <i>Criterios de inclusión y exclusión de literatura sobre fibras de PET reciclado</i>	38
Tabla 16 <i>Impactos ambientales de residuos de PET sobre el agua.....</i>	45
Tabla 17 <i>Impactos ambientales de residuos de PET sobre el suelo</i>	47
Tabla 18 <i>Impactos ambientales de residuos de PET sobre el aire</i>	49
Tabla 19 <i>Métodos de manejo y características sobre residuos PET en el Cauca</i>	55
Tabla 20 <i>Aspectos del manejo de residuos de PET según actores de la cadena</i>	57
Tabla 21 <i>Listado de centros de acopio de residuos de PET</i>	58
Tabla 22 <i>Destino de los residuos de PET del Cauca</i>	59

Tabla 23	<i>Cantidad de residuos de PET y número de empleos de la cadena de manejo.....</i>	60
Tabla 24	<i>Número de empleos generados por la gestión de residuos de PET del Cauca</i>	61
Tabla 25	<i>Relatos sobre experiencias de transformación de residuos de PET en fibras.....</i>	64
Tabla 26	<i>Relatos sobre cantidades de PET reciclado transformado en fibras</i>	65
Tabla 27	<i>Relatos sobre destinos de las fibras de PET reciclado</i>	66
Tabla 28	<i>Operaciones del proceso de obtención de fibras textiles según experiencias</i>	66
Tabla 29	<i>Maquinaria usada en las experiencias en transformación del PET en fibras.....</i>	67
Tabla 30	<i>Beneficios sociales de las experiencias en transformación del PET en fibras.....</i>	68
Tabla 31	<i>Beneficios económicos de las experiencias en transformación del PET en fibras.....</i>	68
Tabla 32	<i>Beneficios ambientales de las experiencias en transformación del PET en fibras</i>	69
Tabla 33	<i>Requerimientos del PET reciclado para obtención de fibras</i>	74
Tabla 34	<i>Equipos y maquinaria para transformación de PET reciclado en fibras.....</i>	75
Tabla 35	<i>Equipos y maquinaria para obtención de fibras de PET reciclado</i>	88

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Procedimiento de mapeo sistemático</i>	29
Figura 2 <i>Número de artículos sobre impactos ambientales de residuos de PET</i>	41
Figura 3 <i>Mapa semántico de autores sobre impactos ambientales de residuos PET.....</i>	41
Figura 4 <i>Red semántica de co-asociación de autores sobre impactos ambientales del PET</i>	42
Figura 5 <i>Mapa de densidad de la literatura de impactos ambientales del PET.....</i>	43
Figura 6 <i>Número de artículos según impactos ambientales de residuos de PET.....</i>	44
Figura 7 <i>Red semántica de co-asociación de autores sobre gestión del PET en el Cauca</i>	52
Figura 8 <i>Generación de residuos sólidos en el Cauca</i>	53
Figura 9 <i>Cadena de manejo de residuos de PET en el Cauca.....</i>	60
Figura 10 <i>Número de publicaciones sobre fibras de PET reciclado en 2020-2025.....</i>	70
Figura 11 <i>Número de publicaciones sobre fibras de PET según país de origen.....</i>	71
Figura 12 <i>Número de publicaciones sobre fibras de PET reciclado según área</i>	71
Figura 13 <i>Redes semántica de co-ocurrencia de autores sobre fibras de PET reciclado.....</i>	72
Figura 14 <i>Mapa de densidad de palabras clave de fibras de PET reciclado.....</i>	73
Figura 15 <i>Diagrama de flujo de transformación de PET reciclado en fibras.....</i>	76

Lista de anexos

	Pág.
Anexo A <i>Formato de entrevista dirigido a centros de acopio de residuos sólidos</i>	111
Anexo B <i>Formato de entrevista dirigido a transformadores de residuos de PET en fibras</i>	112

Resumen

En este documento se presentan los hallazgos de una investigación que consistió en caracterizar los procesos de elaboración de fibras textiles de PET reciclado como alternativa de mitigación de impactos ambientales en el Departamento del Cauca. Es una aproximación a la identificación de problemas que genera uno de los plásticos más utilizados en el mundo, la gestión de residuos del mismo en el Cauca y a su transformación en fibras textiles como práctica de economía circular. La metodología combina técnicas como el mapeo sistemático para sintetizar información de la literatura existente sobre las categorías del objetivo de análisis y la entrevista para conocer experiencias en torno al manejo de residuos y transformación en fibras. Los resultados muestran que la mayoría de los impactos del PET se presentan sobre los ecosistemas acuáticos y con mayor intensidad en los marinos; como también en los suelos por inadecuada disposición de desechos y en la atmósfera por procesos de combustión. En cuanto a la gestión en el Cauca, se observa una cadena con eslabones de recuperación, clasificación, selección y comercialización, así como escasas experiencias de transformación. Respecto a procesos de elaboración de fibras textiles a partir de PET reciclado, existe una literatura creciente en el mundo y algunos casos investigativos en Colombia, a los que se suman experiencias de transformación que están consolidando alternativas sostenibles bajo la economía circular.

Palabras clave: impactos ambientales, gestión de residuos PET, fibras textiles, economía circular.

Abstract

This document presents the findings of a research project that characterized the processes for producing recycled PET textile fibers as an alternative for mitigating environmental impacts in the Department of Cauca. It is an approach to identifying problems generated by one of the most widely used plastics in the world: waste management in Cauca and its transformation into textile fibers as a circular economy practice. The methodology combines techniques such as systematic mapping to synthesize information from existing literature on the categories targeted for analysis and interviews to learn about experiences related to waste management and transformation into fibers. The results show that most of PET's impacts occur on aquatic ecosystems, with greater intensity in marine ecosystems; as well as on soils due to inadequate waste disposal and on the atmosphere due to combustion processes. Regarding management in Cauca, there is a chain consisting of recovery, classification, selection, and marketing links, as well as few experiences in transformation. Regarding processes for making textile fibers from recycled PET, there is a growing body of literature worldwide and some research cases in Colombia, along with transformation experiences that are consolidating sustainable alternatives under the circular economy.

Keywords: environmental impacts, PET waste management, textile fibers, circular economy.

Introducción

De acuerdo con Carniel *et al.* (2023), el uso de los plásticos y entre estos el polietileno tereftalato ha experimentado un crecimiento exponencial en las últimas cinco décadas, al punto que prácticamente todos los envases y materiales de embalaje de la industria de alimentos, productos químicos y otros están elaborados con base en este polímero.

Como producto de su uso y la gestión inadecuada en algunos contextos, la contaminación del agua, el suelo y el aire ha sido inevitable, lo que han convertido al PET en uno de los principales materiales que afectan negativamente el medio ambiente (Acuña *et al.*, 2017). A raíz de ello han emergido diferentes alternativas de manejo, desde la recuperación y reuso, hasta la transformación en otros objetos para usarse en el hogar y las empresas.

En el Departamento del Cauca, a la luz de estudios como el de Montaña y Ramírez (2023), la gestión de los residuos de PET representan una problemática ambiental y a la vez una oportunidad económica y social, dado que existen personas y asociaciones, cooperativas y empresas con ánimo de lucro que han constituido una cadena de manejo de este tipo de desechos. En ese sentido, se vienen implementando actividades de economía circular que propenden a devolver los residuos sólidos a la cadena de valor, prolongando su vida útil y contribuyendo a la generación de ingresos y la mitigación de impactos ambientales.

Una de las alternativas innovadoras en materia de economía circular es la transformación de los residuos de PET en fibras textiles, la cual permite devolver estos materiales al ciclo productivo y disminuir la carga contaminante (Forero, 2023). Ante la emergencia de este proceso como forma de aprovechamiento de los mencionados residuos, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo caracterizar los procesos de elaboración de fibras textiles de PET reciclado como alternativa de mitigación de impactos ambientales en el Departamento del Cauca.

Para ello, inicialmente se realiza una identificación de los impactos de los residuos de PET en los ecosistemas acuáticos, terrestres y en la atmósfera de acuerdo con lo que señala la literatura existente en los últimos seis años. Posteriormente, se realiza una descripción de la gestión de los residuos, señalando los actores de la cadena de manejo en el Cauca, las formas de aprovechamiento y otros indicadores. Finalmente, a partir de un mapeo de estudios aplicados en la obtención de fibras de PET, se identifican procedimientos, equipos y maquinaria y otros elementos para el diseño de una guía de orientación para posibles emprendimientos en el Cauca.

1. Planteamiento del problema

La generación de residuos sólidos y sobre todo los de material plástico, se ha convertido en un proceso que impacta el medio ambiente, ante lo cual es necesario la búsqueda de alternativas de remediación y de generación de valor agregado que deriven en mejora de las condiciones del ambiente, afectado por las actividades antrópicas (Espinoza, 2023). Una posible alternativa es el uso del plástico y específico el Polietileno Tereftalato (PET) para la obtención de fibras textiles, una alternativa de economía circular que requiere explorarse para contextos como el Departamento del Cauca. En ese sentido, esta investigación parte de la siguiente problemática:

El uso del plástico es muy frecuente en la vida de las personas, al tiempo que es un material que las empresas utilizan para sus procesos productivos y está representado en envases, bolsas, utensilios de cocina, recipientes, embalajes y demás formas que permiten una utilidad (Celi *et al.*, 2023). Sin embargo, el excesivo uso de este polímero conlleva graves problemas ambientales, ya que al ser de uso masivo y ante la inadecuada gestión de residuos contribuye a la contaminación del aire, agua y suelo, con lo cual se convierte en una amenaza para la salud pública y la vida silvestre debido al microplástico (Prieto, 2023; Castañeta *et al.*, 2020).

De acuerdo con el Programa Ambiental de las Naciones Unidas [UNEP], si bien, entre 1950 y 1970 la producción de plástico era relativamente pequeña y facilitaba su manejo, durante los años 1970 y 1990, la generación de residuos plásticos se triplicó, generando dificultades para su gestión, las cuales se agudizaron hacia el año 2000 cuando la cantidad de residuos creció a niveles superiores a las cuatro décadas anteriores y en la actualidad el volumen se aproxima a 400 millones de toneladas (UNEP, 2023).

Algunas estadísticas indican que alrededor del 36% del plástico se utiliza para producir envases, sobre todo los de un solo uso para contener alimentos y bebidas, de los cuales

aproximadamente el 85 por ciento termina en vertederos o como desechos no regulados (UNEP, 2023). El principal plástico contaminante es el polietileno tereftalato (PET), del cual en Colombia se producen aproximadamente 1.2 millones de toneladas de residuos al año (Banco Mundial, 2022). Por su parte, a nivel del Departamento del Cauca, la cantidad de desechos de este material es cercana a las 20 mil toneladas anuales, de las cuales se aprovecharon mediante reciclaje el 17,57% según datos del Sistema Único de Información [SUI] de la Superintendencia de Servicios Públicos (2023).

El problema de la contaminación por plástico y sobre todo por PET radica en la acumulación sobre el medio ambiente y la baja capacidad de degradación, que a su vez son el resultado de la incultura del reciclaje, la escasa capacidad de las entidades de gestión de residuos y la insuficiencia de planes eficaces de aprovechamiento (Millholand, 2020; Bollaín y Vicente, 2019).

Al hacerse referencia al aprovechamiento del PET, en la actualidad existen alternativas que dentro de la gestión de residuos sólidos han contribuido a la remediación ambiental en alguna medida sobre la problemática que implica la inadecuada gestión de este material una vez ha sido utilizado. Entre las más representativas está el reciclaje con fines comerciales para transformadores, lo que implica el acopio y con ello la reducción de la carga contaminante (Valderrama *et al.*, 2018).

A la anterior se suma la transformación del PET usado, en maderas plásticas que tienen varios propósitos, tales como las cercas en la agricultura o de espacios públicos y recreativos. Así mismo, es un material reciclado que sirve como insumo para la fabricación de bloques, estivas, tanques de almacenamiento de agua, hormigones y otros de comercial y en los sectores de transporte y construcción (Toussent *et al.*, 2022; Botet, 2019). También existen alternativas de

aprovechamiento en la industria textil, dado que el PET es un polímero del cual pueden obtenerse fibras que son la base para la confección de prendas de vestir, sobre todo las de tipo deportivo como camisetas, sudaderas, chaquetas y otros accesorios (Ojeda y Mercante, 2021; Moro *et al.*, 2023).

Al respecto del aprovechamiento del PET para la producción de fibras para la industria textil como una alternativa de contribución a la remediación ambiental, puede señalarse que en Colombia existen algunas experiencias, tales como Fibretex (Forbes, 2022), ENKA, La Sierra SAS, Sutex, entre otras (Morales, 2022), las cuales aportan a la reducción de la carga contaminante de este polímero, al tiempo que contribuyen a la generación de empleo y riqueza de los inversionistas. En el caso del Cauca, las alternativas mediante las cuales se contribuye a la reducción de los residuos de PET son el reciclaje para venta a mayoristas, la elaboración de maderas plásticas como Intera SAS. Sin embargo, hasta el momento no existen iniciativas para efectos de obtener fibras.

En tal sentido, se identifica la necesidad de explorar los elementos mediante los cuales sea posible el aprovechamiento de residuos de este tipo de plástico para aportar a la remediación ambiental y a la generación de valor agregado a partir de la transformación de residuos de PET en fibras textiles. En ese orden de ideas, esta investigación buscó dar respuesta a la siguiente pregunta:

¿Qué características presentan los procesos de elaboración de fibras textiles de PET reciclado como alternativa de mitigación de impactos ambientales en el Departamento del Cauca?

2. Justificación

Este estudio es pertinente desde varias perspectivas. En primer lugar, es un ejercicio investigativo que presenta información acerca de los impactos ambientales del uso de plástico y en específico del PET, que de acuerdo con Valderrama *et al.* (2018), es un material que en las últimas cinco décadas se ha convertido en uno de los más comunes y con ello uno de los mayores problemas ambientales: la acumulación de residuos sólidos. De acuerdo con información de la Organización Mundial de la Salud [OMS], en el último lustro, se han producido alrededor de 300 millones de toneladas de plástico cada año, y el PET representa aproximadamente el 12% de este volumen (OMS, 2023). Al ser un problema que reviste gravedad, el presente estudio aporta información acerca de los efectos sobre el agua, los suelos y la biodiversidad a raíz de los grandes volúmenes y la alta resistencia de este material que superan la capacidad de sumidero de los ecosistemas para degradar los residuos.

Además, es un estudio que aporta información respecto al estado de la gestión de los residuos de PET en una región como el Cauca. Según Botet (2019), es necesario indagar por esta situación por cuanto el PET no solo representa un material contaminante al no realizarse un manejo ambiental adecuado, sino porque a través de actividades como el reciclaje es una fuente de ingresos para familias y empresas que desarrollan procesos de recolección, clasificación, transformación y comercialización. En ese orden de ideas, se ofrece información que permite una aproximación a la problemática que implica el PET, además de las oportunidades en materia económica que ofrece.

Otro aspecto que justifica la realización del presente estudio radica en la descripción de una alternativa de aprovechamiento de PET: la producción de fibras textiles. Sobre esto y ante la necesidad de contribuir a la reducción de cargas contaminantes de plástico, puede afirmarse que es una investigación que difunde información sintética acerca del estado del arte sobre procesos

de reutilización de un material que una vez cumple con el primer propósito, puede servir para otros, tal es el caso de la obtención de materia prima para la industria de la confección (Majumdar *et al.*, 2020).

Dado que se presenta una guía metodológica de obtención de fibras textiles a partir del PET reciclado, la investigación adquiere relevancia por los aportes en materia de innovación para la industria de la confección. Esto en el sentido que la difusión de procedimientos, maquinaria y equipos acerca de la extracción de tal materia prima, aporta conocimientos y métodos para los fabricantes de fibras, que al implementarlos pueden prolongar la vida útil del PET, evitando que se acumule en los vertederos.

En términos teóricos, es un estudio que contribuye con elementos de análisis que se ciñen a los postulados de la economía circular. De acuerdo con Da Costa (2022), es un modelo económico orientado a minimizar el desperdicio y maximizar la reutilización de recursos a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto o material. De esta manera, la investigación aporta conocimientos y métodos que podrían aplicar los textileros a futuro y con ello prolongar el uso del PET a través de la transformación en fibras.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Caracterizar los procesos de elaboración de fibras textiles de PET reciclado como alternativa de mitigación de impactos ambientales en el Departamento del Cauca.

3.2. Objetivos específicos

Identificar los impactos ambientales de los residuos de PET a partir de un mapeo sistemático de la literatura.

Describir el estado actual de la gestión de residuos de PET a nivel del Departamento del Cauca.

Diseñar una guía metodológica para la elaboración de fibras textiles de PET reciclado tendiente a la reducción de la carga contaminante en el Departamento del Cauca.

4. Marco teórico

Este estudio se sustenta en los planteamientos teóricos de la economía circular, además de elementos que describe el estado del arte acerca de los impactos ambientales del PET, el manejo de este material en el contexto caucano, los que describen procesos de obtención de fibras textiles de PET reciclado y los de carácter normativo respecto a la gestión de residuos sólidos.

Respecto a la economía circular, la investigación parte de considerar que las actividades antrópicas como el consumo y la producción no son lineales y por lo tanto el enfoque tradicional basado en “extraer, producir, consumir y desechar”, no es suficiente para la sostenibilidad ambiental (Da Costa, 2022). Este modelo económico enfatiza en la recuperación y el reciclaje de materiales para mantenerlos en uso el mayor tiempo posible (Espinoza, 2023).

Entre las diversas formas de prolongar el uso de un material está la transformación para otros fines, lo cual evita que se conviertan en residuos sin valor agregado que terminan contaminando los ecosistemas. La obtención de fibras textiles a partir de PET reciclado es un claro ejercicio de economía circular, y adquiere importancia en el sentido que no solo reduce la demanda de recursos vírgenes, sino que también disminuye la cantidad de residuos que se disponen en los vertederos, contribuyendo así a un ciclo sostenible benéfico para los ecosistemas y la actividad económica (Morales, 2022). Como producto del diseño e implementación de procesos de producción responsables, la economía circular implica la creación de un sistema en el que los productos se convierten en recursos con nuevo valor agregado, cerrando el ciclo entre consumo y reciclaje.

De esta manera, la economía circular aporta elementos para la generación de valor agregado de los materiales usados al regresarlos al ciclo productivo, lo cual reduce los impactos

ambientales y contribuye a una gestión adecuada de residuos de PET, siendo la transformación de estos en fibras textiles una alternativa económica y ambientalmente sostenible.

Sobre los impactos ambientales de los residuos de PET, algunos estudios señalan que debido a su composición química que le otorga una alta resistencia a la acción degradable del ambiente, es uno de los principales contaminantes en los ecosistemas terrestres y acuáticos (Cruz *et al.*, 2015). Los principales efectos nocivos consisten en la alteración de las propiedades físico-químicas del agua, con lo cual se afecta su calidad y por lo tanto representa un riesgo para la salud pública dado que se hace uso de fuentes hídricas contaminadas por este material (Botet, 2019; Prieto, 2023). Así mismo, están las afectaciones sobre el suelo, ya que cuando el PET queda enterrado libera sustancias químicas tóxicas que afectan la micro fauna y con ello las propiedades edáficas para los cultivos o el desarrollo de la flora silvestre (Bollaín y Vicente, 2019). Otros antecedentes muestran que, al quedar depositado en el ambiente, se causa deterioro en la biodiversidad, pues en algunos casos como las botellas, bolsas y cintas, se convierten en trampas que asfixian aves, peces y otras especies (Ojeda y Mercante, 2021). A estos estudios se suman los que describen problemas asociados al microplástico derivado del desgaste de objetos de PET por la acción climática o el mismo uso, que afecta los sistemas respiratorios, digestivo y nervioso de los seres vivos.

Respecto a la gestión ambiental, diversas investigaciones señalan que los desechos de PET representan un reto que supera las capacidades de las instituciones, especialmente en naciones en desarrollo y economías emergentes (Acuña *et al.*, 2017). Esto se debe, en gran medida, a la falta de adopción de tecnologías que permitan un aprovechamiento eficiente de estos residuos. Aunque el reciclaje suele considerarse la alternativa principal, en muchos países aún no se ha establecido una cultura sólida en torno a esta práctica, como sí ocurre en lugares con una tradición avanzada

en el manejo de residuos, como Alemania o Suecia (Zhang y Wen, 2015). En ese sentido, la gestión ambiental enfrenta diversas restricciones, especialmente cuando se recurre a métodos como el uso de rellenos sanitarios, la incineración o tratamientos fisicoquímicos. Estas alternativas, además de implicar elevados costos económicos y ambientales, terminan siendo obstáculos significativos para la mitigación y el control de los impactos generados por la contaminación con tereftalato de polietileno (Celi *et al.*, 2023).

A nivel del Cauca, el estudio de Montaña y Ramírez (2023) indica que la gestión del PET involucra a personas y familias que lo recolectan, clasifican y venden el material reciclado (botellas, cajas) a depósitos mayoristas, los cuales son vendidos a otros centros de acopio en el Valle del Cauca y Bogotá para exportarlos a Europa y Japón. Muestra además que, en la ciudad existen cuatro empresas que transforma el PET y otros plásticos en mangueras, maderas y elementos para la construcción. Este estudio indica que el manejo de este tipo de residuos consiste principalmente en el reciclaje a nivel del departamento, aunque existen esfuerzos de economía circular orientados a prolongar su vida útil.

Frente a estudios sobre la transformación del PET, Mansilla y Ruiz (2019) indican que los envases son la principal forma de uso de este material, a la vez que resulta en la más común como contaminante y la que mayor facilidad presenta para la extracción de fibras. Los resultados muestran que el 100% de las botellas son aprovechables, siendo las transparentes las que más se adaptan a las necesidades de las industrias textiles, dado que las coloradas dificultan su tratamiento según las prendas de vestir que se pretenden crear. En la misma línea, Majumdar *et al.* (2020) muestran que las propiedades de transmisión, como la permeabilidad al aire y la permeabilidad al vapor de humedad del tejido PET, no cambian significativamente al generarse poliéster reciclado.

No obstante, la rigidez en corte y flexión del tejido sufre aumentos (24-44% y 9-26%, respectivamente). Si bien el poliéster del PET reciclado es menos funcional que el virgen, muestra una alta utilidad para la elaboración de tejidos textiles. Sobre métodos de extracción de fibras a partir de envases, Moro *et al.* (2023) indican resultados satisfactorios al utilizarse el programa AUTODESK Inventor Professional 2022 y el software CAdE SIMU para el diseño mecánico de piezas como insumos para la industria a partir de envases reciclados. Estos representan un prototipo útil para obtener fibras de acuerdo con las especificaciones que requieren los fabricantes de prendas de vestir.

Sobre la normatividad en materia de gestión de residuos sólidos, en Colombia existen leyes, decretos y resoluciones que establecen lineamientos para el manejo adecuado del PET. La legislación al respecto parte de la Constitución Política de 1991, que señala el deber del Estado y los ciudadanos de proteger el medio ambiente, así como el derecho de la población para disfrutar de un ambiente sano (Asamblea Nacional Constituyente, 1991). A partir de estos planteamientos, emergió la Ley 99 de 1993, con la cual se creó el Ministerio de Ambiente, al cual se delegó la organización y seguimiento el sistema nacional ambiental (SINA) para la gestión y conservación de los recursos naturales en el territorio nacional (Congreso de la República, 1993).

La gestión de residuos sólidos está reglamentada por el Decreto 1713 de 2002, el cual fue modificado por el Decreto 1505 de 2002. En estos se han establecido aspectos orientadores para el servicio público de aseo y el manejo integral de los residuos en el país. Posteriormente se han promulgado otros decretos con fines de actualización y adaptación de las normas a los nuevos contextos, entre ellos el Decreto 1140 de 2003, el Decreto 838 de 2005. Sobre estos decretos se basa la Resolución 754 de 2014, en la que se han fijado los criterios para los Planes de Gestión

Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), en específico los tendientes a la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización en todos los municipios del país.

En concordancia con las normas anteriores, desde 2015 está vigente el Decreto 1077, en el cual se presentan lineamientos para el aprovechamiento de residuos sólidos. Así mismo, está el Decreto 596 de 2016 sobre parámetros de formalización de recicladores.

A nivel del Cauca, puede señalarse el Plan de Desarrollo Departamental 2024-2027, en el cual se han diseñado programas y proyectos para la gestión de residuos sólidos en este ente territorial (Gobernación del Cauca, 2024). Además, en el marco del Plan Estratégico Departamental de Ciencia Tecnología e Innovación del Cauca, la gestión de residuos, entre ellos los del plástico debe enfocarse hacia la innovación en la producción, especialmente a partir de procesos de transformación y de generación de valor agregado, a los cuales converge la obtención de fibras a partir del PET reciclado (Gobernación del Cauca, 2013).

5. Metodología

La investigación se desarrolló en tres fases, en las cuales prevaleció la implementación del mapeo sistemático como técnica de recolección de información respecto a impactos ambientales de los residuos de PET y gestión de los mismos. También se aplicó la entrevista para conocer sobre la gestión de residuos de PET y de experiencias en la obtención de fibras textiles.

5.1. Fase 1. Impactos ambientales de los residuos de PET: un mapeo sistemático.

Como se indica en la **Tabla 1**, en esta fase se implementaron cinco actividades, relacionadas con la búsqueda de información en artículos sobre impactos de los residuos de PET, la identificación de las afectaciones en el agua, luego en el suelo y el aire; así como los análisis respectivos de los datos obtenidos.

Tabla 1

Fase de identificación de impactos ambientales de residuos de PET

Actividad	Método	Criterios	Resultados
Búsqueda de artículos de impactos del PET	Mapeo sistemático	• Artículos de investigación sobre impactos de PET disponibles en ScienceDirect, EBSCO host, Scopus y Springer link. • Artículos de los últimos cinco años	• Indicadores bibliométricos
Identificación de impactos sobre el agua.		• Publicaciones internacionales y nacionales: Artículos de revistas indexadas • Palabras clave: residuos PET, impactos ambientales, agua.	• Estadísticas de residuos sólidos sobre ríos, lagos y mares. • Indicadores de impactos
Identificación de impactos sobre el suelo.		• Publicaciones internacionales y nacionales: Artículos de revistas indexadas • Palabras clave: residuos PET, impactos ambientales, suelos.	• Estadísticas de residuos sólidos sobre suelos. • Indicadores de impactos
Identificación de impactos sobre el aire.		• Publicaciones internacionales y nacionales: Artículos de revistas indexadas • Palabras clave: residuos PET, impactos ambientales, aire.	• Estadísticas de residuos sólidos sobre aire. • Indicadores de impactos

Fuente: elaboración propia

En esta fase se realizó un mapeo sistemático siguiendo la propuesta metodológica de Petersen *et al.* (2008), consistente en cinco pasos (**Figura 1**), que parten de la formulación de preguntas, búsqueda de literatura, revisión de documentos, revisión de resúmenes y palabras clave, además de la extracción de información.

Figura 1

Procedimiento de mapeo sistemático



Fuente: elaboración propia a partir de Petersen et al. (2008)

La elaboración de preguntas orientadoras descritas en la **Tabla 2**, se refiere a los interrogantes que permitieron dar alcance al mapeo sistemático y en este caso se corresponden con el objetivo específico y con las actividades de la primera fase.

Tabla 2

Preguntas orientadoras del mapeo sistemático sobre impactos ambientales del PET

Preguntas	Finalidad
¿Qué indicadores bibliométricos arroja la búsqueda de literatura acerca de impactos ambientales de los residuos de PET en el periodo 2020-2025?	Descripción bibliométrica de la literatura sobre impactos ambientales del PET.
¿Qué impactos sobre el agua presentan los residuos de PET según la literatura en el periodo 2020-2025?	Estadísticas descriptivas de cantidad de residuos PET e impactos en el agua.
¿Qué impactos sobre el suelo presentan los residuos de PET según la literatura en el periodo 2020-2025?	Estadísticas descriptivas de cantidad de residuos PET e impactos en el suelo.
¿Qué impactos sobre el aire presentan los residuos de PET según la literatura en el periodo 2020-2025?	Estadísticas descriptivas de cantidad de residuos PET e impactos en el aire.

Fuente: elaboración propia

La búsqueda, consistió en la consulta de publicaciones en las bases de datos ScienceDirect, EBSCO host, Scopus y Springer link. Para ello, como se muestra en la **Tabla 3**, se establecieron las palabras clave y sinónimos con sus respectivos operadores booleanos.

Tabla 3

Palabras clave para búsqueda de literatura sobre impactos ambientales del PET

Palabras clave	Keywords
Impactos ambientales o efectos ambientales o problemas ecológicos o alteraciones ambientales o contaminación	Environmental impacts or environmental effects or ecological problems or environmental alterations or pollution
Agua o recursos hídricos o ecosistemas acuáticos	Water or water resources or aquatic systems
Suelo o tierra o ecosistemas terrestres	Soil or land or terrestrial ecosystems
Aire o atmósfera o calidad del aire	Air or atmosphere or air quality
Polietileno tereftalato o PET o PET reciclable	Polyethylene terephthalate or PET or PET recycling

Fuente: elaboración propia

A partir de las anteriores palabras clave se generó una ecuación de búsqueda en español e inglés (**Tabla 4**), que se digitó en los motores de búsqueda de las bases de datos mencionadas.

Tabla 4

Ecuación de búsqueda de literatura sobre impactos ambientales del PET

Ecuación de búsqueda	Search equation
(“impactos ambientales” OR “efectos ambientales” OR “problemas ecológicos” OR “alteraciones ambientales” OR “contaminación”) AND (“agua” OR “recursos hídricos” OR “sistemas acuáticos”) AND (“suelo” OR “tierra” OR “ecosistemas terrestres”) AND (“aire” OR “atmósfera” OR “calidad del aire”) AND (“polietileno tereftalato” OR “PET” OR “PET reciclable”)	(“environmental impacts” OR “environmental effects” OR “ecological problems” OR “environmental alterations” OR “pollution”) AND (“water” OR “water resources” OR “aquatic systems”) AND (“soil” OR “land” OR “terrestrial ecosystems”) AND (“air” OR “atmosphere” OR “air quality”) AND (“polyethylene terephthalate” OR “PET” OR “recyclable PET”)

Fuente: elaboración propia

La revisión preliminar implicó una exploración somera de los documentos arrojados por la búsqueda y que conformaron la unidad de análisis, es decir, el conjunto de trabajos candidatos para la revisión en profundidad. Luego se realizó la revisión de resúmenes y palabras clave para verificar la pertinencia de los documentos, es decir, la unidad de trabajo, o sea el conjunto del cual se hizo la extracción de datos que permitirían dar respuesta a las preguntas. Para llegar a esta revisión se consideraron los criterios de inclusión y exclusión descritos en la **Tabla 5**, los cuales permitieron hacer filtros de los trabajos que cumplieran con parámetros de selección para obtener los resultados esperados.

Tabla 5

Criterios de inclusión y exclusión de literatura de impactos ambientales del PET

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Publicaciones en español e inglés sobre impactos ambientales de los residuos de PET sobre el agua, el suelo y el aire.	Publicaciones sobre impactos ambientales de los residuos de PET sobre el agua, el suelo y el aire en otros idiomas.
Publicaciones disponibles en las bases de datos ScienceDirect, EBSCO host, Scopus y Springer link.	Publicaciones disponibles en bases de datos diferentes a ScienceDirect, EBSCO host, Scopus y Springer link.
Publicaciones durante el periodo 2020 - 2025	Publicaciones anteriores a 2020
Publicaciones de <i>open acces</i> al resumen o abstract	Publicaciones sin acceso al resumen o abstract
Estudios que describan estadísticas o indicadores de impactos ambientales de los residuos de PET sobre el agua, el suelo y el aire	Estudios que no describan estadísticas o indicadores de impactos ambientales de los residuos de PET sobre el agua, el suelo y el aire
Publicaciones que evidencien resultados sobre impactos ambientales de los residuos de PET	Cartas al editor, artículos de opinión, ensayos u otros no relevantes

Fuente: elaboración propia

La extracción de datos consistió en un proceso de revisión de los artículos relevantes, cuyos resultados corresponden a impactos ambientales de los residuos de PET, algunas estadísticas descriptivas relevantes y los respectivos análisis, los cuales se exponen a partir del numeral **6.1**.

5.2. Fase 2. Estado actual de la gestión de residuos de PET en el Cauca.

Como se indica en la **Tabla 6**, esta fase se desarrolló en seis actividades y las tres primeras sobre la búsqueda de publicaciones sobre gestión del PET, la caracterización de residuos de este material y los métodos de manejo en el Departamento del Cauca, se lograron mediante la implementación del método de mapeo sistemático. Las dos actividades siguientes se basaron en la entrevista como técnica de recolección de información primaria, destinada a indagar sobre la cadena de manejo de residuos de PET y las alternativas de transformación de este material que actualmente se presentan en el Cauca.

Tabla 6

Fase de descripción del estado de la gestión de residuos de PET en el Cauca

Actividad	Método	Criterios	Resultados
Búsqueda de publicaciones sobre gestión del PET	Mapeo sistemático	• Artículos de investigación de residuos de PET disponibles en Redalyc, Scielo, Dialnet y Google Scholar. • Tesis de pregrado y posgrado en repositorios digitales. • Publicaciones entre 2020-2025.	• Indicadores bibliométricos
Caracterización de residuos de PET en Cauca			• Estadísticas de la generación de residuos de PET en el Cauca. • Indicadores según tipo de producto de base PET
Descripción de métodos de manejo de residuos plásticos			• Listado de métodos de manejo de los residuos de PET en Cauca. • Características de los métodos de manejo.
Caracterización de la cadena de manejo de residuos PET	Entrevista	• Personas mayores de edad propietarios o administradores de centros de acopio de residuos PET	• Indicadores de PET reciclado según centros de acopio. • Indicadores de destino del PET acopiado. • Indicadores de empleos. • Otros indicadores.
Identificación de alternativas de transformación de residuos			• Datos descriptivos de iniciativas de transformación de residuos de PET.

Fuente: elaboración propia

La implementación de la técnica de mapeo sistemático fue mediante el procedimiento propuesto por Petersen *et al.* (2008) como se describió en la **Figura 1**. En este caso, la búsqueda de la literatura sobre el estado de la gestión de los residuos PET está centrada en el Cauca. Para el primer paso consistente en la formulación de preguntas orientadoras, en la **Tabla 7** se presentan las que direccionan la consulta de trabajos que se han realizado en la región sobre el proceso de gestión de este tipo de residuos que ante un manejo adecuado representa una cadena productiva en tanto involucra múltiples actividades y actores.

Tabla 7

Preguntas para mapeo sistemático sobre gestión de residuos de PET en Cauca

Preguntas	Finalidad
¿Qué indicadores bibliométricos arroja la búsqueda de literatura acerca de la gestión de los residuos de PET en el periodo 2020-2025 en el Cauca?	Descripción bibliométrica de la literatura sobre gestión ambiental de residuos de PET en el Cauca.
¿Qué estadísticas de la generación de residuos de PET y tipos de productos en base a este material presenta la literatura en el Cauca en el periodo 2020-2025?	Estadísticas descriptivas según cantidad y tipos de productos de base PET en el Cauca.
¿Qué métodos de manejo de los residuos de PET y sus características describe la literatura en el Cauca durante el periodo 2020-2025?	Descripción de métodos de manejo de PET y características en el Cauca.

Fuente: elaboración propia

Para dar respuesta a las preguntas, se incluyeron palabras clave (**Tabla 8**) que permitieron una aproximación a la literatura que se ha generado en el Cauca sobre la gestión de los residuos de PET. Se refieren a términos clave con sus sinónimos o conceptos asociados para una búsqueda en profundidad en las bases de datos Redalyc, Scielo, Dialnet y Google Scholar, además de repositorios digitales de universidades en donde estén disponibles trabajos de investigación a nivel de pregrado y posgrado que se hayan enfocado en la región o que contengan indicadores que permitan determinar aspectos del manejo de residuos de PET para este departamento.

Tabla 8

Palabras clave para búsqueda de literatura sobre gestión de PET en Cauca

Palabras clave	Keywords
Gestión de residuos PET o manejo de PET o reciclaje de PET o tratamiento de residuos PET o manejo ambiental de PET	PET waste management or PET handling or PET recycling or PET waste treatment or environmental management of PET
Cantidad de residuos de PET o volúmenes de residuos de PET	Quantity of PET waste or volumes of PET waste
Productos a base de PET o envases de PET o recipientes de PET	Products made from PET or PET packaging or PET containers

Fuente: elaboración propia

Como producto de la combinación de las palabras clave anteriores, se generó una ecuación de búsqueda que se indica en la **Tabla 9**. Esta que está en español e inglés, se introdujo en los motores de búsqueda de las bases de datos Redalyc, Scielo, Dialnet y Google Scholar y en el navegador de Google Chrome.

Tabla 9

Ecuación de búsqueda de literatura sobre gestión del PET en el Cauca

Ecuación de búsqueda	Search equation
(“gestión de residuos” OR “manejo de desechos” OR “tratamiento de residuos” OR “manejo ambiental”) AND (“polietileno tereftalato” OR “PET” OR “residuos de PET” OR “reciclaje de PET”) AND (“Cauca” OR “Departamento del Cauca” OR “región del Cauca”) AND (“Cantidad de residuos de PET” OR “volúmenes de residuos de PET”) AND (“Productos a base de PET” OR “envases de PET” OR “recipientes de PET”)	(“waste management” OR “waste handling” OR “waste treatment” OR “environmental management”) AND (“polyethylene terephthalate” OR “PET” OR “PET waste” OR “PET recycling”) AND (“Cauca” OR “Cauca State” OR “Cauca region”) AND (“Quantity of PET waste” OR “volumes of PET waste”) AND (“Products made from PET” OR “PET packaging” OR “PET containers”)

Fuente: elaboración propia

Una vez obtenido un conjunto de publicaciones, se sometieron a los criterios de inclusión y exclusión descritos en la **Tabla 10**. Esto con el fin de identificar la unidad de trabajo sobre la cual se extrajo información para dar respuesta a las preguntas de la **Tabla 7**.

Tabla 10*Criterios de inclusión y exclusión de literatura de gestión del PET en Cauca*

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Trabajos en español e inglés sobre gestión de los residuos de PET.	Trabajos en español e inglés sobre gestión de residuos que no incluyan los de PET.
Trabajos en español e inglés sobre gestión de los residuos de PET en el Cauca	Trabajos en español e inglés sobre gestión de los residuos de PET en otros lugares
Trabajos disponibles en las bases de datos Redalyc, Scielo, Dialnet y Google Scholar y repositorios de trabajos de grado.	Trabajos disponibles en bases de datos diferentes a Redalyc, Scielo, Dialnet y Google Scholar y repositorios digitales de universidades.
Trabajos durante el periodo 2020 - 2025	Trabajos anteriores a 2020
Trabajos con acceso al resumen o abstract	Trabajos sin acceso al resumen o abstract
Estudios que describan resultados (cantidad, volumen, porcentajes) sobre gestión, manejo o tratamiento de residuos de PET en el Cauca	Estudios que no describan resultados (cantidad, volumen, porcentajes) sobre gestión, manejo o tratamiento de residuos de PET en el Cauca

Fuente: elaboración propia

Respecto a la caracterización de la cadena de manejo de los residuos de PET y la identificación de alternativas de transformación en el Cauca, se implementó una entrevista dirigida a propietarios o administradores de algunos centros de acopio de residuos sólidos. Para ello se siguió la propuesta de Vargas (2012), que enfatiza en la entrevista semi-estructurada como técnica de obtención de información primaria a partir de la formulación de preguntas que le permiten al investigador un mayor margen de maniobra para lograr que el entrevistado ofrezca datos precisos sobre el tema que se busca comprender. El **Anexo A** es el instrumento que contribuyó a obtener información de tres personas que ofrecieron información al respecto. Los resultados del mapeo sistemático y de la entrevista permitieron una aproximación al estado actual de la gestión de residuos de PET en el Cauca, se describen en el apartado **6.2**.

5.3. Fase 3. Diseño de guía metodológica para elaborar fibras de PET reciclado

Esta fase implicó cinco actividades (**Tabla 11**) para caracterizar algunas experiencias de transformación de residuos de PET y buscar trabajos de investigación sobre obtención de fibras a

partir de este tipo de material desechado, los cuales describan pasos o protocolos para proponer una guía metodológica de transformación del PET reciclado en fibras textiles.

Tabla 11

Fase de diseño de guía metodológica de transformación de PET reciclado en fibras

Actividad	Método	Criterios	Resultados
Caracterización de experiencias de transformación de residuos PET en fibras	Entrevista	• Propietarios o administradores de empresas productoras de fibras de residuos PET	• Descripción del tipo de organización. • Beneficios sociales • Beneficios económicos • Beneficios ambientales
Búsqueda de publicaciones sobre producción de fibras de PET reciclado.	Mapeo sistemático	• Artículos y tesis de investigación sobre producción de fibras textiles a partir de residuos PET en Scopus, Google Scholar y repositorios digitales.	• Indicadores bibliométricos
Identificación de protocolos obtención de fibras a partir de residuos de PET		• Publicaciones en el periodo 2020-2025	• Requerimientos de material reciclado de PET • Requerimientos de maquinaria y equipos. • Pasos para obtención de fibras de PET reciclado. • Infografía de procesos.
Diseño de guía de transformación de PET reciclado en fibras para el Cauca			• Componentes de guía metodológica. • Guía metodológica estructurada
Análisis de resultados			• Capítulo de resultados

Fuente: elaboración propia

Para la caracterización de experiencias de transformación de PET reciclado en fibras textiles, se implementó una entrevista siguiendo la propuesta de Vargas (2012), la cual fue de tipo semi estructurado dirigida a algunos empresarios y administradores que han emprendido acciones en la materia. El formato instrumento de captura de información al respecto es el que se indica en el **Anexo B**, en el cual se indagó por datos acerca del tipo de organización, tipos de fibras y uso textil, beneficios sociales, económicos y ambientales, entre otros aspectos relevantes.

En cuanto a la técnica de mapeo sistemático sobre publicaciones que describen resultados sobre transformación del PET reciclado en fibras textiles, con la finalidad de diseñar una guía metodológica como orientadora de este tipo de esfuerzos en el Cauca, se realizaron los pasos descritos en la **Figura 1** propuestos por Petersen *et al.* (2008). Las preguntas orientadoras correspondientes al primer paso son las que se indican en la **Tabla 12**, con las que se buscó obtener trabajos que sirvieran como insumo para orientar una futura implementación en la región.

Tabla 12

Preguntas de mapeo sistemático de estudios sobre fibras de PET reciclado

Preguntas	Finalidad
¿Qué indicadores bibliométricos arroja la búsqueda de literatura sobre obtención de fibras textiles de PET reciclado en el periodo 2020-2025?	Descripción bibliométrica de la literatura sobre obtención de fibras textiles de PET reciclado.
¿Qué publicaciones describen protocolos o procedimientos de obtención de fibras textiles de PET reciclado en el periodo 2020-2025?	Número de publicaciones con procedimientos de obtención de fibras textiles de PET reciclado
¿Qué requerimientos de PET reciclado, maquinaria y equipos, y pasos para obtener fibras textiles de PET reciclado describen las publicaciones en el periodo 2020-2025?	Características del PET reciclado Maquinaria y equipos usados para obtención de fibras textiles de PET reciclado Listado de pasos para obtención de fibras textiles de PET reciclado.

Fuente: elaboración propia

Para dar respuesta a las anteriores preguntas, se incluyeron palabras clave que contribuyeron a una búsqueda de literatura en las bases de datos Scopus y Google Scholar, además de repositorios digitales de algunas universidades. La **Tabla 13** describe las palabras que permitieron identificar un conjunto de estudios que describen procesos de transformación de PET reciclado en fibras para la industria textil. Se optó por consultar Scopus debido a que es una base de datos robusta en el mundo y de alto impacto académico y por Google Scholar porque es una base de datos que incluye tesis, al igual que los repositorios digitales.

Tabla 13

Palabras clave para búsqueda de literatura sobre fibras de PET reciclado

Palabras clave	Keywords
Fibras textiles de PET reciclado	Recycled PET textile fibers
Metodología, Guía metodológica, procedimientos	Methodology, Methodological guide, procedures
Maquinaria, equipos	Machinery, equipment

Fuente: elaboración propia

Con las palabras clave anteriores, se generó una ecuación de búsqueda que se indica en la **Tabla 14**. Esta que está en español e inglés, se introdujo en los motores de búsqueda de las bases de datos Scopus, Google Scholar y en el navegador de Google Chrome para los repositorios.

Tabla 14

Ecuación de búsqueda de literatura sobre fibras de PET reciclado

Ecuación de búsqueda	Search equation
("Fibras de PET reciclado" OR "fibras textiles de PET reciclado") AND ("Metodología" OR "Guía metodológica" OR "procedimientos") AND ("Maquinaria" OR "equipos")	("Recycled PET fibers" OR "recycled PET textile fibers") AND ("Methodology" OR "methodological guide" OR "procedures") AND ("Machinery" OR "equipment")

Fuente: elaboración propia

Los criterios de inclusión y exclusión descritos en la **Tabla 15** permitieron definir la unidad de trabajo para responder a las preguntas señaladas en la **Tabla 12**.

Tabla 15

Criterios de inclusión y exclusión de literatura sobre fibras de PET reciclado

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículos en español e inglés sobre obtención de fibras textiles de PET reciclado.	Trabajos en español e inglés sobre obtención de fibras textiles de PET reciclado.
Artículos disponibles en las bases de datos Scopus, Google Scholar y repositorios.	Trabajos disponibles en bases de datos diferentes a Scopus, Google Scholar y repositorios.
Artículos durante el periodo 2020 - 2025	Trabajos anteriores a 2020
Artículos con acceso al resumen o abstract	Trabajos sin acceso al resumen o abstract
Artículos que describan procedimientos, requerimientos de PET, maquinaria y equipos, y pasos para obtener fibras de PET reciclado	Estudios que no describan procedimientos, requerimientos de PET, maquinaria y equipos, y pasos para obtener fibras de PET reciclado

Fuente: elaboración propia

Para el diseño de la guía metodológica de transformación de PET en fibras, se seleccionaron algunos artículos que describen procedimientos, requerimientos de PET, maquinaria y equipos, y pasos para obtener fibras textiles. A partir de ello se definió una serie de componentes que involucran la gestión de residuos de PET para establecer los requerimientos de este material, de necesidades de maquinaria y equipos, así como de pasos para la transformación del PET reciclado.

Como se comprende en el apartado **6.3**, los resultados de esta fase están representados en la síntesis de información de experiencias de transformación del PET reciclado, los estudios de obtención de fibras textiles a partir del mismo y la guía metodológica que se ofrece como un conjunto de componentes y pasos para obtener fibras en el Cauca, inclusive en cualquier otro contexto.

6. Resultados

Como producto del mapeo sistemático y la entrevista en las fases de la investigación, a continuación se describen los resultados en tres apartados. El primero corresponde a los hallazgos sobre los impactos ambientales de los residuos de polietileno tereftalato (PET) en el agua, el suelo y la atmósfera. El segundo muestra una aproximación a la gestión de estos residuos en el Cauca, destacando la cadena de manejo y algunos aspectos sociales y económicos. En el tercero se expone el diseño de una guía metodológica de transformación de este plástico reciclado en fibras textiles, el cual parte del reconocimiento de experiencias en la materia y posteriormente el paso a paso para una eventual implementación en el Cauca.

6.1. Resultados de la fase 1: Impactos ambientales de los residuos de PET

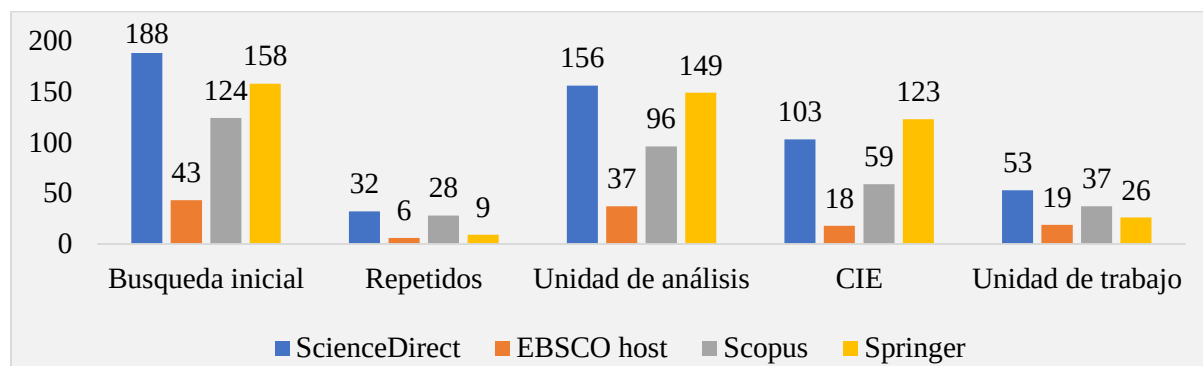
Los resultados que se presentan en este apartado corresponden a indicadores bibliométricos resultantes del mapeo sistemático, así como los impactos ambientales de los residuos de PET sobre los ecosistemas acuático, terrestre y en la atmósfera que expone la literatura durante el periodo comprendido entre 2020 a los primeros dos meses de 2025.

6.1.1. *Bibliometría de impactos ambientales de residuos de PET*

Como producto de la introducción de las ecuaciones de búsqueda en las barras de ScienceDirect, EBSCO host, Scopus y Springer Link, y la delimitación entre 2020 y 2025 se obtuvo un conjunto de 513 artículos, de los cuales 75 se repitieron entre las bases de datos, con lo cual la unidad de análisis fue de 438 trabajos. Posteriormente, al aplicarse los criterios de inclusión y exclusión descritos en la **Tabla 5** y en especial al revisarse el resumen o abstract se obtuvo una unidad de trabajo conformada por 135 publicaciones. La **Figura 2** muestra el número de artículos en cada paso de búsqueda y luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión (CIE), se obtuvo un total de 135 susceptibles de revisión.

Figura 2

Número de artículos sobre impactos ambientales de residuos de PET

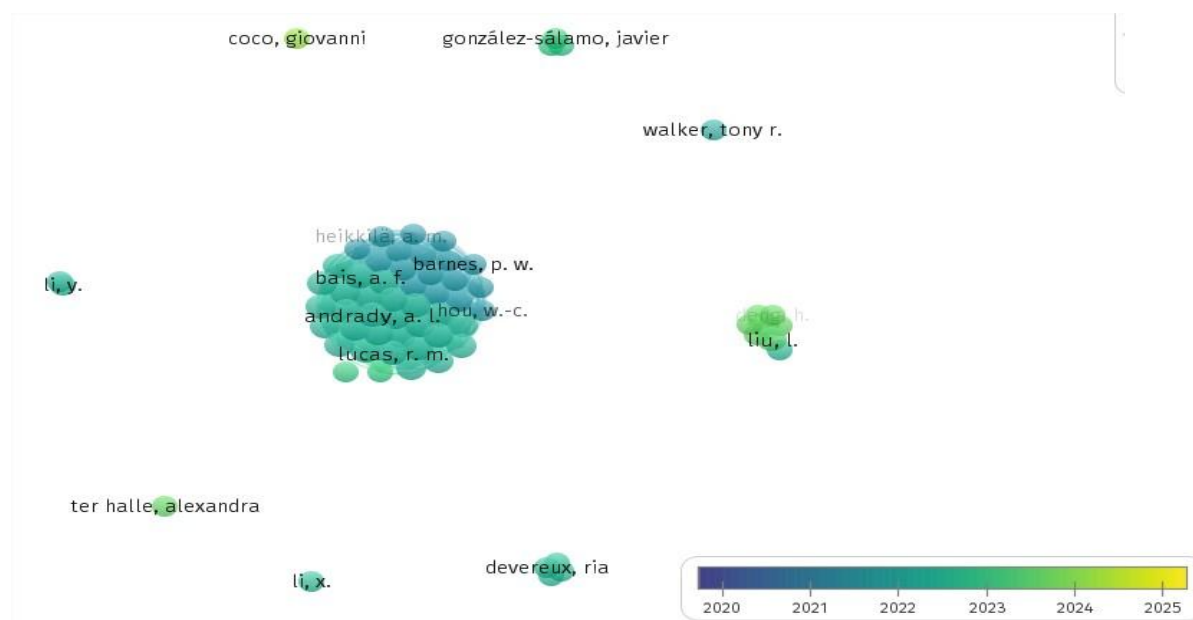


Fuente: elaboración propia.

Al insertarse los 135 trabajos en la plataforma VOSviewer se obtuvo el mapa de la **Figura 3**, el cual indica que la asociación entre autores sobre impactos ambientales de los residuos de PET conforman 10 clústeres, de los cuales dos que tienen 29 y 17 autores cada uno, están estrechamente relacionados, mientras que el resto no guardan asociación con ninguno. Además, se observa que la mayoría se han publicado entre 2022 y 2023 y se concentran los dos clústeres principales.

Figura 3

Mapa semántico de autores sobre impactos ambientales de residuos PET

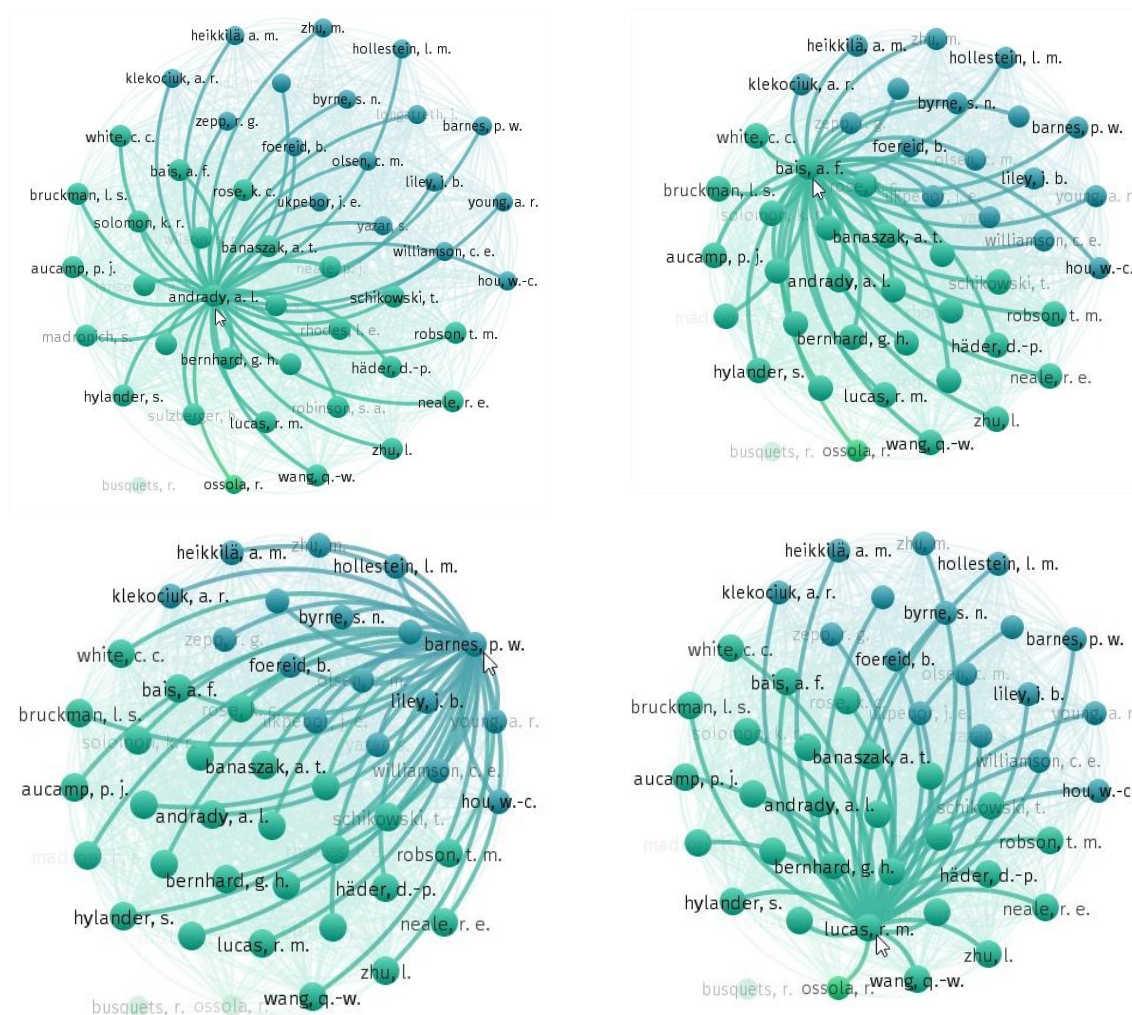


Fuente: elaboración propia.

Respecto a los dos clústeres principales, se observa que Andrady (2015), Bais (2018), Barnes *et al* (2020), Lucas *et al.* (2019) y Liu *et al.* (2021) son los autores que más se repiten, pues presentan al menos cinco publicaciones diferentes que han sido citadas en la literatura publicada entre 2020 y 2025. Esto se evidencia en la red semántica de la **Figura 4**, lo que demuestra que en materia de análisis de impactos ambientales de los residuos de PET, son referentes de importancia en el estado del arte de este tema durante los últimos años de acuerdo con las cuatro bases de datos consultadas.

Figura 4

Red semántica de co-asociación de autores sobre impactos ambientales del PET

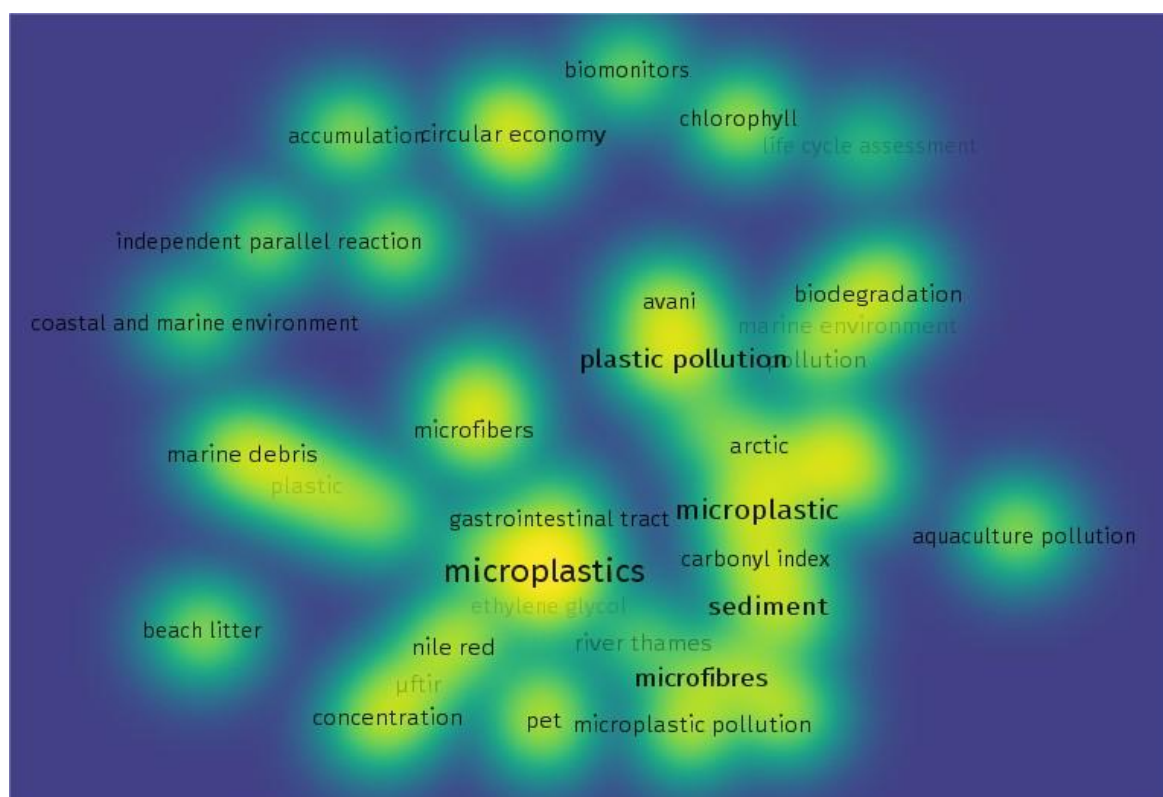


Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la red semántica de co-ocurrencia (**Figura 5**), es decir, la que asocia las palabras clave en la literatura encontrada, indica que microplástico y plástico en sus formas singular y plural son las más comunes, seguidas de microfibras, sedimentos, contaminación plástica, desechos marinos y biodegradación. Eso demuestra que los impactos de los residuos de PET son abordados desde varias variables o categorías que permiten comprender los efectos de este material en los ecosistemas acuáticos, terrestres y en el aire.

Figura 5

Mapa de densidad de la literatura de impactos ambientales del PET



Fuente: elaboración propia.

Debido al color amarillo intenso que incluyó palabras clave como impactos ambientales, contaminación plástica, microplástico y otras, se comprende que son temas o variables que se investigan con mayor frecuencia, al tiempo que demuestran una mayor conexión el resto de términos clave. Este mapa de densidad indica que los residuos de PET se han abordado en estudios

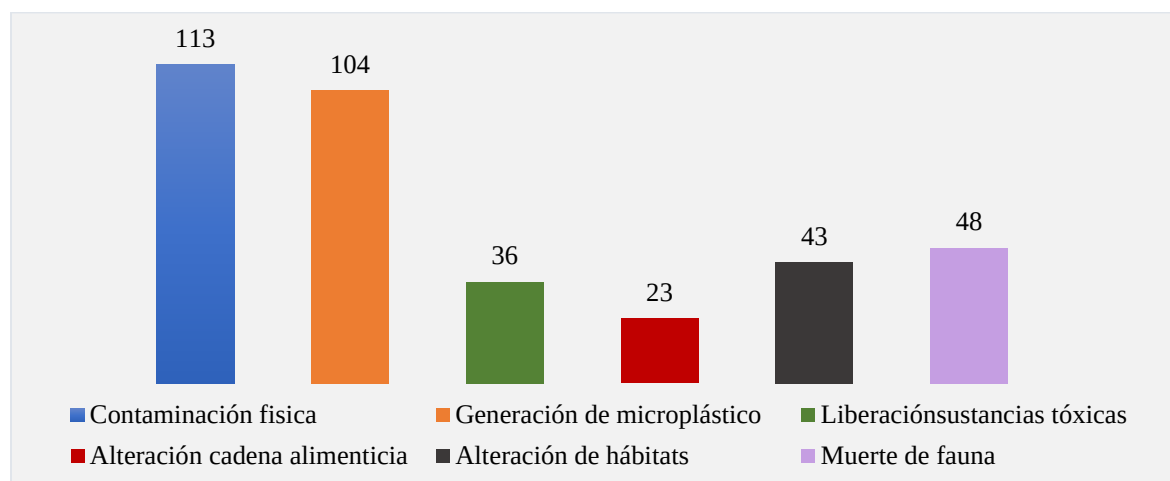
que demuestran impactos ambientales a través de la forma de micropartículas, microfibras y sedimentos de este material (Enamul *et al.*, 2025). Esto indica que los residuos de PET en sus diversas formas son causantes de contaminación de los diferentes ecosistemas, sobre todo los marinos que actúan como los mayores depósitos de los desechos de este polímero (Tian *et al.*, 2022).

6.1.2. Impactos de residuos de PET sobre el agua

De acuerdo con la revisión de las publicaciones, se encontró que 103 hacen referencia a impactos ambientales de residuos de PET sobre el agua o ecosistemas acuáticos, aunque en la mayoría de los casos los estudios se han centrado en los mares. La **Figura 6** muestra una aproximación al número de artículos que describen impactos de este material plástico en los diferentes sistemas hídricos.

Figura 6

Número de artículos según impactos ambientales de residuos de PET



Fuente: elaboración propia.

A raíz de la revisión de los artículos encontrados, en la **Tabla 16** se presentan algunos referentes que describen afectaciones en los cuerpos de agua por causa de la disposición inadecuada de los residuos de PET.

Tabla 16*Impactos ambientales de residuos de PET sobre el agua*

Referencias	Impacto	Descripción
(Menon <i>et al.</i> (2023), Skirtun <i>et al.</i> (2022) Chamley <i>et al.</i> (2025) Guffogg <i>et al.</i> (2024)	Contaminación física	• Acumulación de residuos que dificultan el crecimiento de plantas acuáticas. • Limitación del desplazamiento de fauna acuática. • Calentamiento del agua por efecto lupa del PET • Sedimentación de cauces que modifican el curso del agua. • Reducción de la oxigenación del agua.
Kong <i>et al.</i> (2025), Padha <i>et al.</i> (2025), Illuminati <i>et al.</i> (2024)	Generación de microplástico	• Fragmentación del PET por acción física que se deposita en los órganos de los seres vivos. • Disolución en el agua. Afectaciones en las funciones de los órganos de los seres vivos.
Liu <i>et al.</i> (2024) Bottari <i>et al.</i> (2023) Walker <i>et al.</i> (2021)	Liberación de sustancias tóxicas	• Generación de químicos tóxicos (antimonio, ftalatos y formaldehidos) en el proceso de degradación. • Afectación de la salud de animales acuáticos. • Alteración del pH del agua. • Bioacumulación de microplástico en animales, la cual escala a los humanos.
Ryan <i>et al.</i> (2024) Mandal <i>et al.</i> (2025) Enamul <i>et al.</i> (2025)	Alteración de cadena alimenticia	• Dificultad en la reproducción de peces y aves, que son fuente de alimentación. • Alteraciones del sistema nervioso central de animales
Patil <i>et al.</i> (2024) Devereux <i>et al.</i> (2022)	Alteración de hábitats	• Desplazamiento de especies, cuya consecuencia es el desequilibrio ambiental. • Afectaciones en la micro fauna
Jiang <i>et al.</i> (2022), Sfriso <i>et al.</i> (2024), Samandra <i>et al.</i> (2022), Muchangos <i>et al.</i> (2025)	Muerte de dos fauna acuática	• Asfixia de especies como peces, tortugas, moluscos y mamíferos marinos por fibras, envases y materiales de PET. • Muerte por problemas de oxigenación del agua. • Pérdida de plancton y corales que son fuente de alimento de las especies.

Fuente: elaboración propia.

La literatura describe efectos nocivos no solo sobre el agua superficial de ríos, mares y lagos, sino sobre acuíferos subterráneos a través de microplásticos, evidenciando que una gestión inadecuada del PET causa problemas a gran escala que deterioran la calidad ambiental de todos

los ecosistemas (Akanyange *et al.*, 2022; Abbasi *et al.*, 2023). Algunas estadísticas que señalan los estudios encontrados muestran que el 80% de los residuos plásticos están dispuestos en los océanos (Celi *et al.*, 2023). En algunas áreas de los océanos Pacífico y Atlántico se han identificado que la cantidad de plástico, principalmente PET supera en seis veces la cantidad de plancton (Beaurepaire *et al.*, 2021). Las estimaciones indican que desde inicios del presente siglo se vierten cerca de cinco millones de toneladas anualmente a los mares del mundo (Guffogg *et al.*, 2024).

Las cifras de contaminación de ríos por este tipo de residuos señalan que del total que se genera en el mundo, el 90% de la cantidad de este material que llega a los océanos es a través de los diez principales ríos, los cuales corresponden a Ganges e Indo en India; Yangtsé, Amarillo, Hai y río de Las Perlas en China; Mekong en Indochina; Níger y Nilo en África; y Amur entre Rusia y China (Iannuzzi *et al.*, 2024). En el caso de los lagos y embalses, también se han convertido en cuerpos contaminados por PET. En Estados Unidos, se ha estimado que más de 10.117,15 de kms² (2,5 millones de acres) de estos cuerpos de agua están contaminados por plástico, lo que convierte a este país en uno de mayores ambientales sobre el agua dulce (Ryan *et al.*, 2024).

La gestión inadecuada de los residuos de plástico, entre ellos el PET también ha afectado las aguas subterráneas. Esto se afirma a raíz de una investigación realizada en España se encontró 59 micro contaminantes, entre estos el microplástico en este tipo de acuíferos, lo que los convierte en reservorios inseguros para la salud humana y la biodiversidad (Castañeta *et al.*, 2020). Los efectos del plástico y sobre todo del PET en el conjunto de los cuerpos de agua, son significativos sobre la biodiversidad, al punto que algunos trabajos describen la muerte de aproximadamente 100 mil mamíferos marinos por la ingestión de estos desechos (Devereux *et al.*, 2022). Estos indicadores muestran que el PET como residuo plástico representan un problema grave en el mundo debido a sus efectos nocivos sobre los ecosistemas acuáticos.

6.1.3. Impactos de residuos de PET sobre el suelo

Las zonas terrestres han sido receptoras de residuos de PET, tales como calles de ciudades, suburbios, áreas agrícolas, bosques y otros espacios en donde permanecen en condición de contaminantes debido a su biodegradación retardada (Sfriso *et al.*, 2024). Debido a ello, en la **Tabla 17** se describen los principales impactos sobre el suelo de acuerdo con la literatura encontrada al respecto.

Tabla 17

Impactos ambientales de residuos de PET sobre el suelo

Referencias	Impacto	Descripción
Iannuzzi <i>et al.</i> (2024). Sfriso <i>et al.</i> (2024) Zhang <i>et al.</i> (2023) Abbasi <i>et al.</i> (2023)	Contaminación química	• La degradación del PET dispuesto en el suelo libera aditivos químicos y microplásticos que son tóxicos. • Liberación de antimonio que al filtrarse afecta la calidad del agua subterránea • Microplástico que afecta la actividad microbiana
Abbasi-Reza <i>et al.</i> (2023) Nematollahi <i>et al.</i> (2022) Wang <i>et al.</i> (2021)	Reducción de la fertilidad	• Los residuos de PET alteran la micro biota, con lo cual se afecta la capacidad de descomposición de materia orgánica. • El microplástico y aditivos como antimonio afectan el desarrollo de las raíces. • En zonas de acumulación de residuos de PET, los suelos son objeto de compactación, lo que dificulta la oxigenación y meteorización.
Sharma <i>et al.</i> (2024) Amrutha <i>et al.</i> (2023)	Interrupción de ciclos biológicos	• Los residuos de PET alteran las propiedades físicoquímicas del suelo y reducen la micro fauna. • La acumulación de PET y microplásticos generan desbalance de carbono y nitrógeno, claves para el desarrollo de las plantas.
Johnson <i>et al.</i> (2023) Tian <i>et al.</i> (2022)	Problemas de degradación	• Por su estructura química, el PET requiere de largos periodos de tiempo para degradarse, por lo que se modifica la estructura del suelo, se merma la porosidad y el flujo de agua y aire.

Fuente: elaboración propia

Los impactos descritos son producto del 10% de los residuos plásticos que se han vertido en zonas terrestres. En las zonas urbanas, las estimaciones indican que cuatro quintas partes corresponden a residuos provenientes de actividades domésticas, comerciales e industriales (Sharma *et al.*, 2024).

En el mundo, aproximadamente el 90% de las áreas agrícolas presentan algún tipo de material plástico y sobre todo de PET que se utiliza como envase y cobertura de agroquímicos, semillas y otros insumos, los cuales quedan expuestos a la luz, el calor y el viento, generando efectos nocivos sobre el suelo (Tian *et al.*, 2022). En Colombia, se ha calculado que en algunas zonas agrícolas se generan 500 kilogramos de estos residuos por hectárea (García y Tapia, 2017).

Los suelos de los bosques, principalmente de países como la India, el sudeste asiático y África son objeto de contaminación de aproximadamente 50 kilogramos por hectárea, lo que ha sido causa de muerte por ingestión y asfixia de especies endémicas (Abbasi *et al.*, 2023). En el caso colombiano, a raíz de actividades como el turismo rural, el uso de agroquímicos y otras, el 10% de los residuos de plástico terminan en áreas forestales (Montenegro, 2022).

Al observar estas cifras, se evidencia un problema generalizado en el mundo, sobre todo en países en vía de desarrollo donde la cultura de la economía circular y el manejo adecuado de los residuos de PET no se han promovido y desarrollado suficientemente. Mientras tanto, los suelos siguen siendo objeto de afectaciones en sus propiedades químicas, en la capacidad para descomponer la materia orgánica y en la actividad bacteriana, que son esenciales para el desarrollo de la flora y por ende de la fauna.

6.1.4. Impactos de residuos de PET sobre el aire

Los impactos de los residuos de PET también se han trasladado al aire (atmósfera), principalmente por CO₂, un gas de efecto invernadero resultante de la combustión de este material

plástico como forma de reducirlo en los espacios donde se ha dispuesto de forma inadecuada (Beaurepaire *et al.*, 2021). En la **Tabla 18** se presentan algunos de los principales efectos que este material ha causado sobre la calidad del aire.

Tabla 18

Impactos ambientales de residuos de PET sobre el aire

Referencias	Impacto ambiental	Descripción
Liu <i>et al.</i> (2023), Abbasi-Reza <i>et al.</i> (2023), Jiang <i>et al.</i> (2022), Samandra <i>et al.</i> (2022),	Emisión de microplástico en la atmósfera	Micropartículas en áreas rurales y urbanas transportadas por el viento. Micropartículas que alteran el paisaje
Jia <i>et al.</i> (2022), Ding <i>et al.</i> (2022), Abbasi-Reza <i>et al.</i> (2023), Mandal <i>et al.</i> (2025)	Deterioro de calidad del aire	Emisión de partículas contaminantes por la combustión del PET. Liberación de toxinas como dioxinas y furanos. Malos olores en zonas contaminadas
Carniel <i>et al.</i> (2024), Beaurepaire <i>et al.</i> (2021), Akanyange <i>et al.</i> (2022), Żukowski <i>et al.</i> (2023), Sfriso <i>et al.</i> (2024),	Emisión de gases de efecto invernadero	Emisión de gases que alteran la capa de ozono Acumulación de gases que impiden disipar los rayos ultravioleta del sol.

Fuente: elaboración propia

Trabajos como los de Żukowski *et al.* (2023) y Carniel *et al.* (2024) coinciden en que la producción de una tonelada de PET genera cerca de 2,5 toneladas de CO₂. Aunque no existen estadísticas discriminadas de emisiones de CO₂ según cada tipo de plástico, algunos datos señalan que países como China alcanzan los 14.300 millones de toneladas, de las cuales se estima que el 45% se derivan de la combustión y fabricación de este material. Mientras que, en India, de los 3.500 millones de toneladas que emite al año, el 25% es CO₂ derivado del plástico.

Los estudios encontrados muestran que los residuos de PET impactan la calidad del aire debido a las emisiones de microplástico y los gases de efecto invernadero cuando son objeto de

una gestión inadecuada, sobre todo por la quema de estos materiales (Beaurepaire *et al.*, 2021). El deterioro del aire es uno de los problemas más graves, dado que además del CO₂, se liberan gases como el metano y etano que alteran la temperatura del planeta, de modo que impacta en la vida marina por el calentamiento de los mares y otros ecosistemas (Reza *et al.*, 2023).

6.1.5. Análisis de resultados de impactos ambientales de residuos de PET

De acuerdo con los resultados que arrojó la búsqueda de literatura sobre impactos ambientales de residuos de PET, en primera instancia se señala que es un tema ampliamente investigado. Cabe señalarse que son trabajos investigativos enfocados en los efectos del plástico, de los cuales los realizados por Amrutha *et al.* (2023), Bollaín y Vicente (2019), entre otros destacan el PET como uno de los que más contaminación genera a raíz de la gestión inadecuada de los residuos, sobre todo cuando se trata de recipientes o coberturas de un solo uso y las micropartículas que se desprenden por acción del clima.

De acuerdo con Illuminati *et al.* (2024), Liu *et al.* (2023) y la mayoría de los estudios consultados, los océanos son los cuerpos de agua que en mayor medida han sido impactados por este tipo de desechos y las consecuencias es el calentamiento del agua, la muerte de especies marinas por asfixia e ingestión y cambios en las propiedades fisicoquímicas del agua.

En áreas del Pacífico y el Atlántico, las cantidades vertidas han afectado el crecimiento del plancton, el primer eslabón de la cadena alimenticia de las especies marinas, lo cual ha afectado la diversidad y la alimentación de la población humana al reducirse la provisión para peces y otros de consumo masivo, especialmente en Asia (Guffogg *et al.*, 2024).

En los suelos los efectos nocivos más significativos es la alteración de las propiedades edafológicas, daños a la capacidad de descomposición de materia orgánica y disminución de la actividad bacteriana, claves para la fertilidad y el desarrollo de las plantas. Las áreas agrícolas y

los bosques han sido impactados de manera negativa en tanto empaques y recipientes se han dispuesto sin el debido manejo, creando riesgos para las especies de fauna silvestre y las personas que habitan en las zonas rurales (Sharma *et al.*, 2024).

Los efectos sobre la atmósfera también son graves, principalmente por la emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂ en lugares donde una de las alternativas de reducción es la combustión de los residuos (Ding *et al.*, 2022). Estos se suman a los generados por el uso de combustibles fósiles, máxime cuando ambos son derivados del petróleo que contiene una alta cantidad de carbono (Padha *et al.*, 2025).

6.2. Resultados fase 2: Estado de la gestión de residuos de PET en el Cauca.

Los resultados sobre la gestión de residuos de PET en el Cauca son producto de un mapeo sistemático que se enfocó en la búsqueda de literatura que se ha generado en la región acerca de este tema. Posteriormente se presenta información a partir de la implementación de la técnica de entrevista a personas u organizaciones que se dedican a la recolección, acopio, comercialización y transformación de estos desechos en el departamento.

6.2.1. Bibliometría de gestión de residuos de PET

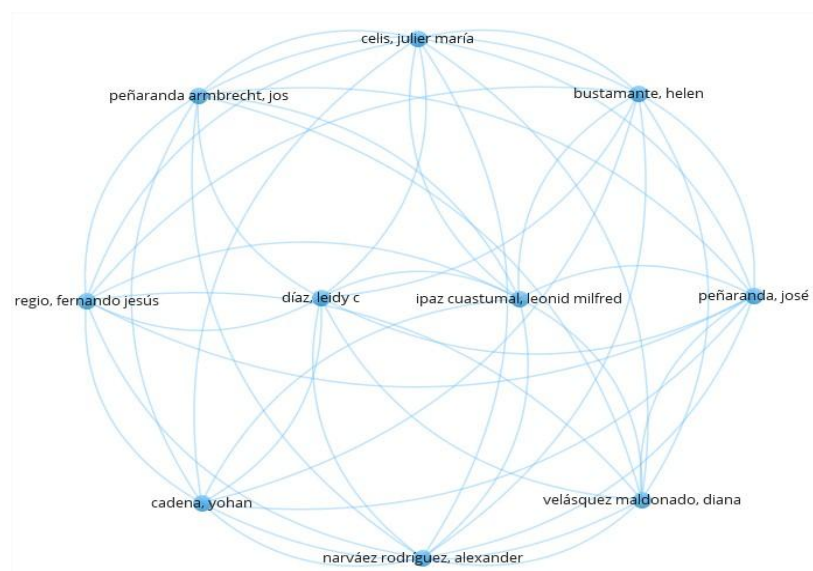
Como producto de la digitación de las ecuaciones de búsqueda de la **Tabla 8** en los motores de Redalyc, Dialnet, Scielo, Google Scholar y en el navegador de Chrome, se obtuvo un total de 36 trabajos que constituyeron la unidad de análisis. En este conjunto de trabajos predominan resultados sobre manejo de residuos sólidos de plástico en general sin discriminar los de PET, e incluyen los de metales como hierro, aluminio, vidrio y otros materiales sólidos.

Sin embargo, a raíz de la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, la unidad de trabajo la constituyeron 12 trabajos de grado, 10 de nivel de pregrado y 2 de especialización en los cuales se describen estadísticas, métodos de manejo y transformación del PET.

Como se indica en la **Figura 7**, la literatura sobre gestión de residuos de PET en el Cauca es relativamente escasa, dado que la mayoría de trabajos se han enfocado en el manejo de los desechos sólidos en general. Esto indica que, si bien es un tema de interés, el material de PET como principal plástico contaminante presenta un camino por recorrer en cuanto a investigación de su generación, tratamiento, comercialización y posible transformación.

Figura 7

Red semántica de co-asociación de autores sobre gestión del PET en el Cauca



Fuente: elaboración propia.

Cabe señalarse que los trabajos de grado que se han publicado durante el periodo 2020-2025 se han desarrollado en programas de la ingeniería ambiental e industrial. Además, 7 de los estudios pertenecen al programa de ingeniería ambiental y sanitaria o de saneamiento de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. Otros trabajos también se han realizado a modo de estrategias pedagógicas para la implementación de los proyectos ambientales escolares (PRAE).

Algunos trabajos describen procesos de gestión de los residuos sólidos de PET, en específico de reciclaje con destino a la comercialización en centros de acopio y la posterior exportación (Celis *et al.*, 2021). Otros hacen referencia a trabajos enmarcados en la educación

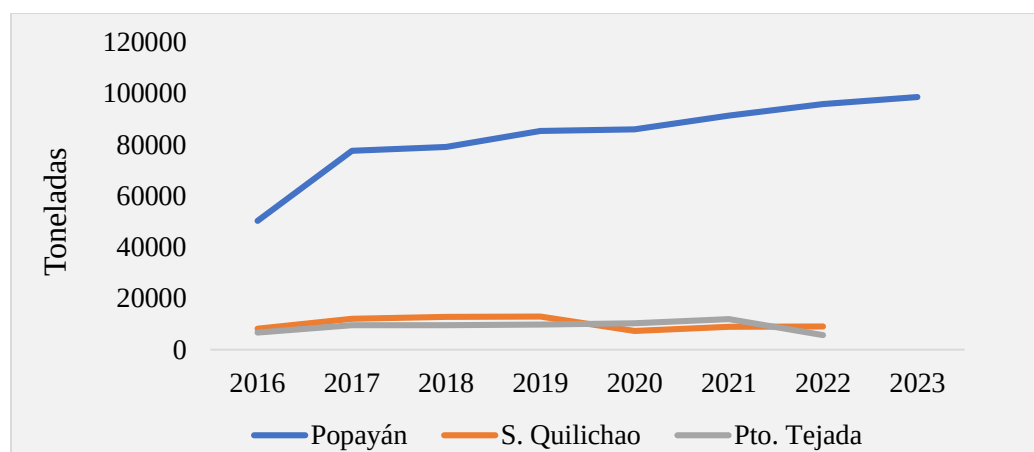
ambiental, en los que se han diseñado e implementado estrategias pedagógicas para fomentar una cultura del reciclaje y reuso del PET (Cadena, 2021). En general, puede afirmarse que son estudios que tratan los residuos de PET como categoría o variable de análisis, pero no trascienden a los análisis de transformación para la generación de valor agregado.

6.2.2. Caracterización de residuos PET en el Cauca

De acuerdo con los resultados que describe la literatura, en el Cauca los residuos de PET corresponden principalmente a envases de bebidas, sobre todo de gaseosas, jugos y otros productos de consumo y de productos para el hogar y empresas. Según estadísticas del Sistema Único de Información (SUI) de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [SSPD] (2024) descritos en la **Figura 8**, en el Cauca las principales ciudades en donde se generan residuos sólidos son Popayán, Santander de Quilichao y Puerto Tejada. En el caso de Popayán, en el año más reciente de disponibilidad de datos que es 2023, la generación de residuos fue de 98521 toneladas, mientras que para las otras dos ciudades cuyos datos disponibles son al año 2022 es de 9102 y 5745 toneladas. Para Santander de Quilichao y Puerto Tejada, no se cuenta con información para los años 2023 y 2024, mientras que para Popayán la serie solo llega hasta 2023.

Figura 8

Generación de residuos sólidos en el Cauca



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2024).

Al revisarse la literatura, se encuentra que la mayoría de trabajos están enfocados en la ciudad de Popayán. Uno de los más representativos respecto al abordaje de los residuos de PET es el realizado por Montaña y Ramírez (2023), quienes señalan que después del aluminio y el papel, el PET es el residuo que más recicla en la región, principalmente de botellas de gaseosa y refrescos. Otros trabajos tratan este tema de manera conjunta con los residuos de plástico, incluyendo el poliestireno (icopor), polipropileno, polietileno de alta densidad (HDPE), policloruro de vinilo (PVC), polietileno de baja densidad (LDPE) y otros (Gobernación del Cauca, 2013; Intera SAS, 2025).

En el trabajo de Montaña y Ramírez (2023), se indica que, en el caso de Popayán, la cantidad de PET que se recupera semanalmente es 826 kilogramos aproximadamente, realizada por recicladores informales que sirven como recolectores para trasladarlo a los 19 puntos de acopio identificados en la ciudad.

6.2.3. Métodos de manejo de residuos de PET en el Cauca

Teniendo en cuenta lo que señala la literatura, en el Departamento del Cauca se implementan cuatro tipos de métodos: a) recolección y disposición en rellenos sanitarios; b) recolección e incineración; c) recolección y comercialización; y d) recolección y transformación.

En el caso de la recolección y disposición en vertederos, se refiere al proceso de recuperación de envases, cajas y otras formas de PET por parte del personal de aseo de los municipios de la región y posteriormente trasladarlos a sitios que se han destinado para tal efecto, algunos que cumplen con la normatividad y otros que son improvisados que carecen de procedimientos técnicos (Ordóñez y Arteaga, 2019).

El segundo es una extensión del primero, ya que en los vertederos que no cumplen con la normatividad ambiental se implementan prácticas como la incineración para reducir o eliminar los

residuos de PET (Montaño y Ramírez, 2023). Además, es una forma en que los hogares y algunas empresas, sobre todo las informales de eliminar los desechos de los lugares en donde están expuestos (Montenegro, 2022). A ello se suman las conductas ambientalmente irresponsables de habitantes de calle que acostumbran a quemar este tipo de materiales (Silva y Mejía, 2021).

En cuanto a la recolección y comercialización, que es el método más representativo, consiste en la recuperación de los residuos por parte de recolectores informales, quienes venden las cantidades recolectadas a centros de acopio (Montaño y Ramírez, 2023). También existen cooperativas y asociaciones de recicladores que destinan trabajadores a la recolección de residuos a través de rutas en las ciudades principales del Cauca.

Además de los anteriores métodos de manejo, en el Cauca se ha incrementado en los últimos años la recolección y transformación de los residuos de PET, en algunos casos en conjunto con otros plásticos para la elaboración de maderas plásticas, tejas plásticas, bloques y ladrillos, placas para tarimas y otros (Montenegro, 2022). Estos métodos que se describen en la **Tabla 19**, son los que determinan las cadenas de manejo de los residuos de PET en el departamento, con lo cual se evidencia que, si bien no existe un eslabón robusto en cuanto a la transformación de este material, se generan procesos orientados a mermar la carga contaminante por uno los plásticos que más contamina en el mundo.

Tabla 19

Métodos de manejo y características sobre residuos PET en el Cauca

Referencia	Métodos	Características	Participantes
Montaño y Ramírez (2023)	Recolección y disposición en vertederos	● Método básico y ambientalmente inadecuado. ● Ausente de prácticas de economía circular ● Contaminación de suelos y agua	Personal de servicio de aseo público

Referencia	Métodos	Características	Participantes
Gobernación del Cauca (2013); Ordóñez & Arteaga (2019)	Recolección e incineración	● Generación de empleo	Personal de servicio de aseo público, hogares y habitantes de calle
		● Método básico y ambientalmente inadecuado.	
		● Ausente de prácticas de economía circular.	
		● Contaminación atmosférica	
Gobernación del Cauca (2024); Montaño y Ramírez (2023)	Recolección y comercialización	● Generación de empleo	Recicladores informales, recicladores de oficio y asociaciones y cooperativas, centros de acopio
		● Método intermedio con algunos elementos de economía circular.	
		● Prolonga la vida útil del PET	
Intera SAS (2025); Montenegro (2022);	Recolección transformación	● Generación de empleo	Recicladores informales, recicladores de oficio y asociaciones y cooperativas, centros de acopio y transformadores
		● Método avanzado de economía circular.	
		● Generación de valor agregado de residuos de PET.	

Fuente: elaboración propia.

Estos métodos son los que según la literatura se implementan principalmente en el Cauca. Cada uno cuenta con una serie de pasos que permiten determinar la cadena de manejo de los residuos PET en la región.

6.2.4. Cadena de manejo de residuos PET en el Cauca

Para una aproximación a la cadena de manejo de los residuos de PET en el Cauca se implementó una entrevista según las preguntas que se presentan en el **Anexo A** dirigidas a administradores o propietarios de centros de acopio, además de representantes de asociaciones o cooperativas de recicladores. Para una comprensión de los relatos de las personas participantes de la entrevista, se han codificado mediante el literal E que simboliza entrevistado, seguido de un numeral entre 1 y 4 para diferenciar a quien pertenece la opinión. Esto debido a que los

participantes solicitaron el anonimato. En tal sentido, para una mejor comprensión de la cadena de manejo según los cuatro entrevistados, la **Tabla 20** sintetiza los aspectos más relevantes.

Tabla 20

Aspectos del manejo de residuos de PET según actores de la cadena

Entrevistado	Descriptor
E1	“La cadena es muy corta, porque apenas llega hasta la comercialización de material recuperado” “Hay empresas en condición de sociedades por acciones simplificadas, limitadas y personas naturales que pagan trabajadores para recuperar los residuos”
E2	“El grueso de la cadena lo conforman la generación, recolección y comercialización”. “En los hogares no hay cultura de clasificación, no tienen contenedores según cada material” “Existe un buen número de recicladores que aportan a recuperar el PET y otros materiales, pero no son suficientes para la gran cantidad que se genera”
E3	“Todo comienza en los hogares y empresas, pero más que todo en los hogares no se hace buena selección y clasificación” “Los recicladores informales hacen una buena recuperación de envases o demás formas del PET, pero no seleccionan según la calidad y tampoco clasifican según tipo de residuos y eso lo hacen los trabajadores aquí” [E3]
E4	“En colegios, universidades y otras que, si tienen contenedores, no cumplen la norma o los planes de manejo ambiental que se han diseñado” “Contamos con asociaciones como AREMARPO, RECINPAYAN, ASOCAMPO y otras conformadas por personas que trabajan reciclando”

Fuente: elaboración propia

De los relatos de los entrevistados se comprende que es una cadena en proceso de construcción, dado que, frente a los propósitos de la economía circular, los casos que evidencian prácticas desde la generación hasta la transformación son escasos. Todos coinciden en que la cadena comienza con la generación en las fuentes (hogares y empresas), la mayoría principalmente hogares que no realizan procesos de selección y clasificación de los residuos y por lo tanto problemas en el manejo en el siguiente eslabón. Estos resultados coinciden con lo expuesto por Da

Costa (2022) respecto a que en los países en vías de desarrollo la cultura del aprovechamiento de los residuos está limitada por una cadena de manejo que no se prolonga más allá de la recuperación y comercialización.

También señalan que en la actualidad los actores más activos de la cadena en la recuperación de los residuos de PET son los recolectores informales y las asociaciones y cooperativas. Son resultados que muestran según Acuña *et al.* (2017) la capacidad de los recolectores para asociarse, aunque siguen tendencias similares en Colombia en cuanto a que la mayoría son organizaciones que omiten ir a un eslabón de la cadena de manejo y que se refiere a una mayor obtención de valor agregado: la transformación.

A raíz de los relatos de los entrevistados y búsqueda de organizaciones dedicadas al manejo de los residuos de PET, se encontró que los centros de acopio más representativos en el Cauca son los listados en la **Tabla 21**, los cuales son de carácter formal, puesto que existen otros de los que no se tienen registros debido a que operan sin matrícula mercantil. Esta tabla muestra que legalmente constituidos existen 28 establecimientos que dedican su actividad a la recuperación, selección y clasificación, así como comercialización de residuos de PET que se generan en el municipio de Popayán y en general en los que cuentan con PGIRS en el Departamento del Cauca.

Tabla 21
Listado de centros de acopio de residuos de PET

Popayán	S. Quilichao	Puerto Tejada
ASERHI-ECORPOL	FUNDARMA	Recicladora Puerto Tejada E.U.
BRASOC	Eco Mundial de Reciclaje SAS	Empresa de Servicios y Reciclaje Ltda
Mayorista de occidente	Zomac	Asociación de Reciclaje Brisas del Puerto
AREMARPO	Reciclajes Integrados Del Pacifico Colombiano E U	Servicios Industriales Reciclables S A S
Chatarrería Las Palmas		
Chatarrería San Antonio		
EKORED		
Chatarrería Aleida		
RECINPAYAN		

Popayán	S. Quilichao	Puerto Tejada
Chatarrería El Desvare		
Chatarrería Guevara		
ASOCAMPO		
Chatarrería Brisas del Río		
Éibar Mulato		
La Favorita		
Chatarrería El Abuelo		
Chatarrería El Uvo		
Chatarrería La 12		
Víctor Orozco		

Fuente: elaboración propia

Conforme a las narrativas de los entrevistados que se han sintetizado en la **Tabla 22**, el siguiente eslabón es la comercialización de centros mayoristas, los cuales dirigen los residuos de PET hacia empresas transformadoras a nivel nacional y las que demandan estos materiales en el extranjero. Los desechos seleccionados y clasificados son transportados por carretera hacia las empresas de transformación del Cauca y Valle del Cauca, mientras que los vendidos a países europeos se mueven hasta Buenaventura para su embarque.

Tabla 22

Destino de los residuos de PET del Cauca

Entrevistado	Descriptor
E1	“Nosotros vendemos la mayor parte de los residuos a empresas del Valle y de ahí van a Suecia, Alemania y Dinamarca y otros” “Aquí en Popayán tenemos a INTERA que produce perfiles resistentes para todo tipo de usos en el campo y la ciudad...a ellos les surtimos reciclaje”
E2	“Aquí en el Cauca hay unas empresas en el norte que producen maderas, postes y otros materiales...y son a base residuos plásticos, sobre todo de PET”

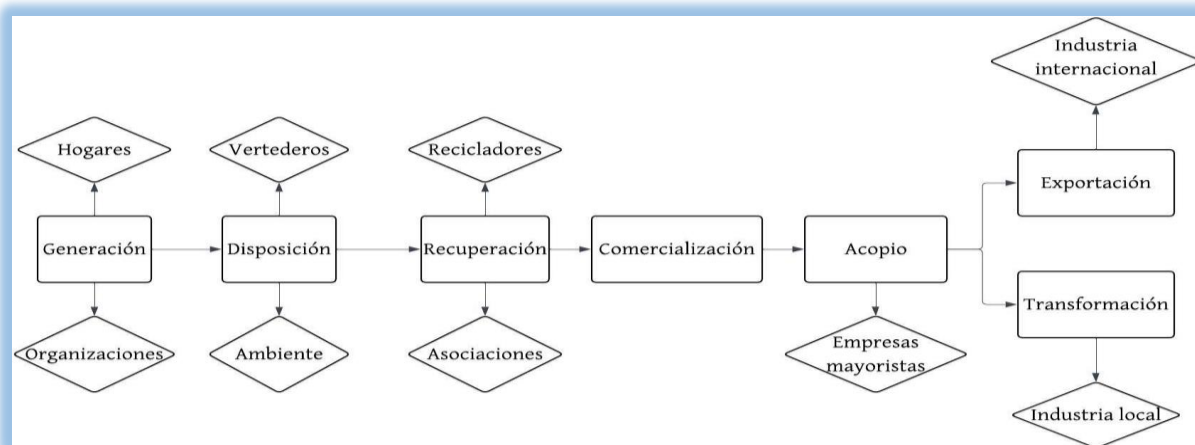
Fuente: elaboración propia

En los países de destino (europeos), existen empresas que transforman grandes cantidades de residuos de PET, aunque en el Cauca y Valle del Cauca también existen esfuerzos de economía circular sobre la transformación de los materiales desechados para producir materiales para el sector agropecuario (cercas, postes, puertas, maderas plásticas), institucional (asientos, bancas), de la construcción (placas, tarimas) y otros que prolongan la vida útil del PET (Montenegro, 2022).

A raíz de las entrevistas realizadas a actores, la **Figura 9** es una aproximación a la cadena de manejo de los residuos sólidos y en específico de aquellos de material PET en el Cauca.

Figura 9

Cadena de manejo de residuos de PET en el Cauca



Fuente: elaboración propia

Respecto a las cantidades de residuos de PET y el número de empleos que generan los centros de acopio, puede señalarse que son 477,8 toneladas y 158 puestos de trabajo directos en condición de trabajadores o asociados que desempeñan la labor de recuperación, aunque no exclusivamente en recolectar PET. Esta información sobre cantidades de residuos de PET y número de empleos que se muestra en la **Tabla 23**.

Tabla 23

Cantidad de residuos de PET y número de empleos de la cadena de manejo

Popayán	Cantidad mensual de residuos PET (toneladas)	Número de empleados
ASERHI-ECORPOL	2,3	3
BRASOC	60	7
Mayorista de occidente	45	6
AREMARPO	40	43
EKORED	2	2
ARMAC	55	36
RECINPAYAN	5	3
ASOCAMPO	4	2
Chatarrería Brisas del Rio	7	2
Chatarrería El Uvo	4	2
Chatarrería Aleida	3,5	2

Popayán	Cantidad mensual de residuos PET (toneladas)	Número de empleados
Empresa de Servicios y Reciclaje Ltda	10	2
Chatarrería San Antonio	3,5	2
Recicladora Puerto Tejada E.U.	40	7
Chatarrería El Desvare	4	2
Éibar Mulato	3	2
Chatarrería Guevara	2,5	2
Asociación de Reciclaje Brisas del Puerto	8,5	2
Víctor Orozco	4	2
Eco Mundial de Reciclaje SAS	20	4
Zomac	50	6
Chatarrería La 12	3,5	2
Chatarrería El Abuelo	6,5	2
La Favorita	25	4
FUNDARMA	50	8
Reciclajes Integrados del Pacífico Colombiano E U	12	3
Chatarrería Las Palmas	12,5	3
Servicios Industriales		
Reciclables S A S		
Total	477,8	158

Fuente: elaboración propia

Si bien no existen cifras oficiales del número total de empleos que genera la gestión de residuos sólidos, algunos entrevistados señalan que además de los formalizados por los centros de acopio, existen los de oficio informales que suministran a las recicladoras y chatarrerías. Según los relatos expuestos en la **Tabla 24**, el número puede superar los 500 si se suman los transportadores y trabajadores en condición de jornaleros.

Tabla 24

Número de empleos generados por la gestión de residuos de PET del Cauca

Entrevistado	Descriptores
E3	“Son más de 320 censados por la alcaldía, pero son más”
E4	“Pues solo aquí en Popayán hay más o menos unos 300 por cuenta propia”

Fuente: elaboración propia

Según Silva y Mejía (2021), la generación de empleo a raíz del manejo de los residuos sólidos en general, no cuenta con estadísticas precisas, debido a que gran parte de los actores del

eslabón de recuperación no están formalizados, dado que son trabajadores independientes, de oficio y que no son objeto de seguimiento para conocer la capacidad de creación de empleos.

6.2.5. Alternativas de transformación de residuos PET en el Cauca

De acuerdo con la literatura consultada y las entrevistas, en el Cauca sólo existe una organización especializada en la transformación de residuos plásticos reciclados en productos útiles y sostenibles. Es una sociedad por acciones simplificada (SAS), cuyo objeto social está enfocado en prácticas de economía circular mediante el diseño, producción y comercialización de innovaciones plásticas derivadas de materiales reciclados (Intera SAS, 2025). Es un establecimiento industrial que integra tecnología avanzada y procesos ecológicos para reducir el impacto ambiental, de modo que aporta a la protección del medio ambiente y al desarrollo económico en tanto genera valor agregado en residuos de PET que son devueltos al ciclo productivo y crea 12 puestos de trabajo directos, sin incluir los indirectos (Intera SAS, 2025).

6.2.6. Análisis de resultados de la gestión de residuos de PET en el Cauca

La gestión de residuos de PET en el Cauca se caracteriza por una literatura relativamente escasa en el último quinquenio y describe principalmente formas de aprovechamiento y cómo promover acciones de economía circular a partir del diseño y actualización de planes de manejo ambiental en organizaciones y PGIRS en algunos municipios (Gobernación del Cauca, 2024).

Los métodos de manejo consisten principalmente en la recuperación por parte de recolectores informales y empresas que clasifican y seleccionan para la posterior comercialización en la región y en el Valle del Cauca, además de exportar a países con una cultura consolidada de economía circular como Suecia y Alemania (Montaño y Ramírez, 2023).

La cadena está constituida por los hogares y empresas que son las fuentes de generación; los recicladores informales y asociados en organizaciones de trabajadores que se encargan de la

recuperación de los residuos de PET; luego están los centros de acopio en los que se realiza un proceso de clasificación Alemania (Ordóñez y Arteaga, 2019; Montaña y Ramírez, 2023). El siguiente eslabón son los comercializadores mayoristas que incluyen exportadores y finalmente los transformadores que en el Cauca se cuenta con una unidad productiva, tres en el Valle de Cauca y un número mayor en países de destino de los residuos.

Es una cadena que gestiona alrededor de 480 toneladas mensuales de residuos de PET y genera 158 empleos directos, a los cuales se suman aproximadamente 500 indirectos. Aunque puede considerarse que en el Cauca se genera una cantidad de residuos abundante que llega a otros países, es una región con escasez de alternativas de transformación que permitan implementar un proceso ampliado de economía circular, ya que solo existe una factoría para tal fin y que no es suficiente para devolver al ciclo productivo este plástico.

6.3. Resultados de la fase 3: Diseño de guía metodológica de obtención de fibras

Con el fin de establecer orientaciones para el aprovechamiento de los residuos de PET a través de la obtención de fibras textiles, inicialmente se realizaron dos entrevistas con el fin de caracterizar algunas experiencias al respecto, así como una búsqueda de literatura. Los resultados de estos dos procesos sirvieron como insumo para identificar elementos que orienten la generación de un protocolo de procesos de obtención y posteriormente presentar el diseño de una guía de transformación de PET reciclado en fibras textiles.

6.3.1. Caracterización de experiencias de transformación de residuos PET en fibras

Con el fin de realizar una aproximación a experiencias de transformación de residuos de PET en fibras textiles, se entrevistó a dos representantes de las empresas ENKA y SUTEX, quienes ofrecieron información sobre la motivación para emprender en este tipo de ejercicios de economía

circular, las cantidades que transforman, los posibles clientes, número de empleos generados, además del proceso de transformación y equipos y maquinaria necesarios.

Esta información no solo representó un acercamiento a estas experiencias, sino que aportó elementos para el diseño de la guía de aprovechamiento de estos residuos en el Cauca. Los relatos se sintetizan en la **Tabla 25**, donde el literal T significa transformador y los numerales 1 y 2 el orden de cada uno de ellos que han participado en condición de entrevistados para ofrecer la información solicitada.

Tabla 25

Relatos sobre experiencias de transformación de residuos de PET en fibras

Entrevistado	Descriptor
T1	“La idea surgió a partir de la preocupación por el impacto ambiental del plástico en nuestro país y pues en Colombia” “Vimos una oportunidad no solo de reducir residuos, sino también de crear una industria sostenible” “El mercado textil requiere alternativas más ecológicas y sostenibles para disminuir su huella ambiental” “Con el tiempo desarrollamos una tecnología eficiente que nos ha permitido consolidar el negocio”
T2	“Vimos en el reciclaje de PET una oportunidad para unir sostenibilidad e innovación en la industria textil” “Se acumula en rellenos sanitarios y cuerpos de agua, y quisimos hacer algo para transformar ese problema en una solución” “Reduce la contaminación, sino que también ayuda a disminuir el uso de recursos vírgenes, como el petróleo” “Encontramos una creciente demanda de consumidores que buscan productos más responsables con el medio ambiente”

Fuente: elaboración propia

Según los anteriores relatos sobre la idea de transformar los residuos de PET en fibras para uso textil, además de la posibilidad de desarrollar una actividad económica que reduzca la carga contaminante sobre el ambiente, se observan motivaciones lucrativas en tanto la demanda de fibras ofrece oportunidades de generación de riqueza, tal como lo señala Botet (2019) al hacer referencia

al retorno de los residuos a la vida útil inclusive con mayor valor económico que cuando se usó por primera vez.

Sobre las cantidades de PET reciclado los relatos de los entrevistados descritos en la **Tabla 26** indican que siguen siendo exiguas en comparación con el total que se genera en el país. Sin embargo, representan esfuerzos que muestran la oportunidad de mermar la carga contaminante y la posibilidad de crecer dado que es un mercado en crecimiento en Colombia y en el mundo, especialmente en países desarrollados.

Tabla 26

Relatos sobre cantidades de PET reciclado transformado en fibras

Entrevistado	Descriptor
T1	“Actualmente, logramos transformar aproximadamente 12 toneladas de PET reciclado al mes” “Nuestro compromiso es seguir aumentando la capacidad de procesamiento y expandir la producción”
T2	“Hemos logrado escalar nuestra producción hasta procesar 5 toneladas de PET reciclado al mes” “Estamos trabajando para ampliar nuestra capacidad y optimizar el proceso, de modo que podamos contribuir aún más a recuperar residuos contaminantes”

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con Forero (2023), la capacidad de transformación del PET reciclado en fibras depende en gran medida de la demanda de mercado de este insumo textil, una condición que en Colombia es relativamente nueva y por lo tanto requiere consolidar el uso de estos materiales en la industria de las confecciones.

Sobre el destino de las fibras textiles obtenidas, los entrevistados no señalaron nombres de empresas en específico. No obstante, como se observa en la **Tabla 27**, indicaron que los principales clientes son fabricantes de ropa deportiva, telas para interiores y otros que están haciendo que crezca la demanda de fibras ambientalmente sostenibles.

Tabla 27*Relatos sobre destinos de las fibras de PET reciclado*

Entrevistado	Descriptor
T1	“Entre nuestros principales clientes están algunas compañías textiles que fabrican ropa deportiva, uniformes y productos del hogar, toallas y cortinas” “Empresas de manufactura que producen tapicería para automóviles y muebles”
T2	“Tenemos acuerdos con fabricantes de prendas deportivas y textiles para el hogar y con la industria automotriz” “Cada vez más compañías están integrando materiales reciclados en sus productos”

Fuente: elaboración propia

Efectivamente, a raíz de las mejoras en la calidad de las fibras, firmas de implementos deportivos y de la industria automotriz han sido los primeros en utilizarlas para elaborar indumentaria para realizar actividad física, lo mismo que para accesorios en otros sectores, no solo automotriz, sino agrícola y dotaciones para decoración de interiores (Moro *et al.*, 2023)

Acerca del proceso de transformación que emplean las empresas, las narraciones de la **Tabla 28** permiten comprender que implica operaciones desde la recepción y acondicionamiento de las botellas, hasta el estiramiento de los hilos. Es un conjunto de operaciones especiales que permiten agregarle valor al PET reciclado y por lo tanto contribuir a la economía circular y a la reducción de impactos ambientales.

Tabla 28*Operaciones del proceso de obtención de fibras textiles según experiencias*

Entrevistado	Descriptor
T1	“Primero se recolectan las botellas plásticas, luego se hace clasificación y limpieza, después se trituran en pequeños fragmentos que mediante proceso térmico se les elimina impurezas. Se funden y extruyen para formar filamentos que se estiran y se cortan en fibras”
T2	“Comienza con la recolección y clasificación del PET reciclado y se somete a un lavado industrial, se trituran en hojuelas y se secan antes de ser fundidas. Sigue la extrucción en forma de filamentos continuos que son objeto de estirado y texturización. Finalmente, las fibras se cortan y se acondicionan”

Fuente: elaboración propia

En consideración de Gómez *et al.* (2023), las operaciones no representan una alta complejidad debido a que en la actualidad existe la tecnología que permite aprovechar al máximo los residuos de PET, aunque se requiere educar a la ciudadanía en la recuperación en la fuente para evitar deterioro de la calidad de los residuos y con ello transformar la mayor cantidad posible.

En línea con los aspectos tecnológicos, según los relatos sintetizados en la **Tabla 29**, estos procesos de obtención requieren de maquinaria y equipos que permiten un aprovechamiento eficiente del PET reciclado, de modo que se optimice la materia prima y se preserve la seguridad de los operarios.

Tabla 29

Maquinaria usada en las experiencias en transformación del PET en fibras

Entrevistado	Descriptor
T1	“Requiere trituradoras y lavadoras industriales (...) también contamos con extrusoras, la unidad de estirado y otras”
T2	“Sistemas de lavado y secado industrial, trituradoras, extrusoras y unidades de texturización”.

Fuente: elaboración propia

Al respecto de la maquinaria requerida, Seibert *et al.* (2022) indican que el proceso de transformación del PET en fibras cuenta con maquinaria de última tecnología que asegura no solo el aprovechamiento de los residuos, sino que permiten minimizar las emisiones contaminantes debido a que es de máxima eficiencia. Esto significa que además de facilitar la reducción de la carga contaminante vía retorno del PET a la cadena de valor, promueve una industria sostenible.

Respecto a beneficios sociales, las narraciones de los entrevistados de la **Tabla 30** señalan que al transformar los residuos de PET en fibras han logrado aportar a la reducción de la carga contaminante que repercute en el bienestar de la población, además de realizar campañas de educación ambiental para que las personas sean más responsables con el medio ambiente y el aprovechamiento de materiales usados.

Tabla 30*Beneficios sociales de las experiencias en transformación del PET en fibras*

Entrevistado	Descriptores
T1	“Impartimos charlas de educación ambiental a más de mil recicladores y más de 20 instituciones educativas de Antioquia” “Promovemos publicidad enfatizando en el reciclaje como fuente de ingresos”
T2	“Educamos a las comunidades sobre una responsabilidad ambiental”. “hemos capacitado a más de mil personas y unas 50 empresas”

Fuente: elaboración propia

Para García y Tapia (2017), este tipo de prácticas evidencian el carácter integral de la transformación del PET reciclado, dado que no además de generar nuevo valor agregado, crean conciencia a través de la educación ambiental, un proceso que paulatinamente puede aportar a consolidar un consumo responsable en torno a la demanda de prendas de vestir y accesorios cuyo insumo son las fibras de este material.

En cuanto a los beneficios económicos, las opiniones de los entrevistados (**Tabla 31**) permiten comprender que las empresas generan empleos directos en las plantas de transformación, e indirectos a través de la compra de los residuos comprados a los recicladores y algunas empresas dedicadas a recuperar este tipo de materiales.

Tabla 31*Beneficios económicos de las experiencias en transformación del PET en fibras*

Entrevistado	Descriptores
T1	“Generamos 22 empleos directos para producir fibras y los indirectos son más de 200 proveedores, entre asociaciones y personas individuales”
T2	“Hasta ahora hemos creado 12 empleos y los indirectos serían más de 100”.

Fuente: elaboración propia

Los testimonios coinciden con lo expuesto por Espinoza (2023) respecto a que la economía circular es un modelo sostenible que además de inyectar nuevo valor agregado sobre los materiales usados, genera riqueza económica a razón de las remuneraciones de los diferentes eslabones de la cadena de manejo.

Frente a los beneficios ambientales, los testimonios de la **Tabla 32** manifestados por los representantes de las empresas que transforman los residuos de PET reciclado, señalan que se evitan repercutir negativamente sobre los ecosistemas y en el bienestar de las personas.:

Tabla 32

Beneficios ambientales de las experiencias en transformación del PET en fibras

Entrevistado	Descriptor
T1	“Evita que millones de botellas plásticas terminen en rellenos sanitarios o en ecosistemas naturales como ríos y océanos”
	“Estamos reduciendo la demanda de nuevos polímeros derivados del petróleo, lo que disminuye la huella de carbono de la industria textil”
	“Contribuimos al ahorro de agua y energía en la producción, ofreciendo una alternativa sostenible para la fabricación de ropa y textiles”
T2	“Este proceso aporta significativamente a la reducción de la contaminación plástica y al fomento de la economía circular”.
	“Disminuimos la emisión de gases de efecto invernadero y el consumo de recursos naturales”
	“Nuestra producción de fibras recicladas ayuda a mitigar el impacto ambiental del sector textil”

Fuente: elaboración propia

Como complemento a los beneficios señalados por los entrevistados, en los trabajos de Botet (2019) y Cruz *et al.* (2015) afirman que la transformación del PET u otro material plástico reciclado contribuye a reducir la carga contaminante y a preservar los ecosistemas, máxime cuando en los países en vía de desarrollo persiste una cultura de disposición inadecuada de estos residuos.

En síntesis, las entrevistas permitieron comprender que las motivaciones empresariales para optar por la transformación de residuos de PET obedeció a la preocupación ambiental y la demanda de productos sostenibles, siendo los clientes principales los fabricantes de ropa deportiva y textiles para interiores. Además, describen elementos sobre el proceso técnico de transformación, desde el lavado y triturado hasta la extrusión y texturización del material. También se resaltan los beneficios ambientales, económicos y sociales, incluyendo generación de empleo y educación

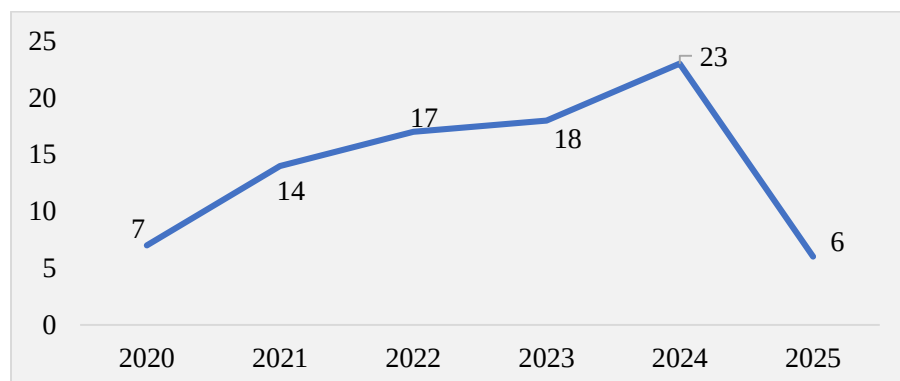
ambiental que sirven como elementos de análisis que contribuyen al diseño de una guía de aprovechamiento en el Cauca

6.3.2. *Bibliometría de producción de fibras de PET reciclado*

Con el fin de identificar protocolos y lineamientos de transformación de PET reciclado en fibras, se realizó un mapeo sistemático siguiendo el procedimiento descrito en la segunda actividad de la **Tabla 11**. Los resultados expuestos en la **Figura 10** muestran que la producción de fibras de PET reciclado es un tema con una literatura creciente en número de publicaciones durante el periodo 2020-2024, excepto hacia 2025, aunque debe señalarse que en el momento de la búsqueda bibliográfica solo habían transcurrido los meses de enero y febrero. Los datos indican que sobre transformación de PET reciclado en fibras textiles en el periodo definido, existían 85 publicaciones en las bases de datos consultadas.

Figura 10

Número de publicaciones sobre fibras de PET reciclado en 2020-2025

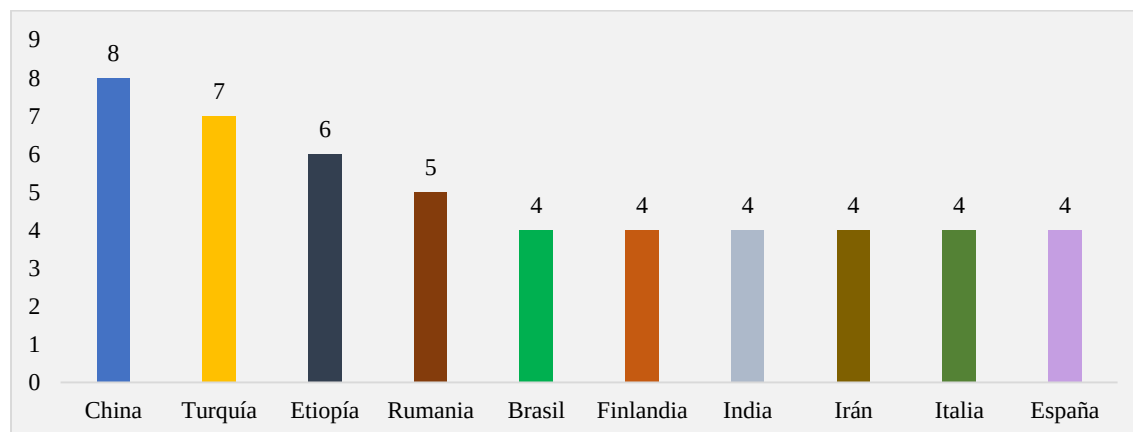


Fuente: elaboración propia

A raíz de la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión establecidos en la **Tabla 15**, el número de documentos que cuentan con protocolos y lineamientos de transformación del PET reciclado en fibras textiles son 50, de los cuales como indica en la **Figura 11** China aporta 8 investigaciones durante el periodo establecido, seguida de Turquía con 7, luego Etiopía con 6 y Rumania con 5, mientras que otros países aportan 4 estudios cada uno.

Figura 11

Número de publicaciones sobre fibras de PET según país de origen

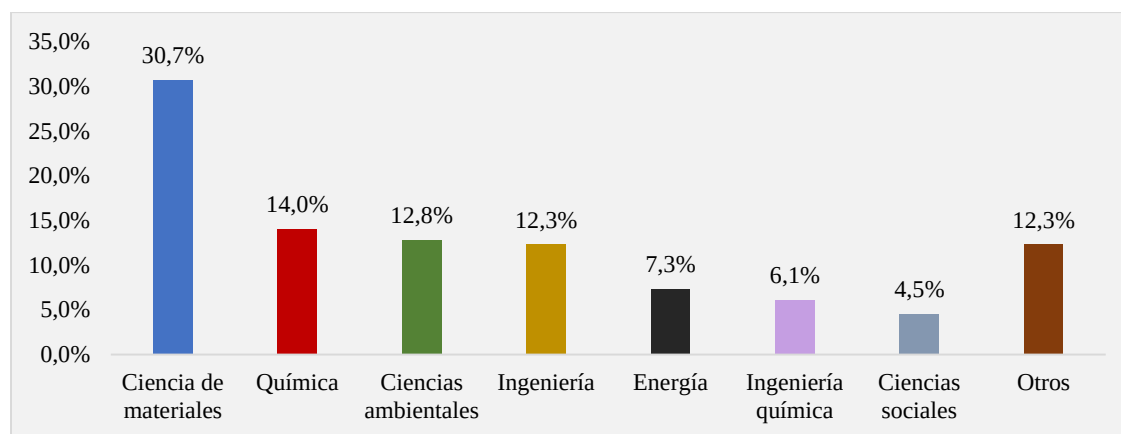


Fuente: elaboración propia

Desde el punto de vista de áreas del conocimiento, como lo muestra la **Figura 12**, predominan los trabajos realizados en ciencias de materiales con el 30%, luego los realizados en química que representan el 14%, mientras que en ciencias ambientales e ingeniería se realizaron el 12,8% y 12,3% de los trabajos, respectivamente. En menores participaciones porcentuales aparecen otros campos como energía, ciencias sociales, física y demás.

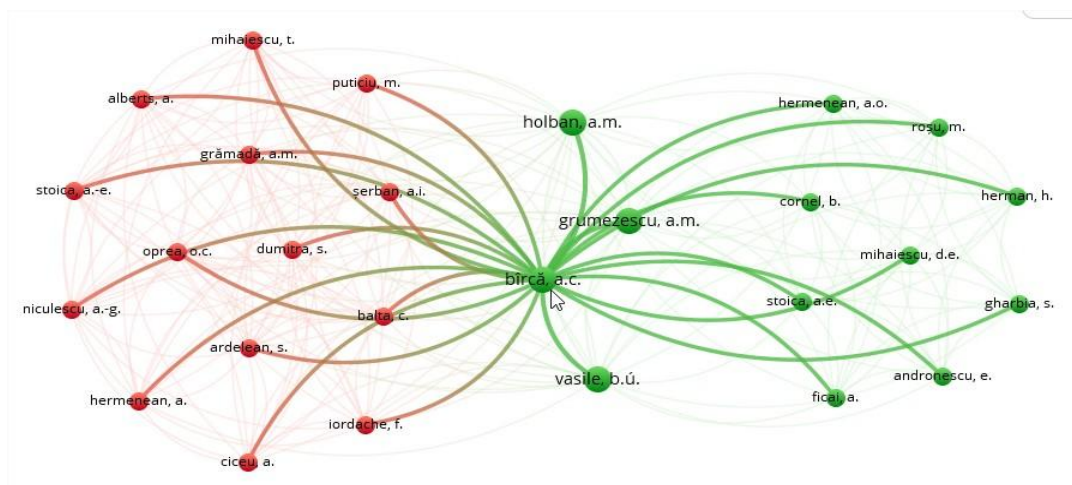
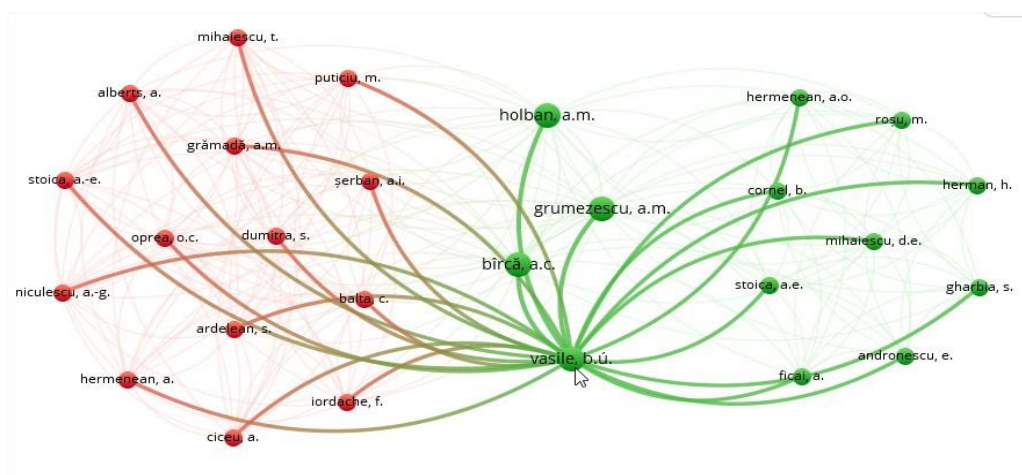
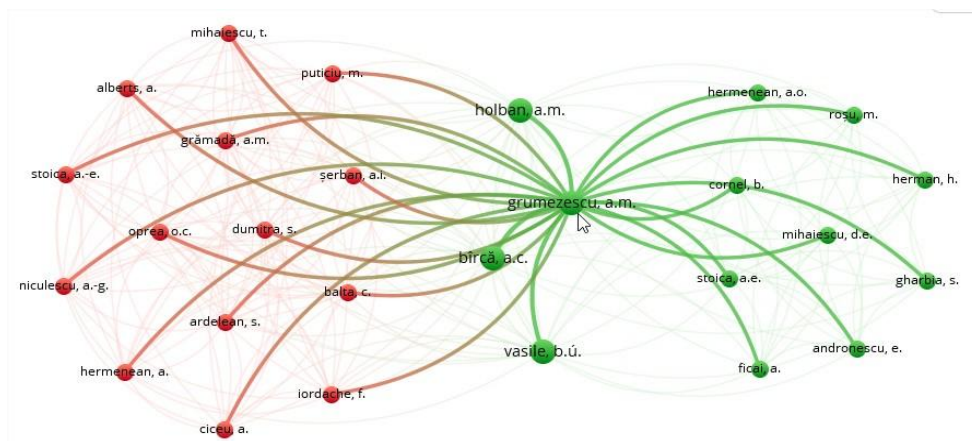
Figura 12

Número de publicaciones sobre fibras de PET reciclado según área



Fuente: elaboración propia

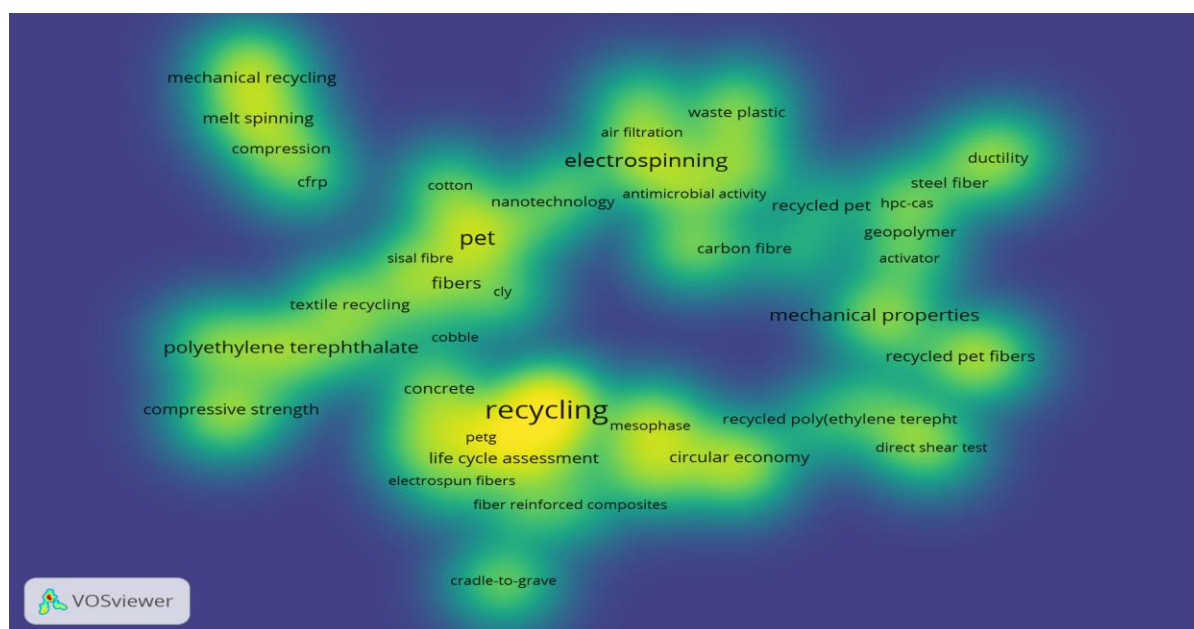
En cuanto a investigadores, las redes semánticas de la **Figura 13** muestra que Birca, Vasile y Grumezescu son los principales referentes al contar con más de diez citaciones cada uno.

Figura 13*Redes semántica de co-ocurrencia de autores sobre fibras de PET reciclado***a****b****c****Fuente:** elaboración propia

Como se puede observar en la **Figura 14**, la literatura sobre la obtención de fibras a partir de los residuos de PET hace referencia a este proceso a través de palabras clave como reciclaje, la cual es transversal a prácticamente todos los documentos; PET o polietileno tereftalato que crea un clúster aparte que indica documentos enfocados específicamente en este tipo de plástico; *electrospinning* que se refiere a una técnica basada en campos eléctricos para generar fibras finas, incluidas las nanofibras a partir de polímeros; y *meltspinning* que es un hilado por fusión para el mismo fin. También se identifican términos clave como fibras (fibers), fibras de PET reciclado (recycled pet fibers), economía circular y otras asociadas al proceso de obtención de fibras a partir del mencionado material.

Figura 14

Mapa de densidad de palabras clave de fibras de PET reciclado



Fuente: elaboración propia

Los resultados permiten comprender que la obtención de fibras textiles a partir de PET reciclado es un ejercicio de economía circular que viene impulsándose a través de investigaciones aplicadas que buscan demostrar cómo al devolver estos residuos a la cadena de valor contribuyen a la sostenibilidad ambiental.

6.3.3. Protocolo de procesos de obtención de fibras a partir de residuos de PET

Algunos de los trabajos consultados describen requerimientos o características del PET reciclado para que el proceso de transformación sea eficiente, además de equipos y maquinaria necesarios. También existe literatura que expone procedimientos detallados que se siguen desde el proceso de recuperación de los residuos hasta el bobinado de las fibras con destino a la industria textil. En cuanto a las primeras condiciones, la **Tabla 33** describe los requerimientos en cuanto a calidad y propiedades físicoquímicas de los residuos de PET.

Tabla 33

Requerimientos del PET reciclado para obtención de fibras

Referencia	Requerimientos del PET	Descripción
Muringayil <i>et al.</i> (2024)	Pureza y calidad	- Ausencia de contaminantes: libre de residuos de adhesivos, tintas u otras sustancias que incidan en la calidad de la fibra. - Grado de polimerización: PET con viscosidad intrínseca adecuada (0,7 – 0,85 dl/g). - Color y transparencia: la transparencia es preferible debido a su versatilidad para fibras de colores.
Nakanishi <i>et al.</i> (2025)	Propiedades físicoquímicas	- Resistencia térmica: se requiere que el PET soporte temperaturas que no lo degraden durante el tratamiento, cuyo límite promedio son 280°C para un scrap en óptimas condiciones para el estiramiento. - Elasticidad y resistencia mecánica: El PET debe ser flexible y resistente para que la fibra tolere fuerzas durante la elaboración de hilos y en la fabricación de prendas de vestir y otros accesorios. - Absorción y teñido: la transparencia y permeabilidad del PET debe facilitar la absorción de colorantes y acabados textiles para una mejor calidad y presentación de las fibras.

Fuente: elaboración propia

Sobre los equipos y maquinaria, La **Tabla 34** muestra resultados que la literatura consultada describe y que son utilizados en las operaciones primarias como el triturado, lavado y

secado; luego las de transformación y en específico la extrusión, filtrado e hilado y texturización; así como las labores finales consistentes en bobinado, corte y cardado, teñido y acabado.

Tabla 34

Equipos y maquinaria para transformación de PET reciclado en fibras

Referencia	Equipo/máquina		Operación	Utilidad
Forero (2023); García y Tapia (2017); Gómez <i>et al.</i> (2023)	Trituradora		Trituración	Obtención de escamas
	Lavadora industrial		Lavado	Eliminación mecánica y química de impurezas y residuos
	Secadora escamas	de	Secado	Reducción de humedad de las escamas para evitar defectos en la extrusión del PET
	Sistema filtrado	de	Filtrado	Eliminación de partículas e impurezas que pueden afectar la calidad de las fibras
	Extrusora		Extrusión	Fundición de las escamas para convertirlas en fibras continuas.
	Hiladora texturizadora	y	Hilado y texturización	Estiramiento y texturización de las fibras para lograr alta resistencia y elasticidad.
	Sistema de teñido y acabado		Teñido	Aplicación de colorantes y procesos de mejora de apariencia y utilidad
	Máquina de corte y cardado		Corte y cardado	Corte de acuerdo a una longitud definida y alineación y organización de los hilos.
	Bobinadora		Bobinado	Enrollamiento de los hilos en carretes.

Fuente: elaboración propia

Sobre los pasos que se implementan para la transformación del PET reciclado en fibras textiles, en la literatura se identifican tres etapas principales: a) preparación del PET, b) transformación del PET en fibras; y c) acabado y procesos finales. En la preparación de los materiales reciclados se desarrollan operaciones como la selección de acuerdo con el tipo de residuo (botellas u otros recipientes), eliminación de etiquetas y tapas y clasificación según los colores, siendo los transparentes los más preferidos debido a la facilidad para absorber los colorantes (Nakanishi *et al.*, 2025). Posteriormente se realiza la trituración para obtener trozos pequeños en forma de escamas que serán sometidas a temperaturas para lograr flexibilidad (Telli

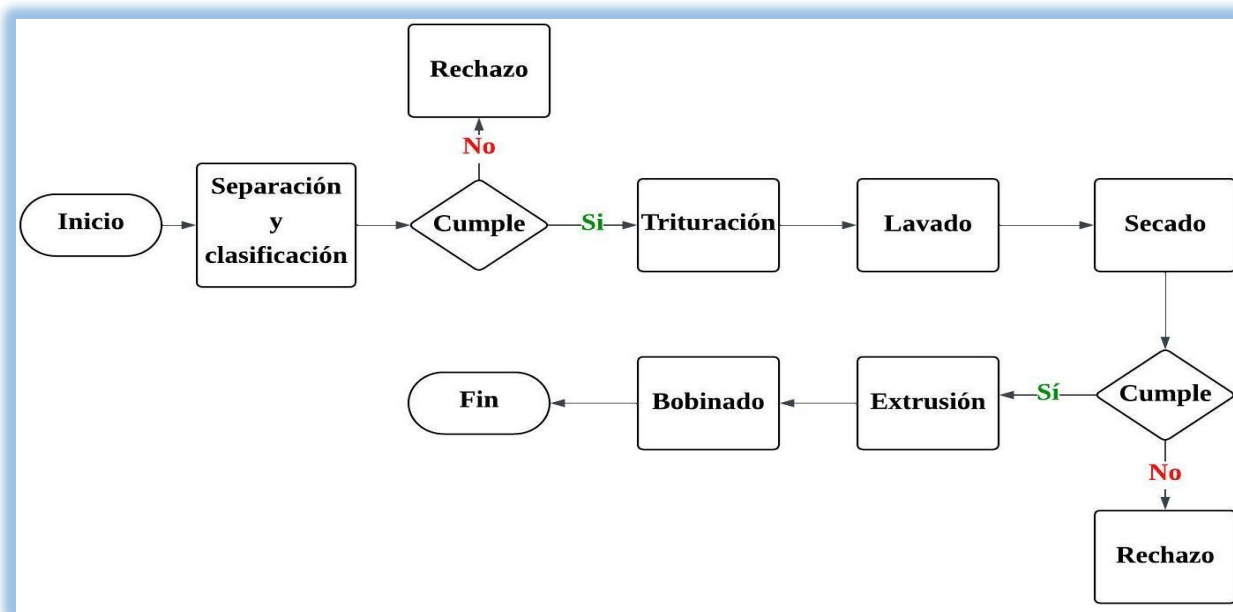
y Özdil, 2021). En seguida se hace el lavado para quitar las impurezas, pegamentos, restos de etiquetas y otros, para someter a secado que evite defectos en la extrusión (Forero, 2023).

La etapa de transformación de los residuos en fibras comienza con la fundición de las escamas, una operación que implica someterlas a temperaturas para obtener el *scrap* que es una especie de goma de PET transparente (Shen *et al.*, 2020). A esta le sigue la extrusión, que consiste en pasar el *scrap* a alta temperatura y estiramiento y transporte por boquillas especializadas semejantes a aperturas de las duchas que hacen que salgan filamentos finos (Seibert *et al.*, 2022). Al emerger los hilos y el enfriamiento previo, pasan al bobinado y cardado, es decir la formación de rollos siguiendo un patrón de organización de los hilos en carretes o tubos (Forero, 2023).

Las anteriores operaciones se resumen en el diagrama de flujo que se describe en la **Figura 15**, la cual permite comprender una alternativa de aprovechamiento de los residuos de PET como práctica de economía circular y de reducción de la carga contaminante por plástico.

Figura 15

Diagrama de flujo de transformación de PET reciclado en fibras



Fuente: elaboración propia

Dada la viabilidad que evidencia la literatura en la transformación del PET reciclado en fibras textiles, se comprende que puede ser una alternativa para aportar a la gestión de residuos de este material en el Departamento del Cauca. Para ello se propone una guía metodológica para el desarrollo de posibles emprendimientos que contribuyan a fortalecer la economía circular y a reducir y mitigar los impactos ambientales en la región.

6.3.4. *Guía de transformación de PET reciclado en fibras para el Cauca*

Para el diseño de una guía de aprovechamiento de los residuos de PET para la generación de fibras para el sector textil, se han definido varios componentes: a) presentación, b) objetivos, c) justificación; d) prácticas de economía circular sobre PET, e) estrategias de gestión de residuos de PET, f) descripción de equipos y maquinaria, g) transformación del PET reciclado en fibras para la industria textil.

Presentación. En este componente se describen los aspectos a los que apunta la guía de transformación de PET reciclado en fibras. Además, incluye una breve contextualización de la generación de estos residuos en el Cauca.

Objetivos. Son los propósitos que se persiguen con el diseño de la guía, y están enfocados sobre los impactos ambientales, la economía circular, equipos y maquinaria y la transformación del PET reciclado en fibras textiles.

Justificación. Se refiere a la pertinencia de la guía para el contexto caucano y como ejercicio académico de promoción de prácticas de economía circular, además de reducción de impactos ambientales.

Prácticas de economía circular sobre PET. Consiste en la descripción de actividades que permiten prolongar la vida útil del PET y la generación de valor agregado. Algunas de estas son el

reciclaje mecánico, reciclaje químico, reutilización creativa, simbiosis industrial y la logística inversa a través de sistemas de recolección.

Estrategias de gestión de residuos de PET. Es una breve descripción de las formas de gestión de este tipo de residuos que pueden implementarse para generar residuos de óptima calidad con fines de transformación en fibras.

Descripción de equipos y maquinaria. En este componente se incluyen imágenes y especificaciones técnicas que según investigaciones son útiles para transformar el PET reciclado en fibras. Se presentan según cada operación que requiere la elaboración de hilos de estos residuos.

Transformación del PET reciclado en fibras. Es un apartado descriptivo del proceso de elaboración de las fibras, el cual presenta imágenes y otros aspectos durante las diferentes operaciones que permiten comprender el aprovechamiento de estos residuos en el Departamento del Cauca.

GUÍA DE TRANSFORMACIÓN DEL PET RECILADO EN FIBRAS TEXTILES



Naren Daryana Mueses Daza

Oscar Ernesto Rincón Salcedo

Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Ambiental y Sanitaria

Línea de investigación de Gestión ambiental

Popayán, Colombia

2025.

Presentación

La presente guía presenta algunos elementos orientadores acerca del aprovechamiento de los residuos de PET generados en el Departamento del Cauca para la elaboración de fibras textiles. Es una estrategia para fortalecer la conciencia por el cuidado del medio ambiente en tanto describe algunos impactos que causa el PET que no se gestiona de manera adecuada en la región debido a la cultura de consumo que no considera los efectos nocivos sobre los ecosistemas.

Al mismo tiempo, ofrece información de algunas prácticas de economía circular, un enfoque que en la actualidad ha adquirido relevancia por cuanto busca que los residuos sean devueltos a la cadena de valor y con ello mitigar los impactos ambientales causados por los residuos sólidos, entre ellos los de PET.

Además, se presentan los equipos y maquinaria necesarios para la transformación del PET reciclado en fibras textiles, con algunas de sus características e imágenes para conocimiento de su existencia y capacidades.

Finalmente se describe el proceso de obtención de fibras a partir de los mencionados residuos, el cual consta de siete operaciones detalladas para una mejor comprensión de quienes opten por un emprendimiento en la materia.

Objetivos

- Describir los impactos ambientales de la gestión inadecuada de residuos de polietileno tereftalato (pet).
- Presentar prácticas de economía circular como alternativa de mitigación de los impactos ambientales y de generación de valor agregado de los residuos de PET
- Exponer los equipos y maquinaria mediante los cuales se desarrollan operaciones de transformación de residuos de PET en fibras textiles.
- Describir el proceso de transformación de residuos de PET en fibras textiles como orientación a posibles emprendimientos en el Departamento del Cauca.

Justificación

La contaminación por plásticos es una de las crisis ambientales más urgentes de nuestro tiempo y el tereftalato de polietileno (PET), ampliamente utilizado en envases, representa un alto porcentaje de los residuos plásticos generados a nivel mundial (Abbasi *et al.*, 2023). Debido a su lenta degradación en el ambiente agrava la acumulación de desechos, afectando ecosistemas terrestres y acuáticos. Ante esta problemática, la transformación de residuos PET en fibras textiles se presenta como una solución viable y estratégica para mitigar su impacto ambiental y fomentar la economía circular (Muringayil *et al.* (2024)

La elaboración de una guía sobre este proceso reviste importancia por cuanto permitirá consolidar un modelo sostenible que oriente la reutilización eficiente del PET, optimizar recursos y promover prácticas responsables. Esta guía facilitará el conocimiento técnico sobre las etapas de transformación, desde la recolección y clasificación hasta los procesos de extrusión e hilado. Además, servirá como una herramienta accesible para sectores industriales, emprendedores y comunidades interesadas en impulsar alternativas productivas a partir de residuos plásticos.

Asimismo, al ser un documento estructurado permitirá garantizar la trazabilidad de los procesos, para parámetros de calidad y eficiencia en la producción de fibras textiles recicladas, como lo señalan Nakanishi *et al.* (2025). La difusión de estos procedimientos favorecerá la adopción de estrategias innovadoras en la industria textil, reduciendo la dependencia de materias primas vírgenes y minimizando la huella ecológica del sector.

Por otra parte, más allá de su dimensión técnica, esta guía contribuirá a la sensibilización sobre el valor de los residuos como recursos, promoviendo una cultura de reutilización y

sostenibilidad, aspectos que según Espinoza (2023) están incluidos en el modelo de la economía circular.

De manera general, el diseño de esta guía representa un paso hacia la integración de la economía circular en la gestión de desechos plásticos, generando oportunidades económicas y ambientales que reconfiguren la relación entre producción, consumo y conservación del entorno en el Departamento del Cauca y otros contextos en los que se consideren implementar emprendimientos de tal naturaleza.

Prácticas de economía circular

Son actividades orientadas a reducir el desperdicio y maximizar el uso de materiales a través del reciclaje, el reuso y la regeneración, lo que significa ir en contravía de hábitos lineales que se basan en usar y desechar. De esta manera, se prolonga la vida útil de los recursos y se les inyecta nuevo valor agregado que conduce a la eficiencia e innovación que a su vez aportan a la sostenibilidad ambiental. Con base en trabajos de Da Costa (2022), Espinoza (2023), Forero (2023) y Gómez *et al.* (2023), algunas de las prácticas de economía circular son las siguientes:

Recolección y clasificación: en las cuales son claves el diseño e implementación de sistemas de recuperación selectiva del PET desde las fuentes (hogares, organizaciones). Esto facilita la clasificación de los residuos para la gestión en los siguientes eslabones de la cadena de manejo y evita la contaminación del ambiente (Cruz *et al.*, 2015).

Reutilización: dado que los envases y otros productos a base de PET sirven como recipientes utilizados en jardinería, mampostería, accesorios para el hogar, control de plagas en la agricultura y otros usos que prolongan su vida útil y ahorran costos (Majumdar *et al.*, 2020).

Reciclaje mecánico: se refiere a la trituración de objetos de base PET y la posterior fundición y moldeo para generar envases o láminas que se utiliza en el embalaje y transporte de carga (Nakanishi *et al.*, 2025).

Reciclaje químico: es la descomposición del PET en sus monómeros originales con el fin de obtener resinas para la fabricación de nuevos productos con altos estándares de calidad, entre ellos los empaques de alimentos y productos farmacéuticos (Kong *et al.*, 2025).

Fabricación de materiales de construcción y transporte: en la actualidad los residuos de PET mezclados con los de otros plásticos se utiliza para elaborar mangueras, maderas y bloques plásticos, carrocerías y otros productos de alta resistencia que evitan la disposición

inadecuada de los desechos y ahorran costos por cuenta del uso de árboles y metales (Carniel *et al.*, 2024).

Elaboración de fibras textiles: es una forma de aprovechar los residuos de PET para obtener a través de tratamientos físicoquímicos filamentos que son insumo para la elaboración de prendas de vestir, sobre todo las que facilitan la realización de actividad física (Nakanishi *et al.*, 2025).

Estrategias de gestión de residuos de PET

La producción de fibras textiles a partir de PET reciclado requiere que los residuos presenten condiciones óptimas para lograr una alta eficiencia en las operaciones necesarias para ofrecer a la industria de las confecciones hilos que se ajusten a sus estándares de calidad. Por ello, a continuación, se presentan algunas estrategias para una gestión adecuada de estos materiales.

Separación en la fuente: se considera una estrategia en el sentido que implica separar los residuos de PET de otros plásticos que pueden causar costos en el resto de eslabones de la cadena; además de no mezclarlos con los residuos orgánicos que pueden contaminar (Acuña *et al.*, 2017). Esto facilita la recolección y acopio por parte de los recicladores y centros de recepción.

Estandarización de envases: con el fin de lograr una mayor eficiencia y aprovechamiento del PET reciclado, las empresas fabricantes de envases deben diseñar productos homogéneos, los cuales no contengan colorantes o adhesivos de difícil eliminación (Botet, 2019). Esto debido a que el PET transparente ofrece mejores propiedades para la obtención de fibras de alta calidad.

Recolección y logística inversa: una forma de obtener residuos de PET de alta calidad y la implementación de incentivos otorgados por supermercados a los clientes que retornen las botellas de bebidas como gaseosas, agua, té y jugos (Calpa, 2020). Esto debido a que se ha demostrado que cuando los clientes obtienen descuentos en sus compras por retornar envases en buenas condiciones, la recuperación de este tipo de residuos aumenta significativamente.

Manejo y almacenamiento adecuados: esto implica un proceso de acopio que evite el deterioro del PET reciclado, para lo cual los centros mayoristas de recepción de la ciudad deben

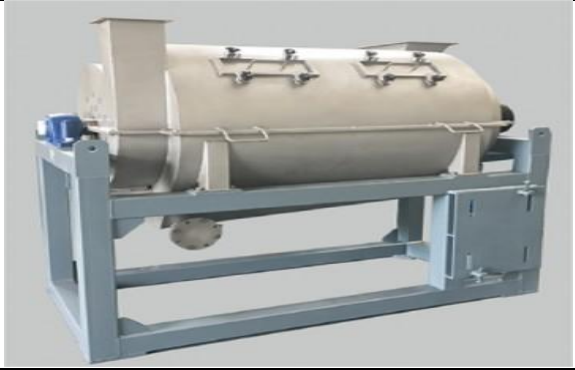
adecuar espacios en los que la humedad y contaminantes estén aislados (Ramírez, 2022). Además, es necesario implementar un proceso de compactación uniforme para que no afecte la flexibilidad y resistencia de los polímeros.

Sistemas de lavado y descontaminado: es posible implementar labores para lograr residuos de PET de calidad a partir de la adopción de sistemas que permitan la eliminación de impurezas como restos de alimentos, etiquetas, adhesivos, tapas y otros elementos antes de someterse a la transformación de fibras (Mansilla y Ruiz, 2009).

Descripción de equipos y maquinaria

Para la transformación del PET reciclado en fibras textiles se requiere el siguiente equipamiento y maquinaria.

Tabla 35
Equipos y maquinaria para obtención de fibras de PET reciclado

Trituradora	Ficha técnica
	Boca de entrada: 750 x 300 mm Rotor: 284 mm Número de cuchillas: 40 Espesor de cuchillas: 20 mm Potencia de motor: 7,5 kW Peso: 2800 kgs
Fuente: Asian Machinery USA, INC (2024)	
Lavadora de plástico	Ficha técnica
	Largo: 3065 mm Ancho: 2190 mm Alto: 2007 mm Potencia motor: 37/45 kW Sistema de limpieza: acción centrífuga y cribado
Fuente: Tecnofer (2025)	
Secadora de escamas	Ficha técnica
	Largo: 2865 mm Ancho: 1495 mm Alto: 1607 mm Potencia motor: 37/45 kW Capacidad: 6000 kg/h
Fuente: BORETECH (2024)	

Continuación Tabla 24. Equipos y maquinaria para obtención de fibras de PET reciclado

Sistema de filtrado	Ficha técnica
	Capacidad de filtrado: 800-1200 kgs/h Potencia: 190 % de humedad máximo: 5%
Fuente: ZMM (2025)	
Extrusora	Ficha técnica
	Diámetro del tornillo: 130 mm Velocidad tornillo: 110 rpm Altura máquina: 1300 mm Largo: 7785 mm Ancho: 1560 mm Peso aproximado: 7800 kg Potencia motor: 335 kW Capacidad de producción: PET 1000 kg/h
Fuente: The Food Tech (2020)	
Bobinadora	Ficha técnica
	Largo: 0,75 m Ancho: 0,75 m Alto: 1,45 m Velocidad de enrollado: 300-1200 m/min Capacidad de producción: 2000 sets/mes Voltaje: 220V
Fuente: Hefei HD Machinery (2025)	

Transformación del PET reciclado en fibras

Con el fin de ofrecer una orientación detallada del proceso de transformación de los residuos de PET en fibras textiles con aplicación al Departamento del Cauca, se presentan siete operaciones que permiten llevar a la práctica un ejercicio de economía circular que puede contribuir a la reducción de impactos ambientales causados por este tipo de plástico en los contextos donde se realiza una gestión inadecuada.

1. Selección de residuos de PET.

- ***Tipos de residuos:*** botellas de refrescos, agua, productos detergentes, embalajes y otros.
- ***Clasificación por colores:*** se eligen los residuos de PET transparente debido a su capacidad de absorción de colorantes en el acabado de las fibras.
- ***Eliminación de tapas y etiquetas:*** retiro de tintas, adhesivos y otros para evitar impurezas en las operaciones siguientes.

2. Trituración de residuos

- ***Tamaño de escamas:*** partículas de 8 a 10 mm.
- ***Compactación térmica:*** aplicación de calor moderado para optimizar la flexibilidad de las escamas.

3. Lavado y desinfección

- ***Aplicación de agentes químicos:*** que consiste en usar detergentes biodegradables y soluciones alcalinas para desprender adhesivos.
- ***Centrifugado:*** lavado mecánico para eliminar impurezas que en caso contrario podrían dificultar operaciones posteriores.

4. Secado uniforme

- **Secado mecánico:** el cual se realiza en la misma lavadora industrial mediante centrifugado.
- **Secado térmico:** con el fin de evitar burbujas en la etapa de fundición, este proceso busca evitar que la humedad supere el 0,7%, para lo cual se utilizan intercambiadores de calor.

5. Obtención de scrap

- **Fundición de escamas:** mediante sometimiento del PET triturado a 260°C – 280°C para lograr una goma homogénea.

6. Extrusión

Estiramiento del scrap: se aplica alta temperatura y se realiza presión hacia las boquillas de la extrusora para obtener filamentos.

7. Enfriamiento y bobinado

- **Enfriamiento:** paso de los filamentos por piscina de agua para lograr solidificación.
- **Bobinado y cardado:** agrupamiento de las fibras de acuerdo con patrón de organización en carretes.

6.3.5. Análisis de resultados de diseño de guía de transformación de PET reciclado en fibras

Los resultados permiten comprender que los residuos de PET son aprovechables y generan beneficios ambientales, sociales y económicos. En los primeros, se evita que los ecosistemas sean objeto de contaminación por cuenta de este material, ya que al recuperar envases, recipientes y otros productos de embalaje se reduce la carga dispuesta sin gestión adecuada (Da Costa, 2022). En cuanto a los sociales, además de contribuir al bienestar de la población debido a que esos materiales amenazan la salud pública, se promueve la participación de diferentes actores de la cadena de manejo en actividades de recolección, clasificación, transporte y comercialización

(Acuña *et al.*, 2017). Respecto a los económicos, la transformación del PET en fibras textiles implica un proceso circular, de manera que se prolonga la vida útil de este material y se inyecta nuevo valor agregado (Gómez *et al.*, 2023). Esto significa que como producto de las operaciones de obtención de fibras se implementan múltiples actividades que generan valor económico, desde la recuperación y acopio, hasta la obtención de hilos y su uso en la industria de la confección.

De este proceso, la literatura encontrada muestra que es una alternativa integral de gestión de residuos de PET, puesto que involucra personas y empresas que obtienen ingresos de la actividad de reciclaje, de transporte de residuos y la reindustrialización (Forero, 2023). La transformación en fibras es una opción que ya no es ajena a Colombia, dado que existen organizaciones como Enka y Sutex que entre sus objetos sociales ofrecen productos innovadores a partir de plástico reciclado, como hilos con destino a la industria de la confección y otros usos dada la versatilidad de las fibras por su resistencia y utilidad.

Conforme a la literatura revisada y la información de la aproximación a través de entrevistas a las experiencias nacionales en la transformación del PET reciclado en fibras, se observa que es un proceso viable desde el punto de vista de la gestión de residuos de este material en el Cauca. No obstante, la labor de un ejercicio posterior será la factibilidad de mercado en tanto las fibras deben atender una demanda en la región y el país. Por ello, se ha propuesto una guía de orientación de transformación del PET reciclado en fibras para la industria textil.

7. Conclusiones

Respecto a la identificación de los impactos ambientales de los residuos de PET, el análisis bibliográfico basado en ScienceDirect, EBSCO host, Scopus y Springer Link permitió identificar 135 publicaciones relevantes sobre los impactos ambientales de los residuos de PET entre 2020 y 2025. Los estudios se centran en la contaminación plástica, especialmente en ecosistemas acuáticos y reflejan la existencia de abundante literatura.

La revisión bibliográfica evidencia el impacto ambiental significativo de los residuos de PET en los ecosistemas acuáticos, con especial énfasis en mares y ríos. Los estudios destacan efectos adversos como contaminación física, generación de microplásticos y liberación de sustancias tóxicas, afectando la biodiversidad y la calidad del agua. Además, la acumulación de estos desechos contribuye a la alteración de hábitats y cadenas alimenticias.

Sobre los impactos en los suelos, los estudios consultados muestran acumulación de residuos de PET en suelos urbanos, agrícolas y forestales que representa un problema ambiental significativo, debido a que la degradación lenta de este material libera sustancias tóxicas, afecta la microbiota y reduce la fertilidad del suelo, alterando los ciclos biológicos esenciales para los ecosistemas terrestres. Por otra parte, su presencia genera compactación y disminuye la porosidad, dificultando la oxigenación y el flujo de agua.

Los impactos sobre la atmósfera están representados en emisión de CO₂ y otros gases de efecto invernadero. Esto debido a que la combustión de este material libera toxinas dañinas y micropartículas que deterioran la calidad del aire, afectando la salud y el equilibrio ambiental.

En cuanto a la gestión de residuos de PET en el Cauca ha sido objeto de un mapeo sistemático y entrevistas con actores clave en su manejo. En primer lugar, la literatura disponible es limitada y se enfoca principalmente en residuos sólidos en general, con pocos estudios

específicos sobre PET. La mayor parte de los residuos se generan en Popayán, y el reciclaje del material es liderado por recicladores informales.

La gestión de residuos de PET en el Cauca sigue cuatro métodos principales: disposición en vertederos, incineración, comercialización y transformación. Mientras que los dos primeros generan contaminación ambiental y carecen de prácticas de economía circular, la comercialización y transformación representan alternativas más sostenibles. Estas últimas permiten prolongar la vida útil del PET y crear productos reciclados como maderas plásticas y ladrillos.

La cadena de gestión de residuos de PET en el Cauca está en proceso de consolidación, con avances en la comercialización y recientes esfuerzos de transformación. Sin embargo, persisten problemas en la selección y clasificación desde la generación en los hogares, lo que impacta la eficiencia del proceso. Aunque el papel de los recicladores y cooperativas es significativo, la informalidad sigue siendo un obstáculo por cuanto dificulta el seguimiento y análisis de uno de los principales eslabones de la cadena de manejo. El volumen de residuos gestionados y el empleo generado a nivel de Popayán y el Cauca evidencian un sector en expansión, con oportunidades para fortalecer la economía circular y mejorar la infraestructura de aprovechamiento de este tipo de residuos.

Sobre el diseño de una guía de transformación de los residuos de PET en fibras textiles, los resultados de la aproximación a experiencias de transformación de residuos de PET en fibras textiles en Colombia, indican un avance significativo hacia la economía circular y la sostenibilidad. Algunas empresas han desarrollado tecnologías eficientes que permiten la conversión de botellas plásticas en fibras ecológicas, respondiendo a la creciente demanda de consumidores y sectores industriales por materiales responsables con el medio ambiente. Aunque aún existen desafíos en

la escalabilidad de la producción, estas iniciativas generan empleo, reducen la contaminación y fomentan una cultura de reciclaje.

De acuerdo con los resultados del mapeo sistemático, la producción de fibras de PET reciclado ha ganado relevancia en la literatura científica entre 2020 y 2025, con un aumento en publicaciones y enfoques multidisciplinarios. Países como China lidera en investigaciones, seguida por Turquía y Etiopía, mientras que ciencias de materiales y química dominan el análisis. Las técnicas como electrospinning y meltspinning muestran avances en sostenibilidad, destacando el impacto positivo de la economía circular en la reducción de residuos plásticos.

Frente a los protocolos de obtención de fibras de PET reciclado se observa que se basan en criterios de calidad y propiedades físicoquímicas de los residuos para garantizar un proceso eficiente. La obtención de estos productos textiles favorece la economía circular, mejorando el aprovechamiento de residuos plásticos y reduciendo su impacto ambiental, mientras se generan insumos esenciales para la industria textil sostenible.

Finalmente, la guía de aprovechamiento de residuos de PET para la industria textil establece un conjunto de pasos basado en la economía circular, con estrategias para optimizar la gestión de residuos y mejorar su transformación en fibras.

8. Recomendaciones

Es necesario profundizar en estudios que analicen cómo el PET afecta los distintos ecosistemas, desde la contaminación de cuerpos de agua hasta su degradación en suelos. Al contar con datos sólidos es posible diseñar políticas más eficaces para mitigar sus efectos y fomentar soluciones sostenibles en gestión de residuos plásticos.

Es pertinente incorporar programas educativos sobre gestión de residuos de PET es clave para sensibilizar a la población. Esto en el sentido que las iniciativas deben enfocarse en la separación, reutilización y reciclaje, promoviendo hábitos responsables. Por lo tanto, es esencial que, desde la educación primaria hasta la formación técnica, el conocimiento adecuado impulsa la reducción del impacto ambiental del plástico en comunidades.

Se recomienda una formación para los actores de la cadena de reciclaje de PET en modelos de economía circular, dado que, al capacitar sobre técnicas de reciclaje avanzado, regulación de residuos y modelos de negocio circulares permite mejorar la eficiencia del sector y aumentar la valorización del material reciclado, generando beneficios económicos y ambientales.

Es necesario incentivar emprendimientos dedicados a la conversión del PET en fibras textiles es esencial para ampliar su uso y reducir la contaminación plástica. Al respecto, las políticas de financiamiento, asesoramiento y acceso a tecnología pueden facilitar la creación de empresas que aprovechen este material, generando empleo y promoviendo soluciones innovadoras para la moda sostenible.

Desde las universidades se deben impulsar la investigación en ciencia y tecnología aplicada a la transformación del PET reciclado, sobre todo en el desarrollo de nuevos materiales hasta mejoras en los procesos de reciclaje, los centros académicos pueden generar soluciones

innovadoras que optimicen la reutilización del plástico y fomenten la sostenibilidad en diversos sectores industriales.

Para abordar la gestión del PET reciclado de manera efectiva, se requiere colaboración entre gobiernos, empresas y sociedad civil, ya que, al desarrollar alianzas estratégicas para crear normativas, mejorar la infraestructura de reciclaje y fomentar la innovación permitirá acelerar la transición hacia un sistema más eficiente y sostenible en el manejo de plásticos reciclados.

Referencias bibliográficas

- Abbasi, S., Rezaei, M., Mina, M., Sameni, A., Oleszczuk, P., Turner, A. y Ritsema, C. (2023). Entrainment and horizontal atmospheric transport of microplastics from soil. *Chemosphere*, 322, 1-9. doi:10.1016/j.chemosphere.2023.138150
- Abbasi, T., Jaafarzadeh, N., Madadzadeh, F., Eslami, H. y Ebrahimi, A. (2023). Environmental Impact Assessment of Low-Density Polyethylene and Polyethylene Terephthalate Containers Using a Life Cycle Assessment Technique. *Journal of Polymers and the Environment*, 31(8), 1-22. doi:10.1007/s10924-023-02806-0
- Acuña, N., Figueroa, L. y Wilches, M. (2017). Influencia de los Sistemas de Gestión Ambiental ISO 14001 en las organizaciones: caso estudio empresas manufactureras de Barranquilla. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 25(1), 143-153. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/772/77249637013.pdf>
- Akanyange, S., Zhang, Y., Zhao, X., Adom-Asamoah, G., Abubakari, A., Anning, C., . . . Crittenden, J. (2022). A holistic assessment of microplastic ubiquitousness: Pathway for source identification in the environment. *Sustainable Production and Consumption*, 33, 113-145. doi:<https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.06.020>
- Amrutha, K., Shajikumar, S., Warriar, A. y al., e. (2023). Assessment of pollution and risks associated with microplastics in the riverine sediments of the Western Ghats: a heritage site in southern India. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 32301–32319. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-022-24437-z>

- Asian Machinery USA. (23 de mayo de 2024). *Máquinas para reciclado relacionadas*. Obtenido de Asian Machinery USA: <https://asianmachineryusa.com/Reciclado-de-plasticos/Trituradores/De-Doble-Eje/VMGL2180>
- Beaurepaire, M., Dris, R., Gasperi, J. y Tassin, B. (2021). Microplastics in the atmospheric compartment: a comprehensive review on methods, results on their occurrence and determining factors. *Current Opinion in Food Science*, 41, 159-168. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.04.010>
- Bollaín, C. y Vicente, D. (2019). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Revista Española de Salud Pública*, 93, 1-10. Obtenido de <https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v93/1135-5727-resp-93-e201908064.pdf>
- BORETECH. (19 de Julio de 2024). *Secador de plástico para escamas de PET, película*. Obtenido de Zhejiang Boretech Environmental Engineering Co., LTD.: <https://spanish.prm-taiwan.com/product/Dryer.html>
- Botet, A. (2019). *Estudio de los plásticos como material reciclado para la obtención de material de construcción*. Valencia, España: Universitat Politècnica de Valencia.
- Bottari, T., Conti, V., Branca, C., Grotti, M., Savoca, S., Romeo, T., . . . Mancuso, M. (2023). Anthropogenic microparticles in the emerald rockcod *Trematomus bernacchii* (Nototheniidae) from the Antarctic. *Scientific Reports*, 12(17214), 1-16. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-022-21670-x>
- Calpa, J. (2020). Validación de un modelo de logística inversa para la recuperación de los RAEE de la ciudad de Cali, basado en el Pensamiento Sistémico usando una simulación con Dinámica de Sistemas. *TecnoLógicas*, 23(48), 55-81. doi:<https://doi.org/10.22430/22565337.1418>

- Carniel, A., Ferreira, N., Smith, F., Mendes, J., Dias, B., Marrucho, I., . . . Castro, A. (2024). From trash to cash: current strategies for bio-upcycling of recaptured monomeric building blocks from poly(ethylene terephthalate) (PET) waste. *Green Chemistry*, 26(10), 5708-5743. doi:<https://doi.org/10.1039/d4gc00528g>
- Castañeta, G., Gutiérrez, A., Nacaratte, F. y Manzano, C. (2020). Microplásticos: un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición. *Revista Boliviana de Química*, 37(3), 160-175. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/4263/426365043004/html/>
- Celi, S., Andrade, D., Loza, S. y Bermeo, T. (2023). Microplásticos, un problema de salud pública emergente. *Revista Información Científica*, 102, 1-12. doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.8105111>
- Chamley, A., Troalen, W., Baley, C., Le Gué, L., Freyermouth, F. y Davies, P. (2025). Rayon fibre rope: A biodegradable alternative for marine use? *Marine Pollution Bulletin*, 215, 1-16. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117917>
- Cruz, J., Alonso, S. y Zitzumbo, R. (2015). Desarrollo de una alternativa ecológica para la fabricación de estructuras auxiliares de madera. *Sociedad y Ambiente*, 1(8), 98-107. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4557/455744913005.pdf>
- Da Costa, C. (2022). La Economía Circular como eje de desarrollo de los países latinoamericanos. *Revista Economía y Política*(35), 1-12. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5711/571169753001/571169753001.pdf>
- Devereux, R., Kebede, E., Jayaratne, R. y Newport, D. (2022). Microplastic abundance in the Thames River during the New Year period. *Marine Pollution Bulletin*, 177, 1-14. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113534>

- Ding, J., Sun, C., He, C., Zheng, L., Dai, D. y Li, F. (2022). Atmospheric microplastics in the Northwestern Pacific Ocean: Distribution, source, and deposition. *Science of the Total Environment*, 829, 1-12. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.154337
- dos Muchangos, L., Ito, L. y Tokai, A. (2025). Life cycle assessment of plastic waste management in Mozambique. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 27, 624–637. doi:<https://doi.org/10.1007/s10163-024-02098-z>
- Enamul, A., Michon, E., Mingelbier, M., Robert, D., Soubaneh, Y., Xie, H. y Lu, Z. (2025). Microplastics in the benthic fish from the Canadian St. Lawrence River and Estuary: Occurrence, spatial distribution and ecological risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 212, 1-13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117509>
- Espinoza, A. (2023). Economía circular: una aproximación a su origen, evolución e importancia como modelo de desarrollo sostenible. *Revista de Economía Institucional*, 25(49), 109-134. doi:<https://doi.org/10.18601/01245996.v25n49.06>
- Forbes. (26 de abril de 2022). *Una empresa colombiana usa los residuos textiles para hacer fibras*. Obtenido de Forbes Colombia: <https://n9.cl/iwswyi>
- Forero, A. (2023). *Obtención de fibra textil a partir de reciclado del plástico PET*. Bogotá: Fundación Universidad de América.
- García, A. y Tapia, J. (2017). Diseño de un Nuevo Proceso Para la Obtención de Fibras de Poliéster a Partir de Pet Reciclado. *Conciencia Tecnológica*(34), 60-61. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94403418>
- Gobernación del Cauca. (2013). *Plan Estratégico Departamental de Ciencia Tecnología e Innovación del Cauca*. Popayán, Colombia: MinCiencias-Gobernación del Cauca-Universidad del Cauca-BID. Obtenido de <https://n9.cl/hhg78>

- Gobernación del Cauca. (2024). *Plan de Desarrollo Departamental del Cauca 2024-2027 “La fuerza del pueblo”*. Popayán, Colombia: Gobernación del Cauca.
- Gómez, J., Eljay, M., Jiménez, E., Pardo, E. y Vargas, M. (2023). *Proyecto para la transformación de material PET reciclado en fibras textiles para la 1 confección de prendas de vestir en el barrio de Villa Nelly localidad de Kennedy, ciudad de Bogotá* . Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD .
- Guffogg, J., Soto, M., Bellman, C., Jones, S. y Skidmore, A. (2024). Beached Plastic Debris Index; a modern index for detecting plastics on beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 209, 1-18. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117124>
- Hefei HD Machinery. (13 de marzo de 2025). *Máquina de enrollado de hilo de fibra de bristle de filamento de plástico Pet/PP*. Obtenido de Hefei HD Machinery Co, Ltd: <https://n9.cl/31ftn>
- Iannuzzi, Z., Mourier, B., Winiarski, T., Lipeme, G., Polomé, F. y Bayard, R. (2024). Contribution of different land use catchments on the microplastic pollution in detention basin sediments. *Environmental Pollution*, 348, 1-21. doi:10.1016/j.envpol.2024.123882
- Illuminati, S., Notarstefano, V., Tinari, C., Fanelli, M. G., Ajdini, B., Scarchilli, C., . . . Truzzi, C. (2024). Microplastics in bulk atmospheric deposition along the coastal region of Victoria Land, Antarctica. *Science of the Total Environment*, 949, 1-13. doi:10.1016/j.scitotenv.2024.175221
- Intera SAS. (23 de marzo de 2025). *Generalidades de la organizacion*. Obtenido de Intera SAS: <https://intera.com.co/nosotros/>
- Jia, Q., Duan, Y., Han, X., Sun, X., Munyaneza, J., Ma, J. y Xiu, G. (2022). Atmospheric deposition of microplastics in the megalopolis (Shanghai) during rainy season:

- Characteristics, influence factors, and source. *Science of the Total Environment*, 847, 1-16. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.157609
- Jiang, N., Luo, W., Zhao, P., Ga, B., Jia, J. y Giesy, J. (2022). Distribution of microplastics in benthic sediments of Qinghai Lake on the Tibetan Plateau, China. *Science of the Total Environment*, 835, 1-19. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.155434
- Johnson, J., Peer, N., Rajkaran, A. y Sershen, A. (2023). Microplastic abundance in urban vs. peri-urban mangroves: The feasibility of using invertebrates as biomonitors of microplastic pollution in two mangrove dominated estuaries of southern Africa. *Marine Pollution Bulletin*, 196, 1-15. doi:https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115657
- Kong, J., Jeong, S., Lee, J. y Jeong, S. (2025). Permeable pavement blocks as a sustainable solution for managing microplastic pollution in urban stormwater. *Science of the Total Environmental*, 966, 1-19. doi:10.1016/j.scitotenv.2025.178649
- Liu, B., Ye, K., Lu, Y., Deng, H., Yang, J., Li, K., . . . Jiang, Y. (2024). Occurrence and risk assessment of microplastics on the Shenzhen coast, South China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 286(1), 1-12. doi:10.1016/j.ecoenv.2024.117227
- Liu, S., Bai, F., Men, Z., Gu, X., Wang, F., Li, Y. y Liu, Q. (2023). Spatial distribution, source apportionment and potential ecological risk assessment of suspended atmosphere microplastics in different underlying surfaces in Harbin. *Science of the Total Environment*, 901(25), 1-14. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.166040
- Majumdar, A., Shukla, S., Singh, A. y Arora, S. (2020). Circular fashion: Properties of fabrics made from mechanically recycled poly-ethylene terephthalate (PET) bottles. *Resources, Conservation and Recycling*, 161, 1-12. doi:https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104915

- Mandal, M., Roy, A. y Sarkar, A. (2025). Comprehensive study of the microplastic footprint in the urban pond and river of Eastern India. *Scientific Reports*, 15, 1-11. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-025-87452-3>
- Mansilla, L. y Ruiz, M. (2009). Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster. *Ingeniería Industrial*(27), 123-137. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428493008.pdf>
- Menon, V., Sharma, S., Gupta, S. y Ghosal, A. e. (2023). Prevalence and implications of microplastics in potable water system: An update. *Chemosphere*, 317, 1-12. doi:10.1016/j.chemosphere.2023.137848
- Millholand, C. (28 de julio de 2020). *Perfiles de polímeros: Una guía de los plásticos más utilizados en el mundo*. (ThermoFisher Scientific) Recuperado el 22 de febrero de 2022, de <https://www.thermofisher.com/blog/cienciaacelerada/materiales/perfiles-de-polimeros-una-guia-de-los-plasticos-mas-utilizados-en-el-mundo/#:~:text=Hoy%20en%20d%C3%ADa%2C%20tanto%20el,siendo%20los%20pl%C3%A1sticos%20m%C3%A1s%20utilizados.>
- Montaño, N. y Ramírez, P. (2023). *Estado actual de la implementación de procesos de biodegradación del polietileno tereftalato (pet) para la remediación ambiental*. Popayán, Colombia: Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.
- Montenegro, B. (2022). *Estrategias de reciclaje de los diferentes residuos que se producen en el municipio de Guapi Cauca*. Bogotá: Fundación Universitaria Los Libertadores .
- Morales, D. (19 de enero de 2022). *En Enka hemos cumplido todos los compromisos que teníamos con los acreedores*. Obtenido de Diario La República: <https://n9.cl/qjpyb>

- Moro, J., Cancho, J., Soberón, V., Cano, P. y Flores, E. (2023). Diseño de un Prototipo para Obtener Fibra Poliéster Utilizando Envases. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 4357-4373. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.8999
- Muringayil, T., Azat, S., Ahmadi, Z., Jazani, O., EsmaeILI, A., Kianfar, E., . . . Thomas, S. (2024). Polyethylene terephthalate (PET) recycling: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100673>
- Nakanishi, M., Chan, K. y Zinchenko, A. (2025). Upcycling of waste PET fibers and fabrics via surface engineering: Surface aminolysis-assisted functionalization with catalytic nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 511, 1-18. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.161839>
- Nematollahi, M., Keshavarzi, B., Mohit, F. y Moore, F. B. (2022). Microplastic occurrence in urban and industrial soils of Ahvaz metropolis: A city with a sustained record of air pollution. *Science of the Total Environment*, 819, 1-20. doi:[10.1016/j.scitotenv.2021.152051](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152051)
- Ojeda, J. y Mercante, I. (2021). Reciclaje de residuos plásticos para la producción de agregados livianos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 37, 1-21. doi:<https://doi.org/10.20937/RICA.54081>
- Ordóñez, S. y Arteaga, J. (2019). *Estudio prospectivo para el manejo y aprovechamiento de basuras en la ciudad de Popayan, Cauca al año 2020*. Popayán: Universidad Nacional Abierta y a Distancia “UNAD” .
- Padha, S., Rakesh, K., Yogesh, S. y Anjali, D. (2025). Unravelling land-based discharge of microplastics in River Basantar of Jammu & Kashmir, India: Understanding sinking

- behaviors and risk assessments. *Journal of Contaminant Hydrology*, 269, 1-16.
doi:10.1016/j.jconhyd.2024.104490
- Patil, S., Bafana, A., Krishnamurthi, K. y Sivanesan, S. (2024). Estimated exposure to microplastics through national and local brands of bottled water in Central India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(3), 1-17. doi:10.1007/s10661-024-12387-7
- Petersen, K., Feldt, R., Mujtaba, S. y Mattsson, M. (2008). Systematic Mapping Studies in Software Engineering. *12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE)*. (págs. 1-10). Karlskrona, Sweden: Ericsson AB.
doi:https://doi.org/10.14236/ewic/EASE2008.8
- Prieto, R. (2023). Contaminación ambiental por plásticos durante la pandemia y sus efectos en la salud humana. *Revista Colombiana de Cirugía*, 38(1), 22-29.
doi:https://doi.org/10.30944/20117582.2203
- Ramírez, A. (2022). Reciclaje de tereftalato de polietileno. *Revista de Investigación Ingeniería y sus Alcances*, 6(14), 47-63. doi:https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=745780964005
- Ryan, P., Pichegru, L. y Connan, M. (2024). Tracing beach litter sources: Drink lids tell a different story from their bottles. *Marine Pollution Bulletin*, 201, 1-13.
doi:10.1016/j.marpolbul.2024.116186
- Samandra, S., Johnston, J., Jaeger, J., Symons, B., Xie, S., Currell, M., . . . Clarke, B. (2022). Microplastic contamination of an unconfined groundwater aquifer in Victoria, Australia. *Science of the Total Environment*, 802, 1-14. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149727

- Seibert, M., Mazzei, G., Gruber, M., Volk, W. y Osswald, T. (2022). Manufacturing of a PET Filament from Recycled Material for Material Extrusion (MEX). *Recycling*, 7(5), 69-82. doi:<https://doi.org/10.3390/recycling7050069>
- Sfriso, A., Juhmani, A., Tomio, Y. y Sfriso, A. (2024). Microplastic accumulation and ecological impacts on benthic invertebrates: Insights from a microcosm experiment. *Marine Pollution Bulletin*, 202, 1-9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116231>
- Sharma, S., Lai, W., Roy, S., Maji, P., Ramakrishna, S. y Lim, K. (2024). Gate-to-grave assessment of plastic from recycling to manufacturing of TENG: a comparison between India and Singapore. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 42698–42718. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-024-33867-w>
- Shen, L., Worrell, E. y Patel, M. (2020). Open-Loop Recycling: A LCA Case Study of Pet Bottle to-Fibre Recycling. *Resources Conservation and Recycling Journal*, 55, 34-52. doi:[10.1016/j.resconrec.2010.06.014](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.06.014)
- Silva, Z. y Mejía, D. (2021). *Estudio del manejo de residuos plásticos en Colombia*. Medellín: Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia.
- Skirtun, M., Sandra, M., Strietman, W., van den Burg, S., De Raedemaecker, F. y Devriese, L. (2022). Plastic pollution pathways from marine aquaculture practices and potential solutions for the North-East Atlantic region. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 1-17. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113178>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2024). *Información reportada al SUI, para cálculo de la tarifa de aprovechamiento como actividad complementaria del servicio público de aseo. Toneladas aprovechadas a junio de 2022*. Bogotá: Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios. Obtenido de

<https://sui.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline->

[files/TONELADAS%20APROVECHADAS%20A%20JUNIO%202022.xlsx](https://sui.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/TONELADAS%20APROVECHADAS%20A%20JUNIO%202022.xlsx)

Superservicios. (F de 2023). *Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos*. Bogotá:

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Obtenido de Superintendencia de

Servicios

Públicos

Domiciliarios:

[https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-Nacional-de-](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-Nacional-de-Disposicion-Final-de-Residuos-Solidos.pdf.pdf)

[Disposicion-Final-de-Residuos-Solidos.pdf.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-Nacional-de-Disposicion-Final-de-Residuos-Solidos.pdf.pdf)

Tecnofer. (21 de septiembre de 2024). *Recycling equipment & machinery: Lavadora de plástico*.

Obtenido de Tecnofer: <https://www.tecnofer.biz/es/maquinarias/lavadora-horizontal/>

Telli, A. y Özdil, N. (2021). Effect of Recycled PET Fibers on the Performance Properties of

Knitted Fabrics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 10(2), 1-21.

doi:<https://doi.org/10.1177/155892501501000206>

The Food Tech. (1 de octubre de 2020). *Extrusora de PET*. Obtenido de The Food Tech:

[https://thefoodtech.com/maquinaria-para-embasado-y-procesamiento/extrusion-de-pet-](https://thefoodtech.com/maquinaria-para-embasado-y-procesamiento/extrusion-de-pet-los-desafios-de-la-transformacion/)

[los-desafios-de-la-transformacion/](https://thefoodtech.com/maquinaria-para-embasado-y-procesamiento/extrusion-de-pet-los-desafios-de-la-transformacion/)

Tian, L., Skoczynska, E., Siddhanti, D., van Putten, R., Leslie, H. y Gruter, H. (2022).

Quantification of polyethylene terephthalate microplastics and nanoplastics in sands,

indoor dust and sludge using a simplified in-matrix depolymerization method. *Marine*

Pollution Bulletin, 175, 1-13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113403>

Toussent, F., González, L., Vidaud, I. y Cruz, L. (2022). Recomendaciones con criterios de

sostenibilidad para el empleo del politereftalato de etileno reciclado en la elaboración de

hormigones. *Ciencia en su PC*, 1(1), 66-80. Obtenido de

<https://www.redalyc.org/journal/1813/181372324010/html/>

- UNEP. (2023). *Nuestro planeta se está ahogando con el plástico*. Obtenido de Programa Ambiental de las Naciones Unidas: <https://n9.cl/nhtgb>
- Valderrama, M., Chavarro, L., Osorio, J. y Peña, C. (2018). Estudio dinámico del reciclaje de envases pet en el Valle del Cauca. *Revista Lasallista de Investigación*, 15(1), 67-74. doi:<http://doi.org/>
- Vargas, I. (2012). La entrevista en la investigación cualitativa: nuevas tendencias y retos. *Revista Calidad en la Educación Superior*, 3(1), 119-139. Obtenido de http://biblioteca.icap.ac.cr/BLIVI/COLECCION_UNPAN/BOL_DICIEMBRE_2013_69/UNED/2012/investigacion_cualitativa.pdf
- Walker, T., McGuinty, E. y Hickman, D. (2021). Marine debris database development using international best practices: A case study in Vietnam. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 1-14. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112948>
- Wang, F., Lai, Z., Peng, G., Luo, L., Liu, K., Huang, X., . . . Li, D. (2021). Microplastic abundance and distribution in a Central Asian desert. *Science of the Total Environment*, 800, 1-18. doi:[10.1016/j.scitotenv.2021.149529](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149529)
- Zhang, H. y Wen, Z. (2015). The consumption and recycling collection system of PET bottles: a case study of Beijing, China. *Waste Management*, 34(6), 987-998. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.07.015>
- Zhang, X., Feng, Q., Li, X., Guo, L., Ma, D., Cheng, X. y Qi, Y. (2023). Microplastics in household fecal sewage treatment facilities of rural China. *Journal of Hazardous Materials*, 448(15), 1-15. doi:[10.1016/j.jhazmat.2023.130925](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130925)

- ZMM. (23 de abril de 2025). *Línea de reciclaje de producción de lavado y trituración de plástico desechado para redes de pesca, proveedor de reciclaje de LDPE*. Obtenido de Zhangjiagang Meetyou Machinery Co, Ltd: <https://n9.cl/uyawxo>
- Żukowski, W., Jankowski, D., Wrona, J. y Berkowicz, G. (2023). Combustion behavior and pollutant emission characteristics of polymers and biomass in a bubbling fluidized bed reactor. *Energy*, 263, 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125953>

Anexos

Anexo A

Formato de entrevista dirigido a centros de acopio de residuos sólidos

Corporación Universitaria Autónoma del Cauca  Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria
Preguntas para asociaciones y recicladores de PET
1. ¿Qué características presente la cadena de manejo de residuos de PET en el Cauca? 2. ¿Cuáles son los eslabones de esta cadena según su experiencia en la gestión de residuos sólidos? 3. ¿Qué organizaciones existen dedicadas al manejo de residuos de PET en el Cauca? 4. ¿Qué puede decirse acerca del eslabón de comercialización de la cadena de manejo de residuos de PET? 5. ¿Cuáles son los principales destinos de los residuos de PET del Cauca? 6. ¿Qué cantidad de residuos de PET al mes se recupera en su establecimiento? 7. ¿Cuántos empleos genera la actividad de manejo de residuos de PET en su organización?
¡Gracias por su colaboración!

Anexo B*Formato de entrevista dirigido a transformadores de residuos de PET en fibras*

Corporación Universitaria Autónoma del Cauca  Uniautónoma DEL CAUCA Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria
Preguntas para transformadores de PET
1. ¿Qué los motivó a emprender la transformación del PET reciclado en fibras textiles? 2. ¿Cuál es la cantidad aproximada de PET reciclado que transforman mensualmente? 3. ¿Cuáles o quiénes son sus principales clientes de las fibras textiles obtenidas de PET reciclado? 4. ¿Cómo se realiza el proceso de transformación del PET reciclado en fibras textiles? 5. ¿Qué tipo de maquinaria o equipos utilizan para obtener fibras textiles a partir del PET reciclado? 6. ¿Cuáles creen que son los principales beneficios sociales de su empresa al transformar el PET reciclado en fibras textiles? 7. ¿Según su experiencia, ¿cuáles son los beneficios económicos de este proceso de economía circular? 8. ¿Los beneficios ambientales cuáles son de acuerdo con lo que han observado en la empresa?
<i>¡Gracias por su colaboración!</i>