



**OBTENCIÓN DE FIBRA DE POLIESTER A ESCALA PILOTO USANDO RESIDUOS  
PET GENERADOS EN LA UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR, SEDE  
VALLEDUPAR**



**AUTOR (A): ELIANA MARCELA ANDRADE ANGULO**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR - CESAR  
2023**

## DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios, primeramente, ya que todos los logros obtenidos tanto en mi carrera como en los resultados de este documento fueron permitidos por y gracias a él, a mi familia quienes son mi motor y quienes me brindaron el apoyo y la motivación para seguir adelante con las metas que me propuse. También a mis amistades por sus consejos, su ayuda servicial y su interés en el desenlace de cada una de las actividades establecidas, profesionalmente destaco aportes de docentes, y compañeros que con su conocimiento de alguna u otra manera contribuyeron con experiencias enriquecedoras para mi proceso de aprendizaje y desarrollo personal, y profesional.



## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios por permitirme cumplir con este propósito, a la universidad y cada uno de los docentes, directivos y compañeros que hizo parte de mi proceso integral de formación y aprendizaje, que con cada uno de sus aportes pude adquirir el conocimiento necesario para cumplir cada uno de los logros estipulado en esta carrera profesional.

Agradecerles a mis vínculos más cercanos como lo son mis padres y mis hermanos por su motivación y apoyo diario, también a demás familiares por la presencia y amor con la que se han manifestado, en su interés por brindarme herramientas y oportunidades las cuales me facilitaron cumplir con cada compromiso.

Finalmente le agradezco a cada persona interesada en conocer y analizar cada inciso de esta tesis, por permitirme compartirlas y hacerles llegar información que pueda ser usada en ámbitos profesionales, comerciales o personales y que de una u otra manera pueda impactar en la vida y estilo de consumo de quien conecte con el tema.



## RESUMEN

El PET (Polietileno Tereftalato) es un material fuerte de peso ligero de poliéster claro (ECOCE, 2016). Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes o zunchos y láminas (ECOCE, 2016). La presente investigación obtuvo Fibra De Poliéster usando Residuos PET generados en la Universidad Popular Del Cesar, Sede Valledupar a escala piloto, por medio de tres fases: caracterizar los residuos PET con mayor potencial para la elaboración de Fibra De Poliéster por medio de la prueba de Beilstein; elaborar la Fibra corta De Poliéster a partir del scrap de botellas transparentes de PET y finalmente, realizar pruebas de evaluación de calidad a la Fibra De Poliéster obtenida a partir de los Residuos PET generados en la Universidad Popular Del Cesar. El color se mantuvo más fuerte en comparación de la fibra que tardó 18 horas; No se transfiere color en el agua, ni en la tela testigo; de las tres muestras tomadas, el promedio de rotura fue de 47 segundos. El tiempo de rotura para un PET potencial debe tardar entre 40 y 60 segundos, por ende, la fibra cumple con lo establecido según la investigación. Sin embargo, la fibra se mostró débil a la rotura y elongación con el tacto, lo que podría implicar un proceso de hilado frágil, ya que esta no mostró resultados favorables para su enfriamiento.

Palabras claves: Botellas plásticas, fibras textiles, poliéster.

## ABSTRACT

PET (Polyethylene Terephthalate) is a strong, lightweight, clear polyester material (ECOCE, 2016). The physical properties of PET and its ability to meet various technical specifications have been the reasons why the material has achieved relevant development in the production of textile fibers and in the production of a wide variety of containers, especially in the production of bottles, trays, straps or bands and sheets (ECOCE, 2016). The present investigation obtained Polyester Fiber using PET Waste generated at the Universidad Popular Del Cesar, Valledupar Campus on a pilot scale, through these phases: characterize the PET waste with the greatest potential for the production of Polyester Fiber through the test of Beilstein; elaborate the Short Polyester Fiber from the scrap of transparent PET bottles and finally, carry out quality evaluation tests on the Polyester Fiber obtained from the PET Waste generated at the Popular University of Cesar. The color stayed stronger compared to the fiber which took 18 hours. No color is spilled in the water, nor is it a witness fabric. of the three samples taken, the average break time was 47 seconds. The breaking time for a potential PET should take between 40 and 60 seconds, so the fiber complies with what is established according to the investigation. However, the fiber was weak to breakage and elongation with touch, which could imply a fragile spinning process since it did not show favorable results for cooling.

*Keywords: Plastic bottles, textile fibers, polyester.*



## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA</b> .....	2
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	3
<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	10
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	12
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	14
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	16
<b>3.1 OBJETIVO GENERAL</b> .....	16
<b>4. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	17
<b>4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	17
<b>4.2.MARCO TEORICO</b> .....	23
<b>4.3 MARCO CONCEPTUAL</b> .....	25
<b>4.4 MARCO CONTEXTUAL</b> .....	27
<b>4.5 MARCO LEGAL</b> .....	29
<b>5. MARCO METODOLÓGICO</b> .....	33
<b>5.1. LÍNEA Y SUBLINEA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	33
<b>5.2. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN</b> .....	33
<b>5.3. ALCANCE DE INVESTIGACIÓN</b> .....	33
<b>5.6 DESARROLLO METODOLÓGICO</b> .....	34
<b>6. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....	41
<b>6.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS PET CON MAYOR POTENCIAL PARA LA ELABORACIÓN DE FIBRA DE POLIÉSTER POR MEDIO DE LA PRUEBA DE BEILSTEIN</b> .....	41

<b>6.2 ELABORACIÓN DE LA FIBRA CORTA DE POLIÉSTER A PARTIR DEL SCRAP DE BOTELLAS TRANSPARENTES DE PET.....</b>	<b>49</b>
<b>6.3 PRUEBAS DE EVALUACIÓN DE CALIDAD A LA FIBRA DE POLIÉSTER OBTENIDA A PARTIR DE LOS RESIDUOS PET GENERADOS EN LA UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR.....</b>	<b>55</b>
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>60</b>
<b>8. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>62</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Economía circular .....	24
<b>Figura 2</b> Ubicación UNiversidad .....	28
<b>Figura 3</b> Procedimiento a realizar .....	35
<b>Figura 4</b> Proceso de obtención del scrap .....	36
<b>Figura 5</b> Proceso de obtención de fibra .....	39
<b>Figura 6</b> Recolección de botellas .....	43
<b>Figura 7</b> Caracterización de botellas .....	44
<b>Figura 8</b> Recolección diaria de botellas .....	45
<b>Figura 9</b> Resultados de botella por tipo .....	47
<b>Figura 10</b> Prueba de Beilstein .....	49
<b>Figura 11</b> Lavado de botellas y retiro de etiquetas .....	50
<b>Figura 12</b> Molienda y lavado del scrap .....	50
<b>Figura 13</b> Secado del scrap obtenido .....	51
<b>Figura 14</b> Fundido del scrap .....	52
<b>Figura 15</b> Masa hilable fundida .....	52
<b>Figura 16</b> Proceso de estiramiento del scrap .....	53
<b>Figura 17</b> Tejido manual .....	54
<b>Figura 18</b> Fibras sumergidas .....	55
<b>Figura 19</b> Prueba de rotura .....	58
<b>Figura 20</b> Resultados prueba de rotura .....	58

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Marco legal .....	29
<b>Tabla 2</b> Revisión bibliografica .....	41
<b>Tabla 3</b> Resultados prueba Beilstein .....	47
<b>Tabla 4</b> Resultados prueba de color .....	56
<b>Tabla 5</b> Resultados prueba de abrasión .....	57



## INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos sólidos en Colombia ha presentado importantes avances en el control de la contaminación causada por los residuos sólidos y en la sostenibilidad del servicio público de aseo en gran parte del país. A la fecha, la gran mayoría de residuos sólidos no peligrosos es dispuesta adecuadamente y un porcentaje muy bajo de municipios del país cuenta con sitios de disposición final no adecuados. Sin embargo, estos avances se han dado mediante el desarrollo paralelo de visiones que no siempre están articuladas en cuanto a su dimensión ambiental y al enfoque de servicio público. Lo anterior se evidencia en el desarrollo de diferentes políticas públicas, implementadas separadamente y que, a pesar de coincidir en algunos puntos, no se han potenciado mediante el trabajo integrado (Conpes 3874 de 2016).

El PET (Polietileno Tereftalato) es un material fuerte de peso ligero de poliéster claro (ECOCE, 2016). Se usa para hacer recipientes para bebidas suaves, jugos, agua, bebidas alcohólicas, aceites comestibles, limpiadores caseros, y otros (ECOCE, 2016). Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes o zunchos y láminas (ECOCE, 2016).

La presente investigación pretende obtener Fibra De Poliéster usando Residuos PET generados en la Universidad Popular Del Cesar, Sede Valledupar a escala piloto, lo que permitirá reducir los impactos negativos y problemas ambientales ocasionados por la inadecuada disposición de este tipo de residuos a las fuentes hídricas y vías de acceso del municipio, así como también mitigar las afectaciones al ambiente que causa una de las industrias más contaminantes que es la textil. Dándole sentido a la necesidad de buscar alternativas de reutilización para algunos materiales de larga vida útil, proveniente el imperativo ético de preservar el planeta, ya desgastado y afectado por la contaminación. Reciclar PET es darle una gran oportunidad a la economía circular, ya

que al reintegrar este polímero en un nuevo ciclo productivo como materia prima no solo se estaría eliminando o minimizando el daño ambiental causado por estos residuos contaminantes, sino que también se estaría presentando oportunidad de generar ingresos o beneficios económicos.

La investigación se estructura en nueve capítulos, divididos de la siguiente manera: en el capítulo número uno, se realiza la descripción del planteamiento del problema, el capítulo número dos menciona la justificación. El capítulo número tres menciona los objetivos de la investigación. El capítulo 4 encontramos el marco referencial. El capítulo número cinco, hace referencia al marco metodológico, en el que se encuentra la descripción de la línea, sublínea, tipo, nivel, población y muestra que requiere el desarrollo de la investigación. Adicionalmente, se encuentra el desarrollo metodológico. El capítulo sexto son los resultados. Posteriormente, en el capítulo séptimo se encuentra las conclusiones, seguido por el capítulo octavo, recomendaciones y por último la bibliografía.



## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La presencia de plásticos en los residuos se ha incrementado de forma constante en las últimas décadas. Esto obedece a distintas causas, entre las que destaca su utilización en productos de vida útil corta, que son desechados rápidamente por los usuarios; se estima que alrededor del 50% de los plásticos que se producen, se destinan a aplicaciones de un solo uso, entre 20% y 25%, se emplean en la construcción y el resto en la fabricación de otros productos, como electrónicos, muebles y vehículos. Los plásticos con mayor presencia en los residuos son: el Polietileno (PBD y PAD) y el Tereftalato de polietileno (PET), debido a que representan la mayor proporción en los envases y embalajes.

En Colombia el reciclado del plástico PET no tiene un buen panorama, solo el 26% del plástico PET es reciclado. “Durante el 2015 en el país se recuperaron entre 3.000 y 3.500 toneladas de envases PET lo que representa tan solo 26% del total. Bogotá, Medellín y Cali son las tres ciudades que tienen las mayores tasas de reciclaje.” (Zarta, 2016, pág. 1).

En Valledupar, un informe de caracterización que realiza Aseo del Norte para el año 2019, indican que hasta el mes de octubre, la empresa ha recolectado 1.331,5 kilos de residuos plásticos PET. Sin embargo, otras empresas privadas como Conservar, Comarsa, Biomundo y Correnacer, también realizan recolección de plástico, por lo que esta cifra aumentaría. La caracterización indica además, que desde 2015 hasta 2019, un porcentaje del 78,71 por ciento de desechos plásticos PET fueron depositados en las calles y principales vías del municipio.

En el departamento del Cesar, las fuentes hídricas están siendo deterioradas por la falta de conciencia ciudadana, toda vez que allí son arrojados todo tipo de desechos, especialmente plástico. Por ello, el llamado es a tomar conciencia y a ejercer buenas prácticas ambientales para evitar el deterioro de estas fuentes hídricas, que, en la mayoría de los casos, abastecen de agua a los acueductos de los centros urbanos (Corpocesar, 2019).

Según Corpocesar (2019), es notoria la presencia de residuos PET en el río Guatapurí y las vías, provocando taponamiento del sistema y dificultades en los procesos de desagües, lo que facilita inundaciones en temporada de lluvias; además de generar "montañas" de envases en las orillas de los cauces de ríos. Los lotes baldíos representan también un fuerte foco de atracción para el desecho de diversos residuos, de entre los cuales destacan los envases de PET.

De acuerdo con el Plan Nacional para la Gestión Sostenible de los plásticos de un solo uso del Ministerio De Ambiente, se espera que para el año 2030 Colombia haya implementado medidas concretas para una gestión sostenible del plástico, a través de acciones de prevención, sustitución, reducción y reincorporación de materiales en el ciclo productivo. Por ello, se hace imperativo el desarrollo de campañas como las que emprende Corpocesar, para llamar la atención a la ciudadanía, sobre la necesidad de disminuir o evitar el uso del plástico como una forma de contribuir con el cuidado del ambiente o bien, aumentar las estrategias en reciclaje y reutilización de este tipo de residuos PET.

Conforme a lo anterior se plantea la siguiente pregunta:

**¿Es posible obtener fibra de poliéster a partir de los residuos sólidos generados en la Universidad Popular del Cesar?**



## 2. JUSTIFICACIÓN

La conciencia ambiental, que lleva a la configuración de sistemas tecnológicos y procesos productivos eficientes que armonicen con el entorno, deriva necesariamente en la idea de reciclar. El desarrollo industrial y tecnológico, si bien ha traído innumerables beneficios sociales, también ha tenido repercusiones negativas y de difícil reversibilidad en el planeta. Por ello, resulta un imperativo la formación en una sólida ética ambiental y la divulgación sostenida de alternativas de tecnologías limpias que contribuyan a paliar los efectos nocivos que la sociedad posmoderna está generando (Mansilla, 2019).

El PET en general se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad además de que es un polímero que sirve para la fabricación de fibras de poliéster resistentes. Este plástico presenta propiedades como, por ejemplo: una alta resistencia al desgaste, reciclable, excelentes propiedades mecánicas, biodegradable, liviano, entre otras que hacen de este un plástico muy versátil para ser utilizado dentro de la industria textil como una fibra de poliéster. Estas sirven para confeccionar gran variedad de productos textiles (Ruiz, 2019).

La presente investigación pretende obtener Fibra De Poliéster usando Residuos PET generados en la Universidad Popular Del Cesar, Sede Valledupar a escala piloto, lo que permitirá reducir los impactos negativos y problemas ambientales ocasionados por la inadecuada disposición de este tipo de residuos a las fuentes hídricas y vías de acceso del municipio, así como también mitigar las afectaciones al ambiente que causa una de las industrias más contaminantes que es la textil. Dándole sentido a la necesidad de buscar alternativas de reutilización para algunos materiales de larga vida útil, proveniente del imperativo ético de preservar el planeta, ya desgastado y afectado por la contaminación. Reciclar PET es darle una gran oportunidad a la economía circular, ya que al reintegrar este polímero en un nuevo ciclo productivo como materia prima no solo se estaría eliminando o minimizando el daño ambiental causado por estos residuos contaminantes, sino que también se estaría presentando oportunidad de generar ingresos o beneficios económicos.

Por otra parte, por medio del proyecto se generó conciencia y fortaleció la cultura del reciclaje a nivel local y a futuro a nivel nacional, formalizando los empleos de los recicladores de la ciudad con potencial a crear plantas de reciclaje de residuos PET mejorando la calidad de vida de estos trabajadores.

Finalmente, por medio de la ejecución del proyecto se promovió la economía circular, como un nuevo modelo de producción y consumo que garantiza un crecimiento sostenible en el tiempo. Con la economía circular se promovió la optimización de recursos, la reducción en el consumo de materias primas y el aprovechamiento de los residuos PET, reciclándolos o dándoles una nueva vida para convertirlos en nuevos productos como la fibra de poliéster.



### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener Fibra De Poliéster usando Residuos PET generados en la Universidad Popular Del Cesar, Sede Valledupar a escala piloto basado en la prueba Beilstein.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar los residuos PET con mayor potencial para la elaboración de Fibra De Poliéster por medio de la prueba de Beilstein
- Elaborar la Fibra corta De Poliéster a partir del scrap de botellas transparentes de PET.
- Realizar pruebas de evaluación de calidad a la Fibra De Poliéster obtenida a partir de los Residuos PET generados en la Universidad Popular Del Cesar



## 4. MARCO DE REFERENCIA

### 4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Salazar, J. (2019), realizó la investigación llamada: Factibilidad de una empresa que fabrica tela a base de plástico en la ciudad de Pereira para optar por el título de administrador de empresas en la Universidad Libre de Colombia. La investigación se desarrolló por medio de tres fases: la primera, elaborar un estudio de mercado de una empresa dedicada a la elaboración de tela a base de plástico en la ciudad de Pereira, elaborar un estudio técnico de una empresa dedicada a la elaboración de tela a base de plástico, y finalmente, describir los procedimientos para la elaboración de las telas con residuos PET. La investigación que se realizó permitió conocer que si es factible crear una empresa en la ciudad de Pereira que produzca tela para el uso de las personas a partir del plástico, este elemento que es desechado y que genera alta contaminación al planeta tierra. Sin embargo, a través del desarrollo del proyecto se conoció que no todos los plásticos que se desechan sirven para realizar esta transformación. Se ha podido conocer por diferentes fuentes educativas como investigaciones, trabajos de campo y experiencia de empresas ya constituidas, que el plástico que permite este proceso de transformación óptimo es el PET. La investigación es muy importante, ya que describe claramente el procedimiento para obtener la tela de poliéster por medio de las botellas PET.

Orozco, et. Al, (2018), realizaron la investigación llamada: Diseño De Un Sistema Productivo De Tela Poliéster De Punto Y Botones A Partir De La Hojuela PET Y El Granulo PP Proveniente De Envases Plásticos Desechados En El Municipio De Soacha-Cundinamarca, para optar por el título de ingeniero industrial en la Universidad de Cundinamarca. El trabajo de investigación estuvo dividido en tres fases secuenciales: Fase 1, pruebas de laboratorio fisicoquímicas con el propósito de determinar las propiedades de los materiales PET y PP1. Fase 2, se establecen los procesos a seguir para la obtención del producto terminado, así como también, los cálculos de capacidades

por máquina, planeación agregada y modelos de inventario con costos mínimos en términos de mantener existencias en inventario y pedir la materia prima. Por último, en la Fase 3 se representa el sistema utilizando el software Arena v14.0, seguida de un análisis de índices de productividad parcial y total del sistema en conjunto, dando como resultado que para el día 360 se ha procesado la totalidad en pedidos prevista para el horizonte de planeación de 45,3% para la tela y 66,8% para los botones, con unas salidas de 1.305.000 metros y 1.101.000 botones plásticos respectivamente. De esta manera se logró diseñar un sistema productivo Push aprovechando un 16% del PP y 21% de PET que componen el envase plástico. La investigación es muy importante, ya que describe claramente el procedimiento para obtener la tela de poliéster por medio de las botellas PET.

Guevara, et. Al, (2017), desarrollaron la investigación titulada: Telas Poliéster Elaboradas De Material Reciclado (PET), para optar por el título de administrador de empresa en la Universidad San Ignacio de Lima, Perú. La investigación tenía por objeto realizar un análisis de la factibilidad de crear tela a partir de botellas PET. Se realizó por medio de tres fases: la primera fase consistió en realizar una descripción general del producto a realizar, posteriormente se hizo un análisis del mercado y su adaptación y finalmente, se describieron los procesos, equipos y herramientas necesarios para llevarlo a cabo. Los resultados mostraron que el sector textil es un amplio mercado, en el cual se puede ingresar con una inversión alta, pero que se tienen que trabajar variables como el Marketing y la captación de clientes para poder mantenerse en el mismo. La principal fortaleza del producto, es que es una tela 100% poliéster con certificaciones internacionales. La investigación es muy importante, ya que describe claramente el procedimiento para obtener la tela de poliéster por medio de las botellas PET.

Perez, et. Al, (2017), realizaron la investigación titulada: Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster para optar por el título de ingeniero industrial en la Universidad de Lima, Perú. La propuesta tuvo por finalidad divulgar y sensibilizar a los interesados en la tecnología industrial del reciclaje, entorno a una de las tantas

posibilidades de reutilización del PET, en una apuesta universal por tecnologías limpias que contribuyan a paliar en algo el inmenso daño ambiental que en las últimas décadas se ha generado. La investigación se basó principalmente en la descripción y análisis de la contaminación por plásticos PET y su potencial uso para la fabricación de tela poliéster bajo condiciones óptimas. Los resultados mostraron que el proceso de reciclaje, que parte de la adecuada selección de las botellas para ser molidas, es mecánico y relativamente sencillo. Las hojuelas (flakes) de PET obtenidas se transforman en fibra corta de poliéster. Este insumo, combinado con otras fibras en proporciones pertinentes, puede usarse para la fabricación de ropa, relleno de cojines, alfombras, cortinas, etcétera. Además, reciclar el PET contribuye a cuidar el medio ambiente. La investigación es importante porque permite conocer el panorama mundial acerca de la contaminación por PET.

Martínez, et. Al, (2016), realizaron la investigación titulada: Aprovechamiento de residuos plásticos (PET) del fondo marino en textiles para optar por el título de ingeniero ambiental en la Universidad de México. El objetivo de este trabajo fue informar a la comunidad del Colegio Indoamericano S.C. que es posible el reciclaje del PET para la elaboración de productos textiles y así reducir la contaminación marina y en un futuro informar a la población mexicana. Por medio de una página de Facebook “Traigo puesto el PET”. La investigación se basó en una revisión bibliográfica documental del potencial de los residuos PET para elaborar fibras de poliéster. El trabajo se realizó en un periodo comprendido entre el mes de septiembre del año 2016 a febrero del año 2017, realizando una revisión en páginas de internet especializadas, páginas gubernamentales, artículos de divulgación científica, videos especializados y tesis. Los instrumentos utilizados fueron encuestas realizadas para identificar el grado de conocimiento de la utilización del PET en la industria textil y del proyecto emprendido por Adidas dentro de la población del Colegio Indoamericano S.C. dando un total de cuatrocientas personas encuestadas. Además, se creó una página de Facebook “Traigo puesto el PET” en donde se pueden

consultar datos de relevancia acerca del reciclaje de este. La investigación es importante porque permite conocer el panorama mundial acerca de la contaminación por PET.

## **4.2 MARCO TEÓRICO**

### **4.2.1 Residuos PET**

El PET (Polietileno Tereftalato) es un material fuerte de peso ligero de poliéster claro (ECOCE, 2016). Se usa para hacer recipientes para bebidas suaves, jugos, agua, bebidas alcohólicas, aceites comestibles, limpiadores caseros, y otros (ECOCE, 2016).

#### **4.2.1.1 Características y propiedades PET**

Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes o zunchos y láminas (ECOCE, 2016).

#### **Propiedades principales**

- Cristalinidad y transparencia, aunque admite cargas de colorantes.
- Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes.
- Alta resistencia al desgaste.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química.
- Buenas propiedades térmicas.
- Muy buena barrera a CO<sub>2</sub>, aceptable barrera a O<sub>2</sub> y humedad.
- Alta rigidez y dureza.
- Altísima resistencia a los esfuerzos permanentes.
- Superficie barnizable.
- Gran resistencia de deformabilidad ante el calor.
- Muy buenas características eléctricas y dieléctricas.
- Alta resistencia a los agentes químicos y estabilidad a la intemperie.

- Propiedades ignifugas en los tipos a los que se les agregan aditivos.
- Alta resistencia al plegado y baja absorción de humedad que lo hacen muy adecuado para la fabricación de fibras.
- Compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad barrera de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos.
- Totalmente reciclable.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.

#### 1. Desventajas (ECOCE, 2016).

- Secado: Todo poliéster tiene que ser secado a fin de evitar pérdida de propiedades. La humedad del polímero al ingresar al proceso debe ser de máximo 0.005%
- Costo de equipamiento Los equipos de inyección soplado con biorientación, suponen una buena amortización en función de gran producción. En la extrusión soplada se pueden utilizar equipos convencionales de PVC, teniendo más versatilidad en la producción de diferentes tamaños y formas.
- Temperatura: Los poliésteres no mantienen buenas propiedades cuando se les somete a temperaturas superiores a los 70 grados. Se han logrado mejoras modificando los equipos para permitir llenado en caliente. Excepción: el PET cristalizado (opaco) tiene buena resistencia a temperaturas de hasta 230 ° C.
- Intemperie: No se aconseja el uso permanente en intemperie.

#### 2. Ventajas (ECOCE, 2016).

- Propiedades únicas: Claridad, brillo, transparencia, barrera a gases u aromas, impacto, termoformabilidad, fácil de imprimir con tintas, permite cocción en microondas.
- Costo/Performance: El precio del PET ha sufrido menos fluctuaciones que el de otros polímeros como PVC-PP-LDPE-GPPS en los últimos 5 años.

- Disponibilidad: Hoy se produce PET en Sur y Norteamérica, Europa, Asia y Sudáfrica.
- Reciclado: El PET puede ser reciclado dando lugar al material conocido como RPET, lamentablemente el RPET no puede emplearse para producir envases para la industria alimenticia debido a que las temperaturas implicadas en el proceso no son lo suficientemente altas como para asegurar la esterilización del producto.

### **3. Características del PET (ECOCE, 2016).**

- Biorientación: Permite lograr propiedades mecánicas y de barrera con optimización de espesores.
- Cristalización: Permite lograr resistencia térmica para utilizar bandejas termo formadas en hornos a elevadas temperaturas de cocción.
- Esterilización: El PET resiste esterilización química con óxido de etileno y radiación gamma

### **4. Resistencia Química del PET (ECOCE, 2016).**

- Buena resistencia a: Grasas y aceites presentes en alimentos, soluciones diluidas de ácidos minerales, álcalis, sales, jabones, hidrocarburos alifáticos y alcoholes.
- Poca resistencia a: Solventes halogenados, aromáticos, cetonas de bajo peso molecular y bases.

#### **4.2.1.2 Usos del PET**

En la actualidad se están abriendo cada vez más nuevos campos de aplicación y se desarrollan botellas PET de alta calidad y reducido peso, entre sus aplicaciones más importantes dentro de los siguientes sectores (ECOCE, 2016):

**El uso del PET en el envase y empaque:** Las firmas de maquinaria han contribuido en gran medida a impulsar la evolución de manera rápida de los envases, por lo que hoy se encuentran disponibles envases para llenado a temperaturas normales y para llenado en caliente; también se desarrollan envases muy pequeños desde 10 mililitros

hasta garrafones de 19 litros. Los tarros de boca ancha son utilizados en el envasado de conservas alimenticias (ECOCE, 2016).

**El uso del PET en el segmento electro-electrónico** Este segmento abarca diversos tipos de películas y aplicaciones desde las películas ultradelgadas para capacitores de un micrómetro o menos hasta de 0.5 milímetros, utilizadas para aislamiento de motores. Los capacitores tienen material dieléctrico una película PET empleada para telecomunicaciones, aparatos electrónicos entre otros (ECOCE, 2016).

**El uso del PET en las fibras (telas tejidas, cordeles, etc.)** En la industria textil, la fibra de poliéster sirve para confeccionar gran variedad de telas y prendas de vestir. Debido a su resistencia, el PET se emplea en telas tejidas y cuerdas, partes para cinturones, hilos de costura y refuerzo de llantas. Su baja elongación y alta tenacidad se aprovechan en refuerzos para mangueras. Su resistencia química permite aplicarla en cerdas de brochas para pinturas y cepillos industriales (ECOCE, 2016).

#### **4.2.2 Economía circular**

Desde la perspectiva de diversos autores, la economía circular consiste en preservar el valor de los materiales y productos durante el mayor tiempo posible, evitando enviar de regreso a la naturaleza la mayor cantidad de desechos que sea posible y logrando que estos se reintegren al sistema productivo para su reutilización (Deckymn, 2018; Solórzano, 2018; Ellen MacArthur Foundation, 2013).

La generación de residuos sólidos domiciliarios por persona de la región está en torno a 1 kilogramo por día, cifra menor a las de los países desarrollados pero mayor que el promedio mundial. Sin embargo, las tasas de reciclaje en los países de la región son muy bajas y centradas en pocos productos (papel y cartón, chatarra, algunos plásticos y vidrio). Además, existe un déficit de infraestructura para la gestión de residuos. Lo anterior sugiere que existe un espacio de oportunidad para promover una menor generación de residuos y un mayor reciclaje, que potenciaría el desarrollo de actividades relacionadas con la economía circular sobre la base de cadenas productivas locales. Se sentarían así las bases para una recuperación sostenible, duradera y alineada con el

cumplimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, tras la pandemia causada por la enfermedad del coronavirus (COVID-19).

A nivel internacional, diversos países ya han puesto en marcha acciones en materia de economía circular que, dadas las interconexiones de la economía mundial, tendrán repercusiones en la región. Por lo tanto, es urgente que cada país identifique las áreas y los sectores en los que se deben concentrar los esfuerzos para crear una estrategia de crecimiento sostenible adecuada.

La economía circular proporciona múltiples mecanismos de creación de valor no vinculados al consumo de recursos finitos. En una economía circular los recursos se regeneran dentro del ciclo biológico o se recuperan y restauran gracias al ciclo técnico. Dentro del ciclo biológico, distintos procesos (compostaje, digestión anaeróbica, biogás) permiten regenerar los materiales descartados, pese a la intervención humana o sin que esta sea necesaria. En el ciclo técnico, con la suficiente energía disponible, la intervención humana recupera los distintos recursos (reutilización, aprovechamiento, tratamiento, entre otros) y recrea el orden dentro de la escala temporal que se plantee. (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

### Figura 1

Economía circular



Fuente: CONPES 3874 de 2016

En una economía circular, a diferencia de un modelo lineal, la producción de un bien considera los impactos ambientales a lo largo de su ciclo de vida y los integra desde su concepción, (eco-concepción o ecodiseño); busca optimizar el uso de la materia prima y energía adecuando los procesos productivos (ecología industrial); privilegia la venta de un servicio frente a la venta de un producto, garantizando así que el producto tenga una alta duración y sea funcional durante el mayor tiempo posible (economía de la funcionalidad); promueve que los productos tengan un segundo uso, ya sea reutilizándolos total o parcialmente en nuevos productos o reparándolos para alargar su uso. Finalmente, a los residuos se les debe aprovechar al máximo su potencial o tratarlos; recuperando el valor energético que hay en los mismos en los casos en que no puedan ser reincorporados al ciclo productivo (CONPES 3874 de 2016).

#### **4.3 MARCO CONCEPTUAL**

**Aprovechamiento.** Actividad complementaria del servicio público de aseo que comprende la recolección de residuos aprovechables, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento o hasta la planta de aprovechamiento, así como su clasificación y pesaje por parte de la persona prestadora (Conpes 3874 de 2016).

**Ciclo de vida de un producto.** Todas las etapas del desarrollo de un producto, incluidos su diseño, la extracción o adquisición de materia prima, producción, comercialización, uso, reutilización, reciclaje, y reincorporación al ciclo productivo o hasta su disposición final (Conpes 3874 de 2016).

**Contaminación:** Es la alteración del medio ambiente por sustancias o formas de energía puestas allí por la actividad humana o de la naturaleza en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y/o la fauna, degradar la calidad del medio ambiente o afectar los recursos de la Nación o de los particulares (ESAP, 2019).

**Disposición final controlada:** Es el proceso mediante el cual se convierte el residuo en formas definitivas y estables, mediante técnicas seguras (CEPIS, 2003).

**Disposición final de residuos:** Es el proceso de aislar y confinar los residuos sólidos, en especial los no aprovechables, en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente (CEPIS, 2003).

**Manejo integral de los residuos sólidos:** Selección y aplicación de las técnicas, tecnología y programas que, puestos en marcha en forma jerarquizada, conducen a la reducción (CEPIS, 2003).

**Plástico PET:** El tereftalato de polietileno, más conocido como PET, es un tipo de plástico que se usa frecuentemente para envases. Químicamente es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol, pertenece al grupo de los materiales sintéticos denominados poliésteres (Díaz, 2017)

**Polímeros:** Los Polímeros como Ciencia independiente se desarrollan desde la tercera década del siglo XX. Es una Ciencia frontera con campos como el biológico. Las macromoléculas están presentes en todos los organismos vivos, vegetales y animales. En la actualidad, los Polímeros constituyen también las sustancias químicas que forman los materiales plásticos de tan amplia aplicación. (Galego Fernandez & Rosza Galego, 2017)

**Prueba Beilstein:** La prueba de Beilstein es una simple prueba química cualitativa para halogenuros. Fue desarrollada por Friedrich Konrad Beilstein. Un alambre de cobre se limpia y calienta en la llama de un quemador Bunsen para formar una capa de óxido de cobre (II) (Galego Fernandez & Rosza Galego, 2017).

**Reciclaje:** Se puede definir el reciclaje como la operación compleja que permite la recuperación, transformación y elaboración de un material a partir de residuos, ya sea total, o parcial en la composición definitiva. Por lo tanto, el reciclaje y los residuos responden a diversas actividades que pueden llevarse a cabo sobre los diferentes flujos

de residuos para aprovecharse, desde el mismo uso hasta otra aplicación. (Cos, 2013, pág. 11)

**Recuperación:** Extracción de las sustancias o recursos valiosos contenidos en los subproductos. Suele realizarse mediante tratamiento previo y se utiliza posteriormente con una finalidad diferente a la original (ECOPORTAL, 2003).

#### 4.4 MARCO CONTEXTUAL

Valledupar es la capital del departamento del Cesar, Colombia. Está ubicada al nororiente de la Costa Caribe colombiana, a orillas del río Guatapurí, en el valle del río Cesar formado por la Sierra Nevada de Santa Marta y la serranía del Perijá (Alcaldía de Valledupar, 2023).

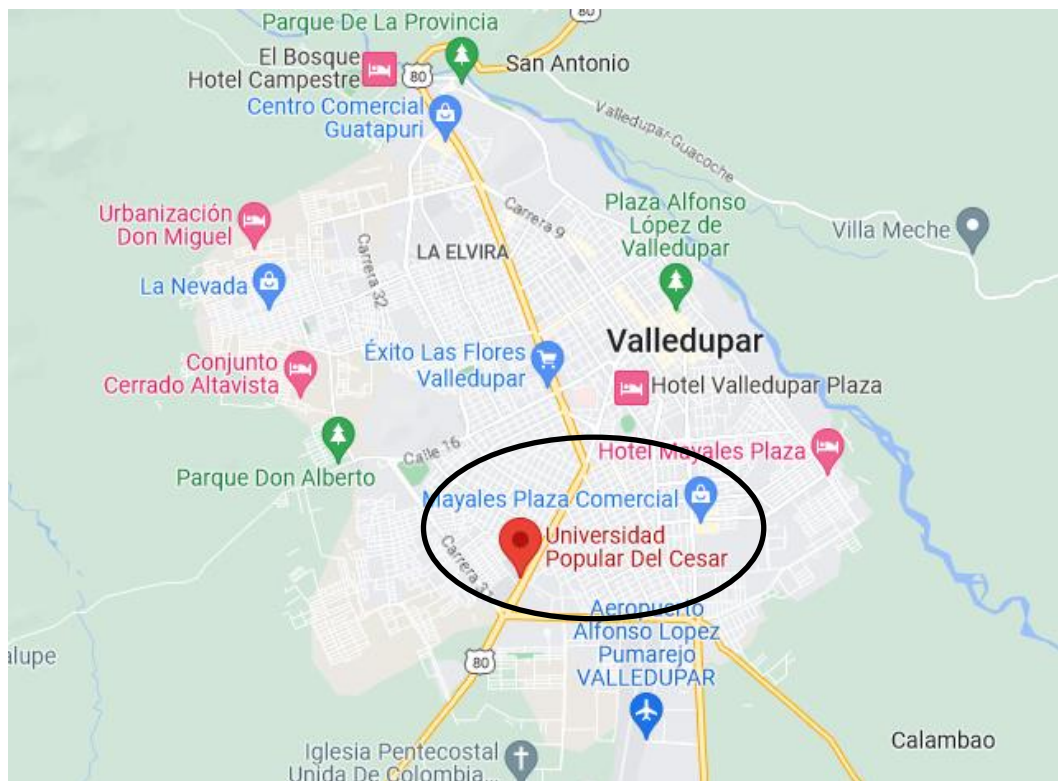
La ciudad es un importante centro para la producción agrícola, agroindustrial y ganadera en la región comprendida entre el norte del departamento del Cesar y el sur del departamento de La Guajira, en el punto intermedio de las dos cuencas de explotación carbonífera más grandes del país: Cerrejón al norte y el complejo minero operado por Glencor La Loma-La Jagua al sur. También es uno de los principales epicentros musicales, culturales y folclóricos de Colombia por ser la cuna del vallenato, género musical de mayor popularidad en el país y actualmente símbolo de la música colombiana. Anualmente atrae a miles de visitantes de Colombia y del exterior durante el Festival de la Leyenda Vallenata, máximo evento del vallenato (Alcaldía de Valledupar, 2023).

La Universidad Popular del Cesar es una universidad pública, del orden nacional, sujeta a inspección y vigilancia por medio de la Ley 1740 de 2014 y la ley 30 de 1992 del Ministerio de Educación de Colombia. Inició labores académicas bajo el nombre de Instituto Tecnológico del Cesar - ITUCE en el año de 1973; en 1976 cambió su nombre al actual, recibiendo así estatus de Universidad.

La Universidad Popular del Cesar está ubicada en Valledupar capital del departamento del Cesar, Colombia.

## Figura 2

Ubicación de la UPC



Fuente: Google maps, 2023

## 4.5 MARCO LEGAL

Tabla 1

Normatividad aplicable al proyecto

NORMA	DESCRIPCIÓN
<p><b>CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA</b></p>	<p>ARTICULO 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.</p> <p>ARTICULO 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.</p>
<p><b>Ley 23 de 1973.</b></p>	<p>Principios fundamentales sobre prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo y otorgó facultades al presidente de la República para expedir el Código de los Recursos Naturales</p>
<p><b>Ley 99 de 1993.</b></p>	<p>Crea el Ministerio del Medio Ambiente y Organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Reforma el sector Público encargado de la gestión ambiental. Organiza el sistema Nacional Ambiental y exige la Planificación de la gestión ambiental de proyectos.</p>

<b>Ley 1672 de 2013.</b>	Por la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), y se dictan otras disposiciones.
<b>Decreto ley 2811 de 1974.</b>	Código nacional de los recursos naturales renovables y no renovables y de protección al medio ambiente. El ambiente es patrimonio común, el estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo. Regula el manejo de los RNR, la defensa del ambiente y sus elementos.
<b>Decreto 1505 de 2003</b>	Este Decreto tiene por objetivo hacer que los municipios y distritos cuenten con un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) actualizado y vigente con el fin de posibilitar y facilitar el seguimiento y control referente a esta cuestión. Adicionalmente, manifiesta que los recicladores deberán ser involucrados en los planes de gestión integral de residuos sólidos
<b>Decreto 1713 de 2002</b>	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos
<b>Decreto 1449 de 1977.</b>	Disposiciones sobre conservación y protección de aguas, bosques, fauna terrestre y acuática.
<b>Decreto 351 de 2014.</b>	Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades.
<b>Decreto 838 de 2005</b>	Establece normas orientadas a reglamentar el servicio público de aseo en el marco de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Ordinarios, en lo correspondiente a sus componentes, niveles, clases, modalidades y calidad. Además, asigna a los municipios y departamentos la responsabilidad en el manejo de los residuos sólidos y la obligación de formular e implementar planes de

	gestión integral de residuos sólidos, y se dictan otras disposiciones.
<b>Decreto 4741 de 2005.</b>	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
<b>Decreto 2981 de 2013.</b>	por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo
<b>Decreto 1077 de 2015</b>	Por el medio el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. Título 2 servicio público de aseo, artículo 2.3.2.1.1.
<b>Decreto 1076 de 2015.</b>	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible y en el cual se encuentra compilado el artículo 3930 de 2010 en donde se establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el ordenamiento de los recursos hídricos y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y los alcantarillados.
<b>Decreto 1784 de 2017.</b>	Por el cual se modifica y adiciona el decreto número 1077 de 2015 en lo relativo con las actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo.
<b>Decreto 050 de 2018.</b>	Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de las Macrocuencas (Carmac), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones.
<b>Resolución 472 de 2017.</b>	Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones.

---

**Resolución 0754  
de 2014.**

Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

---

**Resolución 0631  
de 2015.**

Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

---

Fuente: Constitución Política de Colombia, 1991



## **5. MARCO METODOLÓGICO**

### **5.1. LÍNEA Y SUBLINEA DE INVESTIGACIÓN**

Conforme al Acuerdo N°003 del 08 de julio de 2021 establecido por el Consejo de la Facultad de Ingeniería y Tecnológicas, la línea, sublínea y área temática a la cual se adscribe esta práctica académica:

Línea: Sostenibilidad y gestión ambiental

Sublínea: Gestión integral de residuos sólidos y líquidos

Área de investigación: Procesos de reciclaje, re-uso, reutilización, reincorporación y reducción de los residuos, Transformación y aprovechamiento de los residuos sólidos (Economía circular).

### **5.2. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación al que correspondió la investigación es cuantitativo. La investigación cuantitativa es un método de recogida de datos en un contexto de estudios principalmente científicos. (Márquez, 2015), esta será de este tipo debido a que intenta para producir fibra de poliéster a partir de residuos PET.

### **5.3. ALCANCE DE INVESTIGACIÓN**

El alcance de la investigación fue experimental. La investigación experimental es cualquier investigación realizada con un enfoque científico, donde un conjunto de variables se mantiene constantes, mientras que el otro conjunto de variables se mide como sujeto del experimento (Márquez, 2015). Esta investigación es experimental debido a que se realizarán una serie de pruebas con la finalidad de obtener fibra de poliéster.

### **5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO**

La población correspondió a la totalidad de residuos sólidos plásticos generados en las diferentes actividades realizadas en la Universidad Popular del Cesar.

## **5.5. MUESTREO POBLACIONAL**

La muestra poblacional correspondió a los residuos plásticos PET caracterizados en la Universidad Popular del Cesar. Se tomó una muestra aproximada de 10 kilogramos de residuos PET para garantizar el ensayo a realizar.

## **5.6. DESARROLLO METODOLÓGICO**

### **5.6.1 Fase 1. Caracterizar los residuos PET con mayor potencial para la elaboración de Fibra De Poliéster por medio de la prueba de Beilstein**

#### **Actividad 1.1 Revisión bibliográfica**

Descripción: se realizó una revisión bibliográfica documental en artículos, paginas web, tesis de pregrado y maestría, entre otras fuentes de información veraz, con la finalidad de recopilar el máximo de datos de las características fisicoquímicas y propiedades de los residuos PET. Estos artículos fueron de los años (2015-2023), garantizando la información actualizada y adecuada para el proceso de caracterización desde fuentes bibliográficas.

#### **Actividad 1.2 Recolección y caracterización de residuos PET**

Descripción: Durante una semana se recopilaron la mayor cantidad de residuos PET provenientes de la Universidad Popular del Cesar. Es decir, se realizaron recorridos en todo el plantel. Así mismo, se realizó la caracterización de residuos PET, este se hizo por medio del color y el estado del residuo. Las botellas sin pigmento (transparentes) tienen mayor valor para el reciclado por sus sendas posibilidades de uso; entre otros, como material de empaque, láminas para termoformados, madera plástica, tarimas y fibra de poliéster (Mansilla, 2019). Así mismo, se tuvieron en cuenta las botellas con tapa.

### **5.6.2 Fase 2. Elaborar la Fibra corta De Poliéster a partir del scrap de botellas transparentes de PET.**

#### **Actividad 2.1 Elaborar la fibra corta de poliéster**

Descripción: A continuación, se detalla el paso a paso a seguir para la elaboración de la Fibra corta De Poliéster a partir del scrap de botellas transparentes de PET, este procedimiento se tomó como base de la investigación de Mansilla (2017).

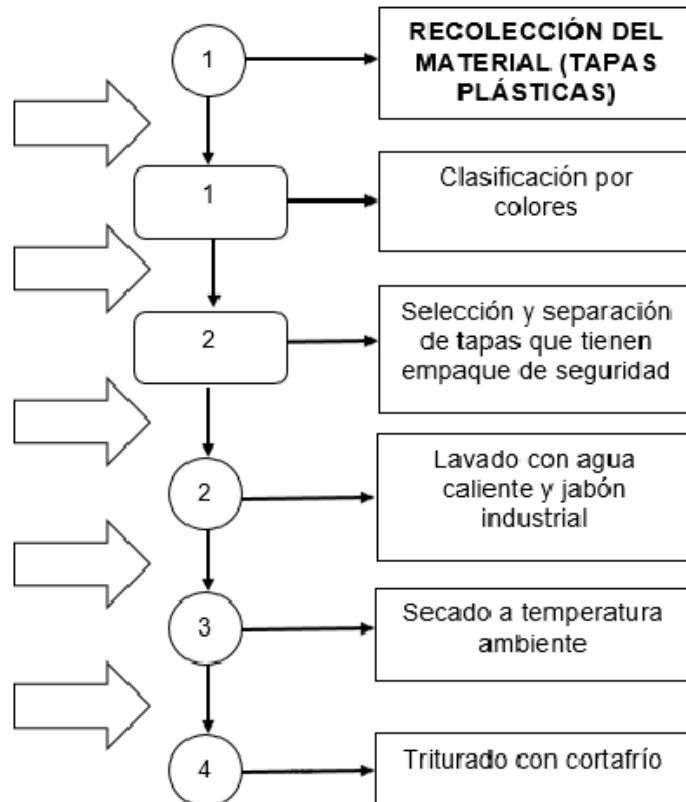
### Identificación de residuos PET potenciales a usar

**Descripción:** se seleccionarán las botellas PET que logren evidenciar el mayor número de polímeros, para esto, se usará como base la investigación de Orozco (2019), quien realiza la prueba de Beilstein. El procedimiento se describe a continuación:

- **IDENTIFICACIÓN DE POLÍMEROS: OBTENCIÓN DE LA ESCAMA PLÁSTICA**

**Figura 3**

Procedimiento a realizar



Fuente: Orozco, 2019

### MATERIALES

- Mechero
- Vaso precipitado de 50 ml

- Pinzas sujetadoras.
- Alambre de cobre calibre 12
- Ácido Nítrico
- Agua
- Tapa de bebida triturada (escama de polipropileno)
- Botella Plástica
- Tapón de detergente
- Botón de 28 mm

### **PROCEDIMIENTO**

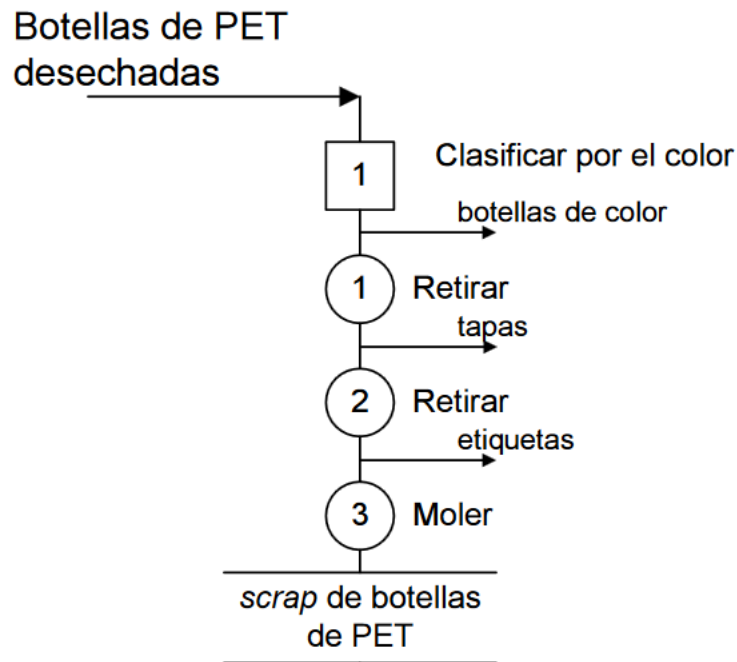
1. Someter 20 cm de alambre de cobre calibre 12 al fuego durante 45 segundos hasta que se torne de color rojo incandescente.
2. Lavar intermitentemente con agua y 10 ml de ácido nítrico (teniendo suma precaución por la efectividad del fluido) con el fin de eliminar cualquier residuo de material que provoca una coloración indeseada.
3. Estando el alambre limpio tocar un fragmento de la muestra u objeto y acercarlo nuevamente a la llama del mechero Bunsen, una llama de color verde representa que la prueba es positiva con respecto a la presencia de halógenos.
4. Se realizará el análisis del comportamiento de estas y se seleccionarán las que evidencien los mejores resultados.

### **Obtención del scrap de PET:**

1. Para la obtención del scrap se seleccionaron 20 botellas y se clasificaron por el color, estas debieron ser transparentes y desechadas las que no cumplan con esta condición.
2. se realizó el retiro de las tapas y etiquetas de las botellas PET que aun las contengan.
3. se lavaron adecuadamente aproximadamente por 5 minutos las 20 botellas seleccionadas.
4. se realizó la molienda de las botellas a manera de obtener el scrap de PET.

### **Figura 4**

Proceso de obtención del Scrap



Fuente: Mansilla, 2019

- **Elaboración de la fibra corta de poliéster**

**Lavado:** El scrap de PET es nuevamente lavado con agua a presión que contiene proporciones convenientes de detergente industrial para un proceso más efectivo. El material será enjuagado con agua pura y luego depositado en recipientes que tengan como base una malla metálica antioxidante de no más de 1/8 de pulgada de diámetro, que permitan que fluya el agua con los residuos aún presentes. Con ayuda de los recipientes, el scrap es luego transportado a la secadora (Mansilla, 2019).

**Secado:** Los fragmentos de PET, ya inspeccionados y limpios, antes de entrar al proceso de fundido para el hilado, deberán ser secados bajo un constante control de temperatura. El secado puede ser al vacío o, en su defecto, se empleará un sistema sencillo de flujo de aire caliente, gracias a resistencias eléctricas, suministrado por un ventilador. Posteriormente, el scrap ya será libre de cualquier vestigio de humedad, puede continuar con el proceso siguiente (Mansilla, 2019).

**Fundido, filtrado y extrusión para hilatura:** Todo proceso de hilatura de fibra artificial se basa en tres etapas generales. Primero, la preparación de una solución viscosa (tipo jarabe). Segundo, la extrusión de esta solución a través de una tobera para formar la fibra. Finalmente, la solidificación de la fibra por coagulación, evaporación o enfriamiento. Para el fundido se pondrá el scrap en horno o a fuego a temperatura de derretimiento aproximadamente entre 240 °C y 300 °C, obteniendo una masa conocida como “pasta hilable”, la cual se filtrará en una malla antes de ser extraída. Una vez filtrada la solución, se obtendrán los filamentos por extrusión, los cuales se enfriarán y endurecerán al hacer contacto con el aire (Mansilla, 2019).

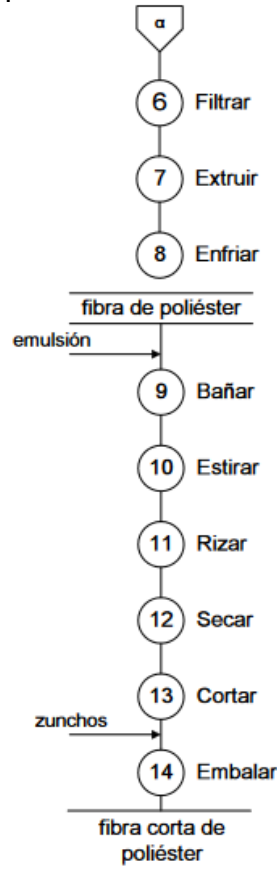
**Estiramiento:** Los poliésteres deberán estirarse en caliente para que la alineación molecular sea efectiva. Las cadenas moleculares se mantienen unidas entre sí por enlaces cruzados o por fuerzas intermoleculares (llamadas enlaces de hidrógeno y fuerzas de Van der Waals). Para esto se usará un molino o rodillo produciendo un cambio molecular, y dando a su vez la sensación de apariencia y textura semejante a la de la lana (Mansilla, 2019).

**Tejido y lavado:** Finalmente se realizará el tejido manual el cual se encargará de transformar el hilo en tela poliéster, para esto se extenderán los hilos una vez estirados y se procederá a cruzar unos con otros generando un tejido tipo “trenza” (Mansilla, 2019).



## Figura 5

Obtención de la fibra corta de poliéster



Fuente: (Mansilla, 2019).

### 5.6.3 Realizar pruebas de evaluación de calidad a la Fibra De Poliéster obtenida a partir de los Residuos PET generados en la Universidad Popular Del Cesar

#### Actividad 3.1 Realizar prueba química-cambios de color en el agua

**Descripción:** A través de la visualización se utiliza una escala de grises para evidenciar el cambio de color en los textiles, en el cual se observaron los grados de resistencia de color de la escala de grises, el total de la diferencia de color correspondiente y las tolerancias usadas. Esta metodología se ajustó de acuerdo con la investigación de Mansilla, 2019.

#### MATERIALES

- 3 muestra tela ecológica PET con medidas de 8 x 5 cm.

- 3 muestra tela testigo 100% algodón
- 3 vasos precipitados
- Agua destilada

#### PROCEDIMIENTO

1. Pre-acondicionar durante 4 horas a temperatura de  $45 \pm 5$  °C y una humedad relativa de  $15 \pm 5\%$
2. Sumergir una muestra de tela pegada junto a una tela testigo de 100% algodón en un vaso precipitado que contiene agua destilada a una temperatura de 27 °C durante 1 hora.
3. Sumergir una muestra de tela pegada junto a una tela testigo de 100% algodón en un vaso precipitado que contiene agua destilada a una temperatura de 27 °C durante 18 horas.
4. Después de transcurrir el tiempo de inmersión de las muestras y llevadas a acondicionamiento, realizar una inspección visual y describir el cambio de color evidenciado según la escala de grises.

#### **Actividad 3.2 Realizar prueba física de abrasión**

**Descripción:** La resistencia a la abrasión es una prueba que se realizó a través de la maquina Martindale con el fin de determinar la durabilidad de la tela, esta máquina dispone de unos platos sobre los cuales se colocan varias muestras de la misma tela, sobre la tela actúan discos con distintos grados de abrasión, que realizan movimientos oscilo rotatorios, las muestras son analizadas continuamente para determinar cuándo se genera el desgaste o la rotura de la fibra y así saber el número de ciclos resistentes. (Modacasa, 2017).

Para esta prueba se hizo el montaje de un disco oscilo rotatorios creado a partir de baterías electrónicas, sobre la tela obtenida y se anotó el tiempo en el que se empieza a presentar un cambio o una forma de desgaste en la tela sometida al ensayo y el número de ciclos realizados por el disco.

## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 6.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS PET CON MAYOR POTENCIAL PARA LA ELABORACIÓN DE FIBRA DE POLIÉSTER POR MEDIO DE LA PRUEBA DE BEILSTEIN

#### 6.1.1 Revisión bibliográfica

Para dar cumplimiento a esta actividad se realizó una revisión bibliográfica documental en artículos, páginas web, tesis de pregrado y maestría, entre otras fuentes de información veraz, con la finalidad de recopilar el máximo de datos de las características fisicoquímicas y propiedades de los residuos PET. La tabla se presenta a continuación:

**Tabla 2**

Revisión bibliográfica

Nombre	Autor Y Año	Enlace De Acceso
Creación de una empresa que elabore tela a base de tereftalato de Polietileno PET En El Estado De México.	Lobato, F. 2020	<a href="https://Tesis.Ipn.Mx/Bitstream/Handle/123456789/2089">https://Tesis.Ipn.Mx/Bitstream/Handle/123456789/2089</a>

---

Obtención

De Fibra

Textil A

Partir Del

Reciclado

Del Plástico

(Pet)

Forero, A.  
2019

<https://Repository.Uamerica.Edu.Co/Bitstream/20.500>.

---

Estudio De

Factibilidad

Para

Reciclar

Envases

Plásticos

De

Polietileno

Tereftalato

(Pet), En La

Ciudad De

Guayaquil

Rodríguez,  
F. 2019

<https://Dspace.Ups.Edu.Ec/Bitstream/123456789/2450/20/>

---

Reciclaje

de botellas

de PET

para

obtener

fibra de

poliéster

Mansilla,  
L. 2019

<https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428493008.pdf>

---

Fuente: Autor, 2023

Conforme a la revisión bibliográfica se pudo determinar que las botellas de tereftalato de polietileno (PET) pueden ser recuperadas y recicladas, con el fin de obtener nuevos productos. Dado que los envases de bebidas gaseosas son elaborados mayoritariamente de este material, en las siguientes líneas presentaremos una visión general del mercado de este sector en Lima y de su evolución en los últimos años. El proceso de reciclaje, que parte de la adecuada selección de las botellas para ser molidas, es mecánico y relativamente sencillo. Las hojuelas (flakes) de PET obtenidas se transforman en fibra corta de poliéster. Este insumo, combinado con otras fibras en proporciones pertinentes, puede usarse para la fabricación de ropa, relleno de cojines, alfombras, cortinas, etcétera. Además, reciclar el PET contribuye a cuidar el medio ambiente (Mansilla, 2019).

### **6.1.2 Recolección y caracterización de residuos PET**

Para llevar a cabo el proceso de recolección y caracterización de las botellas, se recopilaron estas durante un periodo de una semana comprendido entre los días 1 de junio al 8 de junio de 2023 en la Universidad Popular del Cesar.

#### **Figura 6**

Recolección de botellas PET



Fuente: Autor, 2023

Adicionalmente, una vez recolectadas, se siguió un proceso de exclusión de estas caracterizándolas por medio del color y el estado del residuo, siendo preferibles las botellas transparentes, ya que, como lo menciona Mansilla (2019), las botellas sin pigmento tienen mayor valor para el reciclado por sus sendas posibilidades de uso; entre otros, como material de empaque, láminas para termoformados, madera plástica, tarimas y fibra de poliéster.

### Figura 7

Caracterización de botellas recolectadas

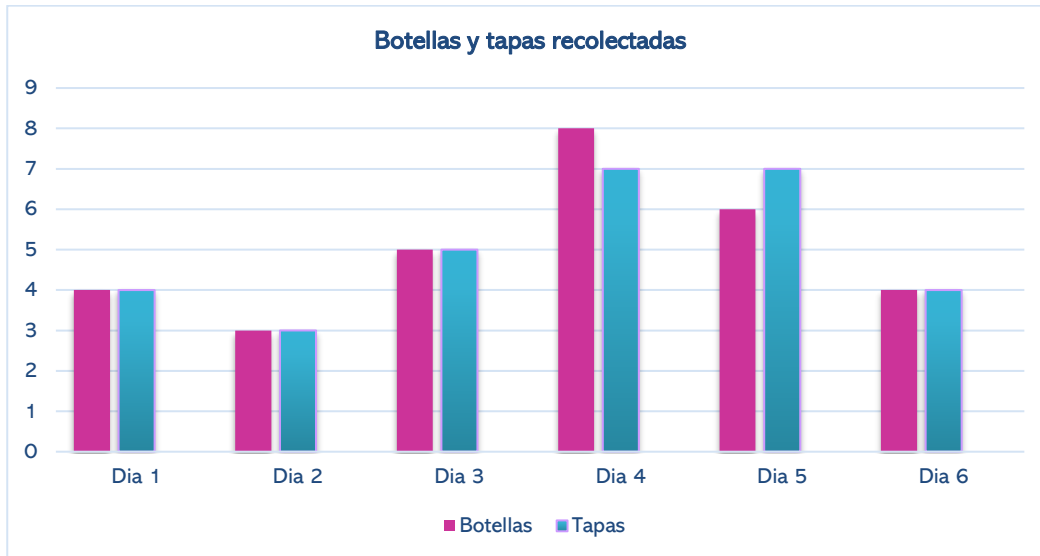


Fuente: Autor, 2023

Así las cosas, se recopilaron un total de 30 botellas, con un promedio diario de 4 botellas, la gráfica permite conocer la recolección por día.

**Figura 8**

Recolección diaria



Fuente: Autor, 2023

Una vez recopiladas las botellas transparentes, a estas les fueron retiradas sus tapas. Obteniendo un total de 30 botellas y 28 tapas, con un peso total de 13kg, para la obtención de las fibras por los procedimientos descritos en la fase 2 de desarrollo.

Según (Mansilla, 2019), un kilogramo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos de gas natural y 13% de aire. El paraxileno, extraído del petróleo crudo, permite la obtención del ácido tereftálico al oxidarse con el aire. Por su parte, el etileno, derivado del gas natural, se oxida con aire para la obtención del etilenglicol. El PET resulta de la combinación del ácido tereftálico y el etilenglicol.

Finalmente, se realizó la caracterización por medio de la prueba de Beilstein, el cual se detalla a continuación:

### **6.1.1 Caracterización prueba de Beilstein:**

Para el desarrollo de la prueba de Beilstein (fue desarrollado por Friedrich Konrad Beilstein), se trasladaron al laboratorio de la UPC, las botellas y tapas recolectadas. El paso a paso se detalla a continuación:

1. Para esta prueba se calentó un alambre de cobre limpio en una llama de Bunsen hasta que se tornara incandescente.
2. Después se puso en contacto rápidamente el alambre caliente con la botella PET y se retornó el alambre a la llama.
3. Una llama verde demostró la presencia de halógeno. Los plásticos que contenían cloro como ya se había dicho anteriormente son policlorotrifluoretileno, PVC, policloruro de vinilideno y otros, que dan positivo en el ensayo de halógeno. Si la prueba dio negativa, es posible que el polímero esté compuesto solamente de carbono, hidrógeno, oxígeno o silicio.

Entre los resultados se tuvo en cuenta la densidad relativa de la botella, para esto se siguieron las recomendaciones de (Mansilla, 2019), las cuales se mencionan a continuación: la clasificación por densidad con un sistema de flotación se realiza comparando las densidades del material plástico y sustancias líquidas de densidad conocida. Si un plástico flota en una solución con una densidad de  $0.94 \text{ g/cm}^3$ , puede ser un plástico de polietileno de densidad media o baja. Si la muestra flota en una solución de  $0.92 \text{ g/cm}^3$ , puede tratarse de un polietileno de baja densidad o polipropileno. Si se hunde en todas las soluciones por debajo de una densidad de  $2.00 \text{ g/cm}^3$ , la muestra será un plástico de fluorcarbono. La presencia de cargas u otros aditivos y el grado de polimerización pueden dificultar la identificación de los plásticos por la densidad relativa, pues pueden hacer que cambie bastante la densidad de un plástico. Poliolefinas, iónomeros y poliestirenos de baja densidad flotarán en el agua (que tiene una densidad de  $1.00 \text{ g/cm}^3$ ).

## Figura 9

### Prueba de Beilstein



Fuente: Autor, 2023

Los resultados de la prueba se presentan a continuación:

**Tabla 3**

Resultados prueba Beilstein

Número de botella	Color obtenido	Densidad relativa	Tipo de residuo
Botella 1	Verde	Baja	Polipropileno
Botella 2	Blanco	Baja	Polipropileno
Botella 3	Verde	Media	Polietileno
Botella 4	Verde	Media	Polietileno
Botella 5	Verde	Media	Polipropileno
Botella 6	Blanco	Baja	Polietileno
Botella 7	Verde	Baja	Polipropileno
Botella 8	Verde	Baja	Polipropileno
Botella 9	Blanco	Media	Polietileno
Botella 10	Verde	Media	Polietileno
Botella 11	Blanco	Media	Polietileno

Botella 12	Amarillo	Media	Polipropileno
Botella 13	Verde	Baja	Polipropileno
Botella 14	Verde	Media	Polipropileno
Botella 15	Verde	Media	Polipropileno
Botella 16	Verde	Baja	Polietileno
Botella 17	Amarillo	Baja	Polietileno
Botella 18	Amarillo	Baja	Polietileno
Botella 19	Verde	Media	Polipropileno.
Botella 20	Verde	Media	Polipropileno
Botella 21	Verde	Media	Polipropileno
Botella 22	Verde	Media	Polipropileno
Botella 23	Blanco	Media	Polipropileno
Botella 24	Amarillo	Media	Polietileno
Botella 25	Verde	Baja	Polietileno
Botella 26	Verde	Baja	Polietileno
Botella 27	Verde	Baja	Polietileno
Botella 28	Blanco	Media	Polietileno
Botella 29	Verde	Media	Polietileno
Botella 30	Verde	Media	Polietileno

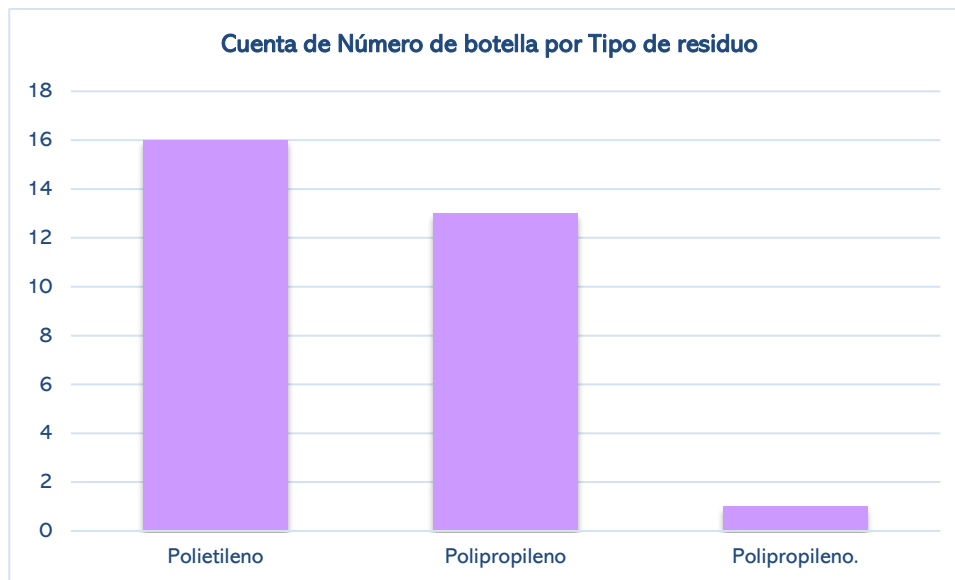
Fuente: Autor, 2023

Los resultados obtenidos en la prueba de Beilstein para las botellas plásticas que dieron como resultado color verde y clasificación de polietileno, mostraron que al calentarse con altas temperaturas se deforman y se funden suavemente, con un aroma a geranios, y una llama representativa de color naranja azul generada por el contacto con el cobre y el fuego, lo anterior, se fundamenta en la investigación de Polanco (2022), quien menciona que los plásticos polietileno, en la prueba Beilstein siempre causan llamas de color naranja debido a las propiedades de deformación; mientras que, para el caso de los plásticos polipropileno, se consumen rápidamente, pero de forma suave,

expidiendo un aroma suave y representada por el color azul humoso, generando una llama de color naranja azul.

### Figura 10

Cantidad de botellas por tipo



Fuente: Autor, 2023

Así las cosas, se determinó que el 66% de las botellas obtenidas dieron positivo para la prueba de Halógeno lo que indica que son óptimas para la obtención de plástico PET (Mansilla, 2019).

## 6.2 ELABORACIÓN DE LA FIBRA CORTA DE POLIÉSTER A PARTIR DEL SCRAP DE BOTELLAS TRANSPARENTES DE PET.

### 6.2.1 Elaboración de la fibra corta de poliéster

Se seleccionarán las botellas PET que lograron evidenciar el mayor número de polímeros en la prueba de Beilstein (20 botellas), estas se sometieron al proceso de obtención del scrap de PET según la metodología descrita.

#### 6.2.1 Obtención del scrap de PET:

1. Para la obtención del scrap se seleccionaron 20 botellas y se clasificaron por el color, estas debieron ser transparentes.

2. Se realizó el retiro de las tapas y etiquetas de las botellas PET que aun las contengan.
3. se lavaron adecuadamente aproximadamente por 5 minutos las 20 botellas seleccionadas.

### Figura 11

Lavado de botellas PET y retiro de etiquetas



Fuente: Autor, 2023

4. Con ayuda de una tijera se realizó la molienda de las botellas a manera de obtener el scrap de PET. Tamaños entre los 1 x 1 cm a 1 x 2 cm máximo.

### Figura 12

Molienda y lavado del scrap



Fuente: Autor, 2023

A partir de la molienda se obtuvo el Scrap de PET.

- **Elaboración de la fibra corta de poliéster**

El scrap de PET fue nuevamente lavado con agua a presión que contiene proporciones convenientes de detergente industrial para un proceso más efectivo. El material fue enjuagado con agua pura y luego depositado en recipientes que tengan como base una malla metálica antioxidante de no más de 1/8 de pulgada de diámetro, que permitan que fluya el agua con los residuos aún presentes. Con ayuda de los recipientes, el scrap es luego transportado a la secadora (Mansilla, 2019).

Para el secado se utilizó un secador manual ya que no se contaba con el equipo en el laboratorio de la UPC.

### **Figura 13**

Secado del Scrap



Fuente: Autor, 2023

Para el proceso de fundido se utilizó una mufla del laboratorio de la Universidad Popular del Cesar. Para el fundido se puso el scrap en horno o a fuego a temperatura de derretimiento aproximadamente entre 240 °C y 300 °C, obteniendo una masa conocida como “pasta hilable”.

### Figura 14

Fundido del scrap



Fuente: Autor, 2023

Una vez retirado el scrap fundido se logró obtener una masa hilable de color café viscosa (tipo jarabe), tal como lo indica (Mansilla, 2019).

### Figura 15

Masa hilable obtenida



Fuente: Autor, 2023

Posteriormente, se realizó el proceso de estiramiento en caliente debido a que esto favorece que la alineación molecular sea efectiva (Mansilla, 2019), este proceso se realizó de manera manual y con ayuda de un rodillo. Finalmente, se dejó enfriar a temperatura ambiente durante 1 hora.

### Figura 16

Proceso de estiramiento de masa hilable

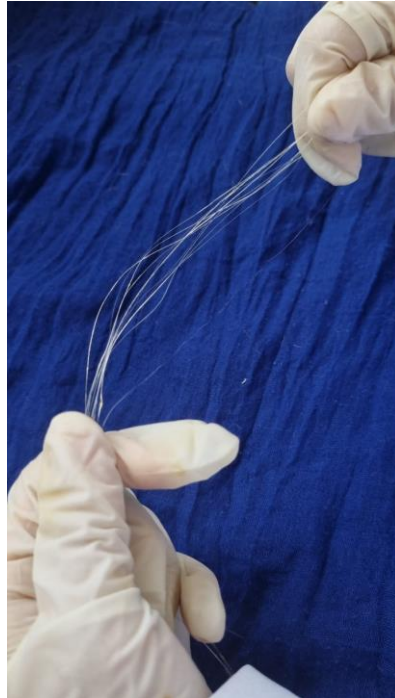


Fuente: Autor, 2023

Finalmente se realizó el tejido manual el cual se encargó de transformar el hilo en tela poliéster, para esto se extendieron los hilos una vez estirados y se procederá a cruzar unos con otros generando un tejido tipo “trenza” (Mansilla, 2019).

## Figura 17

Tejido manual



Fuente: Autor, 2023

El trenzado de la fibra permitió conocer que tanto resistió a la transformación de las ondas, quiebres, rizos o dobleces a lo largo de su longitud. Este tipo de ondulación aumentó la cohesión, resiliencia, resistencia a la abrasión, elasticidad, volumen y conservación del calor. El tejido realizado también aumentó la absorbencia, y si bien favoreció la comodidad al contacto con la piel. Cabe resaltar que, el tejido no fue muy resistente a los dobleces, ya que, en algunas ocasiones se reventó el hilo, resistiendo solo 9 del total obtenido (15 hilos).

## **6.3 PRUEBAS DE EVALUACIÓN DE CALIDAD A LA FIBRA DE POLIÉSTER OBTENIDA A PARTIR DE LOS RESIDUOS PET GENERADOS EN LA UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR**

### **6.3.1 Prueba química-cambios de color en el agua**

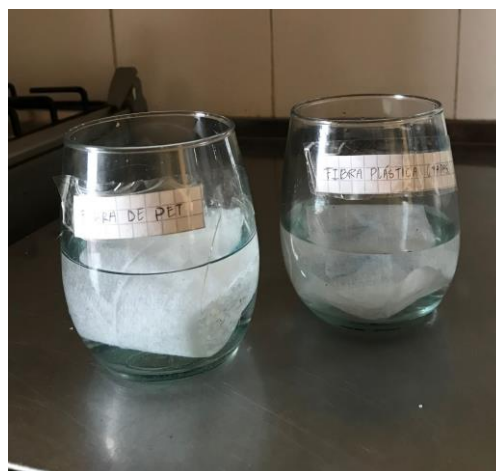
Para la prueba química de color se tomó como base la metodología de Mansilla (2019), que consistió en la visualización del color en escala gris para evidenciar el cambio de color en los textiles, en los cuales se observaron los grados de resistencia de color de la escala de pasos, el total de la diferencia de color correspondiente y las tolerancias usadas. Esta metodología se ajustó de acuerdo con la investigación de Mansilla, 2019.

El procedimiento realizado se describe a continuación:

1. Se pre-acondicionó durante 4 horas a temperatura de  $45 \pm 5$  °C y una humedad relativa de  $15 \pm 5\%$  las fibras obtenidas.
2. las fibras se sumergieron junto a una muestra de tela pegada y una tela testigo de 100% algodón en un vaso precipitado que contiene agua destilada a una temperatura de 27 °C durante 1 hora.
3. también, se sumergió una muestra de tela pegada junto a una tela testigo de 100% algodón en un vaso precipitado que contiene agua destilada a una temperatura de 27 °C durante 18 horas.

### **Figura 18**

Fibras sumergidas





4. Después de transcurrir el tiempo de inmersión de las muestras, estas fueron llevadas a acondicionamiento para realizar una inspección visual y describir el cambio de color evidenciado según la escala de grises.

Los resultados se presentan a continuación:

**Tabla 4**

Resultados prueba química de color

Color	Tiempo	Descripción
	18 horas	La fibra se tornó color amarillo opaco, la textura se logró convertir áspera con fácil rotura. Al paso de las horas, el color iba disminuyendo, tornándose blanco. No se transfiere color en el agua, ni en la tela testigo.
	1 hora	La fibra se tornó color amarillo oscuro, la textura se logró convertir áspera con fácil rotura. El color se mantuvo más fuerte en comparación de la fibra que tardó 18 horas. No se transfiere color en el agua, ni en la tela testigo.

Fuente: Autor, 2023

Para ambas fibras, la masa no varió cualitativamente, y en el caso del tamaño esta se redujo debido a la absorción del agua, tal como lo indica (Mansilla, 2019). Es importante resaltar que ninguna de las dos muestras realizó transferencia de color al agua ni a la tela testigo.

### 6.3.2 Prueba física de abrasión

La resistencia a la abrasión es una prueba que se realizó de manera manual debido a la complejidad de los equipos utilizados. Para esto, se sometió a un estiramiento de 5 minutos a cada una de las muestras. La tabla a continuación permite conocer los resultados:

**Tabla 5**

Resultados prueba de abrasión

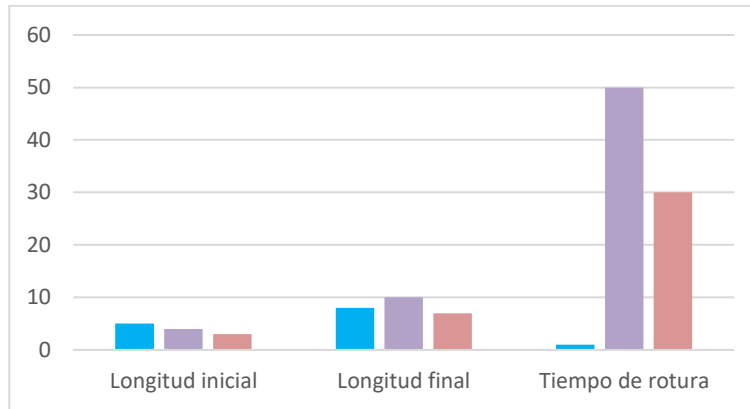
Longitud inicial	Longitud final	Tiempo de rotura
5 centímetros	8 centímetros	1 minuto
4 centímetros	10 centímetros	50 segundos
3 centímetros	7 centímetros	30 segundos

Fuente: Autor, 2023

Como se evidencia, de las tres muestras tomadas, el promedio de rotura fue de 47 segundos. Según Mansilla (2019), el tiempo de rotura para un PET potencial debe tardar entre 40 y 60 segundos, por ende, la fibra cumple con lo establecido según la investigación.

**Figura 19**

Tiempo de rotura



Fuente: Autor, 2023

**Figura 20**

Prueba de rotura



Fuente: Autor, 2023

Como se evidenció, la prueba de la rotura se mantuvo durante aproximadamente 1 minuto con resistencia al color. Sin embargo, la fibra se mostró débil a la rotura y elongación con el tacto, lo que podría implicar un proceso de hilado frágil, ya que esta no mostró resultados favorables para su enfiarriamiento.

La necesidad de buscar alternativas de reutilización para algunos materiales radica en el imperativo ético de preservar el planeta, ya desgastado y afectado por la contaminación. Reciclar PET es reintegrar este polímero en un nuevo ciclo productivo como materia prima. Las botellas sin pigmento (transparentes) tienen mayor valor para el reciclado por sus sendas posibilidades de uso; entre otros, como material de empaque, láminas para termoformados, madera plástica, tarimas y fibra de poliéster.

La atención puesta en la investigación de la fibra corta de poliéster radica en que es la fibra sintética de uso más extendido en la fabricación de tejidos de diferentes características, ya sea como componente único o mezclado con otras fibras naturales, como el algodón. Finalmente, la propuesta tuvo por finalidad divulgar y sensibilizar a los interesados en la tecnología industrial del reciclaje, en torno a una de las tantas posibilidades de reutilización del PET, en una apuesta universal por tecnologías limpias que contribuyan a paliar en algo el inmenso daño ambiental que en las últimas décadas se ha generado.



## 7. CONCLUSIONES

La recolección de botellas superó la cantidad necesaria para la implementación de los procesos de obtención de fibra a escala piloto en la Universidad Popular del Cesar, reflejando la disponibilidad de residuos PET en el entorno universitario. Este hallazgo destaca el potencial para implementar proyectos de economía circular, convirtiendo desechos en materia prima.

El trenzado de la fibra permitió conocer que tanto resistió a la transformación de las ondas, quiebres, rizos o dobleces a lo largo de su longitud. Este tipo de ondulación aumentó la cohesión, resiliencia, resistencia a la abrasión, elasticidad, volumen y conservación del calor. El tejido realizado también aumentó la absorbencia, y si bien favoreció la comodidad al contacto con la piel. Cabe resaltar que, el tejido no fue muy resistente a los dobleces, ya que, en algunas ocasiones del procedimiento se reventó el hilo, y teniendo como resultado que resistieron solo 9 del total obtenido (15 hilos).

Para ambas fibras, la masa no varió cualitativamente, y en el caso del tamaño esta se redujo debido a la absorción del agua. La fibra se tornó color amarillo oscuro, la textura se logró convertir áspera con fácil rotura. El color se mantuvo más fuerte en comparación de la fibra que tardó 18 horas. No se transfiere color en el agua, ni tela testigo. de las tres muestras tomadas, el promedio de rotura fue de 47 segundos. El tiempo de rotura para un PET potencial debe tardar entre 40 y 60 segundos, por ende, la fibra cumple con lo establecido según la investigación. Sin embargo, la fibra se mostró débil en el proceso de rotura y elongación con el tacto, lo que podría implicar un proceso de hilado frágil, ya que esta no mostró resultados favorables para su enfriamiento.

## 8. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar pruebas de color al agua durante periodos de 24 horas, evaluando el cambio de textura y color cada 6 horas, lo anterior, permitirá detallar los cambios con más cuidado y obtener resultados favorables en caso de desprender color al agua o a la tela testigo.

Se recomienda a futuras investigaciones, realizar la comparación entre botellas transparentes y de color, con la finalidad de obtener resultados de los diferentes tipos y analizar la resistencia a la rotura y durabilidad de ambas propiedades, así como incluir un scrap de tapas de botellas.

Se recomienda aumentar las temperaturas de fundido del scrap, ya que este garantizara el proceso de obtención de la masa hilable y su resistencia al tacto, teniendo en cuenta que este no mostró resultados favorables en las diferentes pruebas.

Se recomienda explorar mejoras en el proceso de enfriamiento para fortalecer la calidad de la fibra y optimizar su aplicabilidad en textiles y otros productos.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

Acuerdo 003 de 8 de julio, Universidad Popular del Cesar, por Medio Del Cual Se Adoptan Las Líneas De Investigación De Los Programas De Pregrado De La Facultad De Ingeniería Y Tecnológicas Sede Valledupar, Y Se Dictan Otras Disposiciones.

Arango Henríquez , I. P., Díaz Martínez , R. A., & Ramírez Flores, G. J. (2014). Diseño de una planta productora de artículos a partir de plástico reciclado, basado en la estrategia de la cadena de suministros. Trabajo de grado, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA, San Salvador. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/7370/1/Dise%C3%B1o%20de%20una%20planta%20productora%20de%20articulos%20a%20partir%20de%20pl%C3%A1stico%20reciclado%20basado%20en%20la%20estrategia%20de%20la%20cadena%20de%20suministro.pdf>

Carrion, J. (s.f.). (2019). Materiales para el diseño de productos textiles. Obtenido de <https://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=320076/2014/1/54816/poliester-5467.pdf>

Cascante, L. (s.f.). Acerca del PET el tereftalato de polietileno. Obtenido de <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/15405/ANEXO%201-PET.pdf>  
Ciencia y Tecnología de los Materiales. (s.f.). Obtenido de [https://jmcacer.webs.ull.es/CTMat/Practicas%20Laboratorio\\_archivos/polimeros.pdf](https://jmcacer.webs.ull.es/CTMat/Practicas%20Laboratorio_archivos/polimeros.pdf)

Cuellar Romero , J. (Marzo de 2011). Slide Share. de <https://es.slideshare.net/jcuellar22/abc-de-las-pruebas-textiles-apparel-2011>

Conpes 3874 de 2016. Política para la gestión integral de residuos sólidos.

Corpocesar (2019). Las cifras demuestran que urge empezar a reciclar. Disponible en:  
<https://elpilon.com.co/las-cifras-demuestran-que-urge-empezar-a-reciclar/>

Contreras (2008). Clasificación e impacto ambiental de los residuos sólidos generados en las playas de Riohacha, La Guajira, Colombia. disponible en:  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S01206230201100040001](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01206230201100040001)  
2

ECOCE organización (2016). Información estadística sobre PET. Recuperado de:  
<http://www.ecoce.org.mx/informacion.php>

Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito". (2008). Identificación de Plásticos- Curso de materiales. Obtenido de Laboratorio de Producción:  
[http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/1960\\_idplasticosr2.pdf](http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/1960_idplasticosr2.pdf)

Escuela Colombiana de Ingeniería "julio Garavito"- Laboratorio de producción. (2007). Plásticos. Obtenido de Curso de procesos de manufactura:  
[http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/2734\\_plimeros.pdf](http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/2734_plimeros.pdf)

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. (2008). Curso Materiales. Identificación de Plásticos. Laboratorio de Producción, 15-17.

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. (2008). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. (s.f.). Obtenido de Dpto. Química Orgánica: [http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/propiedades\\_y\\_caracteristicas.htm#Propiedadesycaracterísticas](http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/propiedades_y_caracteristicas.htm#Propiedadesycaracterísticas)

Gómez, J. (2012). Reciclaje. Recuperado de [http://www.eis.uva.es/~macromol/curso0405/reciclado\\_auto/etapasdereciclado.html](http://www.eis.uva.es/~macromol/curso0405/reciclado_auto/etapasdereciclado.html)

Jiménez, E. (2016). Greenpeace. Recuperado de [http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/2016/report/plasticos/plasticos\\_en\\_los\\_oceanos\\_LR.pdf](http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/2016/report/plasticos/plasticos_en_los_oceanos_LR.pdf)

Ruiz Ruiz, Marcos. (2017) “Estudio de prefactibilidad para la elaboración de fibra de poliéster a partir de botellas desechadas de bebidas gaseosas”. Tesis para optar el título de ingeniero industrial. Lima: Universidad de Lima.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL - MAVDT (2005a). Programa nacional de asistencia técnica y capacitación para la formulación de los planes de gestión integral de residuos sólidos. Bogotá: MAVDT / UNICEF

