

APROVECHAMIENTO DE TERMOPLÁSTICOS -ABS- MEDIANTE EXTRUSIÓN EN UN MODELO DE ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA FABRICACIÓN DE ESTIBAS Y POSTES EN VALLEDUPAR

Jairo Andrés Camargo-Munive¹; Karina Paola Torres-Cervera²; Luz Karina Corzo-Pacheco³; Cecilia Inés Bermuy-Cuello⁴; Leidy Diana Zuleta-Villegas⁵

¹ Ingeniero Ambiental y Sanitario. Valledupar, Colombia. jandrescamargo@unicesar.edu.co

² PhD en Ciencias de la Educación Docente UNICESAR, karinaptorres@unicesar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-2646-2871>

³ Msc. en Gerencia de proyectos I+D+i, Docente UNICESAR, luzcorzo@unicesar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-2610-206X>

⁴ Msc. en Pedagogía, Docente UNICESAR, ceciliabermuy@unicesar.edu.co, <https://orcid.org/0009-0000-5793-2683>

⁵ Msc. en Pedagogía, Docente UNICESAR leidyzuleta@unicesar.edu.co, <https://orcid.org/0009-0001-8326-6036>

RESUMEN

El artículo analiza el aprovechamiento del plástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) mediante extrusión para fabricar estibas y postes en Valledupar. Se recolectaron 100 kg de ABS de recicladoras locales a partir de encuestas aplicadas a 23 recicladores, identificando fuentes como dispositivos electrónicos y autopartes. El material fue clasificado manualmente para retirar impurezas, limpiado industrialmente y triturado en un molino de 100 kg/h. Luego, el ABS triturado se procesó en una extrusora de doble husillo a 220°C, obteniéndose 71 postes de 1,4 kg y 34 estibas de 2,9 kg. La eficiencia del proceso fue del 93,34% y las pruebas de absorción de agua mostraron retención inferior al 0,01%. El análisis costo-beneficio indicó costos unitarios de 1.034 COP por estiba y 495 COP por poste, competitivos ante alternativas tradicionales. Además, se redujo la acumulación de residuos plásticos y se impulsó la economía circular, demostrando viabilidad técnica, económica y ambiental.

Palabras clave: Plástico ABS. Extrusión. Economía circular. Reciclaje. Residuos sólidos. Sostenibilidad.

Recibido: 30 de enero de 2025. Aceptado: 11 de noviembre de 2025

Received: January 30, 2025. Accepted: November 11, 2025

UTILIZATION OF THERMOPLASTICS (ABS) THROUGH EXTRUSION IN A CIRCULAR ECONOMY MODEL FOR THE MANUFACTURING OF PALLETS AND POSTS IN VALLEDUPAR

ABSTRACT

The article analyzes the use of Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) plastic through extrusion to manufacture pallets and posts in Valledupar. One hundred kilograms of ABS were collected from local recyclers based on surveys conducted with 23 recyclers, identifying sources such as electronic devices and auto parts. The material was manually sorted to remove impurities, industrially cleaned, and crushed in a 100 kg/h mill. The crushed ABS was then processed in a twin-screw extruder at 220°C, yielding 71 posts weighing 1.4 kg and 34 pallets weighing 2.9 kg. The process efficiency was 93.34%, and water absorption tests showed retention of less than 0.01%. The cost-benefit analysis indicated unit costs of 1,034 COP per pallet and 495 COP per post, which are competitive with traditional alternatives. In addition, plastic waste accumulation was reduced and the circular economy was promoted, demonstrating technical, economic, and environmental viability.

Keywords: *ABS Plastic. Extrusion. Circular Economy. Recycling. Solid Waste. Sustainability.*

Cómo citar este artículo: J. Camargo, K. Torres, L. Corzo, C. Bermuy, L. Zuleta. "Aprovechamiento de termoplásticos -abs- mediante extrusión en un modelo de economía circular para la fabricación de estibas y postes en Valledupar", Revista Politécnica, vol.21, no.42 pp.25-44, 2020. DOI:10.33571/rpolitec.v21n42a2

1. INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos, especialmente los plásticos, representan una preocupación mundial por su contribución significativa al cambio climático y su impacto en la biodiversidad. Los plásticos se degradan en microplásticos, lo que agrava aún más la situación al introducir contaminantes en ecosistemas terrestres y acuáticos. Frente a esta problemática, el aprovechamiento de los plásticos, particularmente aquellos clasificados como tipo 7, como el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), se convierte en una oportunidad clave para implementar estrategias de manejo bajo un enfoque de economía circular.

El plástico ABS es ampliamente utilizado en productos como piezas de vehículos y electrónicos debido a su durabilidad, pero su manejo y reciclaje adecuado han sido poco desarrollados, lo que abre la puerta a la necesidad de nuevas soluciones. A nivel mundial, se estima que cada año se generan alrededor de 1.6 millones de toneladas de residuos plásticos en Colombia [1], lo que resalta la urgencia de establecer estrategias de recuperación y transformación para evitar que estos residuos terminen en vertederos.

La ciudad de Valledupar no está exenta de esta problemática. La ausencia de políticas locales claras para el manejo de residuos plásticos ABS ha resultado en la acumulación de estos materiales en puntos críticos y zonas no adecuadas, lo que afecta la calidad ambiental de la ciudad. Los plásticos ABS, que se encuentran en tapas de televisores y partes automotrices, entre otros productos, son descartados y se acumulan en solares y lotes abandonados, contribuyendo a la contaminación visual y generando condiciones para la proliferación de vectores de plagas.

La falta de gestión adecuada y el desconocimiento sobre las posibilidades de aprovechamiento de este tipo de plásticos agravan el problema, y esta investigación se propone aportar soluciones concretas que transformen el residuo en un recurso aprovechable. El objetivo de este estudio es implementar un proceso técnico de transformación del plástico ABS recuperado en estibas y postes a través del método de extrusión, evaluando su viabilidad técnica, ambiental y económica.

El artículo aborda el aprovechamiento del plástico ABS mediante un enfoque de economía circular, promoviendo su transformación en productos de utilidad. En investigaciones recientes, Tabora y López [2] y Lavacude et al. [3] destacaron que la correcta gestión y procesamiento de residuos plásticos pueden generar beneficios económicos y sociales, como la creación de empleo y la reducción de puntos críticos de contaminación. A nivel técnico, Bosch Hernández [4] concluyó que el reciclaje de plásticos ABS puede reducir los costos operativos en un 30%, lo que refuerza la necesidad de implementar líneas productivas especializadas para el reciclaje de termoplásticos.

Este artículo científico se apoya en estos estudios para desarrollar una metodología aplicada en la ciudad de Valledupar, donde se ha diseñado un proceso de recuperación y transformación de residuos plásticos ABS en estibas y postes a través de la extrusión, con el fin de generar productos con alto valor agregado y contribuir al manejo adecuado de los residuos.

Los objetivos específicos de este estudio incluyen la caracterización de la producción de residuos plásticos ABS en recicladoras locales, la implementación de un proceso de producción de estibas y postes mediante extrusión, y la evaluación de la viabilidad técnica, ambiental y económica del proceso. La caracterización permitirá identificar las principales fuentes de residuos plásticos en la ciudad y estimar su volumen de producción, mientras que el proceso de extrusión garantizará la transformación de estos residuos en productos reutilizables. Finalmente, se realizará un análisis de costo-beneficio que permitirá comparar los costos de producción con productos convencionales en el mercado, evaluando su competitividad y sostenibilidad económica. Con ello, se pretende contribuir a la mitigación del impacto ambiental de los residuos plásticos en la ciudad de Valledupar y promover la economía circular como modelo de desarrollo sostenible.

2. MATERIALES Y METODOS

Este estudio inició con una caracterización detallada del plástico ABS disponible en Valledupar, para lo cual se aplicó una encuesta estructurada a 23 recicladores de la ciudad. Esta herramienta permitió recopilar información sobre la cantidad de material recolectado, los métodos empleados en su manejo y las principales fuentes de obtención, entre las que destacaron dispositivos electrónicos, autopartes y equipos de protección personal. La información obtenida resultó fundamental para seleccionar adecuadamente el material reciclable, asegurando que el proceso de transformación fuera eficiente y que la calidad del producto final no se viera comprometida por la presencia de impurezas.

En la siguiente etapa, se recolectaron 100 kg de ABS en un período de siete días, en coordinación con recicladores locales. A diferencia de otros estudios sobre reciclaje de plásticos, en este trabajo se establecieron criterios estrictos para la selección del material, lo que permitió obtener una materia prima más homogénea y libre de contaminantes. Una vez recolectado, el plástico fue clasificado manualmente, eliminando impurezas como etiquetas, restos metálicos y otros residuos que pudieran afectar el proceso de transformación. Este paso resultó clave, ya que en muchos procedimientos de reciclaje no se lleva a cabo una clasificación tan minuciosa, lo que puede reducir la calidad del producto final.

Después de la clasificación, el material se trasladó a las instalaciones de Metálicas Saenz S.A.S., donde se implementaron procedimientos de limpieza especializados. A diferencia de otros métodos convencionales, en este caso se aplicó una limpieza industrial con herramientas manuales y lavado a alta presión, utilizando soluciones detergentes biodegradables para eliminar residuos orgánicos e inorgánicos. Esta etapa fue fundamental para garantizar que el plástico ingresara al proceso de transformación en condiciones óptimas, minimizando cualquier posible afectación en la extrusión.

Posteriormente, el ABS limpio fue triturado en una máquina industrial con capacidad de 100 kg/hora, asegurando un tamaño uniforme de las partículas para optimizar su procesamiento posterior. A fin de evitar la absorción de humedad y la degradación del material, se implementó un almacenamiento controlado en contenedores herméticos, lo que garantizó la estabilidad del plástico antes de su transformación. Muchos estudios previos sobre reciclaje de termoplásticos no contemplan este tipo de almacenamiento, lo que puede generar alteraciones en la calidad del material antes de ser procesado.

En la fase de extrusión, el plástico triturado fue sometido a una extrusora de doble husillo a 220°C, donde se moldeó utilizando troqueles específicos para dar forma a estibas y postes. Este proceso se realizó con parámetros de control optimizados, regulando aspectos como la velocidad de alimentación, la presión en la boquilla y la temperatura de distribución, lo que permitió alcanzar una eficiencia del 93,34% en la transformación del material. En comparación con otros estudios, donde las pérdidas de material pueden superar el 10%, la optimización de estas variables hizo posible reducir significativamente los desperdicios y mejorar la calidad del producto final.

Finalmente, los productos fabricados fueron sometidos a un proceso de enfriamiento y almacenamiento en condiciones controladas para garantizar su estabilidad dimensional. En esta fase, se produjeron tres estibas y tres postes de prueba, con un consumo aproximado de 1,4932 kg de ABS por poste y 3,09314 kg por estiba. Además, se llevaron a cabo mediciones de pérdidas de material para evaluar la eficiencia del proceso. Se realizó un análisis de costo-beneficio, comparando los costos de producción con los de alternativas convencionales en el mercado, y se aplicaron pruebas para medir la absorción de agua, resistencia mecánica y estabilidad térmica de los productos fabricados.

En comparación con otros estudios sobre reciclaje de plásticos ABS, este trabajo incorpora mejoras significativas en la selección del material, su limpieza, su procesamiento y su transformación mediante extrusión, logrando optimizar el rendimiento del proceso y asegurar la obtención de un producto con alta calidad y potencial de aplicación industrial.

3. RESULTADOS

Para la primera fase este estudio se centró en caracterizar la producción de residuos sólidos tipo termoplástico (ABS) que pueden recuperarse en recicladoras de la ciudad de Valledupar. Para ello, se realizaron encuestas a 23 recicladores, que proporcionaron información crucial sobre sus prácticas de

reciclaje y la cantidad de residuos plásticos que manejan. El análisis de los datos permitió observar que el sector del reciclaje en Valledupar está dividido casi equitativamente entre recicladores independientes y aquellos afiliados a organizaciones, lo que refleja la diversidad dentro de este sector (Ver Figura 1).

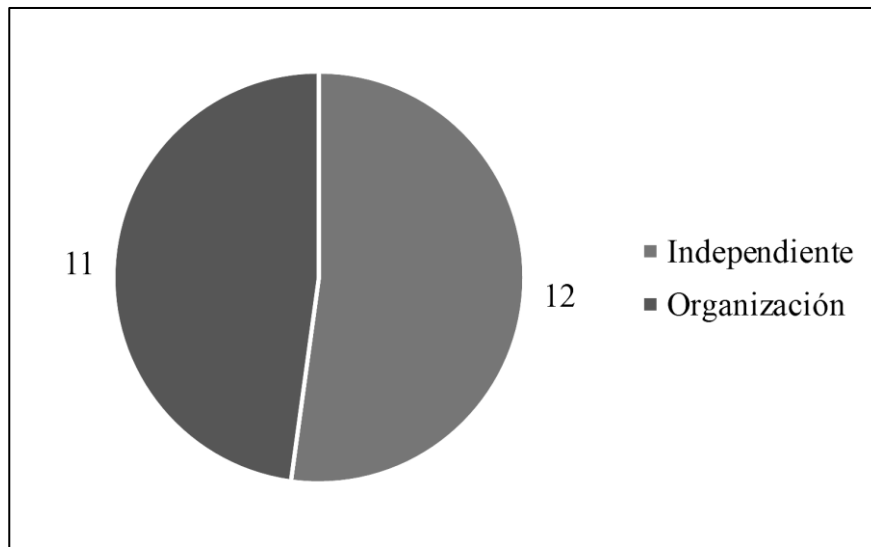


Figura 1. Distribución porcentual de recicladores según su forma de trabajo

Este equilibrio es relevante, ya que los recicladores independientes, aunque gozan de mayor flexibilidad, enfrentan barreras significativas en cuanto a acceso a recursos y apoyo institucional. En contraste, los recicladores organizados tienen más posibilidades de beneficiarse de políticas de formalización, pero deben enfrentarse a complejidades administrativas y financieras [5].

Adicionalmente, los años de experiencia de los recicladores encuestados variaron entre uno y 19 años, lo que muestra una amplia gama de habilidades y conocimientos dentro del sector (Ver Figura 2). Esta diversidad en la experiencia sugiere que los recicladores más experimentados podrían tener una mayor capacidad para optimizar sus procesos de recolección, como se ha observado en otros estudios sobre la gestión de residuos en contextos específicos, como el turismo en Viñales, Cuba [6]. En este sentido, la experiencia y la aplicación de prácticas sostenibles juegan un papel importante en la eficiencia del reciclaje, contribuyendo a la conservación de los recursos naturales y la reducción de la contaminación ambiental [6].

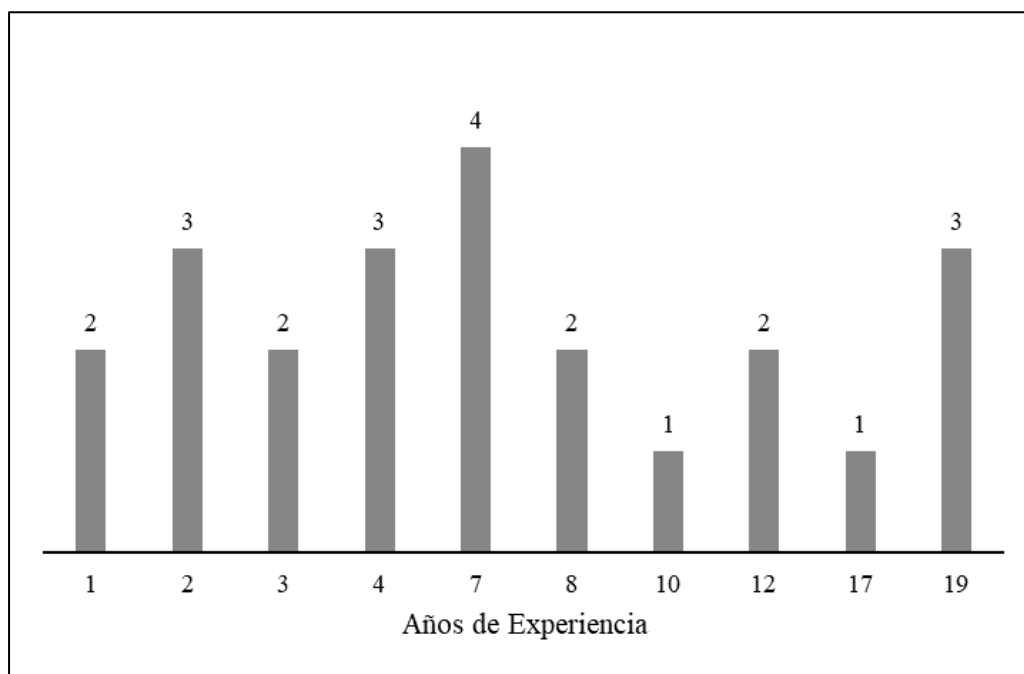


Figura 2. Años de Experiencia laboral de los Recicladores

El análisis también reveló que la mayoría de los recicladores prefieren trabajar de manera individual, lo que podría estar relacionado con la necesidad de autonomía y flexibilidad en su trabajo. Sin embargo, los datos también sugieren que el trabajo en equipo puede aumentar la productividad individual y colectiva, permitiendo una mayor adquisición de conocimientos y una mejor capacidad para enfrentar problemas complejos (Ver Figura 3) [7]. Este hallazgo resalta la importancia de fomentar un equilibrio entre el trabajo individual y grupal en el sector del reciclaje, lo que podría mejorar tanto la eficiencia operativa como la sostenibilidad ambiental [7].

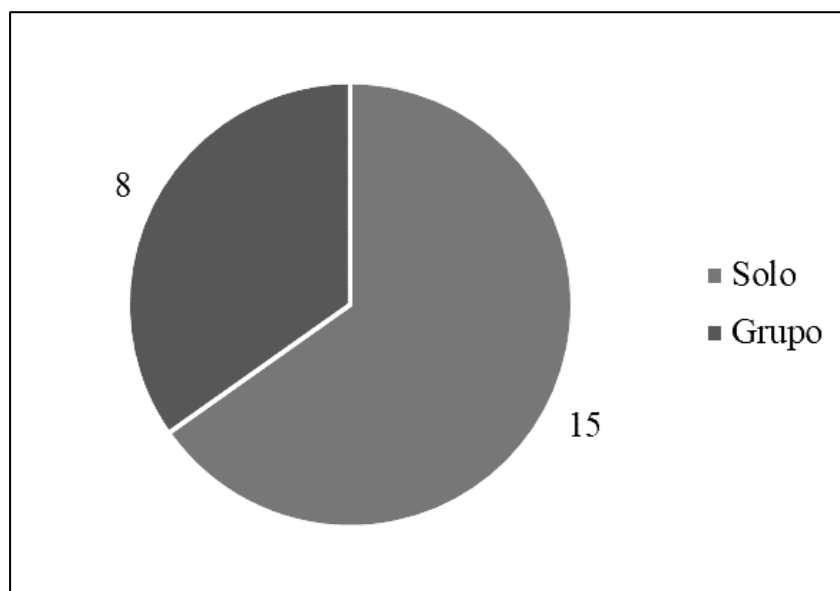


Figura 3. Caracterización del trabajo individual o grupal para reciclaje y cobertura de áreas

En cuanto a la generación de residuos plásticos ABS, la mayoría de los recicladores procesan entre 0 y 200 kg mensuales (Ver Figura 4). Este volumen relativamente bajo podría deberse a la durabilidad del plástico ABS, que se utiliza en productos con un ciclo de vida prolongado, como componentes electrónicos y de automóviles. Este hallazgo es consistente con otros estudios que han identificado que la naturaleza del plástico ABS contribuye a su baja tasa de generación de residuos a corto plazo [8].

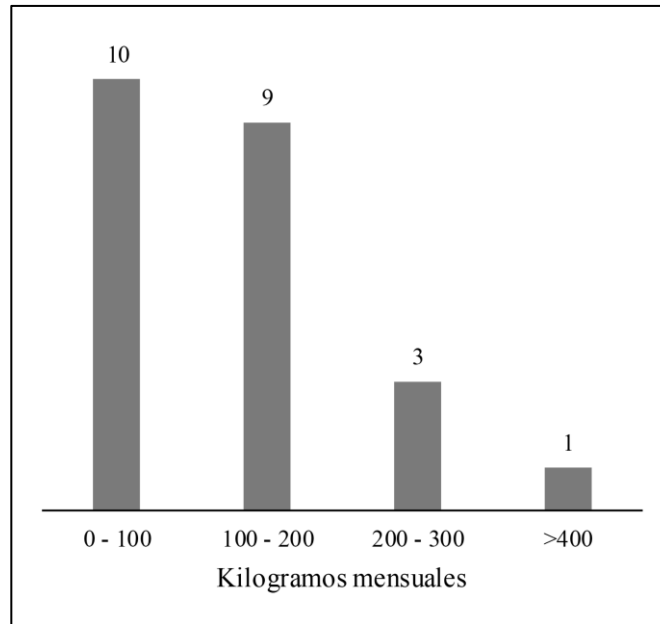


Figura 4. Kilogramos Mensuales producidos de plástico ABS y otros.

No obstante, el 17% de los recicladores procesan más de 400 kg de residuos ABS al mes, lo que sugiere la existencia de operaciones de reciclaje a mayor escala o la acumulación de este tipo de plástico antes de su procesamiento. Estos datos subrayan la variabilidad en las capacidades y enfoques de los recicladores y destacan la importancia de optimizar los sistemas de gestión de residuos para minimizar el impacto ambiental del plástico [8].)

Durante el estudio, se identificó que los recicladores que manejan mayores volúmenes de ABS han desarrollado estrategias más eficientes para su acopio y separación. En muchos casos, trabajan en redes informales o han establecido alianzas con industrias que generan este tipo de residuos. Esto sugiere que integrar el reciclaje de ABS con procesos industriales podría mejorar significativamente la recuperación del material. Si se fortaleciera la infraestructura de recolección y se implementaran incentivos económicos para los recicladores, se incrementaría la disponibilidad de ABS reciclado, facilitando su reutilización en procesos industriales como el de fabricación de estibas y postes.

En relación con los días de trabajo dedicados a la recolección de materiales reciclables, el estudio mostró que la mayoría de los recicladores trabajan cinco o más días a la semana, con varios trabajando los siete días completos (Ver Figura 5). Este compromiso refuerza la importancia de los recicladores en la gestión de residuos y su papel fundamental en la reducción de la contaminación y la promoción de la sostenibilidad. Sin embargo, también refleja las duras condiciones laborales de estos trabajadores, quienes dependen de un mercado volátil que a menudo no ofrece un ingreso estable [9].

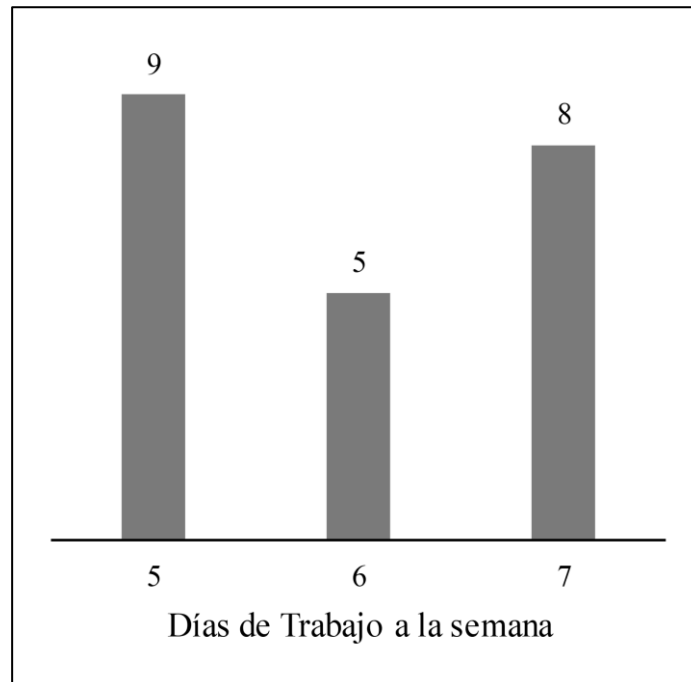


Figura 5. Días de trabajo que dedican los recicladores encuestados

El valor de venta del plástico ABS y otros tipos de plásticos recuperados osciló entre 1,094 y 4,958 pesos colombianos por kilogramo. Esta variabilidad se debe a factores como la calidad del material, la demanda del mercado y las condiciones locales de reciclaje. A nivel global, la fluctuación de precios en los materiales reciclados es una realidad común que afecta la viabilidad económica del reciclaje, especialmente en contextos de bajos ingresos, como el de Valledupar. (Ver Figura 6)

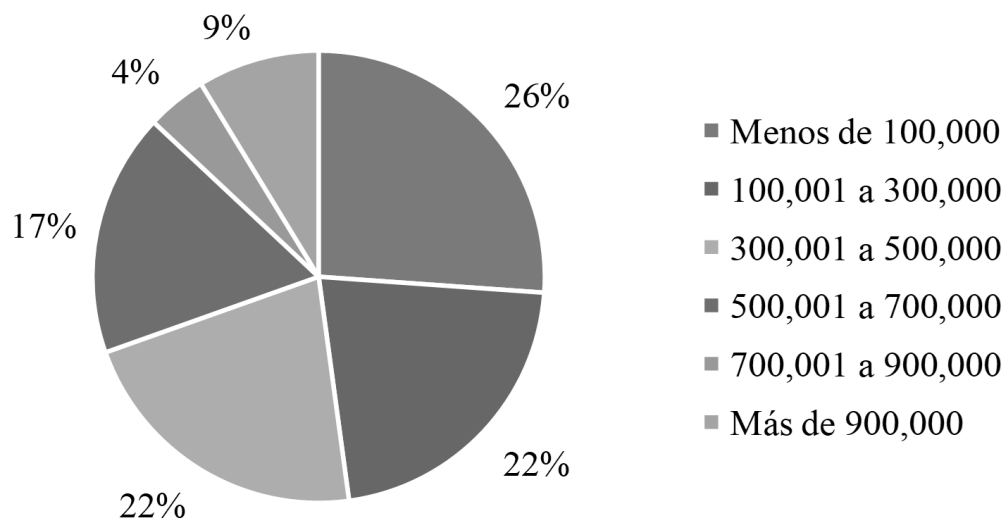


Figura 6. Valor de Venta de los Kilogramos Mensuales Calculado

Aunque se identificaron varios desafíos clave en la recolección y reciclaje del plástico ABS, entre ellos el bajo volumen de producción, la baja demanda y los altos costos de transporte, etc. estos obstáculos resaltan la necesidad de implementar estrategias que mejoren tanto la eficiencia del proceso de reciclaje como las condiciones económicas de los recicladores. En particular, se podría beneficiar de políticas que promuevan precios más competitivos para los materiales reciclados y apoyen la creación de infraestructura adecuada para la recolección y el procesamiento de plásticos.

El análisis económico reveló que el costo del ABS reciclado fluctúa según su calidad y demanda en el mercado local. Aunque su precio varía entre 1.094 y 4.958 COP por kilogramo, sigue siendo más bajo que el del plástico virgen, lo que resalta su competitividad. Sin embargo, los costos de transporte y la falta de infraestructura especializada dificultan su aprovechamiento a gran escala. Para superar estos obstáculos, una alternativa viable sería fomentar esquemas de logística inversa, donde fabricantes de productos electrónicos y automotrices reintegren sus residuos de ABS al mercado de reciclaje, reduciendo costos y mejorando la rentabilidad del proceso.

En la segunda fase del proceso de reciclaje y producción de estibas y postes mediante extrusión de plástico ABS recuperado, se desarrolló una serie de pasos que abordaron desde la limpieza inicial del material hasta su extrusión y moldeado final.

El primer paso consistió en la preparación del material, que implicó la eliminación de impurezas, metales y otros elementos adheridos al plástico ABS, a fin de asegurar que el material reciclado fuera de alta calidad y libre de contaminantes. El uso de equipos de protección personal (EPP) y herramientas especializadas, como destornilladores, alicates y sierras para plásticos, fue esencial para garantizar la seguridad y la eficiencia durante esta fase [10].

La siguiente etapa consistió en el triturado del material. Aquí se empleó un molino industrial capaz de procesar hasta 100 kilogramos de plástico por hora. En este paso, se lograron producir estibas y postes utilizando 93,77 kilogramos de plástico ABS reciclado, lo que resultó en una eficiencia del proceso de aproximadamente el 93,34% (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Variables implicadas en el proceso de Extrusión y Moldeado del plástico ABS

Variable	Valor
Peso de plástico ABS de ingreso (gr)	99
Porcentaje de pérdida de plástico (%)	0,01
Eficiencia del proceso (%)	0,99
Costos aproximados (pesos colombianos)	200,000 COP
Tiempo invertido (minutos)	240
Agua requerida en el proceso (litros)	100
Emisiones atmosféricas (CO2 equivalente)	Estimado en 10 kg CO2e
Uso de derivados del petróleo (litros)	0
Residuos Sólidos Ordinarios (gramos)	990
Residuos Electrónicos (gramos)	0
Otros residuos (gramos)	0
Pérdidas de líquidos (%)	0.5%
Cantidad de Recursos humanos utilizados	3
Cantidad de Recursos materiales utilizados	3
Cantidad de Recursos logísticos utilizados	2

El proceso de triturado alcanzó una eficiencia del 93,34%, lo que refleja un bajo desperdicio de material. Sin embargo, una fracción del ABS recolectado debió ser descartada debido a la contaminación con

otros polímeros. Para optimizar la recuperación del material en futuras implementaciones, sería recomendable incluir tecnologías de separación avanzadas, como sensores de espectrometría de infrarrojo cercano (NIR) o separadores ópticos. Estas herramientas permitirían clasificar el material con mayor precisión, reduciendo el porcentaje de descarte y asegurando un ABS de mejor calidad para la extrusión.

Esta eficiencia es comparable a otros estudios que han evaluado procesos de reciclaje de termoplásticos, los cuales indican pérdidas de material del 5% al 10% durante el triturado, debido a la presencia de residuos no reciclables y la degradación del material durante la trituración [11]. A través de la optimización de los parámetros de la trituradora, se logró minimizar la pérdida de material, asegurando una mayor uniformidad en las partículas obtenidas, que fueron almacenadas para su posterior uso en la extrusión, como se muestra en la Figura 7



Figura 7. Máquina de extrusión de doble husillo contra rotacional

La fase de extrusión y moldeado del material fue crítica para la producción de estibas y postes de alta calidad. Durante este paso, el plástico ABS fue fundido a una temperatura controlada de 220°C y procesado en una extrusora de doble husillo, la cual permitió una mezcla homogénea de los gránulos plásticos y aditivos

Este procedimiento no solo mejoró la calidad del producto final, sino que también generó un impacto económico positivo al eliminar la necesidad de paletización y reducir el consumo de materiales adicionales, como se observa en otros estudios sobre reciclaje de termoplásticos [11]. El plástico fue extruido y moldeado en estibas de 2,9 kilogramos y postes de 1,4 kilogramos, lo que destaca la flexibilidad y versatilidad del proceso de extrusión para adaptarse a diferentes tamaños y formas según las necesidades de producción (Ver Figura 8).



Figura 8. Estibas y postes de plástico ABS desarrollados

El análisis de las variables que influyen en la limpieza, triturado y extrusión del material muestra que la calidad del plástico ABS inicial, el consumo de agua y energía, así como la eficiencia de la separación de impurezas, juegan un papel fundamental en la eficiencia general del proceso (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Variables implicadas en el proceso de limpieza, lavado y troceado

Variable	Valor
Peso de plástico ABS de ingreso (gr)	105
Peso de plástico ABS que egresa (gr)	100
Porcentaje de pérdida de plástico (%)	4.76%
Eficiencia del proceso (%)	95.24%
Costos aproximados (pesos colombianos)	Variable, suponiendo 50,000 COP
Tiempo invertido (minutos)	120
Agua requerida en el proceso (litros)	200
Emisiones atmosféricas (CO2 equivalente)	Estimado en 2 kg CO2e
Uso de derivados del petróleo (litros)	0
Residuos Sólidos Ordinarios (gramos)	5
Residuos Electrónicos (gramos)	500
Otros residuos (gramos)	0
Pérdidas de líquidos (%)	0.01%
Cantidad de Recursos humanos utilizados	2 personas

Cantidad de Recursos materiales utilizados	5 materiales
Cantidad de Recursos logísticos utilizados	1

En particular, la limpieza profunda del material y la optimización del consumo de agua durante la fase de lavado son aspectos clave para reducir el impacto ambiental del proceso. Estudios previos han subrayado la importancia de minimizar el uso de agua y productos químicos durante el reciclaje de plásticos para mitigar su huella ambiental [10].

En términos de desafíos técnicos, el proceso de extrusión también presentó algunos obstáculos relacionados con el control preciso de la temperatura y la velocidad de extrusión, aspectos que pueden afectar la consistencia del producto final. La temperatura de fusión del ABS, que oscila entre 220°C y 240°C, debe ser cuidadosamente monitoreada para evitar la degradación del material, lo que podría comprometer su calidad y durabilidad (Ngimbi y Haktan, 2020). Asimismo, la exposición prolongada a la radiación UV puede degradar el plástico ABS, lo que limita sus aplicaciones en exteriores si no se le añaden estabilizadores UV adecuados [10].

El impacto ambiental del proceso fue reducido mediante la adopción de tecnologías eficientes de reciclaje, que lograron minimizar el consumo de energía y agua, así como la generación de residuos. No obstante, es necesario continuar evaluando el ciclo de vida completo de los productos fabricados a partir de plástico ABS reciclado para comprender mejor su impacto ambiental a largo plazo y explorar oportunidades para mejorar aún más la sostenibilidad del proceso [11].

Por último, la tercera fase del estudio consistió en la evaluación integral de la viabilidad técnica, ambiental y económica de los productos fabricados a partir de plástico ABS reciclado mediante los procesos de preparación, triturado, extrusión y moldeo. Se diseñaron y fabricaron tres estibas y tres postes de madera plástica utilizando este material, con un rendimiento del 93.34% en términos de eficiencia global del proceso. A partir de los 100 kilogramos de plástico ABS reciclado ingresados, se obtuvo una producción de 71 postes, cada uno de 1.4 kg, y 34 estibas de 2.9 kg, con una pérdida de aproximadamente el 6.66% debido a la eliminación de contaminantes como piezas metálicas, polvo y otros residuos.

El análisis técnico se centró en la capacidad de las estibas y postes de soportar diferentes tipos de carga y su resistencia mecánica, que fue evaluada siguiendo las normativas de la NTC 2871 de 2018. Los resultados demostraron que tanto las estibas como los postes exhiben un incremento en su resistencia y módulo de rotura con el tiempo de curado, lo que concuerda con estudios que destacan la mejora en las propiedades mecánicas de los plásticos reciclados después de un adecuado procesamiento [10].

Los ensayos de resistencia a la flexión (Ver Tabla 3) indicaron que las propiedades mecánicas del ABS reciclado mejoran con el tiempo de curado. Tanto las estibas como los postes mostraron un aumento en la carga máxima soportada y en el módulo de rotura, lo que confirma que este material puede emplearse en aplicaciones estructurales de alto rendimiento. En particular, los postes con 28 días de curado alcanzaron un módulo de rotura de 48,91 MPa, lo que los hace comparables a algunos tipos de concreto y superiores a la madera tratada en términos de resistencia mecánica. Esto abre la posibilidad de utilizar postes de ABS reciclado para cercas, señalización vial e incluso elementos estructurales ligeros.

Tabla 3. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Flexión de las Estibas y Postes ABS

Tipo	Muestra	Edad de Curado (días)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Largo (mm)	Carga Máxima (kN/lbf)	Módulo de Rotura (lbf/inch ² /MPa)
Estibas	1	7	103	24	260	3,17 / 712,6	3022,4 / 20,84
Estibas	2	14	102,6	24,8	261	4,15 / 933,0	3734,3 / 25,75
Estibas	3	28	101	24	263	4,21 / 946,4	4140,6 / 28,55
Postes	1	7	40	25	270	1,95 / 438,4	4581,7 / 31,58
Postes	2	14	40,2	25,3	271	2,05 / 460,9	4697,1 / 32,39
Postes	3	28	40	25	270,8	3,01 / 676,7	7093,3 / 48,91

Los ensayos de resistencia a la flexión (Ver Tabla 3) indicaron que las propiedades mecánicas del ABS reciclado mejoran con el tiempo de curado. Tanto las estibas como los postes mostraron un aumento en la carga máxima soportada y en el módulo de rotura, lo que confirma que este material puede emplearse en aplicaciones estructurales de alto rendimiento. En particular, los postes con 28 días de curado alcanzaron un módulo de rotura de 48,91 MPa, lo que los hace comparables a algunos tipos de concreto y superiores a la madera tratada en términos de resistencia mecánica. Esto abre la posibilidad de utilizar postes de ABS reciclado para cercas, señalización vial e incluso elementos estructurales ligeros.

Los postes mostraron un módulo de rotura mayor en comparación con las estibas, a pesar de ser más estrechos, lo que sugiere que los postes podrían haber sido fabricados con una densidad de material más alta o un compuesto mejor adaptado para aplicaciones estructurales. La consistencia en las dimensiones de las muestras sugiere un proceso de fabricación controlado y eficiente (Ver Figura 10).

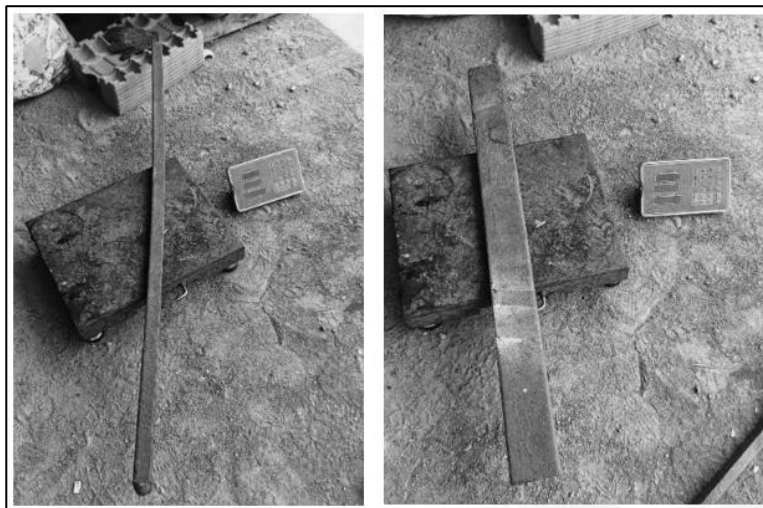


Figura 10. Estibas y postes de plástico ABS pesados en báscula digital

En términos de impermeabilidad, las pruebas de adsorción revelaron que tanto las estibas como los postes tienen una retención de agua insignificante, con variaciones de peso menores al 0.01%, lo que indica una excelente impermeabilidad del material, haciéndolos adecuados para entornos exteriores. Este resultado es consistente con estudios previos que subrayan la resistencia del plástico ABS a la absorción de humedad [11]. Además, los ensayos térmicos indicaron que el aumento de temperatura

fue mínimo, de 27°C a 32°C en dos horas de exposición al calor, lo que confirma las propiedades aislantes del material, adecuadas para condiciones extremas de temperatura (Ver Figura 11).



Figura 11. Estibas de plástico ABS medidas en su superficie con termómetro digital

Un aspecto clave en la aplicabilidad del ABS reciclado es su mínima absorción de agua, lo que lo hace altamente resistente en entornos húmedos y de exposición prolongada a la intemperie. Además, los ensayos térmicos mostraron que su temperatura solo aumentó de 27°C a 32°C en dos horas, lo que demuestra su buena estabilidad térmica y capacidad aislante. Esto lo convierte en una opción viable para mobiliario urbano, estructuras modulares y aplicaciones exteriores, donde materiales como la madera requieren tratamientos adicionales para resistir la humedad y los cambios de temperatura.

Desde una perspectiva económica, el análisis de costo-beneficio reveló que el costo unitario por estiba fue de 1,034.07 COP, mientras que para los postes fue de 495.19 COP, valores que, si bien son competitivos en relación con productos convencionales de madera y concreto, ofrecen una ventaja adicional al considerar los beneficios de sostenibilidad y reducción de la huella ambiental.

Este análisis se refuerza al comparar las estibas y postes de ABS reciclado con otros productos de mercado, donde destacan por su durabilidad y baja demanda de mantenimiento (Ver Tabla 4). La economía circular asociada a este proceso de producción, que reduce la necesidad de nuevos materiales vírgenes, es un factor clave en la adopción de este tipo de productos, especialmente en mercados sensibles a las prácticas sostenibles [8].

Tabla 4. Criterios de comparación entre los productos del mercado y los postes y estibas

Producto	Costo Unitario (COP)	Material	Durabilidad	Funcionalidad	Sostenibilidad
Poste de Madera Inmunizada	\$ 55.000,00	Madera Inmunizada	Alta con tratamiento	Cercamientos	Moderada
Poste de Concreto Recto	\$ 34.002,00	Concreto	Muy Alta	Cercamientos	Baja
Poste de Concreto con Pestaña	\$ 48.000,00	Concreto con Pestaña	Muy Alta	Cercamientos con pestaña	Baja
Unidad Señalizadora Tubular	\$ 65.000,00	Polietileno de Alta Densidad	Alta	Señalización Vial	Moderada
Poste de Valla Metálica	\$ 45.777,70	Acero Resistente	Muy Alta	Vallas	Baja
Poste de Plástico ABS	\$ 1.034,07	Plástico ABS Fundido	Alta	Versátil	Alta
Estibas de Plástico ABS	\$ 459.19	Plástico ABS Fundido	Alta	Versátil	Alta

Al analizar la viabilidad económica, se evidenció que los postes y estibas de ABS reciclado pueden competir en el mercado frente a materiales tradicionales. Aunque el costo de producción es superior al de opciones convencionales como postes de concreto o madera, su mayor durabilidad y menor necesidad de mantenimiento compensan la inversión inicial. Sectores como la logística, la construcción y la infraestructura urbana podrían beneficiarse ampliamente de estos productos, ya que ofrecen resistencia mecánica, estabilidad ambiental y un impacto ecológico reducido.

El análisis del ciclo de vida (ACV) incluyó la evaluación de impactos directos e indirectos, desde la recolección del plástico hasta la disposición final del producto. El consumo de agua y energía durante el proceso de limpieza, triturado y extrusión, junto con la emisión de gases y generación de residuos, fueron identificados como impactos ambientales críticos. (Ver Tabla 5)

Para mitigar estos efectos, se sugiere implementar mejoras en la eficiencia energética y en los sistemas de tratamiento de agua, así como adoptar tecnologías de bajo consumo y reciclaje de residuos de ABS, lo que reduciría la huella ambiental del proceso.

Tabla 5. Matriz de Calificación de los Impactos Ambientales de los Procesos de Transformación del Plástico ABS

Proceso	Aspectos Ambientales	Impactos Ambientales	Presencia	Duración	Evolución	Magnitud	Calificación	Impacto
Recolección y Transporte	Consumo de Combustible y Derivados del Petróleo	Agotamiento de los Recursos Naturales (uso de combustibles fósiles)	0,8	0,85	0,97	0,94	7,1	Significativo
	Emisión de Gases y Vapores	Contaminación del Aire (emisiones de CO ₂ y otros contaminantes)	0,65	0,92	0,71	0,75	4,2	Moderado
	Generación de Ruido Ambiental	Contaminación Sonora (ruido de los vehículos)	0,85	0,85	0,71	0,65	4,9	Moderado
Separação y Limpieza	Generación de Residuos Líquidos	Contaminación del Agua (aguas residuales contaminadas)	0,91	0,56	0,85	0,91	6,5	Significativo
	Generación de Residuos Sólidos	Contaminación del Suelo (residuos sólidos desechados incorrectamente)	0,64	0,63	0,65	0,67	3,2	Moderado
Triturado	Emisión de Material Particulado	Contaminación del Aire (emisiones de polvo de ABS)	0,86	0,94	0,96	0,96	8,0	Grave
	Generación de Ruido Ambiental	Contaminación Sonora (ruido por maquinaria)	0,97	0,99	0,96	0,98	9,3	Grave
	Consumo de Energía Eléctrica	Agotamiento de los Recursos Naturales (consumo de energía eléctrica)	0,96	0,94	0,98	0,99	9,2	Grave
Extrusión, Moldeo y Enfriamiento	Emisión de Gases y Vapores	Contaminación del Aire (emisiones de COV y calor residual)	0,94	0,91	0,97	0,95	8,7	Grave
	Consumo de Energía	Agotamiento de los Recursos Naturales (uso intensivo de energía)	0,89	0,84	0,99	0,98	8,3	Grave
	Consumo de Agua	Agotamiento de los Recursos Naturales (uso intensivo del agua)	0,76	0,55	0,67	0,74	3,9	Moderado

El reciclaje de ABS no solo disminuye la dependencia de materias primas vírgenes, sino que también contribuye significativamente a la reducción de residuos plásticos en el medio ambiente. Evaluaciones más detalladas del ciclo de vida permitirían cuantificar las emisiones de CO₂ evitadas mediante este proceso, lo que podría abrir la posibilidad de certificaciones ambientales y acceso a mercados que exigen productos sostenibles. La promoción del ABS reciclado como alternativa a materiales convencionales refuerza su papel dentro de la economía circular y el desarrollo de prácticas industriales más sostenibles.

La comparación de los productos de ABS reciclado con alternativas tradicionales, como la madera y el concreto, resalta las ventajas de las estibas y postes de ABS en términos de sostenibilidad y durabilidad, al tiempo que sugiere áreas de mejora en los costos de producción. Dado el enfoque en la economía circular y la creciente demanda de productos sostenibles, los postes y estibas de ABS reciclado presentan una oportunidad innovadora para mercados que valoran tanto el rendimiento como el impacto ambiental reducido.

4. DISCUSIÓN

La investigación sobre el reciclaje de plástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) en Valledupar logró avances significativos en términos de eficiencia del proceso, calidad del producto final y viabilidad económica. Estos resultados se desglosan a continuación para evidenciar su impacto y sustentabilidad.

La investigación alcanzó una eficiencia de transformación del 93.34%, un resultado comparable con estudios sobre reciclaje de termoplásticos, que documentan pérdidas del 5 al 10% durante procesos de trituración y extrusión debido a contaminantes y degradación del material [11]. Este alto rendimiento en la transformación indica que las prácticas de limpieza y clasificación implementadas, como el uso de herramientas manuales y de lavado industrial en Metálicas Saenz S.A.S., fueron eficaces en la elimina-

ción de contaminantes y garantizaron la pureza del material reciclado antes de la extrusión. Este resultado se alinea con la literatura existente, que destaca la importancia de una limpieza exhaustiva para mejorar la calidad del material reciclado [10].

Este estudio implementó técnicas avanzadas de separación y limpieza del material antes de su procesamiento, logrando una eficiencia de transformación del 93.34%. Esta cifra supera las pérdidas típicas del 5 al 10% reportadas en procesos convencionales de reciclaje de termoplásticos [15], atribuibles a contaminantes y degradación del material durante la trituración y extrusión. La eficacia de las prácticas de limpieza y clasificación utilizadas en este estudio, como el uso de herramientas manuales y equipos de lavado industrial, destaca la importancia de una preparación meticulosa del material para mejorar la eficiencia del reciclaje.

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la eficiencia del proceso de reciclaje de ABS puede optimizarse significativamente cuando se aplican técnicas adecuadas de separación y limpieza del material. Investigaciones previas, como la de [15], han reportado pérdidas de hasta un 15% en el reciclaje de termoplásticos debido a la contaminación con otros polímeros y a la degradación térmica durante el procesamiento. Sin embargo, en esta investigación, la implementación de un proceso de clasificación manual riguroso y un sistema de lavado optimizado permitió reducir las pérdidas a solo un 6.66%. Esto resalta la importancia de un adecuado manejo del material antes de la extrusión, asegurando no solo una mayor recuperación del plástico, sino también un producto final de mejor calidad y con mayores aplicaciones en la industria.

Los productos fabricados, es decir, las estibas y postes de ABS, mostraron propiedades de resistencia mecánica adecuadas para aplicaciones industriales, una cualidad respaldada por investigaciones previas en reciclaje de plásticos que resaltan la durabilidad y resistencia del ABS reciclado para uso estructural [12]. La retención de agua insignificante, con una absorción inferior al 0.01%, asegura la idoneidad del material para aplicaciones exteriores, como muestran estudios similares que subrayan la resistencia del ABS a la absorción de humedad y su resistencia a la intemperie [11]. Esto garantiza la durabilidad de las estibas y postes en entornos con alta exposición ambiental, un valor añadido frente a materiales como la madera.

Las estibas y postes fabricados con ABS reciclado en este estudio exhibieron una resistencia al impacto y estabilidad térmica destacadas, características esenciales para aplicaciones industriales que requieren durabilidad y resistencia en condiciones exigentes. Estas propiedades mecánicas superiores subrayan la viabilidad del ABS reciclado para su uso en aplicaciones estructurales, ofreciendo una alternativa sostenible y eficiente a materiales tradicionales [16].

Un aspecto innovador de esta investigación es el análisis detallado de las propiedades mecánicas del ABS reciclado en aplicaciones estructurales. Mientras que estudios anteriores, como el de [16], han descrito las características generales del ABS en su estado virgen, el presente trabajo demuestra que el material reciclado conserva su estabilidad estructural y su resistencia a la humedad, con una absorción de agua inferior al 0.01%. Este hallazgo es crucial, ya que reafirma la viabilidad del ABS reciclado para su uso en exteriores, donde la exposición a la intemperie es un factor determinante en la durabilidad del material. Estos resultados posicionan al ABS reciclado como una alternativa confiable a materiales convencionales, ampliando sus posibles aplicaciones en la industria de la construcción y el mobiliario urbano.

En el análisis costo-beneficio, el costo unitario de producción fue competitivo: 1,034 COP por estiba y 495 COP por poste. Este análisis económico, al comparar estos valores con alternativas de madera o concreto, confirma la rentabilidad del ABS reciclado en el mercado, en línea con estudios previos sobre la viabilidad económica del reciclaje de plásticos en contextos industriales [13]. Además, al incorporar la economía circular en el proceso de producción, este enfoque genera un valor agregado al reducir la dependencia de materias primas vírgenes, promoviendo un ciclo de reutilización sostenible [2].

El análisis económico de este estudio revela que la fabricación de estibas y postes de ABS reciclado es no solo viable, sino también competitiva en comparación con alternativas tradicionales como la madera o el concreto. La reducción de costos, junto con la durabilidad y resistencia del ABS reciclado, lo posiciona como una opción atractiva para la industria, alineándose con las tendencias actuales que buscan soluciones más sostenibles y económicas en la fabricación de productos industriales [17].

Uno de los mayores logros de la investigación es la reducción de residuos plásticos mediante el reciclaje de ABS, promoviendo un modelo de economía circular. Esto no solo reduce la acumulación de plásticos en vertederos y áreas críticas, sino que genera productos con un ciclo de vida extendido. Según el marco teórico de economía circular, el valor de productos reciclados se incrementa debido a su bajo impacto ambiental y alta demanda en mercados sensibles a prácticas sostenibles [8]. La adopción de la economía circular en este proyecto respalda su sustentabilidad y contribuye a la reducción de desechos plásticos en la región, como sugieren estudios de Bosch Hernández [12], quienes subrayan el valor del reciclaje de termoplásticos en sistemas sostenibles.

Más allá de la reducción de residuos plásticos, este estudio aporta una visión integral sobre cómo el reciclaje de ABS puede insertarse dentro de un modelo de economía circular. La metodología implementada no solo permite reutilizar materiales que, en condiciones convencionales, terminarían en rellenos sanitarios o espacios no adecuados, sino que también optimiza el consumo de recursos durante su transformación. A diferencia de otros trabajos que evidencian altos consumos de energía en los procesos de reciclaje de plásticos [18], en esta investigación se logró un uso eficiente de la energía mediante el control preciso de la temperatura de extrusión. Esto demuestra que el reciclaje de ABS no solo es una alternativa viable para disminuir la contaminación plástica, sino que también puede ser sostenible y económicamente competitivo en mercados donde se valoran productos fabricados con materiales reciclados.

La adopción de prácticas de reciclaje de ABS no solo contribuye a la reducción de residuos plásticos en vertederos, sino que también promueve la economía circular al reutilizar materiales y disminuir la dependencia de recursos vírgenes. Este enfoque sostenible es esencial para mitigar el impacto ambiental asociado con la producción y disposición de plásticos, alineándose con las estrategias globales para una gestión más eficiente de los recursos y la reducción de la huella ecológica de la industria del plástico [18].

A pesar de los buenos resultados en términos de eficiencia, se identificaron áreas de mejora en la optimización del consumo de agua y energía, especialmente en las etapas de lavado y extrusión. La reducción de estos recursos contribuiría a minimizar la huella ambiental del proceso, un aspecto destacado en investigaciones sobre sostenibilidad en reciclaje de plásticos que recomiendan minimizar el consumo de agua y energía para un impacto ambiental positivo [10]. Además, se sugiere la implementación de sistemas de recolección de agua para maximizar la eficiencia hídrica y reducir los costos operativos.

El proceso de extrusión también presenta desafíos técnicos, como el control de temperatura y la velocidad de extrusión, factores que pueden afectar la consistencia del producto final. La temperatura óptima de fusión del ABS se encuentra entre 220°C y 240°C, y un monitoreo constante es crucial para evitar la degradación del material, asegurando así la resistencia estructural de los productos de Tchoubanoglous et al. [14]. Además, se sugiere el uso de estabilizadores UV para extender la vida útil de los productos en exteriores, dado que la exposición prolongada al sol podría afectar la integridad del ABS sin protección adecuada [10].

Desde una perspectiva de ciclo de vida, el reciclaje de ABS para la fabricación de estibas y postes no solo reduce la generación de residuos, sino que también fomenta la reutilización de materiales en un ciclo cerrado. Aunque los beneficios económicos y ambientales son evidentes, es recomendable realizar un análisis de ciclo de vida (ACV) completo que contemple impactos como el consumo de energía y las emisiones generadas durante la recolección y procesamiento del material. Este enfoque permitiría identificar áreas adicionales de mejora y fortalecer el enfoque de economía circular adoptado en la investigación, como sugieren estudios de impacto ambiental en reciclaje de plásticos [8]. La discusión debe considerar los resultados en relación con las hipótesis formuladas en la introducción y el lugar del estudio en el contexto de otros trabajos. Las secciones de Resultados y Discusión (o análisis de resultados) también pueden ser combinadas.

El impacto ambiental de cualquier proceso de reciclaje debe evaluarse no solo desde el punto de vista de la reducción de residuos, sino también considerando el uso de recursos y la eficiencia del proceso a lo largo de todo su ciclo de vida. Este estudio ha identificado que la producción de estibas y postes a partir de ABS reciclado tiene una menor huella hídrica y energética en comparación con materiales

tradicionales como la madera y el concreto. Mientras que investigaciones previas han abordado la sostenibilidad del reciclaje de plásticos enfocándose en la reducción de desechos [19], el presente trabajo amplía esta visión al analizar también la eficiencia del material en su vida útil y su impacto ambiental a largo plazo. Esta perspectiva permite no solo validar la sostenibilidad del proceso, sino también generar información clave para mejorar su implementación en otros sectores industriales.

Realizar un análisis exhaustivo del ciclo de vida (ACV) de los productos fabricados con ABS reciclado es crucial para evaluar su sostenibilidad. Este análisis debe considerar factores como el consumo de energía, las emisiones de gases de efecto invernadero y la eficiencia en el uso de recursos durante todo el proceso de reciclaje y fabricación. Al identificar áreas de mejora, es posible optimizar el proceso para minimizar el impacto ambiental, contribuyendo a una industria más sostenible y responsable con el medio ambiente [19].

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones de este estudio demuestran que la producción de estibas y postes a partir de plástico ABS reciclado es técnicamente viable y eficiente, logrando una eficiencia global del proceso del 93.34%. Este resultado es coherente con investigaciones previas como las de Bosch Hernández (2018), quienes resaltan que el reciclaje de plásticos ABS, bajo condiciones adecuadas, puede reducir las pérdidas materiales y mejorar la calidad del producto final. A través de la implementación de un sistema optimizado de limpieza, triturado y extrusión, el proceso logró producir estibas de 2.9 kilogramos y postes de 1.4 kilogramos, lo que, valida la flexibilidad del ABS reciclado para adaptarse a diferentes necesidades industriales, destacando la robustez y durabilidad de los productos fabricados.

En cuanto a la viabilidad ambiental, el análisis del ciclo de vida (ACV) subraya la importancia de reducir el consumo de recursos y mitigar los impactos ambientales durante el proceso de reciclaje. Si bien el consumo de energía y agua, así como las emisiones de gases, fueron identificados como los principales desafíos ambientales, la adopción de tecnologías eficientes y sistemas de reutilización de recursos puede reducir significativamente estos impactos. Este enfoque está alineado con estudios como los de [10], que subrayan la necesidad de optimizar el reciclaje de plásticos para disminuir su huella ambiental. Además, la baja retención de agua ($\approx 0,01\%$) y la alta resistencia a la intemperie de los productos fabricados confirman su idoneidad para aplicaciones exteriores, reduciendo la demanda de materiales vírgenes y promoviendo la sostenibilidad.

El análisis económico reveló que los productos fabricados con plástico ABS reciclado tienen costos de producción competitivos, con un costo unitario de 1,034.07 COP por estiba y 495.19 COP por poste. Estos costos, si bien son comparables con los de productos convencionales como los postes de madera o concreto, ofrecen una ventaja adicional al incorporar los beneficios ambientales derivados del uso de materiales reciclados. Estudios como los de Tchoubanoglous et al. [14]. y Taborda y López [2] coinciden en que la economía circular no solo reduce la acumulación de residuos, sino que también puede ser una fuente de oportunidades económicas, fomentando empleos en el sector del reciclaje y mejorando la competitividad de productos sostenibles en el mercado.

En términos de viabilidad técnica, los productos fabricados demostraron un comportamiento mecánico superior, con un incremento en el módulo de rotura y la resistencia a la flexión a medida que el material curaba, según lo evaluado bajo la norma NTC 2871 de 2018. Estos hallazgos coinciden con estudios de Manzanos y García, quienes señalaron que la mejora en las propiedades mecánicas de plásticos reciclados es fundamental para su aceptación en aplicaciones estructurales e industriales. Además, la durabilidad y resistencia a factores ambientales como la humedad y la radiación UV, junto con su flexibilidad en aplicaciones logísticas y de infraestructura, hacen que los postes y estibas de ABS reciclado sean una opción atractiva para el mercado.

El presente estudio confirma que el reciclaje de plástico ABS no solo es viable desde una perspectiva técnica y ambiental, sino que también ofrece importantes beneficios económicos. El proceso de reciclaje de ABS contribuye a la reducción de residuos plásticos, promueve la economía circular y genera productos de alto valor agregado con un menor impacto ambiental que sus contrapartes convencionales. A medida que la demanda de productos sostenibles continúa en aumento, los resultados de este estudio

apoyan la adopción del plástico ABS reciclado como una solución innovadora y rentable para aplicaciones industriales y comerciales, posicionando a este material como una opción clave para la sostenibilidad a largo plazo en Colombia.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos infinitamente en primera instancia a Dios por permitirnos terminar este proyecto con éxito. A una mujer que es ejemplo de superación, bondad y amor, nuestra directora PhD. Karina Torres, quien durante todo este tiempo nos apoyó en la realización de este trabajo de grado depositando su confianza y estando incondicionalmente siempre que tocábamos su puerta y a los demás docentes que también hicieron esto posible.

A nuestros padres por infundirnos amor y responsabilidad por el estudio, ayudarnos cada día a superarnos más, y a todos los que hicieron esto posible. Nuestra gratitud y respeto.

A nuestros amigos por su apoyo y colaboración en este proyecto durante toda la etapa de la realización del proyecto.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Colombia iniciará el 2021 con nuevo código de colores para la separación de residuos,” 30 diciembre 2020. Disponible: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/colombia-iniciara-el-2021-con-nuevo-codigo-de-colores-para-la-separacion-de-residuos>.

[2] E. Taborda y J. López, *Estudio de Prefactibilidad para la creación de una Red Gestora de Residuos Plásticos Generados por la Población del municipio de la Jagua de Ibirico en el Departamento del Cesar*, Medellín: ESUMER, 2019.

[3] I. Lavacude, M. Hernández, y J. d. Castañeda, “Procesos de Transformación de Residuos Plásticos en la Ciudad de Bogotá Departamento Cundinamarca a Partir de la Producción de Fundas Biodegradables,” *Revista Universidad del Externado*, pp. 1–14, 2021.

[4] H. Bosch, *Diseño de una planta de reciclado de tereftalato de Polietileno (PET), Polipropileno (PP) y Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)*, Valencia, España: Universidad de Valencia, 2018.

[5] L. F. Tovar, “Formalización de las organizaciones de recicladores de oficio en Bogotá: reflexiones desde la economía popular,” *Revista de Ciencias Sociales*, vol. 62, pp. 39–63, 2018. doi: <https://doi.org/10.17141/iconos.62.2018.3230>.

[6] L. Alea, L. Marín, y N. Bruguera, “Diagnóstico de la gestión del reciclaje de los residuos sólidos generados en el destino turístico Viñales,” *Revista Avances*, vol. 21, no. 4, 2020. Disponible: <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869114010/637869114010.pdf>.

[7] R. Frezza, “Group work vs individual work: the pros and cons compared,” *Magazine Frezza*, 31 julio 2020. Disponible: <https://magazine.frezza.com/en/group-work-individual-work/>.

[8] A. Rinasti, I. Ibrahim, K. Gunasekara, T. Koottatep, y E. Winijkul, “Fate identification and management strategies of non-recyclable plastic waste through the integration of material flow analysis and leakage hotspot modeling,” *Scientific Reports*, vol. 12, no. 16298, 2022. Disponible: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-20594-w>.

[9] El Tiempo, “10 mil toneladas de plástico al año dejarán de ir a ecosistemas y rellenos sanitarios,” 4 octubre 2021. Disponible: <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/asi-es-la-planta-de-reciclaje-plastico-mas-grande-colombia-622867>.

- [10] L. Lancen, "Recycling ABS Plastic: Understanding The Process And Benefits," *Climate of our Future*, 14 febrero 2023. Disponible: <https://www.climateofourfuture.org/recycling-abs-plastic-understanding-the-process-and-benefits/>
- [11] A. Ngimbi y Z. Haktan, "Design of ABS Plastic Scrap Recycling Process for 3D Printer Filaments," *Conference Paper*, pp. 392–400, 2020. doi: 10.5281/zenodo.5260060.
- [12] H. Bosch, *Diseño de una planta de reciclado de tereftalato de Polietileno (PET), Polipropileno (PP) y Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)*, Valencia, España: Universidad de Valencia, 2018.
- [13] G. Manzanos y C. García, "Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Plásticos Generados en el Municipio de Arauca desde la perspectiva del Desarrollo Sostenible," *Revista Universidad de Manizales*, pp. 3–23, 2018.
- [14] G. Tchoubanoglous, S. Vigil, y H. Theisen, *Gestión integral de residuos sólidos*, Madrid, España: McGraw-Hill, 1994.
- [15] Méndez Prieto, A. (2016). "Separación y clasificación de plásticos en el proceso de reciclaje." *Plastics Technology México*. <https://www.pt-mexico.com/articulos/como-separar-los-plasticos-para-su-reciclado>
- [16] Rojas T. (2024). Guía completa del plástico ABS: propiedades y aplicaciones. Publicado en Plástico sitio web. <https://www.plastico.com/es/noticias/guia-completa-del-plastico-abs-propiedades-y-aplicaciones>
- [17] Market Research Intellect. (2025). Tendencias clave del mercado de reciclaje de plástico ABS que impulsan la innovación y las soluciones ecológicas. Publicado en la página oficial de] Market Research Intellect. <https://www.marketresearchintellect.com/es/blog/abs-plastic-recycling-market-key-trends-driving-innovation-and-eco-friendly-solutions/>
- [18] Plastics Europe. (2022). LA ECONOMÍA CIRCULAR DE LOS PLÁSTICOS Una visión europea. FSC. <https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2023/03/PlasticsEurope-circularidad-2021.pdf>
- [19] The Pew Charitable Truts. (2020). Rompiendo la Ola de Plástico. UNA EVALUACIÓN INTEGRAL ACERCA DE LAS VÍAS PARA FRENAR LA CONTAMINACIÓN DEL OCÉANO POR PLÁSTICO. <https://www.pewtrusts.org/-/media/assets/2020/07/spanishbtpwspreadshigh.pdf>