

Mejora logística para el aprovechamiento eficiente de zunchos plásticos en SERTEBA S.A.

Danobis Jesit Porras Matenzo

Asesor

Veronica Isabelle Deibe Blanco

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de ciencias básicas, ingenierías y tecnologías

Tecnología en Logística Industrial

2025

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme culminar satisfactoriamente este proceso académico y brindarme la constancia necesaria para afrontar cada reto presentado durante el desarrollo de este proyecto.

A mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación permanente a lo largo de mi formación profesional, siendo un respaldo fundamental para alcanzar esta meta.

Expreso mi agradecimiento a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD y a los docentes del programa de Tecnología en Logística Industrial, quienes aportaron conocimientos y herramientas esenciales para la construcción de esta propuesta aplicada.

Asimismo, agradezco a la empresa SERTEBA S.A. por permitir el acceso a la información y a los procesos operativos necesarios para el desarrollo del proyecto, así como al personal involucrado por su colaboración y disposición durante la etapa de diagnóstico y análisis logístico.

De manera especial, agradezco a Maria Alejandra Restrepo, por su apoyo constante, comprensión y motivación durante el desarrollo de este proyecto. Su acompañamiento fue fundamental para afrontar las dificultades presentadas durante este proceso académico y mantener la determinación necesaria para alcanzar este logro profesional.

Finalmente, agradezco a todas las personas que contribuyeron directa o indirectamente al desarrollo de este trabajo, orientado al fortalecimiento de prácticas sostenibles y al aprovechamiento eficiente de residuos dentro de la operación logística.

Resumen

El presente proyecto aplicado tuvo como objetivo diseñar un modelo logístico para el aprovechamiento de los zunchos plásticos generados durante el proceso de remonte de pallets en la empresa SERTEBA, dedicada al procesamiento y exportación de banano, por lo tanto, la problemática identificada se relaciona con el desperdicio constante de este material y la ausencia de procedimientos para su recolección, clasificación y aprovechamiento, situación que genera impactos ambientales, pérdidas económicas y deficiencias dentro de la operación logística.

La investigación se desarrolló mediante un enfoque descriptivo y aplicado, utilizando observación directa, análisis del proceso y recolección de información operativa durante catorce semanas, asimismo, se aplicó el diagrama de Ishikawa para identificar las principales causas asociadas al desperdicio de zuncho plástico. A partir de los resultados obtenidos, se diseñó un modelo logístico basado en el ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar), integrando principios de logística inversa, economía circular y mejora continua para optimizar la recolección, clasificación, almacenamiento y valorización del material.

Finalmente, se concluye que la propuesta permite disminuir el desperdicio de zuncho plástico, optimizar los recursos operativos y fortalecer la sostenibilidad de la empresa mediante prácticas orientadas al aprovechamiento de residuos y la mejora continua de los procesos logísticos.

Palabras clave: Logística, sostenibilidad, reciclaje, aprovechamiento, zunchos.

Abstract

This applied project aimed to design a logistics model for the utilization of plastic strapping generated during the pallet reassembly process at SERTEBA, a company dedicated to banana processing and exportation. The identified problem is related to the constant waste of this material and the absence of procedures for its collection, classification, and recovery, generating environmental impacts, economic losses, and inefficiencies within the logistics operation.

The research was developed through a descriptive and applied approach using direct observation, process analysis, and operational data collection over fourteen weeks. Likewise, the Ishikawa diagram was applied to identify the main causes associated with plastic strapping waste. Based on the obtained results, a logistics model based on the PDCA cycle (Plan, Do, Check, Act) was designed, integrating principles of reverse logistics, circular economy, and continuous improvement to optimize the collection, classification, storage, and recovery of the material.

Finally, it is concluded that the proposal contributes to reducing plastic strapping waste, optimizing operational resources, and strengthening the company's sustainability through practices focused on waste recovery and continuous improvement of logistics processes.

Keywords: Logistics, sustainability, recycling, utilization, straps

Tabla de Contenido

Introducción	10
Justificación	12
Objetivos.....	14
Objetivo General.....	14
Objetivos Específicos	14
Marco Conceptual.....	15
Marco Teórico.....	20
La Logística y la Cadena de Suministro en la Industria	20
Importancia de la Logística Industrial en la Eficiencia Operativa.....	20
Logística Convencional versus Logística Sostenible	21
Logística Interna: Flujos de Materiales y Aprovechamiento de Residuos	21
Gestión de Residuos Sólidos Industriales: Enfoque Estratégico	22
Zunchos Plásticos: Propiedades, Usos y Retos Post-Consumo.....	23
Caracterización Técnica del Zuncho Plástico.....	23
Función Logística y Uso Operativo	23
Potencial de Valorización del Zuncho Plástico	24
Logística Inversa y Economía Circular: Modelos de Valorización.....	25
Logística Inversa: Definición, Procesos y Beneficios	25
Economía Circular: Principios y Aplicación Industrial.....	25
Marco Legal	27
Planteamiento del Problema	29
Impacto Ambiental	31

Impacto Económico.....	33
Diagnóstico.....	37
Método.....	38
Mano de Obra.....	38
Maquinaria.....	38
Materiales.....	39
Medio Ambiente.....	39
Medición y Control.....	39
Diseño del Modelo Logístico.....	44
Estructura del Modelo Logístico Propuesto.....	44
Planificar (P): “Diagnóstico, Diseño y Planificación del Sistema”.....	45
Etapa Hacer (H): Implementación y Ejecución Operativa.....	47
Etapa Verificar (V): Seguimiento, Evaluación y Control.....	49
Etapa Actuar (A): Estandarización, Sostenibilidad y Mejora Continua.....	51
Guía operativa para la Gestión Logística del Zuncho Plástico en SERTEBA.....	54
Objetivo.....	54
Alcance.....	54
Desarrollo Modelo Logístico.....	54
Planificar.....	54
Hacer.....	55
Verificar.....	56
Actuar.....	57
Indicadores.....	57

Conclusiones	59
Referencias Bibliográficas	61

Lista de Tablas

Tabla 1 *Desperdicio de zunchos* 41

Tabla 2 *Indicadores de guía operativa* 58

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Diagrama Ishikawa</i>	40
--	----

Introducción

La logística industrial desempeña un papel fundamental en el desarrollo de los procesos productivos, ya que asegura el flujo eficiente de materiales, productos e información a lo largo de toda la cadena de suministro, sin embargo, en los últimos años este campo ha evolucionado más allá de la búsqueda de eficiencia y reducción de costos, incorporando la necesidad de adoptar prácticas sostenibles que mitiguen los impactos ambientales generados por la operación industrial. En este contexto, los residuos derivados de los procesos logísticos, como los zunchos plásticos utilizados en el aseguramiento de cargas, han cobrado relevancia por su uso frecuente y la ausencia de estrategias para su adecuada gestión post-consumo.

El zuncho plástico, elaborado principalmente en polipropileno (PP) o poliéster (PET), es ampliamente utilizado en la industria bananera por su resistencia, flexibilidad y bajo costo, no obstante, una vez cumple su función, suele ser descartado sin protocolos de recolección, clasificación o valorización, generando acumulación de residuos y pérdidas económicas, lo cual no solo afecta la sostenibilidad ambiental al incrementar la generación de plásticos no biodegradables, sino que también refleja ineficiencias logísticas asociadas a la pérdida de valor de un material que puede ser reutilizado o reciclado.

En el caso de SERTEBA, empresa dedicada al procesamiento y exportación de banano, el desperdicio de zunchos plásticos se produce principalmente durante el proceso de remonte de pallets, donde es necesario cortar los zunchos originales para ajustar los esquineros y completar la cantidad de cajas requeridas por el cliente, lo que genera un volumen considerable de residuos plásticos sin aprovechamiento, lo cual evidencia la necesidad de establecer una metodología que permita su gestión eficiente.

Ante este panorama, el presente proyecto aplicado, desarrollado en el marco del programa de tecnología en logística industrial, tiene como propósito diseñar una metodología logística para el aprovechamiento de los zunchos plásticos generados durante el proceso de remonte en SERTEBA, orientada a optimizar su recolección, clasificación y valorización bajo principios de logística inversa, economía circular y mejora continua. Con ello se busca aportar a la sostenibilidad operativa, fomentar la innovación en la cadena logística y contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente en lo relacionado con la producción y el consumo responsables.

Justificación

La gestión eficiente de los recursos dentro de la cadena logística constituye un factor determinante para la sostenibilidad de los procesos industriales, en este sentido, los zunchos plásticos, empleados masivamente como elementos de aseguramiento en operaciones de embalaje y transporte, representan un material crítico por su doble naturaleza: por un lado, son insumos indispensables para garantizar la integridad de las cargas; y por otro, al ser descartados tras su uso, generan desperdicios sin aprovechamiento ni valorización, ocasionando pérdidas económicas y pasivos ambientales que afectan tanto la eficiencia operativa como el entorno.

En el contexto de SERTEBA, empresa dedicada al procesamiento y exportación de banano, esta problemática se evidencia en el proceso de remonte de pallets, donde se cortan los zunchos originales para ajustar los esquineros y completar la cantidad de cajas requeridas por el cliente, generando así un volumen considerable de residuos plásticos debido a que actualmente no cuenta con un procedimiento estandarizado de recolección o aprovechamiento. Cabe resaltar que el desarrollo de una metodología para el aprovechamiento de los zunchos plásticos aporta valor en tres dimensiones:

- Técnica, porque ofrece una herramienta estructurada que permite diagnosticar, planificar y mejorar el proceso de gestión de residuos plásticos dentro de la cadena logística.
- Económica, al propiciar la reducción de costos ocultos asociados a la disposición ineficiente y permitir la valorización de un material que puede ser reutilizado o reciclado.
- Ambiental y social, al contribuir a la reducción del impacto por contaminación plástica y al fortalecimiento de prácticas responsables alineadas con los principios de la logística verde y la economía circular.

En el plano académico, la propuesta es relevante porque permite aplicar los conocimientos adquiridos en el programa de tecnología en logística industrial a un caso real, promoviendo el análisis crítico, la innovación metodológica y la integración de herramientas de mejora continua. De esta manera, el proyecto contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 12 (Producción y consumo responsables) y el ODS 13 (Acción por el clima), consolidándose como una iniciativa de valor técnico, ambiental y formativo que responde a una necesidad concreta de la empresa y del sector.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un modelo logístico para el aprovechamiento de los zunchos plásticos generados durante el proceso de remonte en SERTEBA, orientada a optimizar su recolección, clasificación y valorización bajo principios de logística inversa, economía circular y mejora continua.

Objetivos Específicos

Diagnosticar el flujo actual de uso y disposición de los zunchos plásticos generados en el proceso de remonte de pallets en SERTEBA, identificando las etapas donde se produce el desperdicio y sus causas principales.

Analizar los puntos críticos y las oportunidades de mejora en la gestión post-consumo de los zunchos plásticos, considerando criterios operativos, ambientales y de sostenibilidad logística.

Estructurar la metodología logística para la recolección, clasificación y valorización de los zunchos plásticos, definiendo fases, actividades, recursos e indicadores de desempeño.

Documentar y validar la metodología propuesta como herramienta de mejora continua, asegurando su aplicabilidad y posibilidad de réplica en empresas del sector logístico e industrial.

Marco Conceptual

La claridad conceptual es un requisito indispensable para garantizar que los procesos logísticos y ambientales se comprendan, ejecuten y evalúen de manera uniforme, por lo que, en este contexto, la definición precisa de los términos no debe verse como un simple formalismo, sino como una herramienta que fortalece la coherencia técnica y facilita la aplicación práctica del proyecto. En este sentido, el manejo del zunchos plástico post-consumo implica el uso de conceptos propios de la cadena de suministro, la economía circular, la logística inversa y los sistemas de mejora continua, los cuales orientan la construcción de un modelo de gestión alineado con la sostenibilidad y la eficiencia operativa. Por lo tanto, a continuación, se presentan las definiciones clave que enmarcan este estudio y sirven como base para el desarrollo de la metodología propuesta.

Logística: Conjunto de actividades orientadas a planificar, implementar y controlar de manera eficiente y sostenible el flujo de bienes, servicios e información desde el punto de origen hasta el punto de consumo, garantizando el cumplimiento de los requerimientos del cliente y la optimización de los recursos (Council of Supply Chain Management Professionals [CSCMP], 2023). En el contexto industrial, la logística comprende el embalaje, transporte, almacenamiento, distribución y disposición final de materiales, como los zunchos plásticos utilizados en procesos de aseguramiento de carga.

Cadena de Suministro: La cadena de suministro es una red integrada de organizaciones, personas, actividades, información y recursos que intervienen en el flujo de productos, servicios y datos desde el punto de origen hasta el cliente final, incluyendo las etapas de retorno o valorización de materiales (CSCMP, 2023). Su gestión eficiente permite reducir desperdicios,

optimizar recursos y generar valor añadido en todas las fases del ciclo logístico, incluyendo la postconsumo y la recuperación de materiales como los zunchos plásticos.

Layout Logístico: Disposición física estratégica de las áreas de trabajo, almacenamiento y circulación dentro de un entorno industrial, con el propósito de optimizar los flujos de materiales y minimizar desperdicios, tiempos improductivos y riesgos operativos (Richards, 2021). Un diseño adecuado del layout contribuye a mejorar la eficiencia, reducir movimientos innecesarios y prevenir acumulación de residuos o cuellos de botella logísticos.

Logística Inversa: Proceso que involucra la planificación, implementación y control eficiente del flujo de productos, materiales o información desde el punto de consumo hasta el punto de origen o valorización, con el objetivo de recuperar valor, reutilizar, reciclar o disponer responsablemente los materiales (Kumar & Chandrakar, 2022). Aplicada a los zunchos plásticos, permite establecer circuitos de recolección y retorno que faciliten su reincorporación al ciclo productivo o su canalización hacia procesos de reciclaje.

Economía Circular: Modelo de desarrollo sostenible que busca mantener el valor de los productos, materiales y recursos en el ciclo económico durante el mayor tiempo posible, reduciendo la generación de residuos mediante estrategias de reutilización, reciclaje y regeneración (Ellen MacArthur Foundation, 2019). Aplicada a la logística industrial, promueve la reincorporación de los zunchos plásticos al proceso productivo como insumo valorizable en lugar de desecharlos.

Ciclo de Vida del Producto (ACV): Metodología estandarizada internacionalmente que permite evaluar los impactos ambientales asociados a todas las etapas del ciclo de vida de un producto, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final (ISO 14040:2020). El análisis del ciclo de vida es una herramienta esencial para identificar puntos críticos donde

intervenir con estrategias de sostenibilidad, como la recuperación o valorización de los zunchos plásticos.

Gestión Ambiental: Conjunto de políticas, prácticas y acciones que permiten a una organización minimizar su impacto sobre el entorno natural y cumplir con la normativa ambiental vigente. En entornos industriales, incluye la gestión de residuos, consumo energético y emisiones (ISO, 2015).

ISO 14001:2015: Norma internacional que establece requisitos para implementar un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) en organizaciones. Su aplicación ayuda a identificar, controlar y reducir impactos ambientales de actividades como el transporte y disposición de residuos industriales.

Ley 2232 de 2022: Normativa colombiana que regula la producción y uso de plásticos de un solo uso, promoviendo su sustitución, reutilización o eliminación progresiva. Los zunchos plásticos, aunque no siempre están explícitamente listados, deben ser tratados bajo sus principios rectores (Minambiente, 2022).

Pasivo Ambiental: Consecuencia negativa acumulada en el ambiente derivada de la operación industrial, cuya mitigación o compensación requiere recursos futuros. La acumulación no controlada de zunchos representa un pasivo de este tipo.

Residuos Sólidos Industriales (RSI): Materiales generados en los procesos productivos que no tienen un uso inmediato y son descartados. Incluyen empaques, recortes, zunchos, entre otros. Su correcta clasificación y valorización es parte integral del desempeño industrial (UNEP, 2020).

Valorización de Residuos: Proceso mediante el cual los residuos adquieren valor económico, energético o material a través de su reutilización, reciclaje o transformación. En el caso de los zunchos, puede realizarse mediante acopio, limpieza y venta a recicladores.

Residuos Aprovechables: Materiales que, pese a haber sido descartados, conservan características que les permiten ser reutilizados o reciclados. En la práctica, muchos zunchos post-consumo son desechados sin siquiera evaluar su condición física.

Microplásticos: Fragmentos de plástico menores a 5 milímetros, originados por la degradación de materiales plásticos mayores o por el uso directo de partículas primarias, estos contaminantes son persistentes y de difícil eliminación, representando una amenaza significativa para los ecosistemas acuáticos y terrestres (UNEP, 2021). En el caso de los zunchos plásticos, su fragmentación durante la disposición inadecuada contribuye a la formación de microplásticos, afectando suelos y cuerpos hídricos.

Mejora continua (Kaizen): Filosofía de gestión que promueve la optimización progresiva de los procesos mediante la participación activa del personal y la realización de pequeños cambios incrementales que generen mejoras sostenibles en el tiempo (Liker & Franz, 2021). En el ámbito logístico, el enfoque Kaizen permite rediseñar procesos de manejo de materiales para incluir prácticas de recuperación y aprovechamiento de residuos.

Ciclo PHVA (PDCA): Metodología de mejora continua que orienta el diseño, ejecución y seguimiento de procesos organizacionales, asegurando la eficacia y sostenibilidad de las acciones implementadas (ISO 9001:2015; ISO 14001:2018). En el contexto logístico, su aplicación permite estructurar y evaluar de forma sistemática los procedimientos para la recuperación y valorización de los zunchos plásticos.

Costos Ocultos: Son aquellos costos indirectos o no visibles en los registros contables tradicionales que afectan la rentabilidad operativa de la empresa, tales como pérdidas de materiales, reprocesos, tiempos improductivos o uso ineficiente del espacio (Harrington & Voehl, 2022). En el contexto de los zunchos plásticos, estos costos se manifiestan en el desperdicio de insumos, sobrecostos en disposición y pérdida de oportunidades de valorización.

Sostenibilidad Empresarial: Capacidad de una organización para generar valor económico y social a largo plazo, operando de manera responsable con el medio ambiente y los recursos naturales (World Economic Forum, 2023). Implica integrar prácticas de eficiencia operativa, innovación y compromiso ambiental dentro de la estrategia corporativa, garantizando equilibrio entre rentabilidad, bienestar social y protección del entorno.

Reputación Ambiental: Percepción que tienen los grupos de interés (clientes, comunidad, autoridades) sobre el comportamiento ambiental de una organización. Una mala gestión de residuos puede traducirse en pérdida de confianza, licencias o acceso a mercados verdes.

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Agenda global adoptada por Naciones Unidas que incluye metas para la producción y consumo responsable (ODS 12) y acción por el clima (ODS 13). El reaprovechamiento del zuncho plástico contribuye directamente a ambos objetivos (ONU, 2015).

Marco Teórico

La comprensión técnica de los procesos logísticos exige un soporte teórico que permita interpretar las dinámicas, interacciones y retos presentes en la operación industrial, por lo que, en este contexto, la teoría no constituye un elemento abstracto, sino un fundamento esencial para orientar la toma de decisiones y el diseño de soluciones aplicadas. Por lo tanto, el estudio del desperdicio de zunchos plásticos, como residuo derivado de actividades logísticas, requiere apoyarse en enfoques consolidados que expliquen la gestión de materiales, la eficiencia de los flujos operativos y los modelos de aprovechamiento. En este sentido, a continuación, se presentan los principales aportes teóricos que sustentan este proyecto aplicado y permiten estructurar una propuesta coherente con las demandas actuales de la logística industrial:

La Logística y la Cadena de Suministro en la Industria

Importancia de la Logística Industrial en la Eficiencia Operativa

La logística industrial constituye un componente esencial de la Ingeniería Industrial, al permitir la planificación, ejecución y control eficiente de los flujos de bienes, servicios e información desde el punto de origen hasta el consumidor final, esta función transversal tiene un impacto directo en la eficiencia, productividad y sostenibilidad de los sistemas productivos (Ballou, 2004). Su alcance se extiende desde el abastecimiento de insumos hasta la entrega del producto final, integrando procesos como almacenamiento, embalaje, transporte, gestión de inventarios y disposición de residuos.

Desde una visión sistémica, una operación logística bien estructurada permite reducir tiempos de ciclo, eliminar desperdicios, optimizar espacios físicos y aumentar la trazabilidad de materiales. En este sentido, la Ingeniería Industrial se convierte en una disciplina clave para diagnosticar los flujos internos y externos de materiales, implementar herramientas de mejora

continúa y rediseñar layouts que favorezcan el movimiento eficiente de recursos (Tompkins et al., 2010).

Logística Convencional versus Logística Sostenible

Tradicionalmente, la logística se enfocaba en lograr objetivos de productividad mediante la reducción de costos y tiempos, no obstante, el contexto actual exige que esta disciplina evolucione hacia un enfoque más amplio: la logística sostenible, la cual incorpora criterios ambientales, económicos y sociales (Sarkis, 2012). Este nuevo paradigma no solo busca transportar materiales eficientemente, sino hacerlo de manera responsable, minimizando el impacto ambiental generado por el consumo de recursos y la generación de residuos.

La inclusión de materiales como el zuncho plástico en este enfoque sostenible obliga a las organizaciones a rediseñar sus procesos logísticos internos, esto incluye su recolección sistemática, clasificación según estado físico y composición, evaluación de condiciones de reutilización y disposición a través de rutas responsables.

Logística Interna: Flujos de Materiales y Aprovechamiento de Residuos

Un componente crítico —pero a menudo subestimado— de la logística industrial es la logística interna, que gestiona los movimientos de materiales dentro de la empresa, desde la recepción hasta el despacho. La manera en que estos flujos son diseñados influye directamente en la eficiencia global del sistema productivo, ya que cuando materiales como los zunchos plásticos no están contemplados en el flujo de materiales, se generan cuellos de botella, desorganización y acumulación de residuos sin trazabilidad. Desde la Ingeniería Industrial, este problema puede abordarse a través de metodologías como:

- Diseño de layouts eficientes, que incorporen estaciones de acopio y recuperación de materiales valorizables.

- Estandarización de procedimientos operativos, incluyendo formatos para la identificación, recolección y clasificación del zunchos.
- Implementación de indicadores clave de desempeño (KPI) relacionados con la gestión de residuos y la eficiencia del flujo interno.
- Análisis de costos ocultos, especialmente aquellos relacionados con espacio desaprovechado, retrabajo y tiempo improductivo (Niebel & Freivalds, 2003).

Gestión de Residuos Sólidos Industriales: Enfoque Estratégico

Los residuos sólidos industriales (RSI) son todos aquellos materiales resultantes de actividades de transformación, manufactura, embalaje, transporte o mantenimiento en contextos productivos, que han perdido su funcionalidad directa en el proceso y, por tanto, requieren una disposición, tratamiento o valorización adecuada (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente], 2022), en este grupo se incluyen elementos como empaques, recortes de materia prima, envases, residuos de mantenimiento y materiales de embalaje, entre ellos, los zunchos plásticos post-consumo.

Desde la Ingeniería Industrial, los RSI no deben interpretarse únicamente como desechos, sino como flujos residuales dentro del sistema logístico y productivo, cuya adecuada gestión influye directamente en la eficiencia operativa, los costos ocultos, el cumplimiento normativo y el desempeño ambiental de la organización (Niebel & Freivalds, 2003). Por lo tanto, el análisis, clasificación, trazabilidad y valorización de estos residuos son tareas fundamentales para mantener la coherencia de los procesos con los principios de mejora continua y sostenibilidad.

Zunchos Plásticos: Propiedades, Usos y Retos Post-Consumo

Caracterización Técnica del Zuncho Plástico

El zuncho plástico es un insumo ampliamente utilizado en procesos industriales y logísticos, cuya función principal es el aseguramiento de la carga mediante sujeción perimetral a productos, cajas, estibas o bultos durante su almacenamiento, transporte o distribución. Se fabrica principalmente a partir de polipropileno (PP) o tereftalato de polietileno (PET), dos polímeros de alto rendimiento que destacan por su resistencia a la tracción, bajo peso, flexibilidad, y tolerancia térmica y química (Tompkins et al., 2010), entre las propiedades físico-mecánicas más valoradas del zuncho plástico se encuentran:

- Alta resistencia específica (relación resistencia/peso), ideal para contener productos pesados sin añadir carga adicional.
- Elasticidad controlada, que permite absorber vibraciones o desplazamientos durante el transporte.
- Compatibilidad con herramientas mecánicas o automáticas, lo que facilita su integración en líneas de embalaje automatizadas.

Además, es un material con bajo costo de producción, lo cual lo hace muy atractivo para empresas con altos volúmenes de distribución, consolidando su uso en sectores como el agroindustrial, farmacéutico, alimentario, manufacturero, metalmecánico, entre otros (Ballou, 2004).

Función Logística y Uso Operativo

En el contexto logístico, los zunchos se consideran elementos auxiliares, es decir, insumos que no forman parte del producto final, pero que son críticos para garantizar su integridad durante las etapas de manipulación y transporte, en este sentido, cumplen una función

similar a la del stretch film, fleje metálico o bandas de seguridad, pero con ventajas adicionales como mayor ergonomía para el operario, reducción del riesgo de cortes o accidentes, facilidad de almacenamiento y transporte y alta adaptabilidad a cargas de diversas formas y dimensiones. No obstante, a pesar de estas cualidades, los zunchos plásticos son tratados usualmente como material de un solo uso, sin protocolos de recuperación ni evaluación de su condición posterior al uso, esta práctica, ampliamente extendida, refleja una falla sistémica en la gestión del ciclo de vida de los materiales logísticos.

Potencial de Valorización del Zuncho Plástico

A pesar de que su uso se limita comúnmente a una sola operación, numerosos estudios y experiencias industriales demuestran que el zuncho plástico posee un alto potencial de valorización, tanto en términos de reutilización directa como de reciclaje mecánico o químico:

- Reutilización interna en entregas secundarias, procesos internos, transporte intraplanta o aseguramiento de materiales no sensibles.
- Reutilización externa en convenios con proveedores, clientes u operadores logísticos que acepten retornos del insumo.
- Reciclaje mediante la clasificación por tipo de polímero, limpieza y reprocesamiento para generación de pellets reutilizables.

De acuerdo con cifras de la Asociación Nacional de Recicladores de Colombia (ANR), el PET y el PP reciclado pueden alcanzar precios entre \$300 y \$800 COP por kilogramo, dependiendo de su calidad, lo que convierte al zuncho en un activo potencialmente monetizable si se gestiona adecuadamente (MinAmbiente, 2022)..

Logística Inversa y Economía Circular: Modelos de Valorización

Logística Inversa: Definición, Procesos y Beneficios

La logística inversa se define como el conjunto de procesos relacionados con la planificación, implementación y control eficiente del flujo de materiales desde el punto de consumo hasta el punto de origen, con el propósito de recuperar valor o realizar una disposición ambientalmente adecuada (Rogers & Tibben-Lembke, 1998), sus objetivos incluyen recuperar productos y materiales valorizables, generar ingresos a través del reciclaje o reutilización, reducir el impacto ambiental de los residuos y cumplir con normativas ambientales o compromisos corporativos. Cabe resaltar que el proceso de logística inversa típicamente incluye:

- Recolección del material post-consumo (como zunchos plásticos) en puntos específicos del proceso.
- Clasificación y segregación, según el tipo de polímero, estado físico o posibilidad de reaprovechamiento.
- Consolidación y transporte hacia estaciones de reciclaje, reutilización o disposición final.
- Seguimiento e indicadores, que permiten medir la eficiencia del proceso y su rentabilidad.

Economía Circular: Principios y Aplicación Industrial

La economía circular es un modelo de producción y consumo que busca mantener el valor de los productos, materiales y recursos durante el mayor tiempo posible, reduciendo al mínimo la generación de residuos (Ellen MacArthur Foundation, 2013). A diferencia del modelo lineal tradicional (extraer, producir, usar y desechar), la economía circular se basa en:

- Diseñar sin residuos desde la concepción del producto.

- Mantener productos y materiales en uso mediante reparación, reacondicionamiento, reutilización o reciclaje.
- Regenerar los sistemas naturales mediante la disminución de impactos negativos.

En entornos industriales, su implementación requiere diagnóstico del ciclo de vida de los insumos, rediseño de procesos y aplicación de tecnologías que faciliten la circularidad de materiales, por lo tanto, el zuncho plástico post-consumo es un caso claro de flujo que puede reinsertarse al sistema mediante mecanismos de recolección, reacondicionamiento o reciclaje, contribuyendo así a la reducción de residuos sólidos industriales, la disminución del consumo de materias primas vírgenes, la optimización del layout al reducir acumulación de desperdicios y la generación de valor económico a partir de materiales recuperados.

Marco Legal

La sostenibilidad empresarial ya no es una opción, sino una obligación técnica, ética y legal, por lo que, en este contexto, el cumplimiento normativo no debe entenderse como una barrera, sino como un marco de referencia que permite alinear los procesos industriales con los principios de protección ambiental, eficiencia operativa y responsabilidad social. El caso particular de los residuos plásticos de uso logístico, como los zunchos post-consumo, representa una oportunidad para rediseñar procesos bajo un enfoque regulado, trazable y medible, por lo tanto, a continuación, se describe el marco legal vigente que rige la gestión de residuos valorizables:

Ley 2232 de 2022 (Prohibición de Plásticos de un Solo Uso). Esta ley establece la prohibición progresiva del uso de plásticos de un solo uso en Colombia, sin embargo, aunque los zunchos plásticos no están explícitamente prohibidos, por su bajo nivel de reutilización y reciclabilidad efectiva, quedan bajo vigilancia normativa. La ley promueve la sustitución por materiales sostenibles, la responsabilidad extendida del productor y la adopción de procesos de logística inversa.

Resolución 1407 de 2018 (Gestión de Envases y Empaques). Esta resolución fue emitida por el Ministerio de Ambiente, la cual regula la gestión de residuos de envases y empaques, incluyendo plásticos como el PET y el PP (materiales comunes en los zunchos), y exige la formulación de Planes de Gestión Ambiental Empresarial, el cumplimiento de metas anuales de recuperación y reciclaje y la trazabilidad del flujo de residuos y el reporte de su aprovechamiento.

Decreto 1076 de 2015 (Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente). Este decreto compila la normatividad ambiental vigente, por lo cual establece que los residuos deben

ser gestionados bajo el principio de jerarquía (reducir, reutilizar, reciclar, disponer), toda empresa generadora debe demostrar trazabilidad de residuos y las acciones de mitigación deben ser medibles y documentadas. Además, este decreto habilita la aplicación de procedimientos internos de control, capacitación al personal, y seguimiento mediante indicadores, todo lo cual está previsto en el diseño del proyecto.

Planteamiento del Problema

En la industria bananera, la logística desempeña un papel esencial para garantizar la eficiencia operativa, la calidad del producto y el cumplimiento de los compromisos de exportación, por lo tanto, dentro de este proceso, el embalaje y aseguramiento de las cargas es una etapa crítica que busca proteger las cajas de banano durante su transporte. En dicha labor, los zunchos plásticos, elaborados principalmente en polipropileno (PP) o poliéster (PET), cumplen una función indispensable gracias a su resistencia y flexibilidad, no obstante, una vez cumplen su propósito, suelen ser cortados y desechados sin un manejo adecuado, convirtiéndose en un residuo que genera impactos tanto económicos como ambientales.

En la empresa SERTEBA, dedicada al procesamiento y exportación de banano, esta problemática se evidencia con mayor frecuencia durante el proceso de remonte de pallets, etapa en la cual se ajustan las cargas provenientes de las fincas para cumplir con los pedidos de los clientes internacionales, durante este procedimiento es necesario cortar los zunchos originales ya sea para extender los esquineros y agregar cajas adicionales que completen el embarque o para desarmar el pallet y redistribuir las cajas, como resultado, se generan residuos plásticos que actualmente no cuentan con un protocolo definido para su recolección, clasificación o valorización, lo que provoca un desaprovechamiento constante de este material.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede inferir que se refleja una debilidad dentro del sistema logístico de la empresa, ya que los zunchos desechados representan pérdida de material reutilizable, costos ocultos asociados a su disposición y ocupación innecesaria de espacio operativo, además, el manejo inadecuado de estos residuos contribuye a la contaminación ambiental al aumentar la presencia de plásticos no biodegradables que, con el tiempo, pueden fragmentarse y generar microplásticos perjudiciales para el entorno.

En este sentido, aunque SERTEBA ha incorporado prácticas orientadas a la eficiencia y la sostenibilidad, aún carece de una metodología formal que permita gestionar los zunchos plásticos bajo un enfoque integral de logística inversa, economía circular y mejora continua, por lo tanto, el presente trabajo de grado parte de la siguiente pregunta problema:

¿Cómo diseñar un modelo logístico que permita optimizar la recolección, clasificación y valorización de los zunchos plásticos generados durante el proceso de remonte en la empresa SERTEBA, bajo los principios de logística inversa, economía circular y mejora continua?

Responder esta pregunta sirve como guía práctica para la gestión sostenible de los zunchos plásticos, promoviendo la reducción de residuos, el aprovechamiento de materiales y la consolidación de procesos más eficientes y responsables, con lo cual se pretende aportar al fortalecimiento de la sostenibilidad operativa de la empresa y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 12 (Producción y consumo responsables) y el ODS 13 (Acción por el clima).

Cabe resaltar que el uso extensivo de zunchos plásticos en la operación logística de las organizaciones industriales es una práctica ampliamente adoptada por su bajo costo, resistencia y facilidad de uso para el aseguramiento de cargas en procesos de embalaje, transporte y almacenamiento (Tompkins et al., 2010), sin embargo, una vez cumplida su función primaria, estos elementos se convierten en residuos sin destino específico, lo cual genera una problemática estructural de doble impacto: ambiental y económico.

Desde la óptica de la Ingeniería Industrial, el manejo eficiente de los residuos dentro del flujo logístico debe responder no solo a criterios de cumplimiento normativo, sino también a principios de valor agregado, eficiencia operativa y sostenibilidad (Sarkis, 2012), por lo que al

ignorar el potencial de valorización del zuncho post-uso representa una pérdida sistémica, tanto en términos de recursos como de oportunidad estratégica.

Impacto Ambiental

Los zunchos plásticos, comúnmente fabricados en polipropileno (PP) o tereftalato de polietileno (PET), son polímeros que destacan por su alta resistencia mecánica y durabilidad, sin embargo, esta misma propiedad implica una baja o nula biodegradabilidad, lo cual los convierte en un residuo persistente cuando no se implementan políticas de reaprovechamiento o reciclaje. En ausencia de dichas estrategias, estos materiales son desechados como residuos comunes, finalizando su ciclo en rellenos sanitarios, quemas no controladas o espacios abiertos, lo que conlleva consecuencias ambientales significativas:

- Contribuyen de forma directa al incremento del volumen de residuos sólidos industriales.
- Aceleran la saturación y disminuyen la vida útil de los sistemas de disposición final.
- Genera pasivos ambientales invisibles, difíciles de rastrear pero persistentes en el tiempo.

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2020), cerca del 79 % del plástico producido desde la década de 1950 ha terminado en vertederos o disperso en el entorno natural, mientras que solo el 9 % ha sido reciclado de forma efectiva, este dato evidencia la urgencia de intervenir flujos como el del zuncho plástico, especialmente en entornos industriales con operaciones logísticas de gran volumen, donde su uso es intensivo y constante.

Se debe tener en cuenta que una vez expuestos a condiciones externas como luz solar, humedad o fricción mecánica, los zunchos plásticos tienden a fragmentarse en partículas microscópicas, conocidas como microplásticos (menos de 5 mm de diámetro), las cuales tienen la capacidad de:

- Infiltrarse en sistemas acuáticos, alterando los ecosistemas y afectando tanto fauna como flora.
- Acumularse en los tejidos biológicos de los organismos, ascendiendo a través de la cadena trófica.
- Actuar como vectores de contaminantes químicos, con potenciales efectos hormonales, neurológicos y reproductivos en especies acuáticas y terrestres (Ellen MacArthur Foundation, 2016).

Desde la perspectiva del análisis de ciclo de vida (ACV), cada producto o insumo debe ser evaluado en todas sus etapas, desde la extracción de materia prima hasta su disposición final, por lo tanto, al desechar los zunchos tras un solo uso, se rompe este principio, generando un modelo lineal insostenible. La ISO 14040:2006 plantea que las organizaciones deben identificar puntos críticos del ciclo de vida donde puedan intervenir para reducir impactos, en este caso, el zuncho post-consumo representa un punto claramente intervenible mediante estrategias de reutilización, reciclaje o sustitución, por lo que al ignorar estas oportunidades implica desalinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 12: Producción y consumo responsables, y el ODS 13: Acción por el clima (Naciones Unidas, 2015).

Adicionalmente, el manejo ineficiente del zuncho implica una ampliación innecesaria de la huella ecológica de la organización, que se manifiesta en los siguientes aspectos:

- Consumo energético adicional, derivado de actividades relacionadas con el transporte, manipulación y disposición de residuos no valorizados.
- Emisiones indirectas de CO₂, asociadas a procesos como la compactación, almacenamiento y movimientos internos repetitivos.

- Ocupación de espacio físico operativo, generando pérdidas en eficiencia espacial y afectando el diseño del layout logístico.

Para organizaciones que aspiran a certificarse bajo estándares como la ISO 14001:2015 o sistemas de gestión ambiental orientados a resultados medibles en sostenibilidad, esta situación representa un retroceso técnico y estratégico, al evidenciar debilidades en la gestión de recursos, el control de impactos y la implementación de prácticas circulares.

En consecuencia, abordar el desaprovechamiento de los zunchos plásticos desde un enfoque integral no solo representa una responsabilidad ambiental, sino también una oportunidad estratégica para las organizaciones industriales, lo cual implica rediseñar procesos logísticos, optimizar el uso de recursos, y aplicar herramientas como la logística inversa, la mejora continua y el análisis de ciclo de vida, para transformar un pasivo ambiental en una fuente de valor, por lo tanto, la transición hacia modelos circulares y sostenibles no solo contribuye al cumplimiento normativo, sino que fortalece la competitividad y resiliencia de las empresas frente a las exigencias del entorno actual.

Impacto Económico

El zuncho plástico, aunque posee un bajo costo unitario, representa una inversión acumulada considerable en operaciones logísticas de alto volumen, sin embargo, al ser descartado sin ningún tipo de reaprovechamiento, la organización incurre en diversas pérdidas económicas que, si bien pueden pasar desapercibidas, afectan directamente su eficiencia y rentabilidad:

- Pérdida de valor de materiales reutilizables, ya que muchos zunchos podrían emplearse nuevamente en procesos no críticos, como entregas internas o aseguramiento de cargas ligeras.

- Desaprovechamiento de recursos reciclables, considerando que existen recicladores que compran zunchos de PET o PP a precios que oscilan entre \$300 y \$800 COP/kg, según su estado y clasificación.
- Falta de visibilidad del gasto acumulado en material desechado, puesto que, al no ser medido ni controlado, este flujo de residuos permanece oculto en los sistemas contables y de costos.

Desde la perspectiva de la economía circular, los residuos deben ser gestionados como recursos con valor potencial (Ellen MacArthur Foundation, 2013), por lo que al no adoptar este enfoque implica renunciar a oportunidades de reinversión y eficiencia operativa. Además, el manejo desorganizado de residuos como el zuncho desencadena una cascada de ineficiencias logísticas que impacta directamente en los recursos y el desempeño:

- Retrabajos derivados de la acumulación desordenada del material.
- Tiempo improductivo del personal, al dedicar esfuerzos a labores no programadas de limpieza o reubicación.
- Incremento en las labores de mantenimiento, especialmente en áreas de tránsito o almacenamiento.
- Saturación de espacios operativos, lo que interfiere con el flujo eficiente de materiales y personas.

Los costos enunciados anteriormente, aunque muchas veces no aparecen reflejados explícitamente en los reportes financieros, afectan indicadores clave de rendimiento como el Throughput, el OEE (Overall Equipment Effectiveness) y el Lead Time, fundamentales en la medición de la eficiencia de sistemas logísticos (Gitlow et al., 2015; Niebel & Freivalds, 2003).

En términos normativos, el problema también implica riesgos legales, ya que la Ley 2232 de 2022, que regula progresivamente el uso y la gestión de plásticos de un solo uso en Colombia, establece sanciones para las organizaciones que no demuestren prácticas de manejo adecuado, tales como:

- Multas económicas que pueden ir de 5 a 50 salarios mínimos mensuales legales vigentes (SMMLV).
- Suspensión temporal de operaciones.
- Pérdida de certificaciones ambientales o de calidad ante organismos de control.

Además, el incumplimiento de compromisos ambientales puede afectar la posición competitiva de la organización, ya que muchas licitaciones públicas, contratos corporativos e iniciativas de comercio internacional exigen estándares mínimos de sostenibilidad (Sarkis, 2012). Cabe resaltar que el impacto económico también se manifiesta en el ámbito intangible, relacionado con la percepción del mercado y la reputación empresarial, en este sentido, una organización que no gestione adecuadamente sus residuos puede enfrentar:

- Campañas sociales de presión o boicot por parte de grupos ambientalistas o comunidades locales.
- Pérdida de certificaciones voluntarias, como ISO 14001, Carbon Neutral o Sellos Verdes.
- Deserción de clientes clave, especialmente aquellos comprometidos con prácticas responsables y cadenas de suministro sostenibles.

Según la OCDE (2005), tanto los consumidores industriales como los finales están incorporando cada vez más criterios ambientales, sociales y éticos en sus decisiones de compra, lo que convierte la gestión de residuos en un factor estratégico de competitividad, por lo tanto, el

no demostrar un compromiso serio con la sostenibilidad puede traducirse en una pérdida directa de participación de mercado y una disminución en el valor percibido de la marca.

En definitiva, el desaprovechamiento de los zunchos plásticos no solo representa una pérdida material evidente, sino también una vulnerabilidad estratégica para la organización, en este sentido, esta problemática requiere ser abordada con herramientas de análisis de procesos, gestión de costos ocultos, mejora continua y logística inversa, con el fin de rediseñar los flujos de materiales, minimizar desperdicios, y transformar una fuente de ineficiencia en una ventaja competitiva sostenible y medible.

Diagnóstico

En la empresa SERTEBA, dedicada al procesamiento y exportación de banano, las operaciones logísticas son determinantes para garantizar la calidad del producto y el cumplimiento de los compromisos comerciales internacionales, cabe resaltar que dentro de estas operaciones, el proceso de remonte de pallets cumple una función esencial, ya que permite ajustar las cargas provenientes de las fincas productoras para completar los volúmenes requeridos por los clientes. Sin embargo, en esta etapa también se origina una situación crítica que impacta la eficiencia y sostenibilidad del proceso: el desperdicio de zunchos plásticos, ya que, durante el remonte, los zunchos que aseguran las cajas superiores de los pallets deben ser cortados para extender los esquineros o incorporar cajas adicionales, por lo que, este procedimiento, aunque operativo y necesario para cumplir con las especificaciones del cliente, genera un volumen significativo de residuos plásticos que no cuentan con una gestión posterior.

Cabe resaltar que los zunchos desechados, fabricados principalmente en polipropileno (PP) o poliéster (PET), son materiales de alta durabilidad que conservan su integridad estructural tras su uso inicial, lo que significa que podrían ser reutilizados o reciclados, sin embargo, la ausencia de un proceso estandarizado para su recolección, clasificación o valorización provoca que terminen acumulándose o desechándose sin ningún tipo de aprovechamiento, lo cual no solo representa una pérdida económica derivada del desaprovechamiento de un recurso potencialmente reutilizable, sino también un impacto ambiental relevante, al incrementar la generación de residuos plásticos no biodegradables, ya que estos, con el tiempo, pueden fragmentarse y transformarse en microplásticos que afectan el entorno natural y generan pasivos ambientales difíciles de revertir. Adicionalmente, la falta de control sobre el volumen de

desperdicio impide que la empresa cuantifique los costos ocultos asociados al manejo ineficiente del material y dificulta la toma de decisiones orientadas a la sostenibilidad operativa.

Con el propósito de identificar las causas raíz de esta problemática, se aplicó la herramienta Ishikawa o Diagrama de Causa-Efecto, la cual es ampliamente utilizada en el ámbito logístico e industrial para representar de manera estructurada los factores que inciden en un problema, ya que esta metodología permite visualizar las relaciones entre las posibles causas que originan el desperdicio de zunchos plásticos, agrupándolas en seis categorías principales: método, mano de obra, maquinaria, materiales, medio ambiente y medición, de esta forma, el análisis busca comprender de manera integral los elementos técnicos, humanos y organizacionales que intervienen en la situación actual como se muestra a continuación:

Método

- Falta de procedimientos estandarizados para el manejo de zunchos post-consumo.
- Ausencia de protocolos de recolección, clasificación y almacenamiento temporal.
- No existen lineamientos para la segregación y aprovechamiento del material reutilizable.
- Comunicación limitada entre las áreas de logística y sostenibilidad sobre el manejo de residuos.

Mano de Obra

- Desconocimiento del personal operativo sobre prácticas de aprovechamiento de residuos.
- Falta de capacitación en manipulación eficiente y segura de zunchos.
- Cortes inadecuados que dañan el material y reducen su posibilidad de reutilización.
- Baja sensibilización ambiental y escaso compromiso con la sostenibilidad.

Maquinaria

- Uso de herramientas de corte no apropiadas que deterioran los zunchos.

- Inexistencia de equipos para compactar o almacenar el material aprovechable.
- Carencia de estaciones o puntos de acopio designados dentro del área operativa.
- Limitaciones técnicas en la infraestructura para la recolección y transporte interno de residuos.

Materiales

- Variabilidad en la calidad del zuncho suministrado por los proveedores.
- Falta de diferenciación entre materiales PP y PET para su posterior clasificación.
- Deterioro del zuncho reutilizable por exposición a condiciones inadecuadas de almacenamiento.
- Desconocimiento del potencial de valorización y venta del material plástico.

Medio Ambiente

- Espacios físicos insuficientes para el acopio ordenado de residuos valorizables.
- Condiciones de humedad o calor que degradan el material almacenado.
- Acumulación de residuos en zonas de tránsito que dificultan la operación.
- Ausencia de medidas para evitar la dispersión del plástico en áreas externas.

Medición y Control

- No se registran los volúmenes de zuncho desechado ni su destino final.
- Falta de indicadores que evalúen la eficiencia del proceso de aprovechamiento.
- Escaso seguimiento de las acciones correctivas o de mejora implementadas.
- Inexistencia de controles periódicos o auditorías internas sobre la gestión de residuos plásticos.

Las posibles causas identificadas anteriormente, se representan de forma visual con el fin de mostrar la relación entre los diferentes factores que influyen en la generación del problema, lo

cual evidencia con claridad que la raíz del problema no se limita a un único elemento operativo, sino que responde a una interacción sistémica de causas de tipo técnico, humano y organizacional que afectan la sostenibilidad del proceso logístico.

Figura 1

Diagrama Ishikawa



Teniendo en cuenta lo anterior se puede inferir que la problemática identificada requiere una solución integral, centrada en la formulación de una metodología logística estructurada que permita optimizar la recolección, clasificación y valorización de los zunchos plásticos generados, ya que de esta manera, la empresa podrá transformar un residuo sin valor en un recurso aprovechable, reducir sus costos ocultos, mejorar la eficiencia de sus operaciones y fortalecer su compromiso con la sostenibilidad ambiental.

De igual manera, con el fin de dimensionar el impacto real del problema, se realizó una cuantificación del desperdicio de zunchos mediante la recolección de datos operativos en la

planta durante catorce semanas de observación, en las cuales se registró el número de pallets remontados, la cantidad promedio de zunchos cortados por pallet y el peso estimado del material desechado, lo que permitió proyectar la magnitud del desperdicio y analizar su incidencia en términos de material y costos ocultos como se muestra a continuación:

Tabla 1

Desperdicio de zunchos

Semana	Nro de pallets remontados	Total de zunchos desechados (Mts)	Peso estimado (Kg)	Costos asociados
15	32	208	4	29.947
16	114	741	16	106.688
17	117	761	16	109.495
18	101	657	14	94.522
19	127	826	17	118.854
20	113	735	15	105.752
21	101	657	14	94.522
22	118	767	16	110.431
23	133	865	18	124.469
24	134	871	18	125.405
25	89	579	12	83.291
26	115	748	16	107.624
27	124	806	17	116.046
28	110	715	15	102.944
Total	1.528	9.932	209	1.429.990

Los datos consolidados muestran que, en el periodo analizado, se remontaron 1.528 pallets, generando un total de 9.932 metros de zuncho desechado, equivalentes a 209 kg de residuo plástico, lo cual representa una cantidad significativa si se considera que el material utilizado es homogéneo y que cada metro descartado podría ser potencialmente reutilizado o valorizado si existiera un sistema adecuado de recolección y clasificación.

Desde el punto de vista económico, el desperdicio acumulado durante las 14 semanas alcanzó un costo aproximado de \$1.429.990 COP, lo que refleja un impacto directo en la eficiencia operativa y en los costos ocultos asociados a la falta de un mecanismo formal de aprovechamiento, asimismo, estos valores evidencian que el desperdicio no solo implica el deterioro de un recurso material, sino también una pérdida económica relevante para la organización.

Al relacionar esta información con los volúmenes de compra semanal, se identifica que los metros desechados equivalen, en promedio, al 14% de la cantidad total adquirida semanalmente, lo que confirma la existencia de un nivel de desperdicio considerable dentro del proceso. En este punto, al analizar el comportamiento de los datos registrados durante el periodo de estudio, se identifica que la generación de zuncho desechado mantiene una tendencia relativamente constante en función de la operación, lo cual permite inferir que el desperdicio no se origina en situaciones atípicas, sino que hace parte del desarrollo normal del proceso de remonte. Así mismo, la relación entre el número de pallets intervenidos y la cantidad de material descartado evidencia una proporcionalidad directa, lo que refuerza la necesidad de abordar el problema desde una perspectiva estructural y no únicamente correctiva, en este mismo sentido, cuando se analiza el impacto en términos de gasto, se determina que los costos asociados al

desperdicio representan cerca del 28% del valor total invertido en la compra del zuncho plástico por semana, reflejando una afectación económica innecesaria que podría reducirse significativamente mediante un modelo de gestión logística más eficiente.

Teniendo en cuenta los resultados mostrados anteriormente, se puede inferir que existe la necesidad de implementar un sistema estructurado de recolección, clasificación y valorización del zuncho plástico, tal como se define en el objetivo general del presente proyecto, ya que la cantidad de material desechado, junto con su impacto económico, confirma que existe un potencial importante para recuperar valor a través de estrategias de logística inversa y economía circular, reduciendo los costos, mejorando la eficiencia del proceso y disminuyendo los impactos ambientales asociados al consumo de plásticos no biodegradables.

Finalmente, bajo esta misma línea de análisis, se puede proyectar que, de mantenerse las condiciones actuales de operación, el volumen de zuncho desechado continuará incrementándose de manera proporcional al crecimiento de la actividad logística, generando un impacto acumulativo tanto en términos económicos como ambientales, por lo tanto, la problemática identificada no solo representa una situación actual, sino una tendencia que, de no ser intervenida, podría afectar de forma progresiva la eficiencia del sistema.

Diseño del Modelo Logístico

A partir de los resultados obtenidos en el diagnóstico, en los cuales se evidenció tanto el volumen de desperdicio generado como su comportamiento constante dentro del proceso de remonte, se hace necesario plantear una solución estructurada que permita intervenir esta situación de manera integral. En este contexto, el desarrollo de un modelo logístico para la gestión eficiente de los zunchos plásticos en la empresa SERTEBA surge como una respuesta orientada a optimizar su manejo, reducir pérdidas y reincorporar valor al material dentro de la operación, bajo un enfoque de sostenibilidad y mejora continua.

El modelo propuesto busca integrar de manera coherente los principios de logística inversa, economía circular y gestión por procesos, con el fin de transformar un residuo logístico en un recurso aprovechable. Por lo tanto, se adopta el enfoque metodológico del ciclo PHVA (Planificar–Hacer–Verificar–Actuar), que permite estructurar de forma ordenada las acciones requeridas para diseñar, implementar, evaluar y optimizar el sistema de gestión del zuncho plástico.

Estructura del Modelo Logístico Propuesto

El modelo logístico diseñado para la gestión eficiente de los zunchos plásticos en la empresa SERTEBA se desarrolla bajo el enfoque del ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar), adoptado como herramienta metodológica de mejora continua. Cabe resaltar que, este enfoque permite estructurar la propuesta de manera ordenada, garantizando que cada fase del proceso logístico incorpore elementos de planificación, ejecución, control y retroalimentación, por lo tanto, su aplicación busca no solo reducir el desperdicio del zuncho plástico, sino también instaurar una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad y la eficiencia operativa.

Cada etapa del modelo se adapta al contexto productivo y organizacional de SERTEBA, definiendo responsables, actividades, recursos, indicadores y resultados esperados, de forma que su implementación sea factible y medible en el tiempo.

Planificar (P): “Diagnóstico, Diseño y Planificación del Sistema”

Esta primera fase constituye la base del modelo, pues permite comprender el flujo actual del zuncho dentro de la operación logística y definir los mecanismos que orientarán su gestión sostenible, por lo tanto, su propósito es establecer una estructura organizacional y metodológica que permita identificar, controlar y valorizar los residuos plásticos generados durante el remonte.

Responsables principales: En esta fase se requiere la participación activa de las áreas estratégicas de la empresa, capaces de aportar conocimiento técnico, operativo y ambiental, estos se enuncian a continuación:

- Líder del proyecto (Jefe de Logística): Coordinar el diagnóstico y la planificación general.
- Coordinador de Operaciones: Facilitar la información del proceso productivo y los puntos de generación del residuo.
- Encargado de Sostenibilidad o Medio Ambiente: Será el encargado de la gestión ambiental y las opciones de aprovechamiento.
- Área de Calidad: Definir estándares y validar los procedimientos operativos.

Pasos a seguir: Durante la planificación se recopila información sobre los flujos de trabajo, se determinan los puntos críticos y se diseñan las rutas de mejora, por lo tanto, los pasos que se sugieren para completar esta etapa son los siguientes, los cuales se definen con base en los resultados del diagnóstico teniendo en cuenta la necesidad de estructurar el manejo del zuncho plástico y establecer lineamientos que permitan su aprovechamiento dentro del proceso:

- Realizar un diagnóstico del proceso a través del levantamiento del flujo logístico actual desde la recepción de pallets hasta la disposición final de zunchos, identificando los puntos críticos donde se genera desperdicio.
- Analizar el estado del zuncho plástico para su posterior clasificación y evaluación con el fin de determinar su potencial de reutilización o reciclaje.
- Definir el sistema de recolección delimitando el recorrido interno de los zunchos recolectados y estableciendo los puntos de acopio temporales en planta.
- Diseñar los procedimientos estándar (SOP) por medio de la documentación de las rutinas de recolección, clasificación y almacenamiento temporal, con tiempos, responsables y herramientas.
- Concretar la asignación de recursos definiendo los materiales necesarios (contenedores, etiquetas, balanza, registros) y los recursos humanos implicados.
- Definir los indicadores de desempeño (KPIs) estableciendo las métricas para medir la reducción del desperdicio, la cantidad valorizada y el ahorro económico generado.

Recursos requeridos: Para desarrollar esta fase se requiere información documental, espacios de análisis, herramientas de registro y recursos humanos capacitados, los cuales se describen a continuación:

- Formatos de diagnóstico.
- Mapas de proceso y diagramas de flujo.
- Equipos de medición y pesaje.
- Espacio físico designado para acopio temporal.
- Recipientes plásticos para acopio
- Apoyo administrativo y técnico del área de logística.

Resultados esperados: Esta etapa permitirá estructurar la base del sistema de gestión del zuncho plástico, generando:

- Diagnóstico técnico del flujo de zunchos y sus puntos críticos.
- Procedimientos estandarizados y documentados.
- Roles y responsabilidades asignadas formalmente.
- Indicadores definidos para medir avances y resultados.
- Plan de acción documentado

Cabe resaltar que esta fase permitirá establecer la estructura técnica y operativa del sistema, garantizando que el modelo se construya sobre información real y datos medibles del proceso logístico de SERTEBA, por lo tanto, finaliza con la aprobación del plan de acción por parte de la gerencia, asegurando el respaldo institucional para las etapas siguientes.

Etapa Hacer (H): Implementación y Ejecución Operativa

En esta fase se lleva a cabo la ejecución práctica del modelo, transformando la planificación en acciones concretas dentro de la planta, por lo tanto, su objetivo es operacionalizar los procedimientos definidos, garantizar la participación activa del personal y consolidar una dinámica de trabajo orientada al aprovechamiento del zuncho plástico.

Responsables principales: Los responsables de esta etapa garantizan la ejecución del modelo dentro del entorno real de la empresa, en este sentido, intervendrían los siguientes cargos, ya que la participación coordinada de estos actores permite que el sistema funcione de manera continua y controlada:

- Analistas de embalaje: Controlar la aplicación del procedimiento y registran la información diaria.

- Operarios logísticos: Ejecutar el corte, recolección y clasificación del material según su estado.
- Jefe de Logística: Supervisar la implementación y gestiona los recursos necesarios.
- Encargado de Sostenibilidad: Asegurar que el material sea manejado conforme a las políticas ambientales.

Pasos a seguir: La implementación requiere una ejecución ordenada, con participación activa del personal operativo, por lo que es importante desarrollar y ejecutar a cabalidad cada uno de los siguientes pasos:

- Instalar puntos de acopio señalizados cerca de las áreas de remonte, diferenciando los contenedores según el estado del zuncho (reutilizable o para reciclaje).
- Capacitar al personal operativo y de supervisión en las prácticas de recolección, manejo del material, técnicas de segregación y buenas prácticas ambientales.
- Socializar y divulgar de forma visual el procedimiento mediante señalización en áreas de trabajo.
- Implementar formatos de control diario donde se registre la cantidad de zunchos recuperados y su clasificación.
- Realizar el transporte interno del material hacia el punto de almacenamiento temporal.
- Coordinar con gestores externos para la recolección del zuncho destinado a reciclaje.

Cabe resaltar que, estos pasos responden a la necesidad de intervenir directamente los puntos del proceso donde se genera el desperdicio, permitiendo un manejo más controlado del material y facilitando su posterior aprovechamiento, de esta manera, se busca reducir la pérdida de zuncho plástico desde la operación misma.

Recursos requeridos: Los recursos que permiten ejecutar las tareas operativas con eficiencia y control son los siguientes:

- Contenedores o canecas codificadas por color.
- Señalización visual y carteleras informativas.
- Material de capacitación y fichas de control.
- Básculas digitales y registros de pesaje.
- Vehículo o montacargas para transporte interno.
- Espacio designado como punto central de acopio.

Resultados esperados: Al finalizar esta etapa, la empresa debe contar con:

- Un sistema de recolección y segregación en funcionamiento.
- Personal capacitado y comprometido con la sostenibilidad.
- Datos iniciales del volumen de zuncho recuperado.
- Reducción del desorden y acumulación de residuos en las áreas operativas.

En conclusión, el principal resultado será la implementación operativa del sistema de recolección y valorización, evidenciada en la reducción del desorden, la disponibilidad de datos de control y la participación activa del personal. Asimismo, se espera que los primeros registros muestren un incremento en el volumen de zuncho reutilizado o reciclado, confirmando la viabilidad del modelo.

Etapa Verificar (V): Seguimiento, Evaluación y Control

En esta fase se evalúa la efectividad del sistema implementado, a través del control de indicadores y auditorías internas con el fin de determinar si los objetivos de aprovechamiento se están cumpliendo y evaluar el impacto de las acciones implementadas, por medio de la identificación de las variaciones en la generación de desperdicio y en el nivel de

aprovechamiento del material, lo cual facilita la detección de oportunidades de mejora y la toma de decisiones basada en datos.

Responsables principales: Esta fase requiere la intervención de áreas con capacidad analítica y de control las cuales se enuncian a continuación:

- Área de Calidad: Liderar las auditorías internas y validar el cumplimiento de los procedimientos.
- Jefe de Logística: Analizar los indicadores de desempeño y reporta los resultados.
- Asistentes de Embalaje: Consolidar los datos semanales de recolección.
- Gerencia: Revisar los informes y aprueba las medidas correctivas o preventivas.

Pasos a seguir: El control se realiza de forma periódica para garantizar la continuidad del sistema.

- Consolidar los datos operativos registrados por el personal.
- Calcular los indicadores de desempeño, incluyendo el porcentaje de aprovechamiento y la reducción del desperdicio.
- Realizar auditorías internas periódicas en los puntos de acopio y almacenamiento.
- Evaluar la eficiencia del sistema y las condiciones del material recolectado.
- Elaborar los informes técnicos con los resultados y propuestas de mejora.
- Presentar informes técnicos con análisis comparativos y propuestas de mejora.

Recursos requeridos: La verificación se apoya en herramientas de control y análisis.

- Formatos de auditoría y hojas de cálculo.
- Software o sistemas de registro digital.
- Tiempo asignado para inspección y evaluación.
- Reuniones de retroalimentación con las áreas responsables.

Resultados esperados: Como resultado de esta etapa, la empresa obtendrá:

- Información precisa y verificable sobre el desempeño del modelo.
- Identificación de desviaciones o no conformidades.
- Propuestas de mejora técnica y operativa.
- Mayor control sobre la trazabilidad del zuncho recolectado y valorizado.

En este sentido, se espera obtener información precisa sobre la efectividad del modelo, con indicadores que reflejen mejoras tangibles en el aprovechamiento del material. Además, se identifican áreas críticas que requieren ajustes, se validan las buenas prácticas implementadas y se generan insumos para retroalimentar las siguientes fases del ciclo PHVA.

Etapa Actuar (A): Estandarización, Sostenibilidad y Mejora Continua

Esta última fase busca consolidar los logros del modelo y asegurar su integración permanente dentro del sistema logístico y ambiental de la empresa, por lo tanto, es la etapa donde se estandarizan las prácticas exitosas y se establecen mecanismos para mantener la mejora continua.

Responsables principales:

- Gerencia: Aprobar la formalización del modelo dentro de la política logística y ambiental.
- Área de Calidad: Actualizar los procedimientos e instructivos.
- Jefe de Logística: Supervisar la continuidad del modelo y coordinan su mejora.
- Recursos Humanos: Incluir la capacitación ambiental en los programas de formación.

Pasos a seguir: Para garantizar la sostenibilidad del modelo se deben ejecutar las siguientes acciones:

- Revisar y actualizar los procedimientos a partir de las lecciones aprendidas y los resultados verificados.
- Incorporar el modelo al sistema de gestión ambiental y logístico de la empresa.
- Fortalecer la cultura organizacional mediante capacitaciones periódicas.
- Formalizar alianzas externas con recicladores y entidades ambientales.
- Realizar auditorías de seguimiento semestrales para mantener la mejora continua.

Recursos requeridos: Los recursos para esta fase consolidan la institucionalización del modelo como se puede ver a continuación:

- Documentos oficiales del sistema de gestión.
- Material didáctico de capacitación.
- Herramientas tecnológicas de seguimiento.
- Acuerdos y contratos con aliados externos.
- Soporte administrativo para auditorías y reportes.

Resultados esperados: Esta fase permitirá que el modelo se mantenga operativo y sostenible en el tiempo, por lo tanto, la empresa espera obtener lo siguiente:

- Procedimientos estandarizados dentro del sistema de gestión empresarial.
- Cultura ambiental fortalecida entre los trabajadores.
- Reducción sostenida del desperdicio y valorización del material recuperado.
- Posicionamiento de SERTEBA como organización comprometida con la economía circular.

Finalmente, con la implementación de esta fase, el modelo se integra plenamente en la operación de SERTEBA, convirtiéndose en una práctica permanente, por lo tanto, se espera lograr una reducción sostenida del desperdicio de zunchos, un incremento en el aprovechamiento

del material, la consolidación de una cultura ambiental participativa y un posicionamiento institucional positivo frente a clientes y entes reguladores.

Guía operativa para la Gestión Logística del Zuncho Plástico en SERTEBA

Objetivo

Establecer de manera clara y aplicable los pasos, responsables, recursos y controles necesarios para reducir, valorizar y reincorporar el zuncho plástico generado en el proceso de remonte, garantizando eficiencia operativa, cumplimiento ambiental y fortalecimiento de la economía circular dentro de SERTEBA.

Alcance

Esta guía aplica a todas las actividades relacionadas con la recolección, segregación, almacenamiento temporal y aprovechamiento del zuncho plástico en las áreas de remonte, embalaje, logística y sostenibilidad.

Desarrollo Modelo Logístico

Planificar

Diseñar la estructura técnica y operativa para gestionar adecuadamente el zuncho, por medio de las siguientes actividades:

- Levantar el proceso desde el remonte hasta la disposición actual.
- Identificar puntos críticos de desperdicio.
- Clasificar el zuncho según su estado: reutilizable (intacto, largo, en buen estado) y reciclaje (dañado, corto, deformado).
- Definir el recorrido, rutas internas y puntos de acopio temporales.
- Elaborar los SOPs incluyendo cómo cortar, cómo recolectar, cómo clasificar, cómo pesar, cómo almacenar.
- Definir recursos necesarios como canecas codificadas, etiquetas, registros, báscula, espacio de acopio.

- Establecer KPIs como: % de zuncho reutilizable vs. total generado, Kg valorizados mensual, reducción del desperdicio vs. línea base y ahorro económico logrado.

Responsables

- Jefe de logística
- Coordinador de operaciones

Resultados Esperados

- Mapa del flujo actual y puntos críticos.
- Procedimientos claros y documentados.
- Roles asignados.
- Indicadores establecidos.
- Plan de acción aprobado por gerencia.

Hacer

Implementar en planta el sistema de recolección y aprovechamiento, a través de las siguientes actividades:

- Instalar los puntos de acopio distribuidos en canecas amarillas para zuncho reutilizable y canecas negras – zuncho para reciclaje.
- Capacitar el personal sobre cómo cortar y clasificar, la importancia ambiental y el uso de formatos y registros.
- Socializar a través de señales, carteles, rutas de flujo e instructivos.
- Realizar el control y registro diario del peso del zuncho, la cantidad recuperada y tipo.
- Transportar internamente al punto de acopio central con montacargas o carreta.
- Coordinar con recicladores externos la recolección programada según volumen.

Responsables

- Analistas de embalaje
- Operarios logísticos
- Jefe de logística

Resultados Esperados

- Sistema funcionando en planta.
- Personal comprometido y capacitado.
- Datos iniciales del volumen recuperado.
- Reducción de desperdicio y orden en las áreas.

Verificar

Controlar indicadores, validar cumplimiento y evaluar el desempeño del sistema, por medio de las siguientes actividades:

- Consolidar los datos obtenidos durante el proceso en informes detallados.
- Calcular los KPIs establecidos previamente
- Realizar auditorías internas sobre el estado de los puntos de acopio, el cumplimiento del SOP y las condiciones del material.
- Realizar informe técnico sobre los hallazgos, desviaciones y recomendaciones.

Responsables

- Jefe de Logística
- Analistas y asistentes de Embalaje
- Gerencia

Resultados Esperados

- Informes de auditoría.

- Identificación de fallas y oportunidades.
- Acciones de mejora definidas.
- Mayor control sobre la trazabilidad del zuncho.

Actuar

Consolidar, estandarizar y sostener el modelo en el tiempo, a través de las siguientes actividades

- Actualizar los procedimientos realizando ajustes según resultados de las auditorías.
- Integrar al Sistema de Gestión incorporándolo al sistema ambiental y logístico de la empresa.
- Realizar capacitaciones periódicas e incluir en inducción de nuevos empleados.
- Renovar y fomentar las alianzas externas a través de contratos formales con recicladores y gestores ambientales.

Responsables

- Gerencia
- Jefe de Logística

Resultados Esperados

- Procedimientos oficializados.
- Cultura ambiental reforzada.
- Reducción sostenida del desperdicio.

Indicadores

Como parte del seguimiento al modelo propuesto, se establecen indicadores que permiten evaluar su desempeño en el tiempo, estos facilitan el control de las actividades implementadas y

permiten evidenciar avances en la reducción del desperdicio, el aprovechamiento del material y la eficiencia operativa del proceso.

Tabla 2

Indicadores de guía operativa

Indicador	Fórmula	Meta sugerida
% de aprovechamiento del zuncho	$(\text{Kg reutilizable} + \text{Kg reciclado}) / \text{Kg total generado}$	$\geq 70\%$
Reducción del desperdicio	$\text{Kg desperdiciado mensual} / \text{Kg línea base}$	-20% primer trimestre
Ahorro económico por reutilización	$\text{Kg reutilizados} \times \text{costo/unidad}$	Crecimiento mensual
Cumplimiento del SOP	$\text{Auditorías aprobadas} / \text{auditorías realizadas}$	$\geq 90\%$

Conclusiones

El diagnóstico cuantitativo y cualitativo realizado evidencia que la generación de zunchos plásticos en el proceso de remonte en SERTEBA constituye una fuente de desperdicio operativa y económica relevante, lo cual compromete la eficiencia logística y generan pasivos ambientales si no se interviene oportunamente.

La propuesta basada en el ciclo Planificar–Hacer–Verificar–Actuar es adecuada para abordar la complejidad del problema porque combina diagnóstico riguroso, ejecución operativa, control mediante indicadores y estandarización, en este sentido, el diseño de actividades, la definición de responsables, la asignación de recursos y la implementación de KPIs permite transformar el zuncho descartado en un insumo susceptible de reutilización o valorización, contribuyendo a la eficiencia operativa y a la sostenibilidad.

La implementación sistemática del modelo (puntos de acopio, procedimientos SOP, registro y pesaje, coordinación con gestores externos) tiene el potencial de reducir el desperdicio físico, disminuir costos ocultos asociados al manejo ineficiente y liberar espacio operativo. Además, la recuperación parcial del material puede traducirse en ahorros directos en la compra de insumos y en beneficios intangibles como mejora reputacional.

Al institucionalizar la recolección, clasificación y valorización de zunchos, SERTEBA no solo mitiga impactos ambientales (reducción de plásticos post-consumo y riesgo de microplásticos), sino que alinea sus prácticas con requisitos regulatorios y estándares de sostenibilidad exigidos por clientes y entes de control, lo cual contribuye a disminuir riesgos legales y reputacionales identificados en el diagnóstico.

El factor determinante para la viabilidad del modelo es la articulación entre gerencia, operaciones, área de calidad y sostenibilidad, ya que es imprescindible la capacitación continua

del personal operativo, la disponibilidad de recursos mínimos y la asignación de indicadores que permitan medir avances y tomar acciones correctivas.

La metodología desarrollada no solo responde a la problemática específica de SERTEBA, sino que constituye una guía replicable para otras empresas del sector agrícola e industrial que enfrentan generación de residuos plásticos en operaciones de embalaje. Por lo tanto, su adopción contribuiría al cumplimiento de los ODS relacionados con consumo responsable y acción climática, además de impulsar la cultura organizacional hacia prácticas circulares.

Implementado con compromiso institucional y seguimiento riguroso, el modelo logístico propuesto transforma una ineficiencia operativa en una oportunidad de mejora continua, ya que reduce desperdicio, optimiza costos, fortalece la sostenibilidad y mejora la trazabilidad del material. Por tanto, se recomienda la adopción progresiva del modelo con revisiones semestrales y reporte a gerencia como medida de control y aprendizaje organizacional.

Referencias Bibliográficas

- Ballou, R. H. (2004). *Business logistics/supply chain management* (5.^a ed.). Pearson Education.
- Council of Supply Chain Management Professionals. (2023). *CSCMP supply chain management definitions*. CSCMP.
- Deming, W. E. (1986). *Out of the crisis*. MIT Press.
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*. Ellen MacArthur Foundation.
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*. Ellen MacArthur Foundation.
- Gitlow, H., Oppenheim, A., Oppenheim, R., & Levine, D. (2015). *Quality management: Tools and methods for improvement*. McGraw-Hill.
- Harrington, H. J., & Voehl, F. (2022). *The innovation tools handbook: Organizational improvement*. Productivity Press.
- International Organization for Standardization. (2015). *ISO 14001:2015 – Environmental management systems*. ISO.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 9001:2018 – Quality management systems*. ISO.
- International Organization for Standardization. (2020). *ISO 14040:2020 – Life cycle assessment*. ISO.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 127, 221–232.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

- Kumar, S., & Chandrakar, R. (2022). Logística inversa y valorización de residuos plásticos. *Journal of Sustainable Logistics*, 7(2), 45–62.
- Liker, J. K., & Franz, J. K. (2021). *The Toyota Way to continuous improvement*. McGraw-Hill.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Resolución 1407 de 2018: Gestión de residuos de envases y empaques. MinAmbiente.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Gestión de residuos sólidos industriales: Guía técnica. MinAmbiente.
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2003). *Industrial engineering and management*. McGraw-Hill.
- Richards, G. (2021). *Warehouse management: A complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse* (3.^a ed.). Kogan Page.
- Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. (1998). *Going backwards: Reverse logistics trends and practices*. Reverse Logistics Executive Council.
- Sarkis, J. (2012). *Greener supply chains: Theory and practice*. Springer.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities planning* (3.^a ed.). Wiley.
- United Nations Environment Programme. (2020). *Solid waste management guidelines*. UNEP.
- United Nations Environment Programme. (2021). *Microplastics: Pollution and impact*. UNEP.
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. ONU.
- World Economic Forum. (2023). *Global risks report 2023*. WEF.