

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño de un modelo de optimización para la gestión y desalojo de
residuos reciclables en una empresa del sector acuícola.

INGE-2940

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero industrial

Presentado por:

Oscar Adrian Campoverde Tocto

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Dedico el presente proyecto y el esfuerzo de toda mi carrera universitaria a mi familia, que ha estado presente de distintas formas a lo largo de este camino.

A mi madre, por tantos años de sacrificio, paciencia y amor que me han permitido llegar hasta aquí. A mi tía Cindy, por el apoyo y soporte constante durante todo este trayecto.

A mis amigos, por acompañarme en los momentos más difíciles, por ser un respiro en las etapas complicadas y por ofrecerme su amistad sincera cuando más la necesitaba.

Este logro refleja no solo mi dedicación, sino también la de quienes me brindaron su compañía y compromiso en cada paso.

Y finalmente, a mí mismo, por confiar en mis capacidades y mantener la determinación para llegar hasta el final.

Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) por brindarme la oportunidad de recibir una educación de excelencia, que ha sido fundamental en mi formación académica y profesional.

A los docentes, tutores, coordinadores y personal administrativo, gracias por su compromiso con la enseñanza y por fomentar un entorno de aprendizaje riguroso, humano y enriquecedor.

Y a mí *team* de amigos industriales, gracias por estar presentes en cada etapa desafiante, por compartir aprendizajes y por enseñarme, de formas únicas, el verdadero valor de la amistad, la camaradería y todo lo que puede surgir cuando uno menos lo espera. Su presencia hizo de este camino una experiencia profundamente significativa.

Gracias.

Declaración Expresa

Yo Oscar Adrián Campoverde Tocto acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 29 de mayo del 2025.



Oscar Adrián Campoverde Tocto

Evaluadores

Sofía Anabel Lopez Iglesias, MSc

Profesor de Materia

Jenny Pilar Gutierrez Lopez, PhD

Tutor de proyecto

Resumen

En una empresa del sector exportador del Ecuador, se identificó la necesidad de mejorar la gestión de residuos reciclables generados en sus procesos productivos. El proyecto tiene como objetivo optimizar la trazabilidad, reducir los tiempos operativos y mejorar el uso del espacio en bodegas, bajo la hipótesis de que la digitalización y la optimización matemática pueden transformar significativamente el proceso. Se justifica por el impacto ambiental, económico y social que representa una gestión ineficiente de residuos.

Para el desarrollo del proyecto, se diseñó e implementó un modelo de programación lineal entera mixta (MILP), apoyado por herramientas digitales como un tablero de Business Intelligence y la digitalización de los procesos de ventas y recepción. Se aplicaron técnicas de análisis de procesos, herramientas de visualización de datos y herramientas de calidad.

Como resultado, se redujo el tiempo total del proceso de reciclaje en un 24%, se logró trazabilidad completa de los materiales reciclables, se mantuvo la ocupación de bodegas por debajo del 20% y se mejoró la percepción de carga laboral en un 86%.

Se concluye que la integración de modelos de optimización y tecnología digital mejora significativamente la gestión de residuos en el sector acuícola.

Palabras clave: Gestión de reciclaje, Modelo de Optimización, trazabilidad de materiales, digitalización.

Abstract

In a company from Ecuador's export sector, the need to improve the management of recyclable waste generated in its production processes was identified. The project aims to optimize traceability, reduce operational times, and improve warehouse space utilization, based on the hypothesis that digitalization and mathematical optimization can significantly transform the process. The justification lies in the environmental, economic, and social impact of inefficient waste management.

For the development of the project, a mixed-integer linear programming (MILP) model was designed and implemented, supported by digital tools such as a Business Intelligence dashboard and the digitalization of sales and reception processes. Process analysis techniques, traceability standards, and data visualization tools were applied.

As a result, the total recycling process time was reduced by 24%, full traceability of recyclable materials was achieved, warehouse occupancy was kept below 20%, and the perception of workload among operational staff improved by 86%.

It is concluded that the integration of optimization models and digital technology significantly enhances waste management in the aquaculture sector.

Keywords: *Recycling management, MILP, traceability, digitalization.*

Índice general

Resumen.....	I
<i>Abstract</i>	II
Abreviaturas.....	VI
Índice de tablas	IX
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del Problema	3
1.3 Justificación del Problema	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 Marco Teórico	5
1.5.1 Herramientas Exploratorias	6
Capítulo 2.....	10
2.1 Metodología	11
2.1.1 Definición.....	11
2.1.2 Diagrama del proceso SIPOC.....	11
2.1.3 Voz del cliente (VOC).....	13
2.1.4 Matriz de afinidad	15
2.1.5 Características críticas de calidad (CTQ tree).....	15

2.1.6	Despliegue de la función de la calidad (QFD)	16
2.1.7	Especificaciones de diseño	17
2.1.8	Recolección de datos	18
2.1.9	Verificación de datos	18
2.1.10	Propuestas de diseño	19
2.1.11	Matriz de decisión	21
2.1.12	Análisis de costo.....	22
2.1.13	Análisis de beneficios.....	24
2.1.14	Plan de implementación, diseño y prototipado.	24
2.1.15	Modelo de optimización.....	26
2.1.16	Implementación del dashboard Business Intelligence (BI).....	28
2.1.17	Digitalización del proceso	28
2.1.18	Diseño del proceso	30
2.1.19	Eliminación de actividades que no agregan valor	33
2.1.20	Complemento Business Intelligence (BI) y digitalización de procesos (Prototipo).....	34
Capítulo 3.....		36
3.1	Resultados y análisis	37
3.1.1	Análisis en Excel.....	37
3.1.2	Prueba de Hipótesis Test de Mann-Whitney U	42
3.1.3	Análisis de mejora de tiempos de venta de reciclaje.....	45

3.1.4	Prueba de hipótesis t- test de Welch.....	46
3.1.5	Análisis de carga laboral	47
3.1.6	Resultados de las especificaciones de diseño	49
3.1.7	Impacto	50
Capítulo 4.....		52
4.1	Conclusiones y Recomendaciones	53
4.1.1	Conclusiones	53
4.1.2	Recomendaciones	53
Referencias.....		55
Apéndices.....		57

Abreviaturas

h	Horas
m ³	Metros cúbicos
POV	Punto de vista
QFD	Despliegue de la casa de la calidad
T	Toneladas
TM	Toneladas métricas
USD	Dólares americanos
VOC	Voz del cliente

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Encuesta	14
Figura 2 <i>Matriz de afinidad</i>	15
Figura 3 <i>Árbol de Requisitos Críticos para la Calidad</i>	16
Figura 4 <i>Matriz QFD</i>	16
Figura 5 <i>Especificaciones de Diseño</i>	17
Figura 6 <i>Plan de levantamiento de datos</i>	18
Figura 7 <i>Matriz de Decisión</i>	21
Figura 8 <i>Escala de puntuación utilizada en la matriz de decisión</i>	22
Figura 9 <i>Reporte de Reciclaje implementado</i>	28
Figura 10 Digitalización de Proceso de Venta y Recepción de Reciclaje	29
Figura 11 <i>Diseño del proceso de Venta de Reciclaje</i>	31
Figura 12 Proceso de Baja de Activos Fijos	33
Figura 13 <i>Actividades que no Agregan Valor al Proceso.....</i>	34
Figura 14 <i>Reporte futuro de reciclaje y tasa de utilización</i>	35
Figura 15 <i>Parámetros del modelo.....</i>	37
Figura 16 <i>Matriz de Asignación de Material a Camiones</i>	38
Figura 17 <i>Materiales en bodegas.....</i>	39
Figura 18 <i>Capacidad de Camiones de los Clientes</i>	39
Figura 19 <i>Entrada, Meta y Estado Final de Bodega</i>	40
Figura 20 <i>Tasa de Cumplimiento semanal: Capacidad de bodega ≤ 20 % bodega</i>	41
Figura 21 <i>Gráfica indicador de cumplimiento semanal - julio.....</i>	42

Figura 22 <i>Gráfica indicador de cumplimiento semanal - agosto</i>	42
Figura 23 <i>Tiempo promedio de venta de reciclaje actual</i>	45
Figura 24 <i>Muestreo de tiempos antes vs después</i>	46
Figura 25 <i>Calificación carga laboral (antes)</i>	48
Figura 26 <i>Calificación carga laboral (actual)</i>	49

Índice de tablas

Tabla 1 <i>SIPOC del proceso de gestión de residuos reciclables</i>	12
Tabla 2 <i>Análisis de Costo de Implementación</i>	23
Tabla 3 <i>Beneficios Asociados a las Propuestas de Solución</i>	24
Tabla 4 <i>Plan de implementación, diseño y prototipado.</i>	25
Tabla 5 <i>Tabla de resultados Test de Mann-Whitney U</i>	44
Tabla 6 <i>Estadísticas descriptivas</i>	47

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

En el mundo circulan más de 800 millones de envases plásticos, botellas y latas de las cuales, su mayor parte terminan en vertederos, debido a esta cifra colosal de residuos el reciclaje se ha convertido en una prioridad ambiental urgente. (WIPO, 2010)

En Ecuador alrededor de 60 toneladas de residuos sólidos son producidos semanalmente, de los cuales únicamente el 20% se disponen de manera adecuada. La cantidad de generación de residuos está relacionada directamente con la cantidad de población. Cantones con mayor desarrollo industrial poseen sistemas de disposición final colapsados e índices de generación de residuos muy elevados. (Solíz Torres, 2015)

El número de empresas exportadoras de camarón en Ecuador ha incrementado 3.5% durante el primer trimestre del 2025 en comparación con el mismo periodo del 2024, es decir, 117 empresas nuevas registradas. Las exportaciones no petroleras representan el 75.8% de las exportaciones que realiza el país. En 2025, el camarón representa el 27% de estas exportaciones no petroleras significando 1.888 USD millones o 326 TM miles. (MPCEIP, 2025)

La empresa donde se realiza el proyecto pertenece al sector exportador camaronero de Ecuador. La mayor cantidad de los desechos provienen de área de producción (empaquetado de camarón) y piscinas de cultivo de camarón. En promedio se generan 1.73 T de residuos donde los más comunes son cartón y plásticos. El tiempo promedio de gestión para realizar el reciclaje de estos materiales con un proveedor es de 4,05 h por despacho. La empresa posee una capacidad limitada para el almacenamiento de materiales reciclables de 334 m³ distribuidos en 6 bodegas. (Empresa exportadora del sector acuícola, 2025)

El presente proyecto busca contribuir a la mejor gestión de los desechos en la empresa exportadora de camarón mediante soluciones basadas en el análisis, mejora y optimización de procesos. Con un enfoque basado en aspectos sociales, económicos y medios ambientales, que permitan optimizar la capacidad de almacenamiento y tiempos de despachos por operación.

1.2 Descripción del Problema

Desde la perspectiva operativa de la empresa del sector acuícola, se ha identificado que el manejo, clasificación y despacho de materiales reciclables —provenientes de desechos de la planta de producción y de islas camaroneras asociadas— presenta importantes desafíos.

Durante el último año se ha evidenciado un alto tránsito de materiales reciclables, contrastado con una limitada capacidad de almacenamiento. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de contar con un sistema de gestión más eficaz, apoyado en herramientas digitales que permitan mejorar la documentación, visualizar indicadores clave, optimizar procesos y fomentar la mejora continua.

El proceso actual incluye múltiples aprobaciones, algunas de las cuales resultan redundantes y no agregan valor operativo. Además, la falta de coordinación entre departamentos genera acumulación inesperada de materiales y una trazabilidad limitada, lo que repercute negativamente en la productividad y reduce el valor ambiental agregado que podría generar una gestión eficiente del reciclaje.

Este contexto plantea la oportunidad de diseñar e implementar un sistema de trabajo que permita al equipo ejecutar sus responsabilidades con mayor eficiencia, trazabilidad y propósito, reduciendo las ineficiencias operativas e impulsando una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad.

1.3 Justificación del Problema

La empresa actualmente enfrenta una acumulación significativa de materiales reciclables en sus bodegas, debido a la limitada capacidad de almacenamiento y a la falta de coordinación entre departamentos, especialmente con el área empacadora. Las variaciones en los reprocesos generan flujos irregulares de materiales reciclables, lo que provoca saturación en las áreas de almacenamiento y dificulta la planificación del desalojo.

Aunque la gestión de reciclaje responde a normativas ambientales vigentes (Ministerio del ambiente, agua y transición ecológica, 2025), también representa una fuente de ingresos para la empresa. Por esta razón, se mantiene un estricto control documental, lo que añade complejidad al proceso y lo vuelve lento y burocrático.

Actualmente, cada desalojo toma aproximadamente 4,5 horas, debido a múltiples aprobaciones y trámites que no siempre agregan valor. Esta situación afecta la eficiencia operativa, limita la trazabilidad de los materiales y reduce el aprovechamiento del valor ambiental y económico del reciclaje.

Por tanto, se justifica el diseño desde cero de un proceso de reciclaje, junto con la implementación de un modelo de gestión integral, que permita reducir los tiempos de operación, optimizar el uso del espacio en bodegas, fortalecer la trazabilidad y facilitar la toma de decisiones basada en datos. Todo esto contribuirá a impulsar una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad, la eficiencia y la mejora continua.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar en un plazo de 4 meses un modelo de gestión de reciclaje que incremente la eficiencia operativa mediante la optimización de procesos, el uso de herramientas digitales, la mejora en el aprovechamiento del espacio y las condiciones laborales, contribuyendo a la sostenibilidad y a una gestión más efectiva de los materiales reciclables

1.4.2 Objetivos específicos

1. Reducir el tiempo total del proceso de gestión de reciclaje en por lo menos 5% a través de análisis de procesos eliminando tiempos muertos de proceso y aprobaciones innecesarias.
2. Implementar un sistema de trazabilidad que cubra el 100% de los materiales reciclables mediante el uso de herramientas digitales para monitoreo y respaldo del manejo de la operación del reciclaje.
3. Optimizar la utilización del espacio en el almacén aplicando un modelo de optimización que asegure que cada área de almacenamiento se mantenga en o por debajo del 20% de su capacidad volumétrica fija, maximizando así el cumplimiento con los indicadores de eficiencia espacial.
4. Mejorar la percepción de carga laboral del personal, logrando al menos 85% de respuestas positivas en las evaluaciones referentes a las condiciones del proceso.

1.5 Marco Teórico

En el contexto de transformación y mejora de procesos operativos, el enfoque Design from Scratch se presenta como una alternativa estratégica para el diseño de soluciones completamente nuevas, sin depender de modelos preexistentes. Este enfoque permite

construir procesos desde cero, adaptados a las necesidades específicas de una organización, considerando sus recursos, objetivos y entorno operativo. A través de etapas como el diagnóstico inicial, la definición de objetivos, el modelado del proceso, la validación operativa y el ajuste iterativo, se busca desarrollar sistemas funcionales, eficientes y sostenibles. Esta perspectiva promueve la flexibilidad y la innovación como pilares fundamentales del rediseño organizacional (Castillo Hernández & Roldán Montaña, 2019).

1.5.1 Herramientas Exploratorias

El despliegue de la casa de la calidad (QFD) es un enfoque metódico que permite transformar las necesidades del cliente en especificaciones aplicables en el proceso de desarrollo de una solución. La metodología nace en Japón a finales de los 60 para asegurar que los productos cumplan con estándares requeridos desde las etapas iniciales de diseño. (Chan & Wu, 2002)

La herramienta permite vincular la necesidad del cliente con las características de la solución, lo que permite mejorar la asignación de importancia ayudando a priorizar las decisiones del proyecto. (Chan & Wu, 2002)

Desde su implementación inicial en empresas como Toyota, la herramienta se ha extendido mundialmente. Actualmente, se implementa en diversos sectores como la manufactura, ingeniería y sectores de servicios. Entre sus principales beneficios está la mayor alineación entre las características del producto y las expectativas del cliente; reducción de costos por rediseños o fallas en la calidad; disminución de tiempos en el desarrollo de la solución. (Chan & Wu, 2002)

La inteligencia de negocios se centra en el uso de tecnología, que permita analizar datos críticos con el fin de obtener conocimientos que mejoren la toma de decisiones

empresariales. Este tipo de soluciones busca analizar grandes cantidades de datos estructurados y no estructurados. Permitiendo buscar patrones y tendencias. Se plantean desafíos técnicos como el procesamiento de datos, transformaciones de datos y análisis en tiempo real. (Lim, 2013)

El análisis de procesos se centra en comprender y mejorar las operaciones de una organización. Los procesos de negocios son secuencias de actividades que transforman entradas en salidas para los clientes. Su modelado es crucial y pueden variar en modelos de diagramas, modelos formales o matemáticos, lenguaje de procesos de negocio basado en software. Se busca evaluar el rendimiento basada en métricas e identificar mejoras. La simulación es una herramienta clave, permitiendo probar escenarios y predecir el comportamiento de un proceso. (Vergidis, Tiwari, & Basin, 2008)

La digitalización de procesos es una necesidad estratégica. Un proyecto de digitalización de procesos contables administrativos en PyMES españolas destaca el impacto de herramientas como ERP, CRM y cloud computing mejoras la gestión, relación con clientes y eficiencia operativa. La digitalización no solo optimiza la función financiera y contable, permitiendo reportes en tiempo real y la integración de tecnologías avanzadas como Big Data e Inteligencia Artificial, sino que también redefine las estructuras organizacionales y los roles, exigiendo nuevas competencias a los profesionales. El éxito de estos proyectos en PyMEs depende de factores críticos como el liderazgo estratégico, la capacitación del talento digital, la disponibilidad de recursos y la correcta elección de consultores externos. (Porporato Daher, Galindo Dorado, & Morcillo García, 2023)

La optimización de procesos busca la reducción de tiempos, costos y mejora de calidad, existiendo el escenario de los múltiples objetivos. Las técnicas empleadas suelen

basarse en enfoques algorítmicos y modelos formales, generalmente se emplean recursos computacionales para su ejecución. (Vergidis, Tiwari, & Basin, 2008)

El Problema de la Mochila (Knapsack Problem) es un problema de optimización combinatoria clásico que busca seleccionar el subconjunto de elementos de mayor valor que pueden caber en una "mochila" con una capacidad de carga limitada. En el contexto de la distribución logística, este problema se traduce en cómo maximizar la tasa de carga de los vehículos de transporte y, por ende, reducir los costos, seleccionando qué mercancías incluir en un vehículo dado su peso y valor. (Yan, Yanmei, & Hao, 2020)

Diversos enfoques algorítmicos han sido aplicados para resolver este tipo de problemas. Por ejemplo, la combinación de técnicas de búsqueda local y global permite equilibrar la exploración de soluciones y evitar óptimos locales. En la literatura, el algoritmo de recocido simulado ha sido utilizado para abordar el problema de la mochila en sistemas logísticos, mostrando mejoras en métricas como la tasa de carga, la utilización de capacidad y la reducción del número de vehículos requeridos (Yan, Yanmei, & Hao, 2020). Aunque este algoritmo no fue implementado en el presente proyecto, se menciona como referencia teórica relevante por su aplicación en escenarios similares.

En este proyecto, se opta por una formulación mediante Programación Lineal Entera Mixta (MILP), orientada a la optimización del tiempo total de carga o despacho de material reciclable, la gestión eficiente del espacio en bodegas y la asignación adecuada de materiales reciclables a camiones con capacidad fija. Este modelo permite representar decisiones binarias sobre la inclusión de materiales en cada despacho, considerando restricciones como la capacidad de los vehículos y el volumen máximo permitido en las áreas de almacenamiento. A diferencia de otros enfoques que priorizan rutas o costos, el modelo

desarrollado se enfoca en mejorar la eficiencia operativa a través de la reducción de tiempos y el control del uso del espacio, alineándose con los objetivos estratégicos del sistema logístico.

CAPÍTULO 2

2.1 Metodología

2.1.1 Definición

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizó el enfoque Design from Scratch, que permite crear un proceso completamente nuevo, adaptado a las necesidades reales de la empresa. Esta metodología fue elegida porque el proceso actual de reciclaje no responde adecuadamente a los objetivos operativos, por lo que se requiere diseñarlo desde cero, considerando las condiciones específicas del entorno y los recursos disponibles.

2.1.2 Diagrama del proceso SIPOC

En la primera etapa se elaboró un diagrama SIPOC para obtener una visión general del proceso actual e identificar a las partes interesadas. En la Tabla 1 se detalla la participación de los proveedores internos que intervienen en la gestión del material reciclable, los insumos físicos y documentales que alimentan el proceso, las actividades principales de recepción y organización del material, las salidas generadas como documentación firmada y camiones despachados, y los clientes internos que reciben los resultados del proceso. Esta herramienta permitió estructurar los elementos clave del flujo operativo, facilitando el análisis para su posterior diseño.

Tabla 1*SIPOC del proceso de gestión de residuos reciclables*

GESTIÓN DE RESIDUOS DE RECICLAJE				
S (Suppliers)	I (Inputs)	P (Process)	O (Outputs)	C (Customers)
Personal operativo (Producción)	Sacos vacíos (incluidos sacos de sal), plásticos (flexibles, duros y reciclados), caucho, láminas antideslizantes, chatarra ferrosa y no ferrosa, pallets plásticos, bines.	Recepción de material reciclable	Formulario firmado	Personal operativo
Bodeguero de almacén de reciclaje	Formulario de disposición de residuos no peligrosos	Clasificación y organización del material reciclable	Residuos	Analista de inventario
Analista de inventario	Residuos reciclables	Despacho de reciclables	Residuos organizados	Bodeguero del almacén de reciclaje
Gerente Almacenes	Residuos organizados		Coordinación de disposición	Almacenes
Asistente contable	Orden de despacho emitida		Salida de camión con residuos	Gerente almacenes
Gerente contable	Camiones a disposición			Gerente ambiental autorizado (Cliente)
Gerente ambiental autorizado (Cliente)	Registro de pesaje de residuos Órdenes de compra Órdenes de liberación Aprobación de órdenes de pedido Facturación Pago de facturas Despacho de camiones			

2.1.3 Voz del cliente (VOC)

Una vez identificadas las partes interesadas del proceso (proveedores internos), se procedió a levantar información mediante una encuesta (véase Figura 1), con el objetivo de conocer sus necesidades y requerimientos específicos relacionados con la gestión del material reciclable.

A partir de las encuestas realizadas se recopilaron los siguientes comentarios más relevantes:

1. Contar con un proceso ordenado, limpio y bien aprovechado en espacio, que fomente responsabilidad y cultura ambiental en el equipo.
2. Disponer de información clara y completa sobre volúmenes reciclados, frecuencia y gestión de residuos, para facilitar la toma de decisiones y seguimiento mediante indicadores visuales (ej. Power BI).
3. Contar con un sistema automatizado, integrado y trazable, conectado al sistema de facturación, que elimine controles redundantes, errores de digitación y retrabajos innecesarios.
4. Optimizar el flujo de aprobaciones, reduciendo la cantidad de personas involucradas, evitando burocracia y eliminando tiempos muertos entre actividades.
5. Mejorar la planificación del retiro de materiales reciclables, mediante horarios fijos, notificaciones anticipadas de envío y coordinación entre áreas.
6. Contar con una bodega organizada y clasificada por tipo de material, maximizando el espacio disponible y evitando acumulación no planificada.
7. Tenemos que fortalecer la comunicación y documentación entre áreas, asegurando que se entregue soporte completo y oportuno para gestionar los desalojos de forma eficiente.

8. Se debe disponer de un sistema que permita mapear, planificar y dar trazabilidad a los materiales enviados y por enviar, generando confianza y control del proceso.
9. Hay que fomentar la reutilización interna de materiales reciclables viables, como sacos o cajas, replicando buenas prácticas de otras áreas.
10. Tenemos que brindar capacitación, señalización estandarizada y herramientas adecuadas para mejorar la ejecución del proceso de reciclaje.
11. Hay que mejorar la logística del transporte de materiales reciclables, garantizando coches en buen estado y calles adecuadas para el traslado adecuado de los materiales reciclables, como el cartón.
12. Quiero contar con un plan alternativo (gestor C) en caso de ausencia de los gestores principales, para no afectar la continuidad operativa ni la ejecución de ventas.
13. Quiero asegurar que los pagos a gestores se realicen de forma ágil y sin retrasos administrativos, mejorando la eficiencia general del proceso.
14. Necesitamos evitar interferencias con los horarios personales del personal operativo, reduciendo esperas innecesarias causadas por aprobaciones o personal de otras áreas.

Figura 1

Encuesta

Preguntas de encuesta:

1. ¿Cómo percibes el impacto del proceso de reciclaje en la operación general del área de almacenes?
2. Desde tu rol de liderazgo, ¿qué tan alineado consideras que está el proceso de reciclaje con los objetivos del área?
3. ¿Qué tipo de información o reportes recibes actualmente sobre el reciclaje y qué tan útiles te resultan para la toma de decisiones?
4. ¿Has identificado oportunidades de mejora o riesgos asociados al proceso de reciclaje dentro del almacén?
5. ¿Qué expectativas tienes respecto al desempeño del proceso de reciclaje bajo tu liderazgo/supervisión?
6. ¿Consideras que el equipo operativo cuenta con los recursos y lineamientos necesarios para ejecutar correctamente este proceso?
7. ¿Qué buenas prácticas de otras áreas o experiencias pasadas crees que podrían aplicarse para fortalecer este proceso?

Nota: La figura muestra las preguntas de las encuestas realizadas a las partes interesadas.

2.1.4 Matriz de afinidad

Con la información recolectada de las encuestas aplicadas como parte del análisis del VOC, se realizó la agrupación de ideas con ayuda de una matriz de afinidad (véase Figura 2). Los grupos resultantes fueron: eficiencia operativa y flujo, control y trazabilidad de procesos, organización y utilización del lugar de trabajo y conciencia y cumplimiento ambiental.

Figura 2

Matriz de afinidad

Diagrama de afinidad			
Eficiencia operativa y flujo	Control y trazabilidad de procesos	Organización y utilización del lugar de trabajo	Conciencia y cumplimiento ambiental
• Contar con un proceso ordenado, limpio y bien aprovechado en espacio, que fomente responsabilidad y cultura ambiental en el equipo. • Optimizar el flujo de aprobaciones, reduciendo la cantidad de personas involucradas, evitando burocracia y eliminando tiempos muertos entre actividades. • Quiero contar con un plan alternativo (gestor C) en caso de ausencia de los gestores principales, para no afectar la continuidad operativa ni la ejecución de ventas. • Quiero asegurar que los pagos a gestores se realicen de forma ágil y sin retrasos administrativos, mejorando la eficiencia general del proceso. • Necesitamos evitar interferencias con los horarios personales del personal operativo, reduciendo esperas innecesarias causadas por aprobaciones o personal de otras áreas.	• Disponer de información clara y completa sobre volúmenes reciclados, frecuencia y gestión de residuos, para facilitar la toma de decisiones y seguimiento mediante indicadores visuales (ej. Power BI). • Contar con un sistema automatizado, integrado y trazable, conectado al sistema de facturación, que elimine controles redundantes, errores de digitación y retrabajos innecesarios. • Fortalecer la comunicación y documentación entre áreas, asegurando que se entregue soporte completo y oportuno para gestionar los desalojos de forma eficiente. • Disponer de un sistema que permita mapear, planificar y dar trazabilidad a los materiales enviados y por enviar, generando confianza y control del proceso.	• Mejorar la planificación del retiro de materiales reciclables, mediante horarios fijos, notificaciones anticipadas de envío y coordinación entre áreas. • Contar con una bodega organizada y clasificada por tipo de material, maximizando el espacio disponible y evitando acumulación no planificada. • Mejorar la logística del transporte de materiales reciclables, garantizando coches en buen estado y calles adecuadas para el traslado adecuado de los materiales reciclables, como el cartón.	• Fomentar la reutilización interna de materiales reciclables viables, como sacos o cajas, replicando buenas prácticas de otras áreas. • Brindar capacitación, señalización estandarizada y herramientas adecuadas para mejorar la ejecución del proceso de reciclaje.

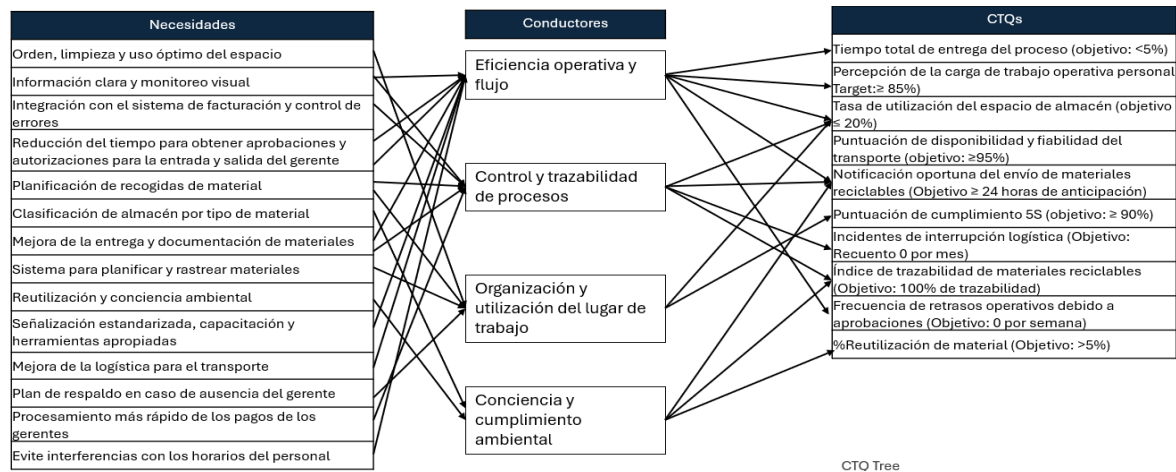
Nota: La figura presenta los comentarios agrupados por afinidad temática

2.1.5 Características críticas de calidad (CTQ tree)

La Voz del Cliente (VOC) fue traducida en necesidades específicas, las cuales se organizaron mediante los agrupadores definidos previamente en la matriz de afinidad (ver Figura 2), utilizados como conductores de calidad. Posteriormente, dichas necesidades fueron técnicamente traducidas a través del Árbol Crítico de la Calidad, relacionándolas con sus respectivos conductores y definiendo los requerimientos técnicos medibles (CTQs) asociados a cada uno (véase Figura 3).

Figura 3

Árbol de Requisitos Críticos para la Calidad



2.1.6 Despliegue de la función de la calidad (QFD)

A continuación, se aplicó la herramienta del QFD, mediante el cual se relacionaron las necesidades obtenidas en el CTQ Tree con las características o requerimientos técnicos del proceso, facilitando su priorización (véase Figura 4).

Figura 4

Matriz QFD

<											
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Realizado el análisis de la matriz QFD, como se detalla en la figura 4, se concluyó con la priorización de las cuatro características técnicas de diseño mejor valoradas. Estas fueron: la utilización de la capacidad de las bodegas, la trazabilidad de los materiales reciclables, el tiempo total del proceso de desalojo y la percepción de la carga laboral operativa.

2.1.7 Especificaciones de diseño

A partir de las características de diseño priorizadas en el análisis de la matriz QFD, se procedió a definir las especificaciones de diseño correspondientes. Estas especificaciones representan la traducción operativa de cada característica técnica en parámetros concretos, medibles y aplicables al proceso de reciclaje (véase Figura 5).

Figura 5

Especificaciones de Diseño

Especificaciones de diseño	Formula	Objetivo	TBL alineado
Tasa de utilización del espacio de almacén	$\frac{\text{Volumen útil ocupado}}{\text{Volumen total espacio}} * 100$	≤ 20% de utilización	 Mejora en el uso de la infraestructura
Índice de trazabilidad de materiales reciclables	$\frac{\text{Materiales con trazabilidad}}{\text{Total de materiales}} * 100$	100% de trazabilidad	 Asegura un correcto tratamiento de los residuos
Tiempo total del proceso de venta reciclaje	$\frac{\text{Último LT} - \text{Actual LT}}{\text{Último LT}} * 100$	≤ 5% de tiempo total de venta reciclaje	 Mejora de la eficiencia operativa
Percepción de la carga de trabajo operativo	$\frac{\text{Total de respuestas positivas}}{\text{Total preg.carga operativa}} * 100$	≥ 85% de puntuación	 Bienestar personal

Nota: Cada especificación de diseño se encuentra asociadas con las dimensiones del modelo de sostenibilidad Triple Bottom Line.

Se alineó cada especificación de diseño y su objetivo a las dimensiones de sostenibilidad:

1. Tasa de utilización del espacio de almacén (Económico)
2. Índice de trazabilidad de materiales reciclables (Ambiental)

3. Tiempo total del proceso de venta de reciclaje (Económico)

4. Percepción de la carga de trabajo operativo (Social)

2.1.8 Recolección de datos

En esta etapa se realizó un plan de levantamiento de datos (véase Figura 6) relevante tanto para la implementación del modelo de programación lineal entera mixta, así como para las demás propuestas de solución seleccionadas (véase Figura 8).

Figura 6

Plan de levantamiento de datos

Especificación de diseño	Datos recopilados	Tipo de dato	Cómo se recopila	Condiciones relacionadas		Notas de muestreo	Dónde se registra	Uso futuro
Tiempo total de venta reciclable, Objetivo: <5% de tiempo de entrega actual (reducir)	Plazo de entrega del proceso actual	Cuantitativo - continuo	Por tiempos de recopilación y procesamiento de datos en el piso	Estratificación: Actividades, tiempo de procesamiento por actividades, número de personas, flujo de información, flujo de materiales, flujo de dinero.	Datos recopilados sobre el proceso estándar que no varían significativamente en el tiempo dependiendo de la cantidad de desalojo	NA	Registro manual	Encontrar oportunidades de mejora donde se pueda mejorar el proceso en relación con la gestión actual
	Plazo de entrega del proceso futuro	Cuantitativo - continuo					Registro manual	
Percepción de la carga de trabajo operativa personal, puntuación del ≥85% (aumento)	Total de respuestas positivas de percepción de carga operativa personal	Cuantitativo - discreto	Por encuestas a los empleados que están directamente relacionados con el proceso operativo	Estratificación: Puntuación por percepción de bienestar.	Las respuestas son personales y no objetivas, solo basadas en la experiencia personal de los empleados	NA	Encuestas digitales	Revisión del proceso centrado en la necesidad de bienestar operativo
	Total de preguntas sobre el cargo operativo	Cuantitativo - discreto					Encuestas digitales	
Utilización de bodegas de almacenamiento ≤= 20 % (cumplimiento)	Volumen útil ocupado por bodega	Cuantitativo - continuo	Eliminando las dimensiones de los lotes dentro de la bodega	Estratificación: ID de la bodega, materiales disponibles para contener, capacidad en Kg, dimensiones, volumen.	Posible error sistemático ± 3 cm que podría ser causado por el uso prolongado, no significativo para nuestro estudio.	NA	Registro manual	Formular un modelo de optimización para la gestión del reciclaje.
	Volumen total disponible por almacén	Cuantitativo - continuo					Registro manual	
Trazabilidad de materiales reciclables, objetivo = 100%, (aumento)	Número de materiales con trazabilidad completa	Cuantitativo - discreto	Mediante el uso de bases de datos existentes con estándares de patrones de datos	Estratificación: Responsable de medio ambiente, Maestro de materiales, Coste por material, Kg de material vendido, Cantidad de dinero ganado por el material.	Solo se consideran los materiales que tienen un almacén de destino y que provienen de la planta de producción.	Datos verificados comparando los datos digitales con los documentos que se utilizan para la declaración de reciclaje.	ERP empresarial	Diseñar una forma de dar visibilidad al movimiento de materiales reciclados para la toma de decisiones de gestión.
	Total de materiales reutilizables	Cuantitativo - discreto	Mediante el uso de bases de datos existentes con estándares de patrones de datos				ERP empresarial	

2.1.9 Verificación de datos

Se verificó mediante análisis GEMBA que los datos obtenidos del plan de levantamiento de datos son confiables. El tiempo de carga (hora de inicio y hora final) de los materiales queda registrado en un ticket en cada venta desde el inicio del primer pesaje hasta que termina (véase Apéndice E), se verificó la medición de la capacidad de cada bodega con un flexómetro, así como de las mediciones de los materiales en ellas (véase Apéndice D). La

información de cantidades desalojadas proviene del sistema ERP local de la empresa, y con ello los tiempos desde el inicio de documentación hasta que se aprueba la documentación final (Apéndice C). Así mismo se verificó la trazabilidad de los materiales reciclables contrastando ordenes de salida vs facturas de los gestores (Apéndice D).

2.1.10 Propuestas de diseño

En esta etapa se definieron las siguientes propuestas de diseño:

Solución de inteligencia de negocios (control y monitoreo). Se propone implementar una solución de Business Intelligence que permita tener la trazabilidad de todos los materiales reciclables a la venta. Esta herramienta facilitará la toma de decisiones basada en datos, control y monitoreo de ventas realizadas. Así mismo, permitirá abrir las posibilidades de realizar análisis más complejos de estos residuos e implementar una cultura de mejora continua en la empresa.

Política de inventario. Se plantea el diseño de una política de inventario específica para residuos reciclables, que regule la ocupación de bodegas, los tiempos de permanencia de materiales y los criterios de desalojo. Esta política busca optimizar el uso del espacio físico y garantizar una gestión eficiente de los residuos desde su generación hasta su disposición final.

Modelo de programación lineal entera. Como parte del diseño del proceso, se desarrolló un modelo de Programación Lineal Entera Mixta (MILP) que permite optimizar el desalojo de residuos reciclables. El modelo considera restricciones como la capacidad de los camiones, el volumen de residuos acumulados y la necesidad de liberar espacio en bodegas, sin incluir rutas ni costos logísticos.

Programación multiobjetivo. Se contempla la aplicación de técnicas de programación multiobjetivo para equilibrar distintos criterios de optimización, tales como la minimización

del tiempo de desalojo, la maximización del bienestar operativo del personal y el cumplimiento de políticas ambientales. Esta estrategia permite evaluar soluciones que consideren simultáneamente múltiples dimensiones del proceso.

Digitalización de procesos y diseño. El proyecto contempla la digitalización del proceso de reciclaje mediante herramientas tecnológicas que permitan el registro transparente y en tiempo real de todas las etapas involucradas en la venta de materiales reciclables, así como en su recepción. Esta digitalización ofrece oportunidades para optimizar los flujos de aprobación documental relacionados con la recepción y venta de dichos materiales. Además, contribuye a mejorar la transparencia en la trazabilidad, permitiendo identificar con precisión el área y el usuario responsable de la entrega del material reciclable.

2.1.11 Matriz de decisión

Se analizaron las propuestas de diseño sugeridas en la sección anterior y en base a las ponderaciones brindadas (véase Figura 8) tanto por el analista de inventario, como por parte de gerencia de almacenes, se obtuvo como soluciones de diseño a las tres marcadas de color verde como se detalla en la figura 7.

Figura 7

Matriz de Decisión

Necesidad/solución	Solución de inteligencia empresarial	Política de inventario	Modelo de programación lineal entero	Programación multiobjetivo	Digitalización y diseño de procesos
Utilización de bodegas de almacenamiento $\leq 20\%$	10	7	10	8	2
Trazabilidad de materiales reciclables, objetivo = 100%,	10	2	2	2	8
Plazo total del proceso, objetivo: $<5\%$ de plazo de entrega (reducir)	2	2	6	5	9
percepción de la carga de trabajo operativa personal, puntuación del $\geq 85\%$ (aumento)	4	2	2	2	8
Bajo costo	8	8	9	9	5
Bajo esfuerzo	9	7	8	5	7
Total	43	28	37	31	39
Rango	1	5	3	4	2

Figura 8

Escala de puntuación utilizada en la matriz de decisión

Puntuación	Descripción general
10	Excelente / Ideal / Supera con creces las expectativas
9	Muy bueno / Cumple plenamente con las expectativas con valor agregado
8	Bueno / Cumple completamente con las expectativas
7	Justo / Cumple con la mayoría de las expectativas
6	Adecuado / Cumple con los requisitos básicos
5	Cumple con los requisitos promedio / parcialmente
4	Por debajo de la media / Varias debilidades
3	Débil / Apenas cumple con los requisitos
2	Muy débil / No cumple con la mayoría de los requisitos
1	Inaceptable / No cumple con los requisitos en absoluto

Bajo el resultado de calificación se decidió aplicar las siguientes soluciones:

- Solución de Inteligencia de Negocios (Dashboard interactivo)
- Digitalización y diseño de procesos
- Modelo de Programación Lineal Entera Mixta

2.1.12 Análisis de costo

El proyecto se basa en el diseño, optimización de procesos, digitalización y mejora del control en lo que respecta al material de reciclaje, aunque no es el giro principal del negocio, las ventas de reciclaje registran un promedio 100 mil dólares americanos al año, por lo que la inversión es justificable. Además, que para las propuestas de soluciones se ha considerado invertir la menor cantidad de dinero sugerida por el key customer a cargo del proyecto (véase Tabla 2).

Tabla 2*Análisis de Costo de Implementación*

Propuesta	Costo estimado inicial [\$]	Costos [\$] adicionales	Restricciones clave
Modelo Programación Lineal Entera Mixta	\$1,500 (desarrollo + capacitación)	\$0 (uso de herramientas gratuitas)	Debe ejecutarse en Excel Solver o similar gratuito.
Proceso digitalizado (BPMN)	\$5,000 (desarrollo)	\$500/año (mantenimiento)	Implementación lenta; inversión debe ser baja.
Dashboard BI (Power BI)	\$500 (capacitación)	\$10/usuario/mes (licencias)	Enfoque en continuidad operativa con bajo presupuesto.
Costo total	\$ 7.000,00		

2.1.13 Análisis de beneficios

A partir de las propuestas de solución mencionadas anteriormente se analizó los potenciales beneficios de implementarlos (véase Tabla 3).

Tabla 3

Beneficios Asociados a las Propuestas de Solución

Propuesta de solución	Beneficio principal	Tipo de beneficio	Objetivo alineado
Business Intelligence (BI)	Visualización en tiempo real de trazabilidad y uso de materiales.	Operativo / Cualitativo	Mejora de trazabilidad de materiales (objetivo: 100%). Control y monitoreo.
Diseño del proceso digitalizado	Visualización en tiempo real de trazabilidad y uso de materiales.	Operativo / Cualitativo	Mejora de trazabilidad de materiales (objetivo: 100%). Control y monitoreo.
Nuevo diseño de proceso	Reorganización de espacios y flujo que mejora el uso del almacén.	Operativo / Logístico	Uso eficiente del almacén (objetivo: <20%).
	Redefinición de tareas que mejora la percepción de carga laboral entre operadores.	Cualitativo / Humano	Mejora en percepción de carga laboral (objetivo: $\geq 85\%$).
MILP (Programación Lineal Mixta)	Optimización de espacio y asignación de recursos.	Cuantitativo / Operativo	Reducción del lead time del proceso (objetivo: $\leq 5\%$).
	Automatización y estandarización que reduce errores y mejora la eficiencia.	Cualitativo / Tecnológico	Uso eficiente del almacén (objetivo: <20%).

2.1.14 Plan de implementación, diseño y prototipado.

Con la finalidad de lograr cumplir con las soluciones propuestas, se realizó un plan de implementación con las fechas estimadas, el por qué, de la actividad, las herramientas a utilizar y el responsable de realizarlo (véase Tabla 4).

Tabla 4*Plan de implementación, diseño y prototipado.*

Descripción	¿Por qué?	¿Cómo?	Responsable	Fecha
Recopilar datos	Obtener una base de datos para alimentar el tablero de BI.	ERP	Oscar Campoverde	21/07/2025 – 04/08/2025
Formular modelo	Desarrollar un modelo matemático para optimizar el despacho de material reciclable.	Excel	Oscar Campoverde	22/07/2025 – 04/08/2025
Validar la formulación del modelo	Realizar validaciones iniciales para asegurar que el modelo funcione.	Testing en Excel/Solver	Oscar Campoverde	25/07/2025 – 04/08/2025
Simulación de escenarios	Crear múltiples casos de prueba para diferentes escenarios operativos.	Simulaciones en Excel/Solver	Oscar Campoverde	04/08/2025 – 11/08/2025
Desarrollo del tablero de BI	Construir un tablero de monitoreo y visualización de datos.	Power BI	Oscar Campoverde	04/08/2025 – 11/08/2025
Diseño del proceso digitalizado	Representar gráficamente el flujo del proceso digitalizado.	Miro, Figma, PowerPoint	Oscar Campoverde	04/08/2025 – 11/08/2025
Análisis de resultados	Interpretar los datos obtenidos para identificar oportunidades de mejora.	Power BI, Excel	Oscar Campoverde	11/08/2025 – 14/08/2025

Retroalimentación del cliente	Recoger comentarios del usuario para asegurar que la solución es útil.	Reunión	Oscar Campoverde	15/8/2025 – 15/8/2025
Refinamiento del modelo/tablero/maqueta	Ajustar y mejorar la solución según análisis y comentarios.	Power BI, Excel, Figma	Oscar Campoverde	15/8/2025 – 27/08/2025

2.1.15 Modelo de optimización

El modelo más adecuado para cumplir con nuestro objetivo corresponde a un modelo de programación lineal entera mixta (MILP). Debido a que este modelo tiene como objetivo minimizar el tiempo total de despacho, mediante la asignación óptima de camiones en función del material reciclable disponible en las bodegas. Los parámetros de despacho están condicionados por la política de inventario definida para este proyecto, la cual establece que cada bodega debe mantener como máximo el 20% de su capacidad ocupada después del proceso de asignación.

A continuación, se detalla el modelo matemático planteado:

Conjuntos:

$I = \{1, \dots, n\}$: Conjunto de almacenes (bodegas), donde i representa cada almacén.

$J = \{1, \dots, n\}$: Conjunto de camiones, donde j representa cada camión.

Parámetros:

V_i : Capacidad volumétrica del almacén i .

K_i : Capacidad de peso del almacén i .

VK_i : Relación volumen/peso del almacén i (m^3/kg).

A_i : Volumen de material reciclable en el almacén i .

C_j : Capacidad volumétrica del camión j .

T_i : Tiempo de procesamiento por kg en el almacén i . [min/kg]

Nota importante: Cada bodega representa un único tipo de material

Variables de decisión:

X_{ij} : Kilogramos de material reciclable asignados del almacén i al camión j .

$Y_j \in \{0,1\}$: Variable binaria que indica si el camión j es asignado (1) o no (0).

Función Objetivo

Minimizar el tiempo total de proceso:

$$\min \sum_j^n \sum_i^n (\frac{1}{60} * X_{ij} * T_i) \quad (2.1)$$

Restricciones

No negatividad

$$X_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (2.2)$$

Capacidad mínima disponible en almacenes:

$$\sum_{i=1}^n A_i - (VK_i * X_{ij}) \leq \sum_{i=1}^n 0.2 * V_i \quad \forall i \in I \quad (2.3)$$

Capacidad volumétrica de camiones si son asignados:

$$\sum_{j=1}^n VK_i * X_{ij} \leq \sum_{j=1}^n Y_j * C_j \quad \forall j \in J \quad (2.4)$$

Activación binaria de camiones

$$Y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J$$

2.1.16 Implementación del dashboard Business Intelligence (BI)

Adicional al modelo de optimización, se estableció implementar un dashboard que permita a los analistas, supervisores y gerencia de área monitorear y evidenciar origen de los residuos, así como la disposición final del mismo al gestor oportuno. Esta solución responde a la necesidad de obtener la trazabilidad del 100% de los materiales. La Figura 9 muestra el reporte implementado.

Figura 9
Reporte de Reciclaje implementado



Nota: Se evidencia la implementación del dashboard inteligente permitiendo tener monitoreado todos los materiales de reciclaje que se despacha a los gestores de reciclaje (clientes).

2.1.17 Digitalización del proceso

Se realizó un prototipo de alta definición para el proceso de Venta y Recepción de material reciclable utilizando herramientas digitales, el cual permitirá mejorar el flujo de

aprobaciones, mejorar el flujo de recepción de material y mejorar los tiempos de despacho de una venta. Este prototipo de alta definición fue realizado en Figma y está elaborado de tal forma que interactúa con el proceso de recepción y despacho de material reciclaje. Así mismo, ayuda en la solución de un cuello de botella identificado en el proceso el cuál es la baja de activos fijos. Este prototipo también fue alineado hacia el dashboard actual, lo que permite complementarlo y añadir nuevas características (véase Figura 14).

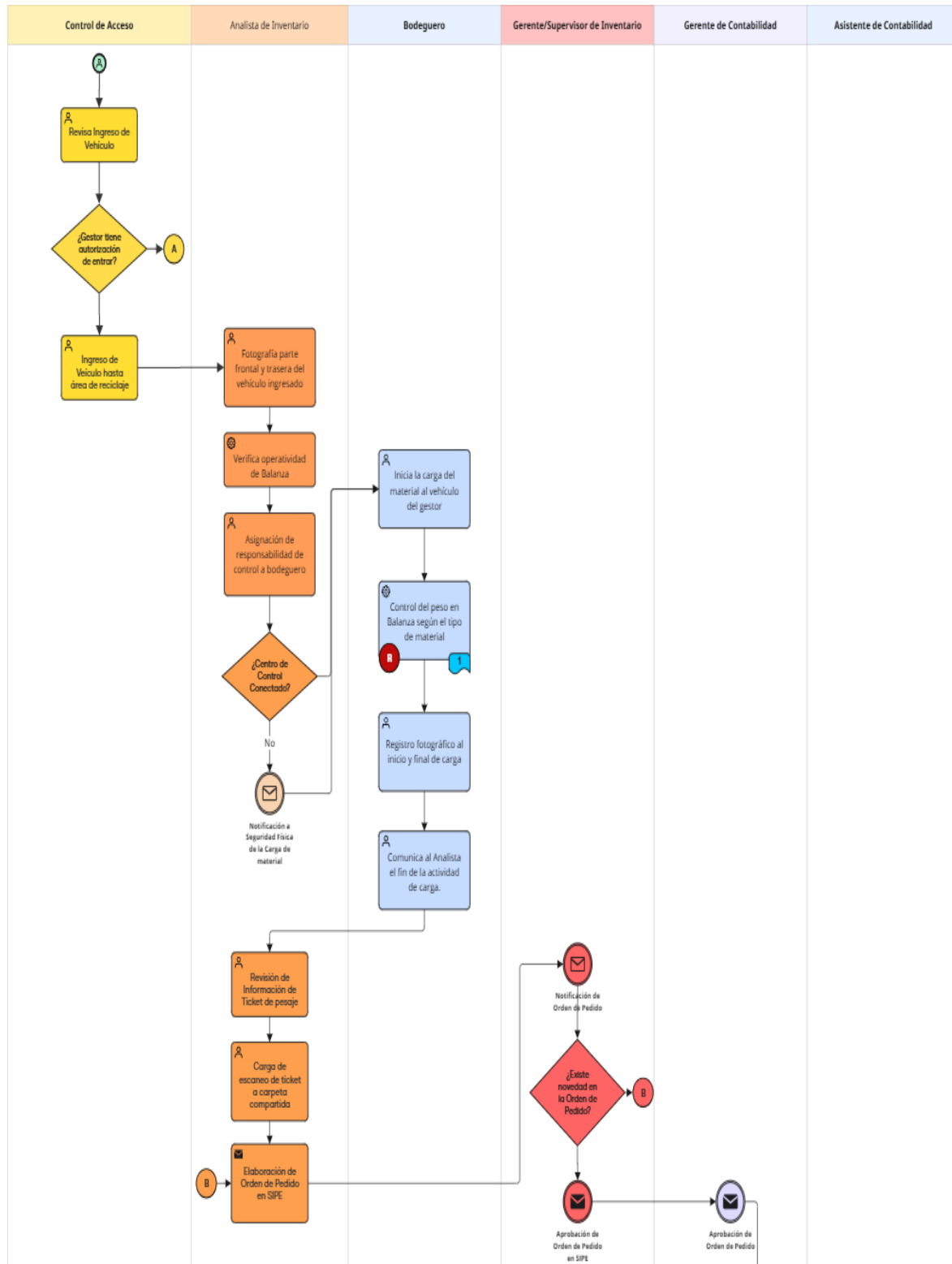
Figura 10

Digitalización de Proceso de Venta y Recepción de Reciclaje

Nota: Para la creación de este prototipo de alta definición se utilizó la herramienta de Figma el cual permite interactuar con el diseño del sistema implementado.

2.1.18 Diseño del proceso

Se definió el proceso estandarizado de venta de reciclaje, esto permite a todas las áreas involucradas en el proceso a tener una visión más clara de todas las actividades que conlleva realizar una venta de reciclaje. Así como el diseño del proceso de recepción de activos fijos (véase Figura 12). El diseño del proceso contempla desde la recepción del camión hasta la salida con el material facturado (véase Figura 11).

Figura 11*Diseño del proceso de Venta de Reciclaje*

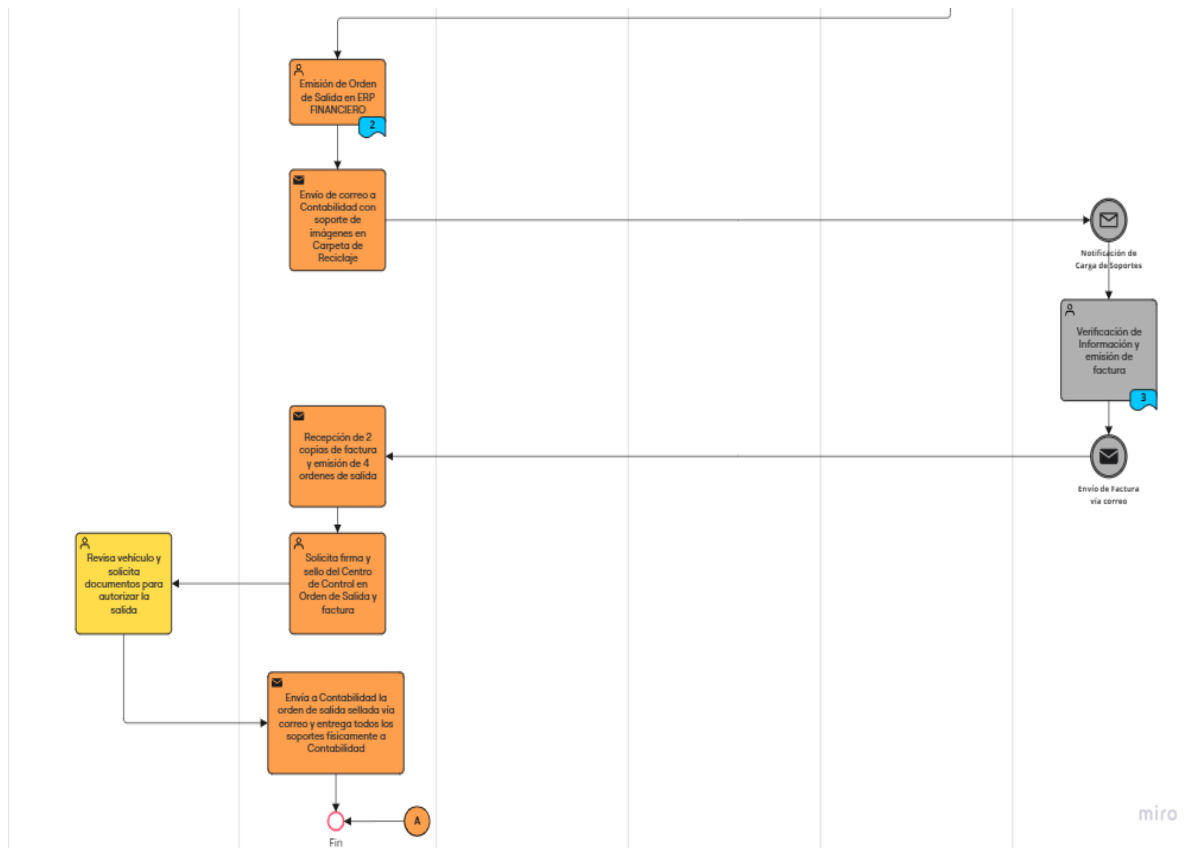
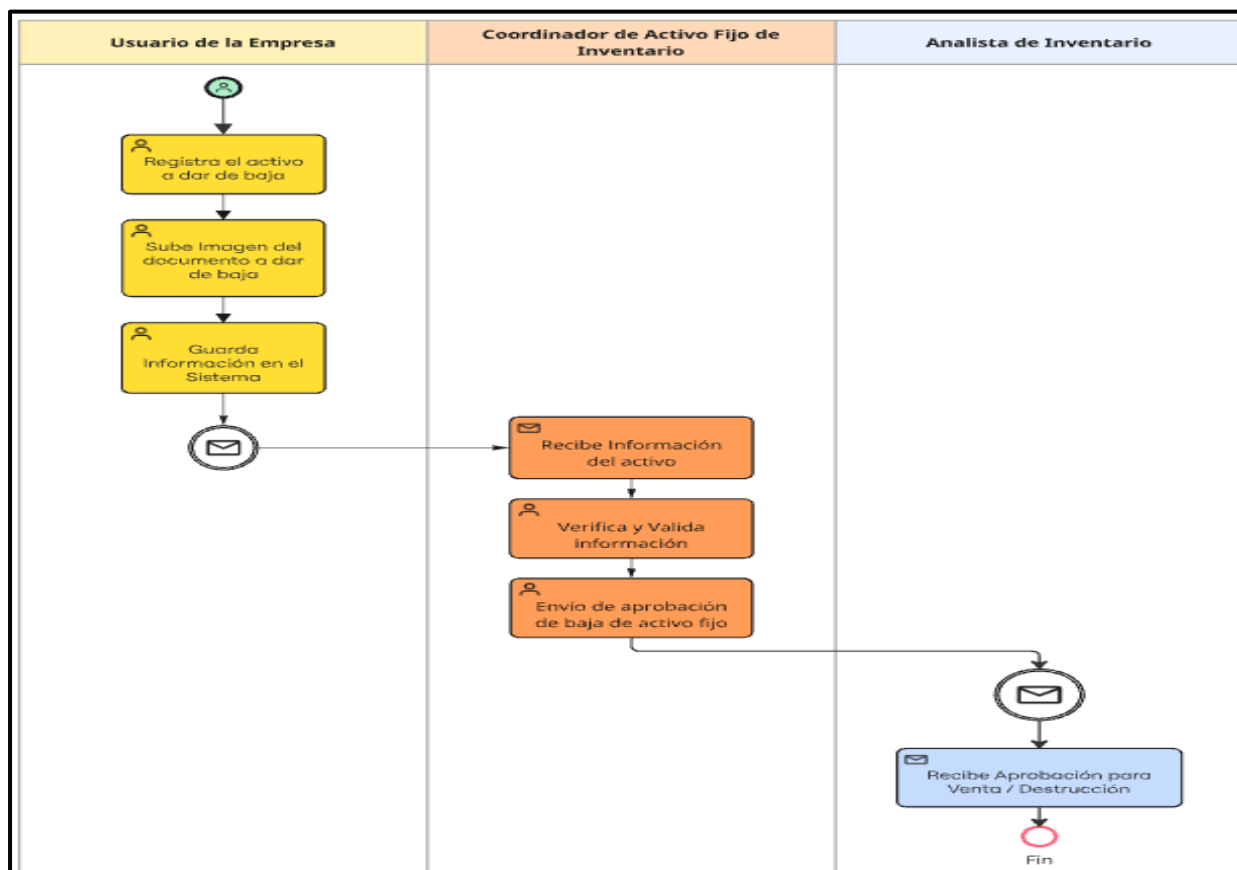
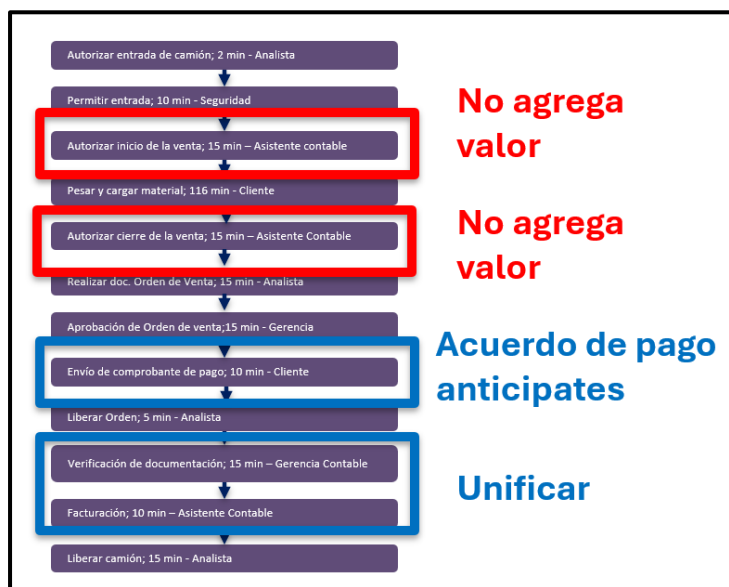


Figura 12*Proceso de Baja de Activos Fijos***2.1.19 Eliminación de actividades que no agregan valor**

Por otro lado, se eliminó actividades que no agregan valor en el proceso como esperar a la autorización de inicio y cierre de la venta por parte del asistente contable, el tiempo de espera por envío del comprobante de pago del cliente y la espera en aprobación y verificación de la venta por parte de dos personas diferentes de la misma área como se detalla en la Figura 13.

Figura 13

Actividades que no Agregan Valor al Proceso



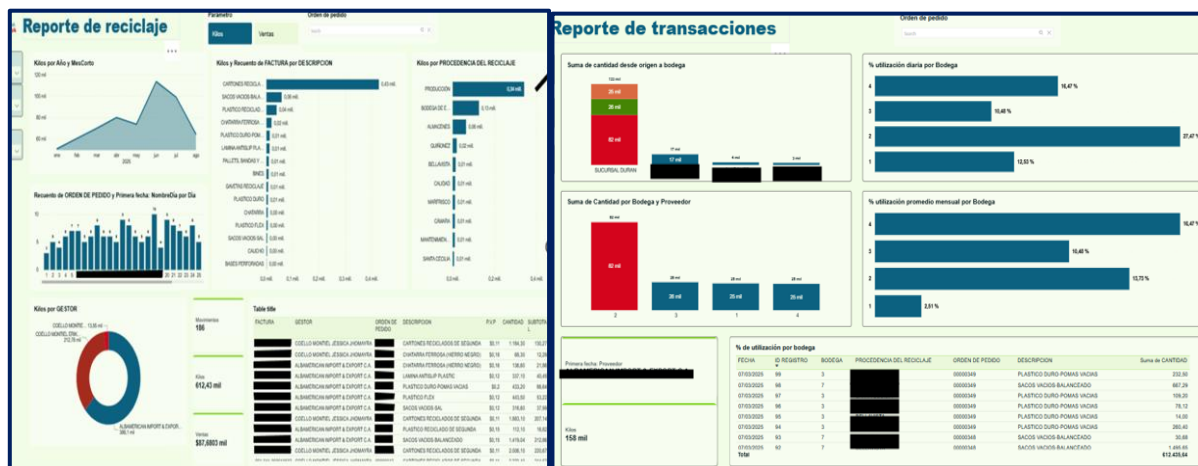
Nota: Estas actividades fueron sacadas a partir de las actividades que se realizaban en el día a día sin un procedimiento y flujo estandarizado.

2.1.20 Complemento Business Intelligence (BI) y digitalización de procesos (Prototipo)

Se implementó un prototipo de visualización y monitoreo integrando el dashboard actual implementado (que permite validar trazabilidad de los materiales) junto a las entradas esperadas del sistema digitalizado, lo que permitió visualizar la integración de ambas propuestas de solución mencionadas anteriormente (véase Figura 14). El valor agregado de este complemento de dashboard y digitalización permitirá un mejor seguimiento y control de los materiales en bodega en tiempo real.

Figura 14

Reporte futuro de reciclaje y tasa de utilización



Nota: En este Dashboard se puede visualizar a mayor detalle que área envió cada material, el gestor que se lo llevó y en qué porcentaje de utilización se encuentran las bodegas.

CAPÍTULO 3

3.1 Resultados y análisis

3.1.1 Análisis en Excel

Implementado el modelo de programación lineal entera mixta se realizó el análisis respectivo de su viabilidad en solver de excel, se pudo validar que este modelo permite asignar recursos de manera óptima (véase Figura 16), respetando las políticas o necesidades del momento para despacho, cumpliendo el requerimiento de tener material en bodega hasta por lo menos tener un 20% o menos como saldo por despacho. Para poder visualizar el cumplimiento de este último requerimiento que permite obtener una mejor utilización del espacio se puede validar en la Figura 19 donde se muestra la cantidad Final en m³ (saldo) en bodegas.

Figura 15

Parámetros del modelo

Parámetros				
Bodega[i]	Vi [m ³]	Ki [Kg]	Vki [m ³ /Kg]	Ti [min/Kg]
1	98,44	13948,49	0,01	0,03
2	28,44	12180,87	0,00	0,02
3	28,44	3100,00	0,01	0,02
4	24,76	1200,00	0,02	0,04
5	70,73	3088,00	0,02	0,04
6	92,25	217,05	0,43	0,48

Nota: Los parámetros considerados incluyen las capacidades de las bodegas expresadas en metros cúbicos y en kilogramos, la razón entre volumen y peso (m³/kg) de cada bodega, así como el tiempo promedio en minutos requerido para despachar un kilogramo de cada material.

El modelo permite asignar de manera óptima las cantidades de material a los camiones disponibles, priorizando la minimización del tiempo total de carga en el proceso de

despacho. Para ello, garantiza el cumplimiento de las restricciones de capacidad de cada vehículo (véase Figura 18) y define un orden de despacho que reduce el inventario hasta alcanzar la meta de mantener la utilización del espacio en bodega en un 20% (véanse Figuras 16 y 19).

Figura 16

Matriz de Asignación de Material a Camiones

Matriz de kilos asignados (kg) de bodega i a camion j							
Bodega de material i/Camión j		j					
		1	2	3	4	5	
i	1	0,00	2169,64	0,00	0,00	0,00	2169,64
	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5	0,00	992,72	0,00	1009,22	0,00	2001,94
	6	5,55	0,00	0,00	9,86	0,00	15,41
		5,55	3162,357013	0	1019,07964	0,00	
Yj		1	1	0	1	0	
Obj [Min]	2,60	Tiempo total en horas de carga.					

Nota: Matriz de asignación de material en Kilogramos por bodega hacia un respectivo camión con capacidad que lo permite.

Figura 17*Materiales en bodegas*

Bodega[i]	Material
1	CARTÓN
2	CAUCHO
3	SACOS VACIOS - SAL
4	POMAS VACIAS
5	PLASTICO DE SEGUNDA
6	GAVETAS

Nota: En el modelo se consideran únicamente los seis materiales que se gestionan dentro de las bodegas. El resto de los materiales se almacenan en espacios a cielo abierto o provienen de las islas, donde son vendidos de manera inmediata sin pasar por bodega.

Figura 18*Capacidad de Camiones de los Clientes*

j	Capacidad camiónj [m3]
1	42,32
2	38,05
3	32,5
4	27,306
5	16,387

Nota: En esta figura se presenta la capacidad de los camiones disponibles y puestos a disposición a la empresa por el cliente.

Figura 19*Entrada, Meta y Estado Final de Bodega*

Ai [m3]	Meta [m3]	Final [m3]
35,00	19,688	19,69
3	5,688	3
3	5,688	3,00
3	4,952	3
60,00	14,146	14,146
25	18,45	18,45

Nota: En este apartado se ingresa la cantidad de material que existe en físico en la columna Ai, así como la meta que se quiere obtener (en nuestro caso el 20% de uso de la bodega en m3). El cumplimiento consiste en que la columna final sea menor o igual a la columna meta.

El modelo matemático asigna los materiales de forma que optimiza el tiempo de despacho y cumple con las restricciones establecidas, como la meta de mantener las bodegas en un 20% de capacidad. Si una bodega no supera ese nivel, el modelo la descarta y prioriza aquellas que sí sobrepasan el umbral (20% de la capacidad total por bodega). El modelo resulta funcional y eficiente, pues distribuye los camiones de manera óptima (véase Figura 16) con el objetivo de minimizar el tiempo total de despacho. Además, permite cumplir metas específicas de utilización de bodegas, ya sea mantener el 20% de ocupación (véase Figura 19) o realizar un vaciado total si se requiere. También es adaptable a un número variable de camiones y puede ajustarse a distintas políticas de gestión del espacio, lo que lo hace flexible.

Una limitación identificada es que la capacidad de los camiones debe ser igual o mayor al volumen que se requiere despachar para alcanzar la meta, condición indispensable para la viabilidad del modelo.

Durante el periodo de observación de poco más de 2 meses (véase Figura 20), el desempeño mejoró significativamente: en julio, sin el modelo, la tasa promedio semanal de cumplimiento fue del 59%, mientras que, en agosto, con el modelo, alcanzó el 78%. Si bien no siempre es posible mantener un porcentaje constante de uso de bodegas por el ingreso continuo de material, superar el 70% de cumplimiento evidencia que el modelo contribuye al logro de los objetivos operativos.

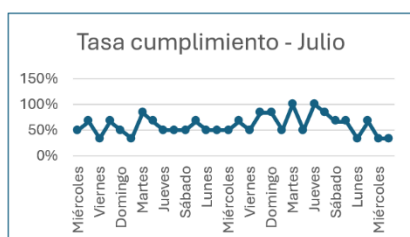
Figura 20

Tasa de Cumplimiento semanal: Capacidad de bodega ≤ 20 % bodega

Columna	MATERIAL	CARTÓN	CAUCHO	SACOS VACÍOS - SA	POMAS VACÍAS	PLÁSTICO DE SEGUNDA	GAVETAS	%Cumplimiento
Día	Fecha	Bodega 1	Bodega 2	Bodega 3	Bodega 4	Bodega 5	Bodega 6	%
Maríes	1/7/2023	88.00	10.00	3.00	65.00	20.00	40.00	50%
Miércoles	2/7/2023	70.00	10.00	6.00	6.00	100.00	40.00	100%
Jueves	3/7/2023	35.00	10.00	9.00	10.00	20.00	40.00	67%
Viernes	4/7/2023	88.00	25.00	12.00	10.00	40.00	40.00	33%
Sábado	5/7/2023	6.00	0.00	15.00	10.00	60.00	40.00	67%
Domingo	6/7/2023	45.00	0.00	18.00	10.00	80.00	40.00	50%
Lunes	7/7/2023	100.00	0.00	21.00	20.00	90.00	40.00	33%
Maríes	8/7/2023	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.00	83%
Miércoles	9/7/2023	80.00	0.00	3.00	0.00	20.00	60.00	67%
Jueves	10/7/2023	50.00	15.00	6.00	10.00	45.00	60.00	50%
Viernes	11/7/2023	100.00	40.00	9.00	20.00	20.00	60.00	90%
Sábado	12/7/2023	10.00	40.00	12.00	25.00	20.00	60.00	90%
Domingo	13/7/2023	2.22	0.00	15.00	25.00	20.00	60.00	67%
Lunes	14/7/2023	100.00	45.00	18.00	0.00	20.00	60.00	90%
Maríes	15/7/2023	40.00	0.00	21.00	10.00	20.00	60.00	50%
Miércoles	16/7/2023	100.00	0.00	0.00	10.00	100.00	60.00	50%
Jueves	17/7/2023	30.00	0.00	3.00	10.00	0.00	60.00	90%
Viernes	18/7/2023	100.00	12.00	6.00	48.00	20.00	60.00	50%
Sábado	19/7/2023	15.00	12.00	9.00	20.00	20.00	60.00	83%
Domingo	20/7/2023	2.22	12.00	12.00	20.00	20.00	60.00	83%
Lunes	21/7/2023	100.00	12.00	15.00	45.00	20.00	60.00	50%
Maríes	22/7/2023	20.00	12.00	18.00	0.00	20.00	0.00	100%
Miércoles	23/7/2023	80.00	12.00	21.00	0.00	100.00	20.00	50%
Jueves	24/7/2023	10.00	12.00	0.00	20.00	0.00	20.00	100%
Viernes	25/7/2023	20.00	12.00	0.00	20.00	20.00	50.00	83%
Sábado	26/7/2023	45.00	12.00	6.00	20.00	0.00	50.00	67%
Domingo	27/7/2023	70.00	12.00	9.00	20.00	0.00	50.00	67%
Lunes	28/7/2023	100.00	12.00	33.00	38.00	20.00	50.00	33%
Maríes	29/7/2023	20.00	12.00	30.00	40.00	20.00	50.00	33%
Miércoles	30/7/2023	10.00	12.00	30.00	0.00	20.00	40.00	67%
Jueves	31/7/2023	100.00	12.00	30.00	40.00	20.00	50.00	33%
Viernes	1/8/2023	60.00	12.00	20.00	0.00	30.00	40.00	67%
Sábado	2/8/2023	30.00	12.00	20.00	0.00	20.00	20.00	100%
Domingo	3/8/2023	40.00	15.00	40.00	10.00	25.00	20.00	33%
Lunes	4/8/2023	60.00	15.00	40.00	0.00	30.00	20.00	33%
Maríes	5/8/2023	20.00	15.00	20.00	10.00	20.00	20.00	100%
Miércoles	6/8/2023	40.00	20.00	23.00	15.00	25.00	20.00	90%
Jueves	7/8/2023	20.00	20.00	20.00	15.00	20.00	20.00	100%
Viernes	8/8/2023	40.00	20.00	20.00	20.00	25.00	20.00	67%
Sábado	9/8/2023	0.00	20.00	20.00	20.00	0.00	20.00	100%
Domingo	10/8/2023	20.00	20.00	25.00	25.00	5.00	20.00	67%
Lunes	11/8/2023	40.00	20.00	30.00	30.00	10.00	20.00	50%
Maríes	12/8/2023	60.00	20.00	20.00	20.00	15.00	40.00	67%
Miércoles	13/8/2023	0.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	100%
Jueves	14/8/2023	40.00	25.00	20.00	0.00	25.00	60.00	33%
Viernes	15/8/2023	20.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100%
Sábado	16/8/2023	40.00	0.00	0.00	10.00	5.00	10.00	83%
Domingo	17/8/2023	60.00	0.00	25.00	10.00	5.00	20.00	67%
Lunes	18/8/2023	90.00	0.00	30.00	10.00	10.00	20.00	67%
Maríes	19/8/2023	20.00	10.00	20.00	15.00	15.00	20.00	100%
Miércoles	20/8/2023	50.00	10.00	0.00	15.00	20.00	0.00	83%
Jueves	21/8/2023	0.00	10.00	3.00	20.00	25.00	10.00	83%
Viernes	22/8/2023	25.00	10.00	5.00	20.00	20.00	20.00	83%
Sábado	23/8/2023	0.00	10.00	5.00	0.00	0.00	20.00	100%
Domingo	24/8/2023	30.00	10.00	10.00	0.00	5.00	20.00	83%
Lunes	25/8/2023	60.00	15.00	15.00	15.00	10.00	30.00	67%
Maríes	26/8/2023	20.00	15.00	20.00	15.00	15.00	20.00	100%
Miércoles	27/8/2023	60.00	15.00	0.00	0.00	20.00	0.00	83%
Jueves	28/8/2023	10.00	15.00	6.00	0.00	25.00	20.00	83%
Viernes	29/8/2023	20.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100%
Sábado	30/8/2023	40.00	15.00	10.00	0.00	5.00	5.00	83%
Domingo	31/8/2023	60.00	15.00	15.00	0.00	10.00	10.00	83%
Lunes	1/9/2023	80.00	15.00	15.00	15.00	15.00	10.00	83%
Maríes	2/9/2023	20.00	15.00	20.00	15.00	20.00	15.00	100%
Miércoles	3/9/2023	60.00	15.00	0.00	5.00	0.00	10.00	83%

Figura 21

Gráfica indicador de cumplimiento semanal - julio

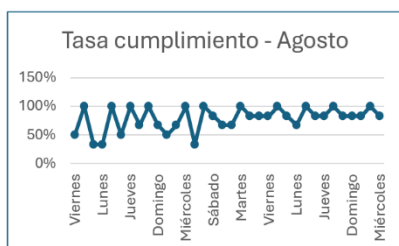


Promedio:

59%

Figura 22

Gráfica indicador de cumplimiento semanal - agosto



Promedio:

78%

3.1.2 Prueba de Hipótesis Test de Mann-Whitney U

A continuación, se realizó una prueba de hipótesis para verificar si el cambio es significativo entre 2 muestras (véase Figura 20), correspondientes al mes de julio y los datos desde y posteriores a agosto (periodo en el que se comenzó con la implementación del modelo).

Para ello se utilizó la prueba Test de Mann-Whitney U, cuyos supuestos del test de Mann-Whitney U son:

1. Independencia de las observaciones

Los datos de un grupo no dependen de los datos del otro grupo.

Cada observación representa un caso único y no se repite.

2. Escala ordinal o superior

Los datos deben ser ordinales, intervalares o de razón.

Es decir, deben poder ordenarse de menor a mayor.

3. Distribuciones similares (opcional, para comparar medianas)

Para interpretar la prueba como comparación de medianas, se asume que las distribuciones tienen forma similar (aunque pueden diferir en ubicación).

Si las distribuciones son muy diferentes, el test sigue detectando diferencias en rangos, pero la interpretación de mediana puede no ser exacta.

4. Muestras independientes

Los grupos deben ser independientes, no pareados.

$n_1 \rightarrow$ tamaño del Grupo 1 (julio)

$n_2 \rightarrow$ tamaño del Grupo 2 (agosto)

$R_1 \rightarrow$ suma de rangos del Grupo 1

$$U_1 = n_1 * n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{12} - R_1 \quad (3.1)$$

$$Z = \frac{U - u_U}{\sigma_U} \quad (3.2)$$

$$u_U = \frac{n_1 * n_2}{2}; \sigma_U = \sqrt{\frac{n_1 * n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}} \quad (3.3)$$

A partir de las formulas antes mencionas se procedió a realizar la prueba de contraste hipótesis. Donde se tiene:

Hipótesis nula (H_0):

$p_1 = p_2$

El porcentaje de cumplimiento es igual en ambos grupos.

Hipótesis alternativa (H_1):

$$p_1 \neq p_2 \text{ o } p_1 > p_2$$

El porcentaje de cumplimiento es mayor en el grupo 1.

Nivel de significancia:

Se considera un nivel de significancia de $\alpha=0.05$

Resultados:

Tabla 5

Tabla de resultados Test de Mann-Whitney U

Parámetro	Grupo 1	Grupo 2	Observaciones
n (tamaño muestra)	$n_1 = 31$	$n_2 = 34$	Grupos independientes
R (suma de rangos)	$R_1 = 756,5$	$R_2 = 1388,5$	Asignación de rangos
U (estadístico U)	$U_1 = 793,5$	$U_2 = 260,5$	Se toma el menor: $U_{\min} = 260,5$
Z calculado	-3,5	—	Comparado con valores críticos
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$	—	Bilateral
Valor crítico ($Z_{1-\alpha/2}$)	1,96	—	Referencia para decisión
p-value	0,00232	—	$p < 0,05 \rightarrow$ Rechazar H_0

Dado que el p-value de la prueba de hipótesis es mucho menor que el nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula. Es decir, se encontró diferencia estadísticamente significativa entre los grupos.

Por lo tanto, se puede afirmar que las medidas implementadas han logrado mejorar la tasa de cumplimiento respecto a la utilización de las bodegas cumplan con el objetivo o meta $\leq 20\%$ de capacidad por bodega.

3.1.3 *Análisis de mejora de tiempos de venta de reciclaje*

Eliminadas actividades que no agregan valor, se visualiza el flujo de actividades segmentados en tiempos promedio de estas (véase Figura 23), el proceso de venta de reciclaje de reciclaje pasó de tener un tiempo promedio de venta inicial de 4,05 horas a uno de aproximadamente 3,06 horas.

Es decir, se mejoró el tiempo de venta de reciclaje notoriamente con una disminución del 24,4 %.

Figura 23

Tiempo promedio de venta de reciclaje actual

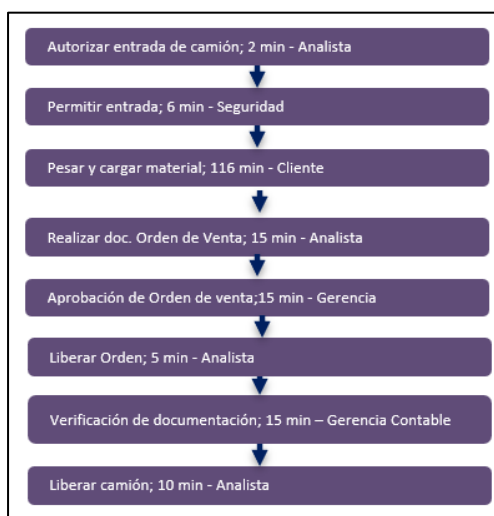


Figura 24*Muestreo de tiempos antes vs después*

SEMANA	ORDEN DE PEDIDO	CANTIDAD (KG)	TIEMPOS DE CARGA (HRS)	DESPACHO TOTAL (HRS)	SEMANA	ORDEN DE PEDIDO	CANTIDAD (KG)	TIEMPOS DE CARGA (HRS)	DESPACHO TOTAL (HRS)
02	00000308	1252,60	1,03	3,15	50	00000464	2678,60	1,25	2,45
02	00000309	1867,00	1,58	3,70	50	00000465	811,70	0,78	1,98
02	00000310	1883,10	0,99	2,78	50	00000466	5846,40	2,41	3,61
02	00000312	4229,50	2,00	4,12	50	00000469	1556,80	1,16	2,36
03	00000314	2146,60	1,21	3,33	50	00000469	5185,00	2,65	3,85
03	00000315	4642,70	1,90	4,02	50	00000470	1500,60	1,11	2,31
03	00000316	762,20	1,18	3,28	50	00000471	3195,00	1,76	2,96
03	00000317	1465,50	1,51	3,63	51	00000472	5889,10	2,10	3,30
04	00000318	1816,90	1,00	3,12	51	00000473	752,10	0,86	2,06
04	00000320	2574,20	1,80	3,72	51	00000474	730,00	1,23	2,43
04	00000323	1573,00	1,11	3,23	51	00000475	5154,20	2,75	3,95
05	00000325	3174,20	2,03	4,15	51	00000476	4544,20	2,00	3,20
06	00000328	2833,62	1,20	3,32	51	00000477	5156,90	1,35	2,55
06	00000329	5035,50	2,86	4,76	52	00000478	742,60	0,86	2,06
06	00000330	5388,20	2,65	4,77	52	00000479	761,60	1,21	2,41
06	00000331	2178,30	2,40	4,52	52	00000480	4694,10	2,13	3,33
07	00000332	2855,40	2,61	4,73	52	00000481	734,60	0,83	2,13
07	00000333	4234,90	1,70	3,82	53	00000482	5728,80	2,43	3,63
07	00000334	1312,40	2,20	4,32	53	00000483	6152,30	3,05	4,25
07	00000336	4062,70	2,16	4,28	53	00000485	2286,60	1,35	2,55
08	00000337	4633,80	2,00	4,12	53	00000486	2347,70	1,60	2,80
08	00000338	5327,90	2,50	4,62	53	00000487	6358,70	3,13	4,33
08	00000339	6106,60	3,33	5,45	54	00000488	2351,50	0,90	2,10
09	00000342	3491,70	1,91	4,03	54	00000489	969,70	2,83	4,03
09	00000343	1844,30	1,30	3,42	54	00000490	823,20	1,23	2,43
09	00000344	3839,20	2,38	4,50	54	00000491	5150,30	3,66	4,86
09	00000345	4309,60	1,63	3,75	54	00000492	5679,80	2,95	4,15
10	00000346	1456,60	1,25	3,37	54	00000494	3160,50	2,98	4,18
10	00000347	5254,30	2,71	4,83	54	00000495	2434,90	1,18	2,38
11	00000350	4087,10	2,00	4,12					
11	00000351	4646,80	1,48	3,60					
11	00000352	2028,10	1,10	3,22	PROMEDIO		3375,80	1,86	3,06

3.1.4 Prueba de hipótesis t- test de Welch

Para comparar los tiempos promedios entre el grupo 1 y grupo 2 que representan el antes y después de la eliminación de actividades que no agregan valor al proceso se utilizó una prueba de hipótesis de Welch para muestras independientes.

Aunque el grupo 2 no cumple perfectamente el supuesto de normalidad, esta prueba es robusta frente a desviaciones moderadas de normalidad, especialmente en nuestro escenario cuando:

1. La muestra no es extremadamente pequeña (el grupo 2 tiene 29 observaciones).
2. El otro grupo es grande (el grupo 1 tiene 118 observaciones), lo que permite que la prueba se aproxime a la distribución normal por el teorema central del límite.

Además, el t-test de Welch es apropiado cuando las varianzas de los grupos son diferentes, como es el caso de nuestros datos Var1 de 0,73 y Var2 de 0,35.

Tabla 6*Estadísticas descriptivas*

Grupo	n	Media (hrs)	Desviación estándar	Mín	Máx
Grupo 1	118	4,05	0,59	2,9	5,45
Grupo 2	29	3,06	0,86	1,98	4,86

Hipótesis nula (H_0):

$$\mu_1 \leq \mu_2$$

El tiempo promedio del proceso no ha disminuido.

Hipótesis alternativa (H_1):

$$\mu_1 > \mu_2$$

El tiempo promedio del proceso ha disminuido.

Nivel de significancia:

Se considera un nivel de significancia de $\alpha=0.05$

Resultado de la prueba:

Valor p: 7,30559E-12

Conclusión:

Dado que el valor p es mucho menor que el nivel de significancia establecido ($p < 0,05$), se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que existe evidencia estadísticamente significativa para afirmar que el tiempo promedio del proceso ha disminuido.

3.1.5 Análisis de carga laboral

Se realizó una comparativa a través de una encuesta realizado antes de la implementación de las mejoras y una encuesta posterior a las mismas para cuantificar la percepción de carga laboral que tiene actualmente el personal operativo (véase

Figura 25 y Figura 26). Se puede evidenciar una mejora 53 % hacia un 86% de percepción positiva de carga laboral.

Figura 25

Calificación carga laboral (antes).

Criterio (Carga laboral)	Personal Bodeguero	Analista de Inventario	Personal Operativo Producción	PROMEDIO
1. La carga laboral asociada a los tiempos de carga ha sido manejable y no ha generado sobrecarga.	5	6	6	5,67
2. El esfuerzo requerido para mantener orden en las cantidades almacenadas ha sido adecuado y no excesivo.	6	6	6	6,00
3. El control y respeto del límite de capacidad de la bodega no ha representado una sobrecarga adicional de trabajo.	5	5	5	5,00
4. La claridad y comunicación sobre los límites de capacidad han facilitado las labores, evitando tareas duplicadas o esfuerzo extra.	4	5	5	4,67
5. El nivel de exigencia para cumplir con la optimización en los tiempos de despacho ha sido razonable y no excesivamente demandante.	5	6	5	5,33
6. La carga laboral relacionada con asegurar un uso óptimo del espacio de la bodega ha sido adecuada.	5	5	6	5,33
TOTAL				53%

Figura 26*Calificación carga laboral (actual)*

Criterio (Carga laboral)	Personal Bodeguero	Analista de Inventario	Personal Operativo Producción	PROMEDIO
1. La carga laboral asociada a los tiempos de carga ha sido manejable y no ha generado sobrecarga.	8	8	9	8,33
2. El esfuerzo requerido para mantener orden en las cantidades almacenadas ha sido adecuado y no excesivo.	9	9	9	9,00
3. El control y respeto del límite de capacidad de la bodega no ha representado una sobrecarga adicional de trabajo.	8	8	8	8,00
4. La claridad y comunicación sobre los límites de capacidad han facilitado las labores, evitando tareas duplicadas o esfuerzo extra.	9	9	8	8,67
5. El nivel de exigencia para cumplir con la optimización en los tiempos de despacho ha sido razonable y no excesivamente demandante.	9	8	9	8,67
6. La carga laboral relacionada con asegurar un uso óptimo del espacio de la bodega ha sido adecuada.	8	9	9	8,67
TOTAL				86%

3.1.6 Resultados de las especificaciones de diseño

Utilización de bodegas de almacenamiento: Mediante el modelo de optimización desarrollado, se logró mantener la utilización de las bodegas en un máximo del 20%. Este límite fue incorporado como restricción dentro del modelo de despacho, con el objetivo de cumplir dicha condición en la mayor cantidad de bodegas posibles. Esta estrategia se reflejó en la mejora del indicador de cumplimiento relacionado con la eficiencia en el uso de las bodegas.

Trazabilidad de materiales reciclables: Gracias a la integración entre el ERP de ventas de reciclaje y el dashboard de Business Intelligence, se logró asegurar la trazabilidad

completa de los 15 ítems actualmente reciclados en la empresa. Esto permitió alcanzar un 100% de trazabilidad de los materiales reciclables y su disposición final.

Tiempo total de venta de reciclaje: A través del análisis detallado del proceso de venta de reciclaje, se identificaron actividades que no agregaban valor y otras con oportunidad de mejora. Al intervenir sobre estas actividades, se logró reducir el tiempo total del proceso de 4,05 horas a 3,06 horas, lo que representa una mejora del 24%, considerada significativa.

Percepción de carga laboral: Como resultado de las mejoras implementadas en los puntos anteriores, el personal operativo manifestó un aumento de percepción positiva respecto a su carga laboral. A partir de una encuesta aplicada posterior a la implementación, se logró evidenciar que el nivel de satisfacción alcanzó un 86%, en comparación con el 53% inicial.

3.1.7 Impacto

Impacto Social: Las mejoras implementadas en el modelo de optimización han generado un impacto positivo en el entorno laboral. La percepción de carga laboral del personal operativo aumentó significativamente, pasando de un 53% a un 86% de satisfacción, según las encuestas realizadas y ponderación mostrada en la Figura 26. lo que refleja una mejora en el bienestar y la motivación del equipo. Además, la trazabilidad completa de los materiales reciclables ha fortalecido la transparencia del proceso, generando mayor confianza entre los colaboradores y usuarios internos.

Impacto Económico: Desde el punto de vista económico, la reducción del tiempo total del proceso de venta de reciclaje en un 15% ha representado una mejora significativa en la eficiencia operativa, permitiendo ahorrar tiempo y recursos. Asimismo, el control en la utilización de bodegas, manteniéndolas por debajo del 20% de su capacidad, ha

optimizado el uso del espacio físico, reduciendo costos asociados al almacenamiento y mejorando la gestión de inventario.

Impacto Ambiental: El modelo también ha contribuido a la sostenibilidad ambiental. La trazabilidad del 100% de los materiales reciclables garantiza su correcta disposición final, evitando acumulaciones innecesarias y promoviendo una gestión responsable de residuos. Además, al reducir el tiempo de procesamiento y despacho, se disminuye el consumo de energía y recursos logísticos, lo que se traduce en una operación más limpia y eficiente.

CAPÍTULO 4

4.1 Conclusiones y Recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

-El tablero de Business Intelligence ha permitido la trazabilidad de todos los materiales vendidos cumpliendo con el objetivo de lograr el 100%.

-La digitalización del proceso de ventas y recepción será crucial para mantener el control sobre la recepción de materiales y monitoreo de la utilización de bodegas con mayor precisión.

-La definición del nuevo proceso de ventas y recepción de reciclaje ha contribuido a optimizar los tiempos de venta y despacho mejorando en un 24% el tiempo total.

-El modelo MILP es viable, ya que permite optimizar las operaciones de despacho, cumplir con la capacidad volumétrica establecida en las bodegas (20%), además de reducir el tiempo asociado a las actividades de despacho.

4.1.2 Recomendaciones

- Continuar mejorando el tablero de BI para incluir análisis predictivo del flujo de materiales y con ello poder anticiparse ante grandes fluctuaciones de envíos de material reciclable a las bodegas.

- Estandarizar los procedimientos digitales en todas las áreas para garantizar consistencia y reducir errores manuales.

- Capacitar al personal en el uso de herramientas digitales para maximizar su adopción.

- Implementar alertas automáticas en las bodegas, para evitar acumulación de materiales y cuellos de botella.

- Ampliar el modelo MILP para incluir optimización de costos e indicadores de impacto ambiental.
- Integrar el tablero con los sistemas ERP para lograr un flujo continuo de datos y una mejor toma de decisiones.

Referencias

- Castillo Hernández, J. A., & Roldán Montaña, J. C. (2019). *Design thinking. Metodología y casos de éxito*. Universidad de San Buenaventura, Seccional Cali.
- Chan, L., & Wu, M. (2002). Quality function deployment: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 463-497.
- Empresa exportadora del sector acuícola. (1 de 07 de 2025). Base de datos de ERP de la empresa. Ecuador, Guayas.
- Lim, E.-P. C. (2013). Business intelligence and analytics: Research directions. *ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS)*, 1-20.
- Ministerio del ambiente, agua y transición ecológica. (1 de 07 de 2025). *El Código Orgánico del Ambiente*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/codigo-organico-del-ambiente-coa/>
- MPCEIP. (2025). Analisis trimestreal comercio exterior I trimestre 2025 (enero-marzo). *Comercio exterior dirección de estudios economicos y comerciales*, 1-3.
- Porporato Daher, G., Galindo Dorado, R., & Morcillo García, J. (2023). Digitalización de los procesos contables y . *Revista de Contabilidad y Tributación. CEF*, 478, 165-194.
- Solíz Torres, M. F. (2015). Ecología política Y geografía crítica De La Basura En El Ecuador. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana De Estudios Socioambientales*, n.º 17, 4-28.
- Vergidis, k., Tiwari, A., & Basin, M. (2008). Business Process Analysis and Optimization:. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS*, 1-14.
- WIPO. (31 de 8 de 2010). *WIPO INT*. Obtenido de Recycling for the Future: <https://www.wipo.int/en/web/ip-advantage/w/stories/recycling-for-the-future>

Yan, Z., Yanmei, Z., & Hao, H. (2020). Research on Optimization of Knapsack. *Advanced multimedia and ubiquitous engineering, Srpinger*, 1-17.

Apéndices

Apéndice A

Formulación Del Modelo Milp En Solver - Parte 1

Parámetros de Solver

Establecer objetivo: 

Para: ☐ Máx ☒ Mín ☐ Valor de:

Cambiando las celdas de variables: 

Sujeto a las restricciones:

\$X\$12:\$AB\$12 <= \$X\$15:\$AB\$15

\$O\$15:\$S\$15 = binario

\$O\$6:\$S\$11 >= 0

\$K\$9 >= 0

\$K\$4 >= 0

\$K\$7 >= 0

\$K\$6 >= 0

\$K\$9 <= \$J\$9

\$K\$7 >= 0

\$K\$8 >= 0

\$K\$8 <= \$J\$8

Agregar

Cambiar

Eliminar

Restablecer todo

Cargar/Guardar

☒ Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución: 

Método de resolución

Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.

Apéndice B

Formulación Del Modelo Milp En Solver – Parte 2

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: ☐ Máx ☒ Mín ☐ Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

\$K\$7 >= 0	Agregar
\$K\$6 >= 0	Cambiar
\$K\$9 <= \$J\$9	Eliminar
\$K\$7 >= 0	Restablecer todo
\$K\$8 >= 0	Cargar/Guardar
\$K\$8 <= \$J\$8	
\$K\$7 <= \$J\$7	
\$K\$5 <= \$J\$5	
\$K\$4 <= \$J\$4	
\$K\$5 >= 0	
\$K\$6 <= \$J\$6	

☒ Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución:

Método de resolución

Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.

Apéndice C

Información Dada Por El ERP Del Sistema

DESCRIPCION	U/MEDIDA	CANTIDAD	P.V.P	SUBTO	RETEN	IVA
CARTONES RECICLADOS DE SEGL	KILOGRAMOS	1184.3	0.11	130.27	0	
CHATARRA FERROSA (HIERRO NEI	KILOGRAMOS	68.3	0.18	12.29	0	
PLASTICO DURO-POMAS VACIAS	KILOGRAMOS	433.2	0.2	86.64	0	
SACOS VACIOS-SAL	KILOGRAMOS	316.6	0.12	37.99	0	
PLASTICO FLEX	KILOGRAMOS	443.5	0.12	53.22	0	
LAMINA ANTISLIP PLASTIC	KILOGRAMOS	337.1	0.12	40.45	0	
CHATARRA FERROSA (HIERRO NEI	KILOGRAMOS	136.6	0.16	21.86	0	
CARTONES RECICLADOS DE SEGL	KILOGRAMOS	1883.1	0.11	207.14	0	
SACOS VACIOS-BALANCEADO	KILOGRAMOS	1419.04	0.15	212.86	0	
PLASTICO RECICLADO DE SEGUN	KILOGRAMOS	112.1	0.15	16.82	0	
CARTONES RECICLADOS DE SEGL	KILOGRAMOS	2006.1	0.11	220.67	0	
CARTONES RECICLADOS DE SEGL	KILOGRAMOS	2223.4	0.11	244.57	0	
SACOS VACIOS-BALANCEADO	KILOGRAMOS	5111.25	0.15	766.69	0	
SACOS VACIOS-BALANCEADO	KILOGRAMOS	2356.25	0.15	353.44	0	
CARTONES RECICLADOS DE SEGL	KILOGRAMOS	2146.6	0.12	257.59	0	
CARTONES RECICLADOS DE SEGL	KILOGRAMOS	1878.3	0.12	225.4	0	
CARTONES RECICLADOS DE SEGL	KILOGRAMOS	2164.4	0.12	259.73	0	
PLASTICO RECICLADO DE SEGUN	KILOGRAMOS	762.2	0.1	76.22	0	
CHATARRA FERROSA (HIERRO NEI	KILOGRAMOS	1465.5	0.18	263.79	0	
CARTONES RECICLADOS DE SEGL	KILOGRAMOS	1816.9	0.12	218.03	0	
PLASTICO DURO	KILOGRAMOS	1585.8	0.05	79.29	0	
PLASTICO DURO	KILOGRAMOS	1204	0.05	60.2	0	
CARTONES RECICLADOS DE SEGL	KILOGRAMOS	1170.2	0.12	140.42	0	
SACOS VACIOS-BALANCEADO	KILOGRAMOS	1667.04	0.03	50.01	0	
CARTONES RECICLADOS DE SEGL	KILOGRAMOS	1288.5	0.12	154.62	0	
SACOS VACIOS-BALANCEADO	KILOGRAMOS	898.56	0.03	26.96	0	
SACOS VACIOS-BALANCEADO	KILOGRAMOS	268.8	0.03	8.06	0	
SACOS VACIOS-BALANCEADO	KILOGRAMOS	661.7	0.03	19.85	0	
CARTONES RECICLADOS DE SEGL	KILOGRAMOS	1865.2	0.12	223.82	0	
GAVETAS RECICLAJE	KILOGRAMOS	1173	0.1	117.3	0	
PLASTICO DURO	KILOGRAMOS	1004.4	0.3	301.32	0	
PLASTICO DURO	KILOGRAMOS	58.8	0.3	17.64	0	
PLASTICO DURO	KILOGRAMOS	43.2	0.3	12.96	0	
PLASTICO DURO	KILOGRAMOS	12.6	0.3	3.78	0	
PLASTICO DURO	KILOGRAMOS	79.2	0.3	23.76	0	
PLASTICO RECICLADO DE SEGUN	KILOGRAMOS	519.3	0.18	93.47	0	
CARTONES RECICLADOS DE SEGL	KILOGRAMOS	2654.9	0.15	398.24	0	
SACOS VACIOS-BALANCEADO	KILOGRAMOS	859.5	0.15	128.93	0	
SACOS VACIOS-BALANCEADO	KILOGRAMOS	580.32	0.15	87.05	0	
SACOS VACIOS-BALANCEADO	KILOGRAMOS	153.14	0.15	22.97	0	

Apéndice D

Documento De Orden De Salida

Usuario:
Fecha: 10/02/25 14:14:59

Orden de Salida # 74609

Fecha Elaboración:10/02/2025

Fecha Salida: 10/02/2025

Para:

Placa:

Motivo: Venta de material de reciclaje

Reciclaje

Tipo producto: REC

Creado por: 10:52

Aprobado por: 14:14

Detalle

Sec.	Producto	Bodega/Area/Observación	Uni. Med.	Cantidad
1	Chatarra (sellos metálicos)	Lenin Ortiz-0912169398	KG	981,40
2	Plástico de segunda		KG	1447,70
3	Lamina antislip		KG	167,30
4	Plástico Flex		KG	259,00

Apéndice E

Ticket De Pesaje

No: 1
2025-02-06
09:57:16
G: 300.3kg
T: 0.0kg
N: 300.3kg

No: 2
2025-02-06
10:10:05
G: 378.4kg
T: 0.0kg
N: 378.4kg

No: 3
2025-02-06
10:22:42
G: 517.6kg
T: 0.0kg
N: 517.6kg

No: 4
2025-02-06
10:29:08
G: 341.2kg
T: 0.0kg
N: 341.2kg

No: 5
2025-02-06
10:39:39
G: 345.8kg
T: 0.0kg
N: 345.8kg

2025-02-06
10:50:37
G: 370.1kg
T: 0.0kg
N: 370.1kg

No: 7
2025-02-06
11:03:24
G: 305.5kg
T: 0.0kg
N: 305.5kg

No: 8
2025-02-06
11:13:15
G: 411.2kg
T: 0.0kg
N: 411.2kg

No: 9
2025-02-06
11:20:26
G: 401.2kg
T: 0.0kg
N: 401.2kg

No: 10
2025-02-06
11:31:18
G: 378.8kg
T: 0.0kg
N: 378.8kg

No: 11
2025-02-06
11:39:42
G: 402.4kg
T: 0.0kg
N: 402.4kg

Apéndice D

Medición Con Flexómetro De Materiales



Apéndice E

Medición Con Flexómetro

