

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

Minimizar el porcentaje de desperdicio en la
planta de producción Polyagro durante el
segundo cuatrimestre 2023

Proyecto de graduación para optar por el
Bachillerato en Ingeniería Industrial.

Geiner Martínez Carvajal
Ing. Yesenia Salazar Guzmán

Heredia, 2023

CARTA DEL TUTOR

CARTA DEL TUTOR

31 de octubre de 2023

Destinatario
Carrera Ingeniería Industrial
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante Geiner Martínez Carvajal, cédula de identidad número 1 1193 0875, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "Minimizar el porcentaje de desperdicio en la planta de producción Polyagro durante el segundo cuatrimestre 2023", el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato en la carrera de Ingeniería Industrial.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos, resultados económicos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

a)	ORIGINAL DEL TEMA	10%	10
b)	CUMPLIMIENTO DE ENTREGA DE AVANCES	20%	18
c)	COHERENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS, LOS INSTRUMENTOS APLICADOS Y LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	30%	28
d)	RELEVANCIA DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20%	17
e)	CALIDAD, DETALLE DEL MARCO TEORICO	20%	18
TOTAL			91

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

SEIDY YESENIA
SALAZAR GUZMAN

Firmado digitalmente por SEIDY
YESENIA SALAZAR GUZMAN
Fecha: 2023.10.31 21:06:06
0000

Ing. Yesenia Salazar Guzmán, MBA, MGP.

Cédula identidad 6 0354 0437

Camé Colegio Profesional IPI-24137

DECLARACION JURADA

DECLARACIÓN JURADA

Yo Geiner Eliecer Martínez Carvajal, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 111930875 egresado de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: Minimizar el porcentaje de desperdicio en la planta de producción Polyagro durante el segundo cuatrimestre 2023_, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público. En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a las 12:00 pm día 02 del mes de noviembre del año dos mil 23.



Firma del estudiante

Cédula 111930875

CARTA DEL LECTOR

CARTA DEL LECTOR

Puntarenas, 11 de enero de 2024

Señores:
Carrera Ingeniería Industrial
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante Geiner Martínez Carvajal, cédula de identidad número 111930875, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "**Minimizar el porcentaje de desperdicio en la planta de producción Polyagro durante el segundo cuatrimestre 2023**", el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de Lector, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de lectura, por lo que se avala el traslado al siguiente paso.

Atentamente,

JONATHAN PEREZ
LARGAESPADA (FIRMA)

Firmado digitalmente por
JONATHAN PEREZ LARGAESPADA
(FIRMA)
Fecha: 2024.01.11 17:03:47 -06'00'

Nombre Jonathan Pérez Largaespada
Cédula identidad: 205820315
Carné Colegio Profesional: NA 2871

AUTORIZACION DEL CENIT

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

San José, 17/1/2024

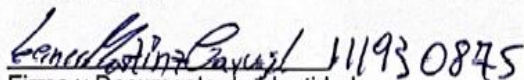
Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Geiner Eliecer Martínez Carvajal con número de identificación 111930875 autor (a) del trabajo de graduación titulado Minimizar el porcentaje de desperdicio en la planta de producción Polyagro durante el segundo cuatrimestre 2023 presentado y aprobado en el año 2024 como requisito para optar por el título de Bachillerato; (SI / NO) autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,


Firma y Documento de Identidad 111930875

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres:

A mis queridos padres, Deisy Carvajal Martínez y Rafael Ángel Martínez Núñez, cuyo amor incondicional, sacrificios y constante apoyo han sido fuerza impulsadora detrás de cada paso que he dado en mi camino académico. Este logro es tan suyo como mío.

A mi familia:

Dedico este trabajo a mi familia, por su paciencia, comprensión y aliento constante.

Cada uno de ustedes ha sido mi fuente de inspiración y motivación a lo largo de este viaje.

A mis profesores:

A todos mis profesores que, con su sabiduría y experiencia, han dejado una marca indeleble en mi formación académica. Agradezco su dedicación a la enseñanza y su impacto positivo en mi desarrollo intelectual.

A mi hija:

A mi querida hija, Leah Amanda Martínez Sequeira, quien ha sido mi mayor motivación para alcanzar mis metas. Este logro es un testimonio de la importancia de perseguir los sueños, no solo para uno mismo, sino también para quienes amamos.

A mis compañeros de estudio:

A mis compañeros de estudio, con quienes compartí risas, desafíos y logros. Este trabajo es también un reflejo de nuestra colaboración y amistad.

A mí mismo:

A mí mismo, por la perseverancia, el esfuerzo constante y la dedicación que he invertido en este proyecto. Este logro es un recordatorio de que los sueños pueden hacerse realidad con trabajo arduo y determinación.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutor de la Tesina, Yesenia Salazar Guzmán, por su orientación experta y sus valiosas sugerencias que fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a Don Héctor Ramírez Mora por su asesoramiento académico.

Agradezco a Nathalia Castro Alonzo por brindarme toda la información necesaria para lograr finalización de la Tesina.

Agradezco especialmente a Jean Carlo Espinoza Bogantes por su asesoramiento experto y por facilitar el acceso a recursos clave que enriquecieron significativamente mi trabajo. La colaboración con la empresa Polymer no solo proporciono una perspectiva practica valiosa, sino abrió nuevas oportunidades para la aplicación de los resultados de esta investigación en el ámbito profesional.

TABLA DE CONTENIDO

CARTA DEL TUTOR	ii
DECLARACION JURADA.....	iii
.....¡Error! Marcador no definido.	
CARTA DEL LECTOR.....	iv
AUTORIZACION DEL CENIT	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
INDICE FIGURAS	x
INDICE DE TABLAS.....	xi
ACRONIMOS Y SIGLAS	xi
RESUMEN EJECUTIVO	xii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	13
1.1 Descripción general del proyecto.....	14
1.2 Identificación de la organización en donde se realiza el proyecto.....	14
1.2.1 Descripción general de la organización	14
1.2.2 Antecedentes del contexto de la empresa o institución	16
1.3 Planteamiento del problema	17
1.3.1 Definición y medición del problema.....	17
1.3.2 Justificación del proyecto.....	19
1.4 Objetivos del proyecto	20
1.4.1 Objetivo general.....	20
1.4.2 Objetivos específicos.....	20
1.5 Alcances y limitaciones.....	21
1.5.1 Alcances	21
1.5.2 Limitaciones.....	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	22
2.1 Marco conceptual general relativo a la carrera	23
2.1.1. Mejora Continua	24
2.1.2. Lean Manufacturing.....	24
2.1.3. Desperdicios.....	25
2.1.4. Proceso.....	26

2.1.5. Control de procesos.....	26
2.1.6. Parámetro de proceso	26
2.1.7. Calidad	26
2.1.8. Control de la calidad	27
2.1.9. Aseguramiento de la calidad	27
2.2 Marco conceptual atinente a la gestión del proyecto.....	28
2.2.1. Herramienta DMAIC	28
2.2.1.1 Fase definir: De acuerdo con Vidal et al. (2018), esta “es la primera etapa del ciclo, esta es la base donde se plantea el problema, se especifica el objetivo o la meta a alcanzar, y se identifican todos los elementos que intervienen en el proceso” (p.30). En esta etapa para este proyecto, se utilizan las herramientas de.....	28
2.2.1.2 Fase Medir: De acuerdo con Vidal et al (2018), en esta etapa “se pretende obtener información sobre la situación actual del proceso que se está evaluando, con la finalidad de detectar las causas raíz de los problemas” (p.31). A continuación, se detallan conceptualmente algunas de las herramientas utilizadas.....	29
a. Diagrama de Ishikawa:	29
2.2.1.3 Fase Analizar: Según Vidal et al (2018), en esta fase, “a partir de los datos recogidos en la fase anterior, y haciendo uso de métodos estadísticos, se realiza su análisis e interpretación”(p. 31).	30
2.2.1.3 Fase Mejorar: En esta etapa, de acuerdo con Vidal et al. (2018), se destaca que	30
a. Metodología 5s	30
b. Plan de mantenimiento preventivo:.....	32
c. Plan de mantenimiento correctivo:.....	33
2.2.1.3 Fase	33
a. Kanban.....	33
b. Gráfico de control.....	33
2.3 Marco conceptual referente al impacto del proyecto.	34
2.4 Antecedentes de proyectos o experiencias semejantes.....	35
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	37
3.1 Metodología para la definición del problema	38
3.2 Metodología para la medición y respaldo cualitativo del proyecto.....	39
3.3 Metodología para la propuesta de mejora, construcción o puesta en práctica de un nuevo proceso, producto o servicio	40
3.4 Metodología para la implementación del proyecto.....	43

3.5 Metodología para la verificación, aseguramiento, control y seguimiento de resultados	45
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ.....	48
4.1. Diagrama de Flujo	49
4.2. Observación directa	50
4.3. Análisis de estadística descriptiva.....	52
4.5. Resultados hoja de verificación.....	53
4.5. Diagrama de Ishikawa	55
4.6. Gráfico de Pareto	58
4.7. Conclusiones de la situación actual.....	61
CAPÍTULO V: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN	62
5.1. Diseño de propuesta	63
5.1.1. Plan de Mantenimiento Preventivo para la máquina.....	64
5.1.2. Plan de Mantenimiento Correctivo	66
5.1.3. Las 5 S.....	68
5.1.4. Plan de Capacitación	72
5.2. Implementación de la propuesta.	73
5.2.1. Diagrama de Gantt	73
5.2.2. Kanban	74
5.2.3. Gráfico de control P	75
5.3. Análisis Costo-Beneficio.....	77
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
6.1 CONCLUSIONES	81
6.2 RECOMENDACIONES	82
CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA.....	83
CAPÍTULO VIII: ANEXOS	89
ANEXOS.....	90

INDICE FIGURAS

Ilustración 1. Logo de la empresa	14
Ilustración 2. Organigrama	15
Ilustración 3. Hoja de verificación.	41
Ilustración 4 Método Banban	45
Ilustración 5 Flujograma del proceso.....	50
Ilustración 6. Máquina de cortado.....	51
Ilustración 7. Diagrama de Ishikawa.....	56

Ilustración 8. Diagrama de Pareto.....	58
Ilustración 9 Mitutoyo 547-500s Medidor Digital De Espesores 47.....	65
Ilustración 10 Área de cortado (5s).....	68
Ilustración 11. Diagrama de Gantt	74
Ilustración 12. Kanban	75
Ilustración 13. Gráfico de Control.....	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos de muestra.....	18
Tabla 2 Significado y objetivos de las 5s.....	31
Tabla 3 Herramientas fase Definición	38
Tabla 4 Herramientas fase Medición	40
Tabla 5 Herramientas fase Mejorar	43
Tabla 6 Herramientas fase Implementar	44
Tabla 7 Herramientas fase Verificar.....	46
Tabla 8 Desperdicio por día de la semana (estadística descriptiva)	52
Tabla 9 Desperdicios por turno y tipo de error	54
Tabla 10 Propuestas de mejora según causas	63
Tabla 11. Costos de propuesta 1.....	66
Tabla 12. Costos propuesta 2	67
Tabla 13 Orden de materiales en producción (5s).....	69
Tabla 14 Responsabilidades en limpieza (5s).....	70
Tabla 15 Costo de propuesta 3.....	71
Tabla 16 Costos de propuesta 4.....	73
Tabla 17 Costos de la propuesta de mejora.....	78

ACRONIMOS Y SIGLAS

1. **EE. UU.:** Estados Unidos
2. **ISO:** Organización Internacional de Normalización
3. **DMAIC:** Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar
4. **5S:** Clasificar, Ordenar, Limpiar, Estandarizar, Sostener
5. **MIPyMES:** Micro, Pequeñas y Medianas Empresas
6. **P&D:** Producción y Desarrollo
7. **MP:** Materia Prima
8. **PDCA:** Planificar, Hacer, Verificar, Actuar
9. **KPI:** Indicador Clave de Rendimiento
10. **SPC:** Control Estadístico de Procesos
11. **PPM:** Partes por Millón
12. **ISO:** International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)
13. **LEAN:** Eficiencia a través de la Eliminación del Desperdicio

RESUMEN EJECUTIVO

Martínez Carvajal, Geiner, (2024). El presente proyecto tiene como objetivo Minimizar el porcentaje de desperdicio en la planta de producción Polyagro durante el segundo cuatrimestre 2023, (Proyecto de graduación para optar por el Bachillerato en Ingeniería Industrial, Universidad Hispanoamericana). Yesenia Salazar Guzmán.

Este proyecto se enfoca en optimizar la producción de Tree Bags (bolsas plásticas para la protección del banano), con el propósito de reducir un considerable desperdicio del 13.24%. Guiado por la metodología DMAIC, el objetivo primordial es mejorar la eficiencia, productividad y rentabilidad de la empresa.

El análisis de 30 días revela un desperdicio mensual de 8579 kg de producto, equivalente a \$25.083. Las etapas críticas identificadas son extracción, perforación y conversión. Problemas de calibración, mantenimiento y falta de capacitación en defectos del corte se identifican como causas subyacentes.

Cuatro propuestas buscan reducir el desperdicio en un 77,81% según el análisis de Pareto. Sin la implementación del proyecto, se proyecta un costo total de \$50.166 en dos meses debido al persistente desperdicio.

La evaluación del balance costo-beneficio indica un impacto positivo del 77.18% sobre el costo total del desperdicio durante el proyecto. Este análisis respalda la viabilidad financiera y operativa, presentando una oportunidad concreta para mejorar la eficacia y rentabilidad de la empresa.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

1.1 Descripción general del proyecto

El proyecto se realiza en la empresa Polymer, específicamente en su planta PolyAgro. Según el sitio web de la empresa, Polymer se ubica en Alajuela, El Coyol, Parque Empresarial Novapark, 2 kilómetros al este de RTV (PolymerSA.com). Empero, la planta de producción se encuentra ubicada en San Francisco de Dos Ríos. La planta de PolyAgro se considera una empresa subsidiaria de Polymer y el espacio físico del área de producción mide 950 metros cuadrados.

Esta empresa evidencia problemas de desperdicio dentro del ámbito de producción del *Tree Bag* (bolsa plástica para la protección del banano). Por lo tanto, se enfocan los esfuerzos en la determinación de las características y comportamiento del problema, de forma que, mediante el uso de herramientas ingenieriles, se planteen propuestas de solución que permitan a la empresa mejorar en términos de eficiencia, productividad y rentabilidad.

1.2 Identificación de la organización en donde se realiza el proyecto

A continuación, se mencionan los principales elementos características de la empresa que participa en el presente proyecto.

1.2.1 Descripción general de la organización

Polyagro, es una empresa de capital costarricense, fabricante y comercializador de bolsas plásticas para la agricultura específicamente en la producción de *Tree Bag*. Es pionera en la industria y se caracteriza por la diferenciación de su producto y su responsabilidad social. Su fundación se dio en el año 1962, y actualmente, cuenta con 70 colaboradores que trabajan directamente en las diferentes áreas de la empresa. A continuación, en la ilustración 1 se muestra el logo de la organización:

Ilustración 1. Logo de la empresa



Fuente: Página web Polymer SA.com

Además, destaca que, según información brindada por la empresa, la estructura organizacional es una estructura intencional de roles, dentro la cual cada persona asume un papel que se espera que cumpla con el mayor rendimiento posible. A continuación, en la ilustración 2, se muestra el organigrama de la empresa:

Ilustración 2. Organigrama



Fuente: Información suministrada por La Empresa.

En la figura, se destaca que la jerarquía inicia con la posición del Gerente General, al cual le preceden dos gerentes: uno del área comercial y otro del área de producción. El primero de estos, lidera a los ejecutivos de ventas y mercadeo, al tiempo que estos lideran a los vendedores y soportistas de ventas. Por su parte, el Gerente de producción lidera tanto a los supervisores de producción como los de calidad, los cuales a su vez lideran a los operadores, ayudantes y analistas.

1.2.1.1 Productos

Polyagro S.A cuenta con una línea amplia en productos de los cuales el principal es la bolsa plástica *Tree Bag*, cuya función es facilitar el control de plagas que padece el racimo de banano en las fincas. Por lo tanto, para su fabricación, se utilizan varios ingredientes activos, algunos de los ingredientes más comunes son el Clorpirifos y Bifentrina.

Es importante mencionar que el ancho del *Tree Bag* depende del tamaño de la fruta, así como el diámetro del ponche (perforaciones) permite regular el porcentaje de ventilación que recibe la fruta. A continuación, se muestran las características del producto a analizar:

1.2.1.2 Producto: bolsa para banano

Bolsas plásticas para banano plegadas, sencillas de abrir y utilizar. Se caracteriza por las siguientes características técnicas de acuerdo con información facilitada por la empresa.

- Presentación: Bolsa Cortada.
- Ancho: 71,12 cm (28 pulgadas).
- Largo: 165,1 cm (65 pulgadas).
- Espesor: Desde 0.30 hasta 0.60 milésimas de pulgada.
- Perforación: 4 mm//6 mm.
- Color: Azul Transparente/Verde Transparente/Verde
Oscuro/Blanca/Transparente.

1.2.2 Antecedentes del contexto de la empresa o institución

Según información brindada por la empresa, Polymer S.A comienza sus operaciones en 1962 bajo el nombre de Grupo Polymer de Costa Rica, siendo subsidiaria de la gigante bananera norteamericana, Chiquita Brands (La Nacion.com). El objetivo original de su formación fue proveer material de empaque a las empresas bananeras de Chiquita acompañando el proceso desde el campo hasta su destino final en los supermercados de todo el mundo.

Con el transcurso de los años, esta empresa incursiona en el mercado industrial hasta llegar a convertirse en un socio comercial estratégico de empresas fuera del sector bananero. Así también, desarrolla marcas referentes como las populares bolsas para basura Kanguro y la familia de vajillas desechables Polypak. Posteriormente se ofrece la posibilidad de fabricar este mismo tipo de productos con marcas privadas.

Posteriormente, en el año 2005, pasa a formar parte de Grupo Constenla, empresa líder en distribución de productos de consumo masivo, lo cual le inyectó a Polymer todo el conocimiento y experiencia en procesos logísticos, los cuales le permitieron expandir aún más su mercado y convertirse en una empresa referente a nivel regional para la producción de empaques para los sectores Agrícolas, Industriales y de Consumo.

Actualmente, Polymer, S.A. continúa invirtiendo, brindando a sus clientes productos de alta calidad, apoyados por un equipo humano altamente capacitado y con tecnología de última generación, logrando satisfacer las necesidades de los mercados más exigentes, suministrando productos como plástico termo encogible, rollos con y sin impresión, bolsas, etiquetas, vajillas y laminas plásticas, empaques para el sector agro, mecate, entre otros productos (Polymer SA.com).

Asimismo, se destaca que la misión de esta empresa, según información facilitada por la empresa, es liderar en términos de experiencia, servicio y calidad la manufactura de productos agro para la industria y el consumo. Asimismo, la compañía tiene la visión convertirse en un aliado esencial para la industria plástica dentro del mercado de competencia. Además, entre sus valores destacan la actitud de servicio, la productividad, la calidad y el respeto

1.3 Planteamiento del problema

La fabricación de este producto se lleva a cabo a partir de tres distintas etapas, conocidas como extrusión, perforación y conversión. Estas etapas forman parte de los pasos identificados en todo el proceso. En la salida final de esas 3 etapas, se ha registrado que actualmente existe un desperdicio del 13,24% respecto del total de bolsas que aprueban las pruebas de calidad. Este porcentaje de desperdicio representa una pérdida de 8579 kilos de producto por mes, lo que implica un coste total de \$25.083.

1.3.1 Definición y medición del problema

Se han realizado visitas a la planta de producción y dentro del recorrido de las instalaciones y con la colaboración del contacto se define la problemática, la cual destaca que en la fabricación de este producto se encontró que en el proceso de la

de la bolsa *Tree bag* posee varios desperdicios los cuales llegan hasta 8361 kg con un valor de \$25.083y un porcentaje sobre el total de salidas del proceso de 13.24%.

A esta conclusión se llega a partir del análisis de registros obtenidos del proceso de producción, que se hizo al momento de evaluar la calidad de la bolsa. En este caso, se realiza la recopilación y filtro de los registros de los últimos 30 días. De acuerdo con los registros que muestra la siguiente tabla, se determina el comportamiento de estos datos y lo severo del problema, al desperdiciar 1 de cada 10 recursos que se tienen para producir el bien, según el chequeo realizado durante el mes anterior:

Tabla 1

Datos de muestra

Semana	Total de producción (kg)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total (kg)	%
1	16200	310	350	277	290	308	322	308	2165	13,36%
2	16200	298	312	309	312	312	315	316	2174	13,42%
3	16200	293	310	312	286	302	299	296	2098	12,95%
4	16200	300	312	308	297	298	305	322	2142	13,22%
Total	64800	1201	1284	1206	1185	1220	1241	1242	8579	13,24%

Nota: Esta tabla muestra la cantidad de desperdicio registrado durante un mes de producción y su impacto en el total que se produce por día de la semana y por mes.

Más adelante se hará alusión amplia al comportamiento de estos datos. Por otra parte, también se identifica que, durante la etapa de corte de la bolsa, en la cual se cortan las piezas de película según el diseño y tamaño de la bolsa; es el paso en el que se presenta el desperdicio para el proceso productivo centrado en las bolsas con dimensiones "< 9" y "< 60". Este problema puede ocurrir debido a varios factores, como cortes inadecuados, errores en el posicionamiento de las piezas, o

problemas en la maquinaria de corte. Más adelante se sugiere metodología para ahondar en la causa-raíz del problema.

1.3.2 Justificación del proyecto

Con relación al problema identificado en el proceso de fabricación de las bolsas "Tree Bag", resulta es relevante comprender los costes económicos y los costos asociados a la no implementación de una oportunidad detectada en la reducción de desperdicio. La pérdida de 8579 kilos de producto por mes, valorada en \$25.083, refleja una significativa merma en la eficiencia productiva y, por lo tanto, en la rentabilidad de Polymer, S.A. Además, la existencia de un inventario en proceso con un valor de \$15,700 resalta la urgencia de abordar el problema para optimizar la planificación de la producción y minimizar costos ocultos asociados a la gestión ineficiente.

De esta forma, se destaca que este proyecto posee un valor intrínseco al atender un problema crítico que afecta directamente la productividad y el rendimiento económico de la empresa. De la misma forma, el análisis y corrección del desperdicio no solo mejora la rentabilidad, sino también la competitividad al ofrecer productos de alta calidad de manera más eficiente.

Asimismo, el proyecto repercute en una mejor planificación de la producción, lo que reducirá el inventario en proceso y el costo asociado a mantener productos no finalizados.

Por otra parte, se destaca que los beneficiados directos del proyecto serían la empresa Polymer, S.A. y su equipo humano, quienes verían reflejados los resultados en términos de eficiencia y rentabilidad. Además, los clientes se beneficiarían al recibir productos de mayor calidad y a un costo más competitivo. A nivel de la sociedad, el proyecto contribuye a proponer un mejor manejo de recursos y reducción del impacto ambiental, al minimizar los desperdicios.

Además, esta investigación contribuye al conocimiento al identificar las causas raíz del desperdicio en la etapa de corte de las bolsas "Tree Bag". Además, establecería una metodología que podría aplicarse a otros procesos similares, permitiendo generalizar los resultados y ayudando a la industria en general a mejorar la eficiencia y la sostenibilidad. Por tanto, el proyecto, al analizar y proponer

soluciones para reducir el desperdicio, podría resultar en la creación de mejores prácticas para la recolección y análisis de datos en procesos industriales similares.

Desde la perspectiva de negocio, esta iniciativa representa una oportunidad estratégica para Polymer, S.A. al mejorar su competitividad y optimizar sus operaciones, lo que a su vez podría atraer nuevos clientes y aumentar la participación en el mercado.

1.4 Objetivos del proyecto

1.4.1 Objetivo general

Proponer alternativas de solución para el desperdicio en la producción de Tree Bag en la planta PolyAgro mediante el uso de herramientas de la metodología DMAIC, durante el segundo cuatrimestre del año 2023.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar las causas raíz potenciales del desperdicio en la producción del Tree Bag en la planta PolyAgro, utilizando herramientas de ingeniería para analizar los datos derivados del comportamiento del proceso.
- Evaluar los subprocesos de producción del Tree Bag en la planta PolyAgro, con el objetivo de identificar las etapas en las que se genera el desperdicio, aplicando la metodología DMAIC.
- Proponer mejoras basadas en los hallazgos del diagnóstico y la evaluación, con el objetivo de optimizar la producción del Tree Bag en la planta PolyAgro, y mejorar la eficiencia del proceso.
- Diseñar estrategias de control de proceso que potencien la sostenibilidad de las soluciones propuestas, con el fin de minimizar el desperdicio en la producción del Tree Bag.

1.5 Alcances y limitaciones

1.5.1 Alcances

Este proyecto se centra en abordar los problemas de desperdicio en la producción de bolsas plásticas Tree Bag en la planta PolyAgro de Polymer, S.A., ubicada en Costa Rica. El enfoque se dirige a identificar las áreas donde se origina el desperdicio con base en los datos de muestra recopilados en los últimos 30 días. Además, la investigación en general se realiza durante el primer y segundo cuatrimestre del año 2023.

1.5.2 Limitaciones

En primer lugar, el alcance del proyecto se centra específicamente en la producción de bolsas plásticas Tree Bag, lo que significa que cualquier problema de desperdicio que ocurra fuera de esta línea de producción específica no será abordado en este proyecto.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco conceptual general relativo a la carrera

Desde la óptica de Vergara (2018) la Ingeniería Industrial cimienta sus inicios desde el desarrollo industrializado de Inglaterra en el siglo XVIII para luego dar paso a las nuevas contribuciones de Estados Unidos. Entre los objetivos principales de esta disciplina, deviene la necesidad del aumento de productividad a través del uso de menores recursos.

En esta medida, la Ingeniería no solo implicó el desarrollo de nuevas máquinas, sino a creación de nuevas estrategias que permitan aumentar la productividad de cada uno de los trabajadores y la empresa en sí misma. En este particular, destaca Vergara (2018):

La Ingeniería Industrial se puede considerar como una de las funciones administrativas más amplias, debido a la gran variedad de actividades a las que puede apuntar en la búsqueda de la optimización de los recursos y eficiencia de los sistemas, diferenciada de otras Ingenierías cuya formación se acota al objeto de su propósito, mientras que la Ingeniería Industrial abarca todas las actividades administrativas, sumadas a las de diseño, mantenimiento y control, que, por su naturaleza, no pueden ser asignadas o realizadas por otras Ingenierías. (p. 13).

Desde este punto de vista, se resalta la amplitud de la Ingeniería Industrial en cuanto a sus funciones administrativas y su enfoque integral en la optimización de recursos y eficiencia de los sistemas. A diferencia de otras ramas de la ingeniería con objetivos más específicos, la Ingeniería Industrial abarca una amplia gama de actividades, incluyendo aquellas relacionadas con la administración, el diseño, el mantenimiento y el control.

Por otra parte, en términos de posturas teóricas que impulsaron esta ciencia, sobresale George Dantzig. Esta figura desarrolló en 1947 el Método Simplex, el cual era utilizado para la resolución de problemas de naturaleza lineal. Por otro lado, Vergara (2018) reconoce cuatro fases de la historia de la Ingeniería Industrial: la primera, desde la administración y la ampliación y desarrollo de bases de esta administración; la segunda, sobre el enfoque humano como opuesto y complemento de esta administración; la tercera, desde el desarrollo de ciencias formales en la

solución de problemas en las organizaciones; y en la cuarta, la mejora continua. En este sentido, la mejora continua es un concepto que se torna fundamental en la ingeniería industrial y en su práctica a nivel empresarial.

2.1.1. Mejora Continua: Puede haber más de una definición de este concepto. En este caso, será considerada como aquellas prácticas, técnicas y conocimientos que tengan como objetivo “(...) aumentar la productividad, añadir valor a los procesos y sumar puntos a la competitividad de la empresa” (Lay-De-León, 2022, p. 01). En este caso, si bien se puede tener mayor énfasis en algunos de estos aspectos según las necesidades y estrategias empresariales, una estrategia de mejora continua requiere de un balance adecuado de todos los elementos destacados.

Carrillo Landazábal et al (2019) destacan lo que se considera un objetivo de la mejora continua, en tanto todo proceso de esta naturaleza “(...) debe promover que las condiciones de trabajo se presenten de manera que los retrasos, las pérdidas de operatividad o cualquier fallo se reduzcan paulatinamente, de modo que el aprovechamiento de los recursos esté lo más cercano a lo óptimo posible.” (p. 72). En este caso, Lean Manufacturing será de utilidad para el abordaje del desperdicio en la producción de la bolsa Tree Bag.

2.1.2. Lean Manufacturing: Este concepto hace referencia a “(...) una filosofía originaria de Japón, la cual tiene su génesis en el sistema de fabricación de Toyota, aunque se dice que dicha filosofía se inició, según Shah y Ward (2007), en el año 1927” (Carrillo, 2019, p. 74). Este método se enlaza directamente con el principio de mejora continua, ya que el Lean Manufacturing impulsa la identificación y eliminación constante de actividades innecesarias, redundantes y que no aportan valor, en línea con el objetivo de optimizar el funcionamiento de la empresa y satisfacer de manera efectiva las necesidades del cliente.

En este sentido, según Dioses Quinde (2021) el entorno industrial se caracteriza por el aumento de su competitividad con el tiempo. Esta competitividad ha requerido de la construcción de ideas que permitan disminuir o eliminar pérdidas, así como el aprovechamiento máximo de los recursos. En estos términos, el autor explicita un método dentro de la Ingeniería llamando Lean Manufacturing

(manufactura esbelta), el cual se reconoce como un proceso continuo que permite la identificación y eliminación de residuos en el entorno productivo.

Así, este autor en su referencia a Gonzales (2017) señala 7 tipos de desperdicio:

1. Sobre producción: Hacer más de lo que el cliente ha solicitado.
2. Inventario: Más producto a la mano del que el cliente necesita 3.
3. Transporte: Mover el producto más de lo que es necesario.
4. Espera: Cualquier momento en el que el valor no puede ser agregado por causa del retraso.
5. Movimiento: Cualquier movimiento extra del operador cuando él o ella esa realizando una secuencia de trabajo.
6. Sobreproducción: Hacer más cosas del producto de las que el cliente pidió.
7. Corrección: Cualquier cosa no “hecha bien a la primera” que requiera retrabajo o inspección (citado en Dioses Quinde, 2021, p. 10).

En esta medida, es necesario adaptar la estrategia al contexto de cada empresa, reconociendo sus fortalezas y debilidades, equilibrando refuerzos, recursos y objetivos. Por ejemplo, Autores como Carrillo et al (2019) realizaron un estudio que debió adaptar herramientas de Lean Manufacturing a una empresa del sector metalmecánico automotriz. Esto evidencia también la flexibilidad de la metodología y su vínculo directo con la reducción de desperdicios.

2.1.3. Desperdicios: Según el Gobierno de España (2013), el desperdicio puede definirse como “una actividad que consume recursos, pero no genera valor” (p. 164). Basados en la filosofía Lean Manufacturing, los desperdicios (mudas) pueden ser de distintos tipos: Sobreproducción, piezas defectuosas, transporte de material, inventario, sobre proceso, retrasos / esperas y movimientos innecesarios. Este enfoque es fundamental en todo proceso productivo, aunque cobra mayor relevancia en el ambiente manufacturero.

Tal como mencionan Yadav et al (2017) "Las organizaciones manufactureras están constantemente esforzándose por desarrollar medios más efectivos y flexibles para gestionar los desafíos derivados de la globalización y las crecientes

expectativas de los clientes."(p. 01). Esto resalta la necesidad de mantener altos estándares de calidad en la producción y los procesos industriales.

2.1.4. Proceso: Se define como un conjunto de acciones que, ordenadas de forma secuencial, producen un bien o servicio. Para Walker et al (2019) "un proceso también podría ser definido como una combinación de trabajadores, equipo, materia prima, métodos y un ambiente que trabaja en conjunto para generar una salida" (p. 270). Esta noción se vincula con el control de procesos, que supervisa constantemente variables para asegurar límites y resultados coherentes.

2.1.5. Control de procesos: Establecidos los parámetros del proceso, se utilizan herramientas de control para asegurarse que "(...) los parámetros deben ser mantenidos en los niveles elegidos consistentemente durante la producción con el objetivo de obtener las características del producto consistentemente en los niveles deseados" (Krishnamoorti et al; 2018, p. 216). La consistencia en los parámetros de producción es esencial para evitar variaciones no deseadas en el producto final, lo que puede afectar la calidad y la uniformidad.

2.1.6. Parámetro de proceso: Este concepto se utiliza en calidad "(...) para indicar tanto las variables de un proceso que influyen en las características del producto, como las cantidades que definen la distribución de un proceso, como la media μ y la varianza de una distribución normal" (Ídem). Por ejemplo, en el proceso de corte de las bolsas, el tamaño y la precisión del corte son parámetros de proceso críticos. Si estos parámetros no se mantienen consistentemente en los niveles deseados, podría conducir a un desperdicio significativo de material.

La aplicación adecuada de los parámetros de proceso en la producción de bolsas Tree Bag implicaría un monitoreo constante y una gestión proactiva de las variables que influyen en la calidad del producto. Esto ayudaría a minimizar los errores, a mantener un control más estricto sobre el proceso y a reducir el desperdicio al garantizar que las características del producto se mantengan dentro de los niveles deseados, es decir, dentro de los parámetros de calidad.

2.1.7. Calidad: Krishnamoorti et al (2018) coincide en que existen muchas definiciones sobre calidad. En este proyecto, se parte de la definición brindada por Achibat et al (2023), que dice que "la calidad es una mejora sistemática de la

organización y la gestión del rendimiento, desempeña un papel primordial en el crecimiento de la empresa en el sentido de satisfacer las necesidades y expectativas del cliente” (p. 191). En este caso, este concepto tiene en cuenta que el cliente debe ser central en el proceso.

Para autores como Krishnamoorti et al (2018), se pueden establecer algunos elementos esenciales que debe contener cualquier definición de calidad:

1. Un cliente o receptor de producto/servicio y sus expectativas.
2. Funciones, requerimientos o características que dan utilidad al producto/servicio.
3. Objetivos y límites de variación en el diseño del producto(tolerancias).

En el contexto de abordar el problema de desperdicio en la producción de bolsas Tree Bag, este enfoque se ajusta de manera pertinente. Aquí, los clientes representan los destinatarios finales de las bolsas, quienes influyen en las características requeridas. La solución implica diseñar el proceso de producción para que las especificaciones y tolerancias sean rigurosamente validadas, minimizando así el desperdicio. Este abordaje teórico del problema implica el control de calidad.

2.1.8. Control de la calidad: Según ISO 9000:2015, este concepto se refiere a la “parte de la gestión de la calidad orientada al cumplimiento de los requisitos de la calidad” (15). Es decir, incluye lo que refiere a la satisfacción de las tolerancias y las necesidades del cliente. Se vincula directamente con el aseguramiento de la calidad.

2.1.9. Aseguramiento de la calidad: Referida a una cultura de mejora continua, hace alusión a “(...) la parte de la gestión de la calidad orientada a proporcionar confianza en que se cumplirán los requisitos de la calidad” (ISO 9000,2015, p.15). Cuando por cualquier circunstancia, el proceso de control y aseguramiento de la calidad no logran generar productos o servicios dentro de las especificaciones, entonces se requiere del abordaje de las situaciones mediante herramientas de mejora continua, tales como DMAIC.

Sin embargo, debe destacarse también que, para efectos del presente proyecto, también es importante lo relativo a la prevención y daño en los equipos, para lo que se destacan conceptos relativos a los planes de mantenimiento.

2.2 Marco conceptual atinente a la gestión del proyecto

2.2.1. Herramienta DMAIC: Esta es una metodología de mejora continua y cuyas letras componen los pasos del método. Para Shankar (2009), “La metodología DMAIC toma un problema que ha sido identificado por la organización y utiliza un conjunto de herramientas y técnicas de manera lógica para llegar a una solución sostenible” (16). Así, se pasa por una serie de etapas que componen el método.

En este sentido, hace referencia a una serie de métodos que conducen a la mejora efectiva de un problema, lo cual, desde el punto de vista empresarial, es siempre de vital importancia. Concretamente, a partir de Azwir et al (2022), DMAIC refiere a un flujo de trabajo para determinar lo que quiere (definir), luego proceder a conocer la situación actual, por ejemplo, el número de defectos (Medir)(...) (p. 72)”. Para este autor, una vez que se logra medir, inicia la fase de analizar el problema, el cual debe ser analizado (Analizar) para luego tomar medidas correctivas (Mejorar) que puedan validarse con el uso de herramientas estadísticas (Controlar) (Idem).

En este proyecto, la metodología DMAIC ofrece un enfoque sistemático y basado en datos para abordar los desperdicios y alto inventario en la producción de bolsas Tree Bag. A través de sus fases, se logra definir, medir, analizar, mejorar y controlar los aspectos clave del proceso, lo que permite la identificación y mitigación efectiva de los desperdicios, lo que se alinea con los objetivos de mejora continua y eficiencia en el proceso de producción.

En este sentido, a continuación, se hará alusión a las herramientas por cada fase del uso de la metodología presentada en este proyecto.

2.2.1.1 Fase definir: De acuerdo con Vidal et al. (2018), esta “es la primera etapa del ciclo, esta es la base donde se plantea el problema, se especifica el objetivo o la meta a alcanzar, y se identifican todos los elementos que intervienen en el proceso” (p.30). En esta etapa para este proyecto, se utilizan las herramientas del diagrama de flujo y la observación directa.

a. Diagrama de flujo: Para efectos de este proyecto, se considera diagrama de flujo como una representación gráfica de los pasos que componen un proceso.

b. Observación directa: También en esta fase se realiza la observación directa, lo que implica mirar y analizar el proceso tal como ocurre en tiempo real. Esto se aplica mediante la observación de cómo las personas realizan sus tareas, cómo interactúan con las herramientas y sistemas, y cómo fluye la información a través del proceso. En este caso, se utiliza este método ya que la observación directa puede evidenciar detalles que podrían pasarse por alto en un diagrama de flujo, como problemas de comunicación, retrasos innecesarios o pasos redundantes.

2.2.1.2 Fase Medir: De acuerdo con Vidal et al (2018), en esta etapa “se pretende obtener información sobre la situación actual del proceso que se está evaluando, con la finalidad de detectar las causas raíz de los problemas” (p.31). A continuación, se detallan conceptualmente algunas de las herramientas utilizadas.

a. Diagrama de Ishikawa: En primera instancia, se utiliza un diagrama de causa-efecto, conocido también como espina de pescado o Ishikawa. Esta herramienta forma parte de las más relevantes para identificar o dimensionar problemas. Según el gobierno de España (2013) es de, “(...) las técnicas sirven para obtener una visión global de las posibles causas de un problema (p. 161).

b. Análisis de datos: Pensado desde un punto de vista empresarial, Peña (2017) define este concepto como “(...) una herramienta que provee al administrador de empresas, de mercados o de las operaciones una variedad de posibilidades para interpretar información, generar inferencias, particularizar y/o generalizar una situación en el contexto de un proceso de toma de decisiones” (p. 27).

En este contexto, el análisis de estos datos es central para la medición de este proyecto, ya que desde la perspectiva de Six Sigma “(...)el análisis de datos para la evaluación de resultados a través de indicadores es uno de los puntos clave en la implantación de un sistema Lean” (Gobierno de España, 2013, p. 94); por tanto, la claridad respecto de los indicadores es una buena práctica en el entorno de negocios actual.

c. Análisis de estadística descriptiva: De acuerdo con Rendón-Macías et al (2016), “la estadística descriptiva es la rama de la estadística que formula

recomendaciones de cómo resumir, de forma clara y sencilla, los datos de una investigación en cuadros, tablas, figuras o gráficos” (p. 398). En este caso, se realizará un análisis de los datos derivados de la tala de análisis de estadística descriptiva de excel.

Según Villada et al (2021), este tipo de estadística “permite la descripción, resumen y visualización de los grupos en que se subdivide una población o muestra bajo estudio” (p.13). Para aplicar la estadística descriptiva en este escenario, se cuenta con datos precisos sobre la cantidad de desperdicio en un periodo concreto de la producción de bolsas Tree Bag.

2.2.1.3 Fase Analizar: Según Vidal et al (2018), en esta fase, “a partir de los datos recogidos en la fase anterior, y haciendo uso de métodos estadísticos, se realiza su análisis e interpretación” (p. 31). Por tanto, se analizarán los resultados provenientes de las herramientas anteriores. Asimismo, como parte del análisis, se realiza un diagrama de Pareto.

a. Análisis/regla de Pareto: Según Lipovetsky (2009), “la regla del 80/20 de Pareto, también conocida como principio o ley de Pareto, establece que un pequeño número de causas (el 20%) es responsable de un porcentaje grande (el 80%) del efecto” (p.01).

b. 5 por qué: De acuerdo con Voehl (2016), esta es una técnica que consiste en “(...) preguntar cinco veces o más por qué ha ocurrido el fallo para llegar a la causa raíz. Cada vez que se da una respuesta, se pregunta por qué ocurrió esa condición en particular”.

2.2.1.3 Fase Mejorar: En esta etapa, de acuerdo con Vidal et al. (2018), se destaca que “una vez analizados los datos se procede a decidir y diseñar las acciones de mejora que hay que implementar para atacar las causas raíz de los problemas para así lograr los resultados esperados” (p. 31). En esta etapa se utilizará una lluvia de ideas, una hoja de verificación y se sugiere el uso de la metodología 5s. Se detalla a continuación particularmente lo relativo a la metodología 5s.

a. Metodología 5s: Esta metodología o enfoque, ha sido considerada también una filosofía. Según Gupta et al (2023) “(..) tiene como objetivo gestionar un lugar de trabajo en una secuencia de técnicas, en orden como clasificar-ordenar-limpiar-

estandarizar-sostener, lo que resulta en un lugar de trabajo limpio, ergonómico y seguro para todas las partes interesadas” (p. 324).

A través de las etapas de clasificar, ordenar, limpiar, estandarizar y sostener, se busca alcanzar un ambiente laboral óptimo. Esta aproximación va más allá de la limpieza física al abordar la organización, la seguridad y la eficiencia, generando un espacio donde la productividad y la seguridad convergen de manera coordinada. Así, se destaca que la secuencia lógica de estas técnicas no solo transforma el espacio físico, sino que también influye en la mentalidad y la cultura organizativa, estableciendo una base sólida para el rendimiento y la calidad en toda la organización.

A continuación, de acuerdo con Makwana (2022) se presentan el significado de las 5 S que justifican el nombre de la herramienta:

Tabla 2

Significado y objetivos de las 5s

Concepto	Significado	Objetivo
Seire	Clasificar	Mantener las cosas que son necesarias. Eliminar cosas innecesarias. Reducir la pérdida de tiempo. Eliminar obstáculos. Reducir o eliminar accidentes, aumentar la seguridad.
Seiton	Ordenar	Organizar elementos en proximidad. Facilitar y suavizar el flujo de trabajo. Minimizar el tiempo para acceder a herramientas o elementos. Agregar etiquetas para identificación fácil.
Seiso	Limpiar	Lugar de trabajo limpio y seguro.

		Lugar impecable. Libre de polvo, suciedad o contaminantes extranjeros.
Seiketsu	Estandarice	Establecimiento de documentos y procedimientos para la repetición y mantenimiento de las tres primeras "S". Asegurarse de que los miembros del personal / empleados sean conscientes de los roles y responsabilidades de las 5S.
Shitsuke	Autodisciplina	Asegurarse de que las 5S se sigan en la organización.

Fuente: Elaboración propia a partir de Makwana et al (2022, p. 112).

Nota: Esta tabla muestra la propuesta de aplicación de cada elemento de las 5s.

De esta forma, se destaca que la implementación de prácticas de mejora continua, como las 5S y el concepto DMAIC, busca perfeccionar y optimizar cada paso del proceso. Estas metodologías permiten identificar áreas de mejora, reducir ineficiencias y eliminar fuentes de desperdicio.

b. Plan de mantenimiento preventivo: Para el desarrollo del proyecto, se valorará la ejecución de un plan de mantenimiento preventivo dirigido a la máquina de corte, el cual tiene que ver con "(...) la sustitución o reparación de componentes a intervalos fijos determinados ya sea en base a recomendaciones del fabricante del equipo o por estadísticas extraídas de los historiales" (Ortiz, 2013;20). Este plan aplicará sobre la máquina de corte del área de producción y se complementará con un plan de mantenimiento correctivo.

c. Plan de mantenimiento correctivo: El mantenimiento correcto se enfoca puntualmente en resolver ya tender cualquier situación que se presente en el momento de producción o funcionamiento de la máquina. De acuerdo con Villanueva (1998) citado en Pitol et al (2017): “es la actividad que el ser humano realiza en los recursos físicos de una empresa, cuando a consecuencia de una falla han dejado de brindar la calidad de servicio estipulado” (p.209).

En este caso, para la epata de mejorar, se destaca el uso de la herramienta del diagrama de Gantt.

d. Diagrama de Gantt: El diagrama es una versión visual del avance del proyecto según sus tareas. Según Siles et al (2018), el diagrama de Gantt hace referencia a una de las herramientas de mayor utilidad, ya que será de las que “(...) el gerente usará con más frecuencia, no sólo para controlar el avance del proyecto, sino también para realizar el análisis y los ajustes que sean necesarios” (p. 53).

2.2.1.3 Fase Controlar: De acuerdo con Vidal et al. (2018), en esta etapa de se deben tomar las acciones necesarias “para mantener y analizar las mejoras aplicadas se deber realizar un seguimiento de las acciones de mejora y comprobar los resultados obtenidos” (p.31). En este caso, se utilizarán la metodología kanban y el gráfico de control P.

a. Kanban: El Kanban, definido como "una forma simple y sencilla de comunicación que hace que todo se encuentre en el sitio adecuado cuando se necesita"(Tapia et al., 2022, p.174), desempeña un papel fundamental en la gestión de la producción y el control del flujo de materiales.

Este concepto, enraizado en la filosofía Lean y en la mejora continua de los procesos, se enfoca en optimizar la disposición de los elementos y garantizar que los recursos estén disponibles en el momento y lugar adecuados. En este caso, el siguiente concepto, "Control de Procesos", se adentra en esta dimensión de la gestión empresarial, asegurando que los parámetros establecidos sean mantenidos de manera constante para lograr la producción deseada de manera consistente y efectiva.

b. Gráfico de control: En correspondencia con Walker et al (2019), se define un gráfico de control:

1. “Un instrumento para describir en términos concretos qué estado de control estadístico se encuentra.
2. Un dispositivo para juzgar si se ha logrado el control y si existen causas asignables.
3. Un dispositivo para lograr un proceso estable” (p. 276).

Este autor destaca con claridad que el objetivo del gráfico de control es reducir variabilidad y alcanzar el objetivo del proceso, es decir, que se considere bajo cumplimiento (Ibid). Por lo general, se requiere la aplicación de herramientas estadísticas. En este caso, el tipo de gráfico a utilizar será de tipo P, ya que dichos gráficos son útiles cuando se trabaja con datos por atributos, es decir, cuando los datos se pueden contar y dividir en categorías como “defectuoso” o “no defectuoso”. En este caso, los kilogramos de material desperdiciado pueden considerarse un “defecto”, y se puede contabilizar la cantidad de desperdicio que se produce.

2.3 Marco conceptual referente al impacto del proyecto.

Se espera que el presente proyecto impacte de manera significativa las siguientes métricas relativas al proceso productivo.

2.3.1 Tasa de Desperdicio: Esta es la cantidad de material que se desperdicia durante el proceso de producción. Al reducir el desperdicio, esta tasa debería disminuir, lo que indica una mayor eficiencia en el uso de los materiales.

2.3.2 Costo de Producción: Estos costos implican los costos fijos y variables, dentro e los que se ubican la materia primera como principal insumo para producir las bolsas. En este caso, al reducir el desperdicio, se utiliza menos material para producir cada bolsa, lo que puede reducir el costo de producción por unidad.

2.3.3 Productividad: La productividad se puede medir como el número de bolsas producidas por hora de trabajo. En este caso, se define productividad como “un indicador que refleja qué tan bien se están usando los recursos de una economía en la producción de bienes y servicios” (De Ita; 1994:02). En este proyecto, se refiere a la economía y el uso de los recursos en el lugar de trabajo. Al reducir el desperdicio, se puede aumentar la productividad, ya que

menos tiempo y recursos se gastan en manejar y desechar los materiales desperdiciados.

2.4 Antecedentes de proyectos o experiencias semejantes

En términos nacionales, sobresale Álvarez (2020) quien en su trabajo final de graduación realiza un estudio por el uso de la metodología Six Sigma en la gestión de inventario de nitrógeno en la producción de bebidas no carbonatadas. Desde su constitución hasta su conclusión, la figura autoral determina que esta metodología permite encontrar la causa de raíz del problema, así como el conocimiento profundo de la empresa: indicadores, impacto de calidad, fases e impacto económico.

Desde una perspectiva internacional, destaca el estudio de Espinoza et al (2021) quienes, en su trabajo de suficiencia profesional de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, destacan el modelo Sigma como un referente en la reducción de tiempos de entrega de pedido en una empresa metalmecánica. Sobre el uso de la herramienta DMAIC y SIX SIGMA, afirman que estas son metodologías versátiles que optimizan los procesos, de manera que a través de su estudio esperan mejorar los tiempos de entrega y, con esto, la percepción de los clientes sobre el producto.

Asimismo, respecto del tema de los desperdicios, autores como Hernández et al diseñaron una propuesta basada en la filosofía de la Manufactura Esbelta tiene como objetivo primordial lograr la eliminación de desperdicios en las MIPyMES manufactureras en el estado de Guanajuato, con la posibilidad de aplicarse en empresas manufactureras de diversos giros. La implementación de esta metodología se muestra como una valiosa ayuda para organizaciones que buscan mejorar sus procesos y eficiencia, alineándose con los principios de la mejora continua y la eficiencia en la producción (Hernández et al., 2016).

De la misma manera, Fuentes et al (2018) destacaron el uso de una serie de herramientas de la ingeniería para reducir desperdicios de tales en una empresa de vestiduras automotrices. En este caso, de la misma forma que se espera utilizar herramientas de análisis de datos y estadísticos para las bolsas plásticas, se destacó que “la utilización de métodos estadísticos proporcionó evidencia suficiente

para comprobar que hubo una disminución significativa del desperdicio de material con el nuevo diseño de tendido implementado” (p.323).

En este caso, esta propuesta se alinea con el proyecto de reducir el desperdicio en la producción de bolsas de basura, donde también se busca eliminar los aspectos innecesarios y optimizar el uso de recursos para alcanzar una producción más eficiente y sostenible. Ambos enfoques comparten la intención de mejorar la organización de procesos y minimizar la generación de costos innecesarios, contribuyendo así a la eficiencia operativa y al logro de los objetivos de mejora continua en las empresas manufactureras.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE TRABAJO

A continuación, a partir del método DMAIC, se utilizan herramientas concretas que serán detalladas a continuación según la etapa en el abordaje y presentación de una solución.

3.1 Metodología para la definición del problema

En el contexto de este proyecto, la definición del problema se abordó a través de dos enfoques clave: la observación directa y la elaboración de un diagrama de flujo. Inicialmente, se detectó una cantidad significativa de desperdicio de material mediante la observación directa. Posteriormente, se utilizó un diagrama de flujo como una herramienta visual para representar de manera clara y secuencial el proceso de producción de las bolsas Tree Bag en la empresa Polymer, S.A.

El diagrama de flujo trazó cada etapa del proceso de producción, desde la selección de materias primas hasta el empaquetado del producto final. Cada paso fue representado de manera gráfica, incluyendo las interacciones, decisiones y flujos de material. Esto permitió identificar las conexiones entre las distintas etapas y visualizar el origen de verificación de desperdicios.

De esta forma, al trazar el flujo del proceso, destacaron los momentos clave en los cuales se generaba el desperdicio, como la etapa de corte de las bolsas con dimensiones "< 9" y "< 60"". Esta visualización permitió entender cómo cada paso interactúa con los demás y cómo influye en el resultado final, aportando una base sólida para la identificación de las causas raíz del problema.

A continuación, se muestra la tabla 3, la cual resume los aspectos más importantes de esta fase:

Tabla 3

Herramientas fase Definición

<i>Objetivo específico</i>	<i>Actividades</i>	<i>Herramientas</i>	<i>Descripción</i>	<i>Plazos</i>
Diagnosticar las causas potenciales del	- Realizar observación directa en	-Observación directa.	Se empleó la observación	2 semanas

desperdicio en el proceso de producción de las bolsas Tree Bag. \n -	Diagrama de flujo.	directa y se elaboró un diagrama de flujo.
la producción de producción de las bolsas Tree Bag. \n -	Crear un diagrama de flujo detallado del proceso.	
del Tree Bag en la planta PolyAgro, utilizando herramientas de ingeniería para analizar los datos derivados del comportamiento del proceso.		

Nota: esta tabla muestra las herramientas ingenieriles aplicables a la fase de definición.

3.2 Metodología para la medición y respaldo cualitativo del proyecto

En el contexto de este proyecto, el diagrama de Ishikawa se empleó para identificar las diversas causas subyacentes que contribuyen al problema de desperdicio en la empresa Polymer, S.A. Este enfoque permitió mapear y dimensionar las posibles fuentes de desperdicio en el proceso de producción de las bolsas Tree Bag. Las causas identificadas fueron analizadas en conjunto con otras herramientas, con el propósito de desarrollar una propuesta de mejora integral.

Por otra parte, para el análisis del problema, también se realizó un análisis de datos, basado en los registros históricos de la empresa respecto de la cantidad de desperdicio identificado a partir de lotes de producción relativos al producto mencionado. Este análisis de datos se basó en el recopilado de datos de los últimos 30 días, ya que ofrecen una visión más realista y actual de la conducta del proceso. Este análisis se complementó con un análisis de estadística descriptiva, la cual permite tener una aproximación al comportamiento de los datos en términos de medidas de tendencia central que dan visibilidad sobre valores medios, valores recurrentes, mínimos, máximos y rangos, entre otros.

De esta manera, a continuación, la tabla 4 muestra las herramientas y elementos más relevantes de esta fase:

Tabla 4 Herramientas fase Medición

Objetivo específico	Actividades	Herramientas	Descripción	Plazos
Evaluar los subprocesos de producción del Tree Bag en la planta PolyAgro, con el objetivo de identificar las etapas en las que se genera el desperdicio, aplicando la metodología DMAIC.	<ul style="list-style-type: none"> - Emplear el diagrama de causa-efecto (Ishikawa) para identificar causas subyacentes del desperdicio. - Realizar análisis de datos históricos de desperdicio en base a registros de la empresa. - Realizar análisis de estadística descriptiva para comprender el comportamiento de los datos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Diagrama de causa-efecto (Ishikawa). - Análisis de datos históricos. - Análisis de estadística descriptiva (Microsoft Excel (funciones de análisis de datos y estadísticas). 	Se utilizará el diagrama de Ishikawa y se analizarán los datos históricos de desperdicio. Además, se empleará la estadística descriptiva.	6 semanas

Nota: esta tabla muestra las herramientas ingenieriles aplicables a la fase de medición.

3.3 Metodología para la propuesta de mejora, construcción o puesta en práctica de un nuevo proceso, producto o servicio

Las herramientas metodológicas recomendadas para el presente proyecto serían las siguientes.

- **Brainstorming:** Se utilizará la lluvia de ideas para reunir a diferentes personas del equipo de producción para realizar sesiones de brainstorming. De estas sesiones se espera generar ideas innovadoras para reducir el desperdicio y mejorar el proceso.
- **5s:** Se promoverá la adopción en toda la línea de producción de las 5s, en el tanto esta metodología “(...) persigue cambiar los hábitos en el puesto de trabajo para una mejor seguridad, eficiencia y motivación a partir del orden y la limpieza. Deriva de las cinco palabras japonesas Seiri (Clasificar), Seiton (Ordenar), Seiso (Limpiar), Seiketsu (Estandarizar) y Shitsuke (Autodisciplina)” (Gobierno de España, 2013, p. 157).
- **Hoja de verificación:** En este caso, se destaca que “la finalidad de la hoja de verificación es fortalecer el análisis y la medición del desempeño de los diferentes procesos de la empresa, a fin de contar con información que permita orientar esfuerzos, actuar y decidir objetivamente”. (Gutiérrez et al. 2013, p.143). A continuación, la ilustración 3 presenta una propuesta de hoja de verificación que permitirá conocer más a fondo el proceso:

Ilustración 3. Hoja de verificación.

Producto: Tree bag.	Cantidad en KG	Defecto de Corte A	Defecto de Corte B	Defecto de Corte C	Defecto de Corte D
Turno 1					
Turno 2					
Turno 3					

Nota: esta tabla muestra una propuesta de hoja de verificación para ahondar más en el problema.

Códigos para defectos de corte:

- Defecto de Corte A: Corte inadecuado.
- Defecto de Corte B: Posicionamiento incorrecto.
- Defecto de Corte C: Problemas en la maquinaria.
- Defecto de Corte D: Otros problemas de corte.

Asimismo, destaca que la Hoja de Verificación recopila datos sobre defectos de corte en cada turno y ayuda a identificar patrones y tendencias. El registro ahora es más específico para identificar acciones efectivas. Esto apoya la toma de decisiones informadas al identificar causas raíz y orientar acciones correctivas. Además, promueve la transparencia, impulsa la mejora continua y proporciona una herramienta efectiva para medir la efectividad de las acciones implementadas.

- **Análisis de Pareto:** A partir de los resultados que arrojó la lluvia de ideas, el diagrama de Ishikawa y la hoja de verificación, se buscó validar su ocurrencia según el total de desperdicio de cada potencial causa cuantificable dentro de las mencionadas. En este caso, se analizó la frecuencia de cada tipo de error y se identificará cuáles de ellos representan el 20% que está causando el 80% del efecto, es decir, el desperdicio. Esto implicó que se identificaran los tipos de error que tienen la mayor incidencia y que, en conjunto, contribuyen significativamente al total de desperdicio.

Para obtener los datos, se debió recopilar los datos, analizar las frecuencias para identificar y priorizar los tipos de error más recurrentes, seguido del cálculo del 80/20 para focalizar en aquellos con mayor impacto. Esta metodología permitió generar un puntaje de Pareto al combinar la frecuencia y el impacto de cada tipo de error. Con ello, se logró identificar los tipos de error con mayor incidencia y aquellos que, en conjunto, contribuyen significativamente al total de desperdicio. Este enfoque basado en la regla del 80/20 resultó fundamental para focalizar los esfuerzos de mejora en las áreas de mayor impacto y prioridad. Para obtener esta información, se utilizó como referencia las causas identificadas en el diagrama de Ishikawa, las de la hoja de verificación y las de la lluvia de ideas.

- **Los 5 por qué:** Posteriormente, después de aplicar el Pareto, se brindó la lista al personal de producción encargado del seguimiento del caso de desperdicio y se les pidió destacar la frecuencia con la que se identificaban errores en el corte debido a cualquiera de las razones expuestas. Algunas

razones no fueron considerados ya que no fueron cuantificables, sin embargo, se consideraron a la hora de realizar este análisis de los 5 por qué. De esta manera, a continuación, en la tabla 5, se muestran los principales elementos a destacar para la propuesta de mejora:

Tabla 5

Herramientas fase Mejorar

<i>Objetivo específico</i>	<i>Actividades</i>	<i>Herramientas</i>	<i>Descripción</i>	<i>Plazos</i>
Evaluar los subprocesos de producción del Tree Bag en la planta PolyAgro, con el objetivo de identificar las etapas en las que se genera el desperdicio, aplicando la metodología DMAIC.	- Realizar sesiones de brainstorming. - Promover la adopción de las 5s en la línea de producción. Utilizar hojas de verificación para recopilar datos sobre defectos de corte en cada turno.	- Brainstorming. - Metodología 5s. - Hoja de verificación. - Análisis de Pareto. - 5 por qué.	Se empleará el brainstorming, se promoverá la adopción de la metodología 5s para mejorar la eficiencia y se utilizarán hojas de verificación para recopilar datos sobre defectos de corte en el proceso.	8 semanas

Nota: esta tabla muestra las herramientas ingenieriles aplicables a la fase de mejorar.

3.4 Metodología para la implementación del proyecto

Para el proceso de implementación-ejecución del proyecto se recomendó el uso de las siguientes herramientas concretas bajo en enfoque DMAIC:

- **Diagrama de Gantt:** Para la implementación del proyecto, se sugirió la utilización de herramientas de control y seguimiento, de forma que se pueda

conocer el día a día, el estado de las tareas y su cumplimiento. Así, de acuerdo con Siles (2018) los pasos para elaborar el cronograma son al menos los siguientes:

- Identificación de la actividad de acuerdo con los objetivos y hoja de trabajo.
- Identificación de relaciones de dependencia.
- Estimación de la duración.
- Verificación de la estimación de los recursos.

Tabla 6

Herramientas fase Implementar

<i>Objetivo específico</i>	<i>Actividades</i>	<i>Herramientas</i>	<i>Descripción</i>	<i>Plazos</i>
Proponer mejoras basadas en los hallazgos del diagnóstico y la evaluación, con el objetivo de optimizar la producción del Tree Bag en la planta PolyAgro, y mejorar la eficiencia del proceso.	- Realizar análisis de datos con la metodología DMAIC. \n - Utilizar el diagrama de Gantt para la planificación y control de tareas.	- Diagrama de Gantt.	Se empleará el diagrama de Gantt para planificar y controlar las tareas de implementación.	10 de semana

Nota: esta tabla muestra las herramientas ingenieriles aplicables a la fase de implementar.

3.5 Metodología para la verificación, aseguramiento, control y seguimiento de resultados

- **Método Kanban:** Para la verificación, aseguramiento, control y seguimiento de resultados, se propuso el método kanban, que consiste en una pizarra interactiva que registra actividades en papeles individuales que se pueden intercambiar según su status de avance, en columnas de “por hacer”, “en proceso”, y “terminadas” (como mínimo), para así dar visibilidad al equipo sobre el estado en que se encuentra cada tarea. Es un método relativamente sencillo y de fácil interpretación. A continuación, la figura/ilustración 5 destaca un ejemplo de este método.

Ilustración 4 Método Banban



Fuente: Apetece Emprender. (s.f).

En este caso, el método Kanban implica la creación de tableros visuales para cada etapa del proceso, lo que establece límites de trabajo y controla el flujo de producción a través de tarjetas Kanban. Estas tarjetas se mueven a medida que las bolsas avanzan en el proceso, lo que permite un seguimiento visual y el control de cuellos de botella.

En este sentido, se utilizan métricas para medir el rendimiento en cada etapa y se realizan reuniones regulares para revisar los resultados y buscar mejoras. La implementación de Kanban ayuda a tomar decisiones informadas y fomenta la mejora continua en la reducción de desperdicios y la optimización del proceso de fabricación de bolsas.

- **Gráfica de control:** esta herramienta es empleada para establecer límites de control que son el límite superior, inferior y la línea central. Esto lo que establece, es que el proceso se debe mantener dentro de los parámetros establecidos y cuando haya datos atípicos en las diferentes muestras va a ser más fácil identificarlos para su seguimiento o estudio.

Anteriormente se destacó que se utilizará un gráfico de control tipo P, por el control que permite sobre un atributo como el de defectos. En este caso, La característica que se va a medir es la cantidad de kilogramos de desperdicio generados en cada lote de producción.

Asimismo, los parámetros de comparación serán los límites de control superior e inferior, que se calculan a partir de los datos históricos de desperdicio. Estos límites representan la variabilidad esperada en la cantidad de desperdicio. Si la cantidad de desperdicio excede estos límites, indica que el proceso puede estar fuera de control.

En este caso, una vez concluido el proyecto, las muestras se deben tomar al final de cada lote de producción. Esto permitirá medir la cantidad de desperdicio generado en cada lote. Durante este primer período después del proyecto, deben tomarse al menos 30 datos relativos al desperdicio por kg.

Dicho esto, se muestra en la tabla 7 las herramientas a utilizar en la última etapa del proyecto:

Tabla 7

Herramientas fase Verificar

<i>Objetivo específico</i>	<i>Actividades</i>	<i>Herramientas</i>	<i>Descripción</i>	<i>Plazos</i>
Diseñar estrategias de control de proceso que potencien la sostenibilidad de las soluciones propuestas, con el fin de minimizar el desperdicio en la producción del Tree Bag.	-Diseñar sistemas de control para monitorear resultados. - Utilizar el método Kanban para el seguimiento de tareas y control de procesos. - Emplear la gráfica de control P para el análisis y seguimiento de datos.	- Método Kanban. - Gráfica de control P Y Diagrama de Gantt.	Se diseñarán sistemas de control y se utiliza el método Kanban para el seguimiento de tareas y control de procesos. También se utilizará el diagrama de Gantt y la gráfica de control.	Continuo

Nota: esta tabla muestra las herramientas ingenieriles aplicables a la fase de verificar.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ

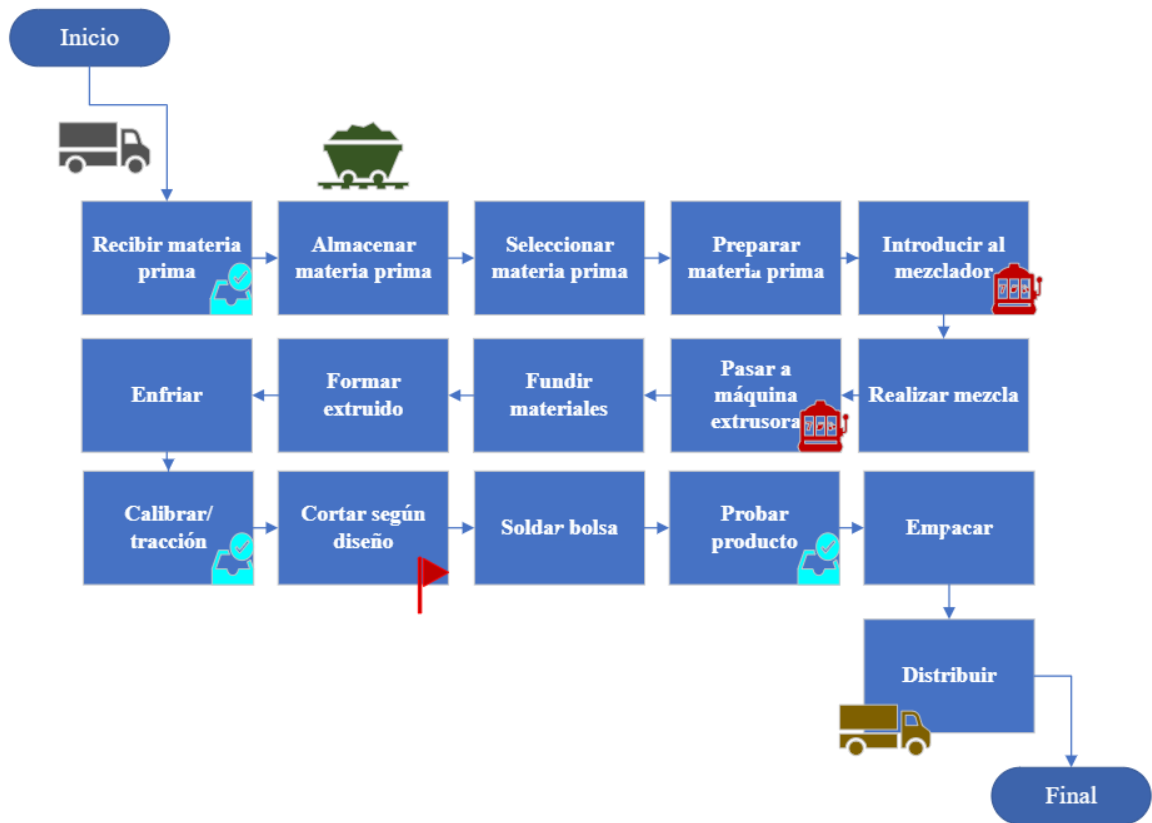
La identificación y comprensión de las causas subyacentes que contribuyen al problema establecido en secciones anteriores es un paso crucial en el proceso de resolución y mejora. Este análisis permitió abordar las raíces del problema, lo que brinda una base sólida para implementar soluciones efectivas y sostenibles. En esta etapa, se llevó a cabo un diagnóstico exhaustivo para determinar las principales fuentes y factores que están influyendo en el problema en cuestión.

A través de un enfoque analítico y detallado, se buscó identificar las conexiones y relaciones entre los distintos elementos que contribuyen a la situación actual. De esta forma, este proceso de diagnóstico contribuyó no solo comprender la naturaleza compleja del problema, sino también orientar de manera precisa las estrategias de intervención y tomar decisiones informadas.

4.1. Diagrama de Flujo

En la figura 5, se presenta a continuación un proceso detallado que consta de 16 pasos claramente definidos. Esta secuencia de acciones ilustra de manera precisa el flujo operativo necesario para llevar a cabo la tarea en cuestión, además considera el flujo del material desde que se recibe por parte de los proveedores. Es importante notar que, dentro de estos pasos se incluyen 3 procesos de verificación o validación, lo que indica un momento crítico para asegurarse de que cada etapa se está ejecutando conforme a los estándares y criterios establecidos.

Ilustración 5 *Flujograma del proceso*



Fuente: Elaboración propia con información obtenida de Polymer S.A.

Además, el análisis del diagrama de flujo reveló un punto focal en el paso número 12, correspondiente a la etapa de cortado. Este hallazgo fue de particular relevancia, ya que sugiere que esta fase específica del proceso puede estar implicada de manera significativa en la manifestación del problema.

Así, es fundamental reconocer que la información proporcionada en la figura 3 ofreció una valiosa visión panorámica de la secuencia de operaciones, y destaca áreas específicas que requieren atención prioritaria en el contexto de la resolución del problema.

Por otra parte, se complementa este análisis con la observación directa, el diagrama de Ishikawa, así como el análisis de datos históricos.

4.2. Observación directa

Para el proceso de análisis del problema, se realizaron visitas periódicas que implicaron la valoración crítica del paso a paso seguido en la producción de las

bolsas plásticas. Durante el proceso de observación directa en la identificación de la causa raíz del problema, se enfatizó en el funcionamiento de la máquina cortadora (ilustración 6).

Ilustración 6. Máquina de cortado



Fuente: Fotografías tomadas durante proceso de observación directa.

Esta fase específica puede estar contribuyendo significativamente al problema identificado, ya que es donde se define el tamaño y diseño final de las bolsas. Además, en esta etapa se determinó la intervención humana en este proceso, de forma que se pueda dilucidar de forma más clara el origen de los desperdicios en el corte. Las acciones humanas envueltas en este proceso son:

- Preparación y Ajuste de la Máquina: Asegurar que la máquina esté en condiciones óptimas y lista para operar.
- Verificar y ajustar la configuración de la máquina según las especificaciones del diseño.
- Carga del Material: Colocar el material base (la película plástica) en la máquina, asegurándose de que esté correctamente alineado y fijado.
- Configuración de Dimensiones: Configurar los parámetros de corte en la máquina de acuerdo con las dimensiones y forma específicas requeridas por el diseño de las bolsas.
- Inspección Visual: Realizar inspecciones visuales de las bolsas cortadas para asegurarse de que cumplan con los estándares de calidad y diseño establecidos.

- Retiro y paso a la siguiente etapa: Retirar las bolsas cortadas de la máquina y organizarlas adecuadamente según las especificaciones del diseño.

De esta manera, se destaca que la observación directa ha brindado una visión detallada de las acciones humanas que intervienen en el proceso de corte de bolsas plásticas, lo que favorece una mejor comprensión del origen de los desperdicios y también sugiere el posible alcance a tener en tanto las acciones destacadas cuentan con participación humana.

4.3. Análisis de estadística descriptiva

Para ahondar en el comportamiento de los datos de la muestra (Tabla 1), se destacaron algunos hallazgos relevantes del análisis de estadística descriptiva realizado por medio de Microsoft Excel, el cual es presentado en la tabla 8.

Tabla 8

Desperdicio por día de la semana (estadística descriptiva)

Estadística descriptiva	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Media	300,25	321	301,5	296,25	305	310,25	310,5
Error estándar	3,6	9,7	8,2	5,7	3,1	5,1	5,6
Mediana	299	312	308,5	293,5	305	310	312
Moda		312					
Desviación estándar	7,1	19,4	16,4	11,4	6,2	10,2	11,2
Varianza	50,9	374,7	269,7	130,9	38,7	104,9	126,3
Rango	17	40	35	26	14	23	26

Nota: esta tabla muestra el resultado del análisis de estadística descriptiva por día de la semana.

De esta manera, a partir de estos datos, puede destacarse respecto del comportamiento del desperdicio por día de la semana:

- **Media:** La media representa el promedio de desperdicio por día. El martes tiene la media más alta de desperdicio con 321 kg, mientras que el jueves tiene la media más baja con 296.25 kg. Esto sugiere que los martes se tiende a generar más desperdicio en comparación con los otros días.

- **Error estándar:** El error estándar mide la precisión con la que la media de la muestra estima la media de la población. Los martes tienen el error estándar más alto (9.7), lo que indica una mayor variabilidad en la estimación de la media.
- **Mediana:** La mediana es el valor medio que separa la mitad superior de los datos de la mitad inferior. Los valores de la mediana están bastante cerca de los valores de la media, lo que sugiere que los datos están relativamente simétricamente distribuidos.
- **Moda:** La moda es el valor que aparece con más frecuencia en un conjunto de datos. Solo los martes tienen un valor modal (312.0 kg), lo que indica que este valor de desperdicio es el más común en ese día.
- **Desviación estándar y Varianza:** Estas dos medidas indican la cantidad de variación o dispersión de un conjunto de valores. Los martes tienen la desviación estándar y la varianza más altas, lo que indica una mayor variabilidad en los datos de ese día.
- **Rango:** El rango es la diferencia entre el valor más alto y el valor más bajo. Los martes tienen el rango más alto (40.0), lo que indica una mayor dispersión en los datos de ese día.

4.5. Resultados hoja de verificación

Durante el período de investigación del problema y su causa raíz, se depura progresivamente las causas detalladas en otras herramientas y se aplica la hoja de verificación sugerida en la metodología de este proyecto durante las 2 primeras semanas del mes de agosto 2023. En este caso, se logra identificar las razones que ocasionaban los desperdicios según las siguientes frecuencias obtenidas en la tabla 9:

Tabla 9

Desperdicios por turno y tipo de error

Horario/Turno	Cantidad en KG	Defecto de Corte A	Defecto de Corte B	Defecto de Corte C	Defecto de Corte D	Total defectos por turno
Turno 1	1208	68	58	34	32	192
Turno 2	895	69	53	32	22	176
Turno 3	822	39	47	38	13	137
Totales	2925	176	158	104	67	505

Nota: esta tabla muestra el resultado del análisis de estadística descriptiva por día de la semana.

El análisis detallado de los resultados revela patrones significativos en relación con los defectos de corte y el desperdicio asociado en tres turnos distintos. A continuación, se desglosa el análisis por turno:

- **Turno 1:**

En el primer turno, se procesaron un total de 1208 kilogramos (KG) de material, de los cuales 192 KG (aproximadamente el 15.9% del total) se identificaron como desperdicio debido a diversos defectos de corte. El Defecto de Corte A (relacionado con cortes inadecuados) fue el más común, representando el 35.4% de los defectos totales en este turno. Le siguió el Defecto de Corte B (posicionamiento incorrecto), contribuyendo con el 30.2%. El Defecto de Corte C (problemas en la maquinaria) representó el 17.7% de los defectos, mientras que el Defecto de Corte D (otros problemas de corte) contribuyó con el 16.7%.

- **Turno 2:**

En el segundo turno, se procesaron 895 KG de material. De este total, 176 KG (aproximadamente el 19.7%) se identificaron como desperdicio debido a diversos defectos de corte. En este turno, el Defecto de Corte A continuó siendo el más común, con un 39.2% de los defectos totales. El Defecto de Corte B mantuvo su

relevancia, contribuyendo con el 30.1%. Los Defectos de Corte C y D representaron el 18.2% y el 12.5%, respectivamente.

- **Turno 3:**

Por último, en el tercer turno, se procesaron 822 KG de material, de los cuales 137 KG (aproximadamente el 16.7%) se clasificaron como desperdicio debido a diversos defectos de corte. El Defecto de Corte A fue nuevamente el más común, representando el 28.5% de los defectos totales en este turno. Le siguió el Defecto de Corte B, contribuyendo con el 34.3%. Los Defectos de Corte C y D representaron el 27.7% y el 9.5%, respectivamente.

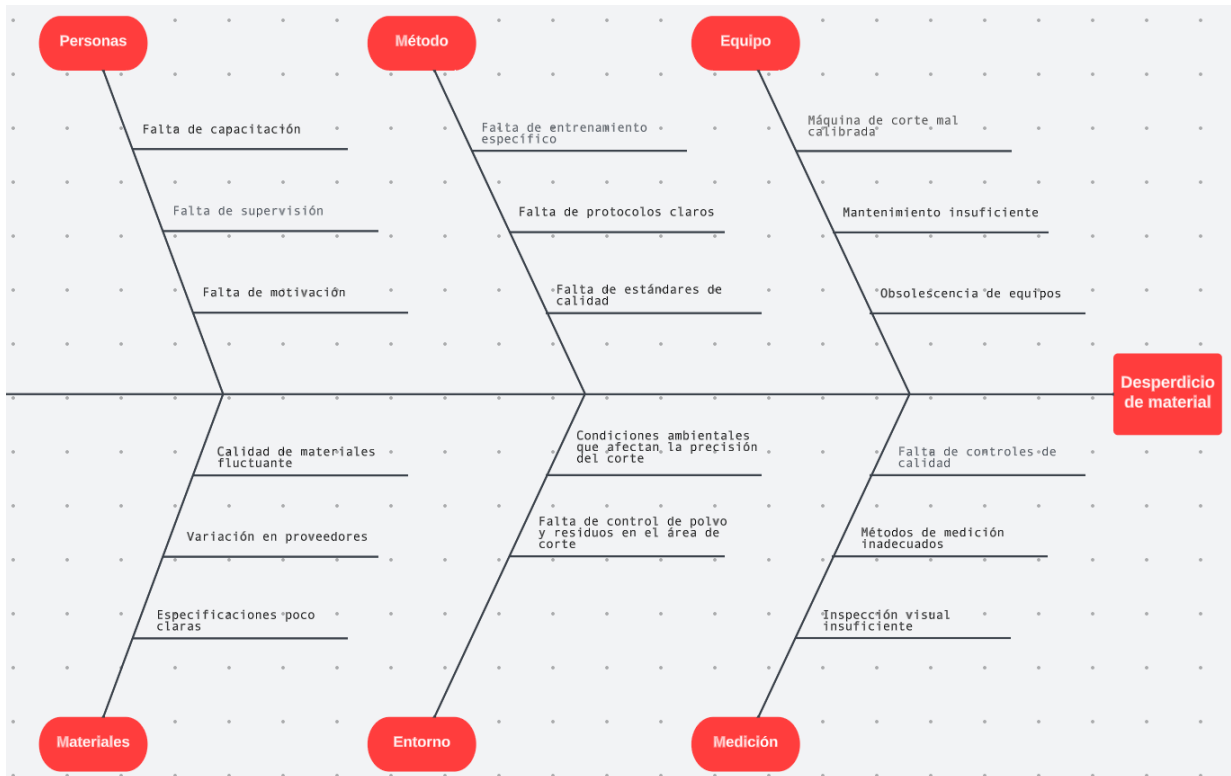
En términos generales, a partir de los datos totales de los tres turnos, se procesaron un total de 2925 KG de material. De este total, 505 KG (aproximadamente el 17.3% del total) se identificaron como desperdicio debido a diversos defectos de corte.

En este caso, este análisis destaca la importancia de abordar de manera prioritaria los Defectos de Corte A y B, que representan una parte significativa del desperdicio total. A continuación, se ahonda en estos resultados con el análisis de Pareto.

4.5. Diagrama de Ishikawa

Un diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de espina de pescado o diagrama de causa-efecto, es una herramienta utilizada para identificar y visualizar las posibles causas de un problema específico. A partir de la lluvia de ideas sugerida en la metodología para la puesta en práctica de la propuesta de mejora, se obtuvieron los siguientes resultados del diagrama causa-efecto, destacados en la ilustración 7.

Ilustración 7. Diagrama de Ishikawa



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se desglosa cada categoría y se realiza un análisis detallado:

- **Factor Humano (Personas):**

- Falta de capacitación, supervisión y motivación:

Análisis: La falta de capacitación puede resultar en trabajadores que no están completamente familiarizados con los procedimientos y estándares de calidad. Por su parte, la supervisión inadecuada puede llevar a una ejecución incorrecta de tareas y a la falta de corrección de errores. Asimismo, destacó que la falta de motivación puede resultar en una menor dedicación al trabajo y menos atención a los detalles. Estos factores humanos pueden contribuir al desperdicio de material.

- **Factor de Método:**

- Falta de entrenamiento, protocolos claros y estándares de calidad:

Análisis: Un método de trabajo no bien definido, la falta de procedimientos claros y la ausencia de estándares de calidad pueden llevar a una ejecución inconsistente y a la producción de productos no conformes. De la misma forma, la falta de entrenamiento específico puede resultar en una comprensión limitada de los procesos, lo que aumenta la probabilidad de errores (el corte entre estos).

- **Factor de Equipo:**

- Máquina de corte mal calibrada, mantenimiento insuficiente, obsolescencia de la máquina:

Análisis: La maquinaria es una parte crucial del proceso de producción. Una máquina de corte mal calibrada puede generar cortes ineficientes y contribuir al desperdicio de material. De la misma manera, el mantenimiento insuficiente y la obsolescencia de la máquina pueden llevar a un funcionamiento no óptimo, lo que aumenta la probabilidad de errores y desperdicio.

- **Factor de Materiales:**

- Especificaciones poco claras, variación de proveedores, calidad fluctuante:

Análisis: La calidad y la consistencia de los materiales son fundamentales para la producción de productos de alta calidad. Especificaciones poco claras y variaciones en los proveedores pueden llevar a la adquisición de materiales inadecuados, lo que afecta negativamente la calidad del producto final.

- **Factor de Medio Ambiente:**

- Condiciones ambientales que afectan la precisión, falta de control de polvo y residuos:

Análisis: Las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, pueden influir en la precisión del corte. En este sentido, la falta de control de polvo y residuos puede afectar la limpieza y la eficiencia del proceso de producción, lo que a su vez puede contribuir al desperdicio de material.

- **Factor de Medición:**

- Falta de controles de calidad, medios de medición inadecuados e inspección visual:

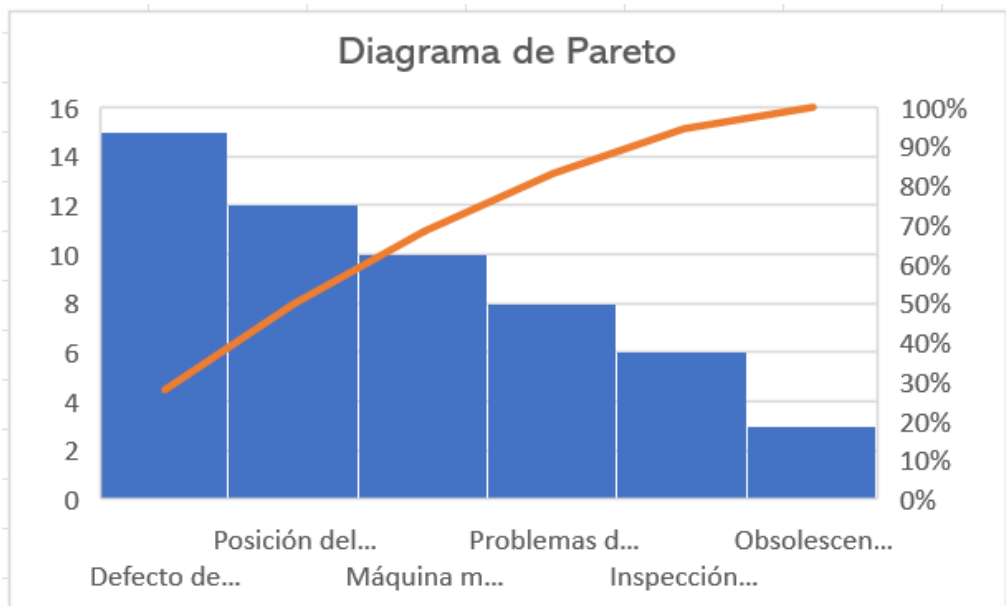
Análisis: La falta de controles de calidad y medios de medición inadecuados puede resultar en la aceptación de productos no conformes. De la misma forma, se destaca que la inspección visual insuficiente puede llevar a la no detección de defectos, lo que aumenta la probabilidad de producir productos defectuosos y generar desperdicio.

4.6. Gráfico de Pareto

Para la elaboración del diagrama de Pareto, se consideraron las causas identificadas por los equipos de trabajo en la elaboración del diagrama de Ishikawa y también las causas destacadas de la hoja de verificación. Sin embargo, para cuantificar su impacto en la ocurrencia del problema, se utilizaron registros de dos semanas de producción que permitiera cuantificar la ocurrencia de cada caso durante el proceso.

En este caso, a partir de las causas cuantificables, destacan la obsolescencia de equipos, la inspección visual insuficiente, problemas de máquina, máquina mal calibrada, posición del cortador y defecto de corte inadecuado. En este caso se encontraron los siguientes resultados:

Ilustración 8. Diagrama de Pareto



Fuente: Elaboración propia.

En este caso, se identifica:

1. **Obsolescencia de equipos (6%):** La obsolescencia de los equipos fue responsable del 6% del desperdicio total. Esto indica que los equipos antiguos pueden no estar funcionando de manera eficiente, lo que resulta en un desperdicio de materiales.

2. **Inspección visual insuficiente (11%):** La inspección visual insuficiente contribuyó al 11% del desperdicio total. Esto sugiere que una inspección más rigurosa podría haber prevenido parte de este desperdicio.
3. **Problemas de máquina (15%):** Los problemas con las máquinas causaron el 15% del desperdicio total. Esto sugiere que el mantenimiento y la reparación de las máquinas podrían ser áreas para mejorar.
4. **Máquina mal calibrada (19%):** Una máquina mal calibrada fue responsable del 19% del desperdicio total. Esto indica que la calibración precisa de las máquinas es crucial para minimizar el desperdicio.
5. **Posición del cortador (22%):** La posición incorrecta del cortador causó el 22% del desperdicio total. Esto sugiere que la correcta colocación del cortador es esencial para la producción eficiente de bolsas de plástico.
6. **Defecto de corte inadecuado (28%):** El defecto de corte inadecuado fue la causa más grande de desperdicio, contribuyendo al 28% del total. Esto indica que mejorar la calidad del corte podría tener el mayor impacto en la reducción del desperdicio.

En este caso, para priorizar las acciones de mejora, se deben abordar primero las causas que contribuyen a la mayor parte del desperdicio. De acuerdo con los datos proporcionados, las tres principales causas de desperdicio son:

1. Defecto de corte inadecuado (28%)
2. Posición del cortador (22%)
3. Máquina mal calibrada (19%)

Estas tres causas representan el 69% del desperdicio total, lo que está en línea con el principio del 80/20. Por lo tanto, centrarse en estas tres áreas podría tener el mayor impacto en la reducción del desperdicio. Para cada una de estas causas, se realiza el análisis de los 5 porqué para ahondar más en todas las razones subyacentes a estas causas.

A continuación, se detallan los resultados del análisis de 5 por qué:

1. **Defecto de corte inadecuado (28%)**

- ¿Por qué hay un defecto de corte inadecuado? Porque hay problemas con la máquina.
- ¿Por qué hay problemas con la máquina? Porque la máquina está mal calibrada.
- ¿Por qué la máquina está mal calibrada? Por falta de mantenimiento y supervisión adecuada.
- ¿Por qué hay falta de mantenimiento y supervisión adecuada? Debido a la falta de capacitación del personal encargado.
- ¿Por qué hay falta de capacitación del personal encargado? No se ha proporcionado suficiente formación al personal.

2. Posición del cortador (22%).

- ¿Por qué la posición del cortador es incorrecta? Porque las especificaciones no son claras.
- ¿Por qué las especificaciones no son claras? Debido a una inspección visual insuficiente.
- ¿Por qué es insuficiente la inspección visual? Por falta de protocolos claros para realizarla.
- ¿Por qué faltan protocolos claros para realizarla? Debido a una falta de capacitación en los procedimientos y estándares.
- ¿Por qué hay falta de capacitación en los procedimientos y estándares? No se ha proporcionado suficiente formación al personal.

3. Máquina mal calibrada (19%).

- ¿Por qué la máquina está mal calibrada? Porque la máquina ha estado funcionando durante un largo período sin mantenimiento.
- ¿Por qué la máquina ha estado funcionando durante un largo período sin mantenimiento? Porque no se han establecido protocolos de mantenimiento regulares.

- ¿Por qué no se han establecido protocolos de mantenimiento regulares? Debido a la falta de conciencia sobre la importancia del mantenimiento preventivo y correctivo.
- ¿Por qué hay una falta de conciencia sobre la importancia del mantenimiento preventivo/correctivo? Porque no se ha proporcionado suficiente capacitación al personal sobre el mantenimiento de las máquinas.
- ¿Por qué no se ha proporcionado suficiente capacitación al personal sobre el mantenimiento de las máquinas? Porque no se ha priorizado el mantenimiento de las máquinas.

4.7. Conclusiones de la situación actual

El análisis de Pareto priorizó las causas identificadas con todas las herramientas anteriores y los 5 porqués establecen la necesidad de actuar sobre la máquina mal calibrada y su mantenimiento, además, destaca que la causa relativa al el defecto de corte inadecuado y la posición del cortador, se generan como resultado de la falta de capacitación.

CAPÍTULO V: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

La implementación de las herramientas propuestas representa un enfoque estratégico y metódico para abordar el desafío en la producción de bolsas plásticas. Cada una de estas herramientas ha sido seleccionada cuidadosamente para abordar aspectos específicos del proceso y contribuir a una solución integral. Por tanto, medida que se avanza en la implementación de estas herramientas, se espera no solo una reducción significativa del desperdicio, sino también un aumento en la calidad y consistencia de las bolsas producidas. Este enfoque multidimensional se traduce en una operación más eficiente y rentable para la organización en su conjunto.

5.1. Diseño de propuesta

A continuación, se destacan las propuestas sugeridas de acuerdo con las causas del problema que contribuye a atenuar o reducir.

Tabla 10

Propuestas de mejora según causas

Propuesta	Causas en las que enfatiza
Plan de Mantenimiento Preventivo de Máquina	Máquina mal calibrada, Problemas de máquina (funcionamiento)
Plan de Mantenimiento correctivo de máquina	Máquina mal calibrada, Problemas de máquina (funcionamiento)
Implementación de 5S	Falta de capacitación
Plan de Capacitación	Falta de capacitación

Nota: esta tabla muestra las propuestas a realizar por cada causa raíz identificada.

En este caso, destaca que el Plan de Mantenimiento Preventivo de Máquina, se enfoca en prevenir problemas antes de que ocurran. Al realizar un mantenimiento regular, se puede detectar y corregir problemas menores antes de que se conviertan en problemas mayores. Esto puede ayudar a mantener la máquina bien calibrada y funcionando correctamente, abordando así las causas raíz de “Máquina mal calibrada” y “Problemas de máquina (funcionamiento)”.

Por su parte, el plan de mantenimiento correctivo, se enfoca en reparar los problemas después de que han ocurrido. Esto puede incluir la recalibración de la máquina o la reparación de componentes defectuosos. Al igual que el plan de mantenimiento preventivo, este plan puede ayudar a abordar las causas raíz de “Máquina mal calibrada” y “Problemas de máquina (funcionamiento)”.

Así mismo, la Implementación de 5S puede ayudar a mejorar la eficiencia y la seguridad en el lugar de trabajo, al también contribuir a determinar la posición correcta del cortador y el orden que debe existir en su lugar de trabajo. En este caso, puede ayudar a abordar la causa raíz de “Falta de capacitación” al proporcionar un entorno de trabajo más organizado y eficiente.

Por último, un plan de capacitación puede proporcionar a los empleados las habilidades y el conocimiento necesarios para realizar sus tareas de manera efectiva. Esto puede incluir la capacitación sobre cómo calibrar y mantener las máquinas, así como la capacitación sobre los procedimientos y estándares del lugar de trabajo.

A continuación, se amplía cada propuesta realizada:

5.1.1. Plan de Mantenimiento Preventivo para la máquina

Objetivo:

Garantizar que la máquina esté correctamente calibrada y funcione de manera óptima para reducir el desperdicio en la producción de bolsas plásticas.

Responsable: El Supervisor de Mantenimiento.

Frecuencia: Se realizará mensualmente para mantener la máquina en condiciones óptimas.

Actividades:

1. Inspección Visual (Semanal):

- Verificar visualmente el estado general de la máquina, buscando desgastes, daños o piezas desalineadas.

2. Verificación de Componentes (Mensual):

- Revisar y verificar la integridad de los componentes críticos de la máquina, como cuchillas, engranajes y sensores.

3. Lubricación (Semanal):

- Aplicar lubricantes según las especificaciones del fabricante en los puntos designados para garantizar un funcionamiento suave.

4. Calibración Inicial (Trimestral):

- Realizar una calibración inicial para establecer la referencia de operación óptima.

5. Monitoreo de Tolerancias (Mensual):

- Utilizar instrumentos de medición para verificar que la máquina cumple con las tolerancias de calibración especificadas. Para llevar a cabo esta actividad, se requiere emplear el medidor de Espesor de Materiales, el cual existe actualmente en la compañía. Estos medidores están diseñados para medir la distancia o espesor de materiales. La figura 9 ilustra un ejemplo de este instrumento.

Ilustración 9 Mitutoyo 547-500s Medidor Digital De Espesores 47.



Fuente: capris.cr

6. Ajuste y Calibración (Cuando sea necesario):

- Si se detecta una desviación de las tolerancias de calibración, realizar los ajustes y calibraciones necesarios de forma inmediata en tanto el impacto en la operación es significativo.

7. Registro de Datos (Semanal):

- Mantener un registro detallado de todas las actividades de mantenimiento preventivo, incluidas las calibraciones realizadas y cualquier ajuste importante.

Asimismo, a continuación, se detallan los costos relativos a esta propuesta:

Tabla

Tabla 11.

Costos de propuesta 1.

Propuesta/Recurso	Plan de mantenimiento preventivo (máquina)	Inversión apróx
Equipo/maquinaria	Herramientas y Suministros de Mantenimiento	€100.000
Materiales	Lubricantes y Aceites	€150.000
Recursos humanos	Supervisor de Mantenimiento (1) y Técnico de mantenimiento (1)	€1.750.000
COSTO POR PROPUESTA		€2.000.000

Nota: esta tabla muestra el costo aproximado de la propuesta 1.

5.1.2. Plan de Mantenimiento Correctivo

Objetivo: Restaurar la funcionalidad óptima de la máquina en caso de fallos o desviaciones detectadas durante la operación.

Responsable: El Supervisor de Mantenimiento.

Frecuencia: Se llevará a cabo según sea necesario en respuesta a incidencias o desviaciones detectadas.

Actividades:

1. Diagnóstico y evaluación de Fallas (Inmediato):

- Identificar y analizar la causa raíz de la falla o desviación en el funcionamiento de la máquina.
- Evaluar la gravedad y el impacto en la producción para determinar la prioridad de la corrección.

2. Reparación y Ajuste (Tan pronto como sea posible):

- Realizar las reparaciones necesarias y ajustes para restaurar el funcionamiento óptimo de la máquina.

3. Verificación de Funcionamiento (Post-reparación):

- Realizar pruebas y verificaciones para asegurarse de que la máquina funcione correctamente después de la corrección.

4. Seguimiento y Evaluación de Efectividad:

- Monitorear el rendimiento de la máquina después de la corrección para asegurarse de que el problema se haya resuelto de manera satisfactoria.

A continuación, se detallan los costos de esta propuesta:

Tabla 12.

Costos propuesta 2

Propuesta/Recurso	Plan de mantenimiento correctivo (máquina)	Inversión apróx
Equipo/maquinaria		Ø0
Materiales		Ø0
Recursos humanos	Supervisor de Mantenimiento	Ø3.950.000
COSTO POR PROPUESTA		Ø3.950.000

Nota: esta tabla muestra el costo aproximado de la propuesta 2.

5.1.3. Las 5 S

A continuación, se destaca el uso de esta herramienta para este contexto para contribuir en la atenuación de los efectos derivador de defecto de corte inadecuado, posición del cortador y falta de capacitación:

- **Seiri (Clasificación):**

- Identificar y clasificar herramientas y equipos necesarios para el proceso de corte y eliminar herramientas o equipos no esenciales para el proceso de corte. Como puede observarse en la siguiente figura (10), el espacio de la mesa que se muestra es el que suele estar con personas, materiales e inclusive desechos.

Ilustración 10 Área de cortado (5s).



Fuente: Tomada durante observación directa.

- **Seiton (Orden):**

- Asignar ubicaciones específicas para herramientas y equipos de corte. De acuerdo con el conocimiento del área de trabajo, a continuación, se propone una forma de ubicar correctamente los materiales según su utilidad o necesidad, como lo muestra la tabla 11:

Tabla 13

Orden de materiales en producción (5s)

Herramienta/Material	Ubicación en la Planta de Producción
Plástico de bolsa	Bodega de insumos
Tijeras o Cortadores de Tela	Estación de Corte
Patrones	Estación de Corte
Cintas o Ribetes Decorativos	Bodega de insumos
Herramientas de Medición	Estación de calibración
Etiquetas o Logotipos Personalizados	Estación de empaque
Herramientas de Marcaje y Etiquetado	Estación de empaque
Mesa de Trabajo	Área de Corte
Equipo de Protección Personal (EPP)	Bodega de insumos
Desechos	Basureros

Nota: esta tabla muestra el orden sugerido para las herramientas de producción.

- Etiquetar claramente cada área o soporte designado para las herramientas y equipos, utilizando etiquetas o señalizaciones visuales que indiquen el nombre y propósito de cada elemento.
- **No** se sugiere un reacomodo total del área de corte o de la posición de sus máquinas, debido a que, según el Supervisor de Producción, existe un estudio realizado por la gerencia de la empresa respecto de la eficiencia en el acomodo de los equipos en el cual se estableció que el orden actual debe permanecer, solo debe procurarse que las áreas se utilicen de forma exclusiva para lo que fueron diseñados.
- **Seiso (Limpieza):**
 - Establecer procedimientos diarios de limpieza para el área de trabajo y los equipos de corte. Estos deben ser realizados por el equipo de limpieza, cada cambio de turno sobre el área de corte de forma prioritaria, de acuerdo con el Supervisor de Producción, quien será responsable de realizar solicitud de aseo y validar su debida ejecución.
 - Asegurarse de que todos los miembros del equipo conozcan sus responsabilidades en cuanto a la limpieza. Esto corresponderá al Supervisor de producción. A continuación, en la tabla 12, se realiza una propuesta de

determinación de las responsabilidades del equipo en aspectos relativos a la limpieza:

Tabla 14

Responsabilidades en limpieza (5s)

Miembro del Equipo	Responsabilidades en Limpieza
Operarios	<ul style="list-style-type: none"> - Mantener su área de trabajo limpia y organizada en todo momento. - Reportar inmediatamente cualquier equipo, utensilio o superficie que requiera limpieza y/o desinfección o mantenimiento. - Participar en la formación sobre buenas prácticas de limpieza y seguridad.
Supervisor de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Coordinar y supervisar las tareas y programas de limpieza. - Asegurar que el personal de mantenimiento siga las rutinas de limpieza y desinfección programadas. - Mantener las herramientas y suministros de limpieza están disponibles y en buen estado de funcionamiento.
Personal de Limpieza	<ul style="list-style-type: none"> - Encargarse de la limpieza general de la planta de producción, incluyendo pisos, áreas de almacenamiento y equipos. - Limpiar y desinfectar las áreas de trabajo al final de cada turno. - Reportar cualquier equipo o herramienta de limpieza dañado o faltante.
Ingeniero de Procesos	<ul style="list-style-type: none"> - Supervisar y monitorear continuamente los procedimientos de producción para minimizar la generación de residuos y faltar la limpieza. - Proporcionar capacitación sobre las mejores prácticas para la producción y limpieza.
Supervisor de Producción	<ul style="list-style-type: none"> - Colaborar con el personal de producción y mantenimiento para identificar áreas de mejora en términos de limpieza y eficiencia. - Supervisar y fomentar la adhesión a las prácticas de limpieza y organización en el lugar de trabajo. - Asegurar que se realice una limpieza al fondo al final de cada turno y antes de cambiar la producción. - Facilitar la comunicación entre los diferentes miembros del equipo sobre problemas de limpieza y seguridad.

Nota: esta tabla muestra las responsabilidades sugeridas para cada miembro del equipo de producción

Seiketsu (Normalización):

- Mantener y replicar los procedimientos establecidos en las tres primeras S. Esto debe promoverse en todos los niveles.

- Capacitar a los miembros del equipo sobre el uso y la aplicación de estas herramientas. Esto estará a cargo del equipo de capacitación de la empresa.

Shitsuke (Disciplina):

- Asegurarse de que todos los miembros del equipo conozcan sus responsabilidades en cuanto a la limpieza. El Supervisor de producción debe ser constante, al presentarse errores o al pro activamente brindar retroalimentación, sobre las mejores prácticas de 5s en el área de producción.
- Brindar capacitación mensual sobre los procedimientos de limpieza y la importancia de mantener un área de trabajo limpio y seguro.

De esta forma, al aplicar las 5S en este contexto, se logrará un ambiente de trabajo más eficiente y productivo. A continuación, se muestran los costos de esta propuesta:

Tabla 15

Costo de propuesta 3

Propuesta/Recurso	5s	Inversión apróx
Equipo/maquinaria	Estanterías (3) y racks (4)	€0
Materiales	Etiquetas, marcadores, cintas adhesivas, cintas de marcado, trapos, folletos de capacitación	€50.000
Recursos humanos	Supervisor de producción y operarios (2)	€2.550.000
COSTO POR PROPUESTA		€2.600.000

Nota: esta tabla muestra el costo aproximado de la propuesta 3.

5.1.4. Plan de Capacitación

Objetivo: Desarrollar las habilidades y conocimientos de los empleados para realizar cortes adecuados, reduciendo así los desperdicios en la producción de bolsas plásticas.

Audiencia: Operadores de la máquina de corte y personal involucrado en el proceso de producción.

Duración del Programa: Se llevará a cabo a lo largo de un mes, con sesiones programadas semanalmente. Este será realizado con el objetivo de tener una línea base real respecto del conocimiento de los colaboradores y refrescar los conocimientos de todos.

Así, a continuación, se presenta una sugerencia de Contenidos a abordar en el Programa, validados con el ingeniero de procesos y el supervisor de producción:

Semana 1: Fundamentos de Corte

- Principios de corte en la producción de bolsas plásticas.
- Tipos de cortes y sus aplicaciones.
- Demostraciones prácticas y ejercicios de corte.

Semana 2: Operación de la Máquina de Corte

- Familiarización con la máquina de corte y sus controles.
- Procedimientos de arranque y apagado.
- Prácticas de operación segura.

Semana 3: Técnicas de Calibración

- Importancia de la calibración precisa en la producción.
- Proceso de calibración de la máquina.
- Pruebas y verificación de la calibración.

Semana 4: Resolución de Problemas y Mejora Continua

- Identificación y corrección de cortes inadecuados.
- Técnicas para minimizar desperdicios.
- Fomento de una cultura de mejora continua.

Metodología de Enseñanza:

El programa incluye una combinación de sesiones teóricas, demostraciones prácticas y ejercicios de simulación con recursos virtuales ya disponibles en el área

de capacitación. Se debe promover la participación y la retroalimentación individualizada cuando sea relevante (en casos de errores repetitivos, para fortalecer las debilidades identificadas principalmente).

Evaluación:

Se realizan pruebas de conocimiento al final de cada semana para evaluar la comprensión y retención del material durante el programa y se valora su réplica constante en caso de que muestre efectos significativos en los indicadores actuales.

A continuación, se destacan los costos estimados de esta propuesta:

Tabla 16

Costos de propuesta 4

Propuesta/Recurso	Plan de Capacitación	Inversión apróx
Equipo/maquinaria		∅0
Materiales	Marcadores, hojas de color, lápices/lapiceros, fotocopias, folletos de capacitación	∅30.000
Recursos humanos	Encargado de Capacitación	∅1.268.000
COSTO POR PROPUESTA		∅1.298.000

Nota: esta tabla muestra el costo aproximado de la propuesta 4.

5.2. Implementación de la propuesta.

5.2.1. Diagrama de Gantt

Por otra parte, con el objetivo de planificar las acciones a ejecutar para atenuar el problema de desperdicio, se destacan en la siguiente ilustración el Diagrama de Gantt, en el cual se incluyeron todas las propuestas mencionadas en el diseño.

Ilustración 11. Diagrama de Gantt

N de propuesta	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	Noviembre				Diciembre			
			SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4
1	Verificar visualmente el estado general de la máquina.	Supervisor de mantenimiento	■				■			
1	Revisar y verificar la integridad de los componentes críticos de la máquina.	Supervisor de mantenimiento	■				■			
1	Aplicar lubricantes según las especificaciones del fabricante.	Supervisor de mantenimiento	■				■			
1	Realizar una calibración inicial para establecer la referencia de operación óptima (1 al trimestre).	Supervisor de mantenimiento	■				■			
1	Verificar que la máquina cumple con las tolerancias de calibración especificadas.	Supervisor de mantenimiento	■				■			
1	Realizar los ajustes y calibraciones necesarios en caso de desviación de las tolerancias de calibración.	Supervisor de mantenimiento	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Mantener un registro detallado de todas las actividades de mantenimiento preventivo, incluidas las calibraciones realizadas y cualquier ajuste importante.	Supervisor de mantenimiento		■	■	■	■	■	■	■
2	Diagnostica y evaluar fallas	Supervisor de mantenimiento	■	■	■	■	■	■	■	■
2	Reparar y ajustar fallos	Supervisor de mantenimiento	■	■	■	■	■	■	■	■
2	Verificar funcionamiento tras acción correctiva	Supervisor de mantenimiento	■	■	■	■	■	■	■	■
2	Dar seguimiento y evaluar efectividad de solución	Supervisor de mantenimiento	■	■	■	■	■	■	■	■
3	Identificar y clasificar herramientas y equipos necesarios para el proceso de corte.	Supervisor de producción & Operarios	■							
3	Eliminar herramientas o equipos no esenciales para el proceso de corte.	Supervisor de producción & Operarios		■						
3	Asignar ubicaciones específicas para herramientas y equipos de corte.	Supervisor de producción & Operarios		■						
3	Etiquetar claramente cada área o soporte designado para las herramientas y equipos.	Supervisor de producción & Operarios		■						
3	Establecer y documentar rutina de realizar limpieza en el área de trabajo y los equipos de corte.	Supervisor de producción		■						
3	Comunicar de forma escrita a los miembros del equipo sus responsabilidades en cuanto a la limpieza.	Supervisor de producción			■					
3	Validar que se mantengan y repliquen los procedimientos establecidos en las tres primeras S.	Todo el personal de producción			■					
3	Capacitar a los miembros del equipo sobre el uso y la aplicación de estas herramientas.	Ingeniero de procesos				■				
3	Dar capacitación sobre los procedimientos de limpieza y la importancia de mantener un área de trabajo limpio y seguro.	Ingeniero de procesos				■				
4	Ejecutar Plan de Capacitación	Encargado de capacitación					■	■	■	■

Fuente: Elaboración propia.

Así, puede observarse que las primeras actividades pertenecen al plan de mantenimiento de la máquina, tanto al preventivo como al correctivo, posteriormente se destacan las actividades relativas a la implementación de las 5s. De la misma forma, se incluye posteriormente el plan de capacitación, cuya frecuencia es semanal y se aborda con los contenidos sugeridos.

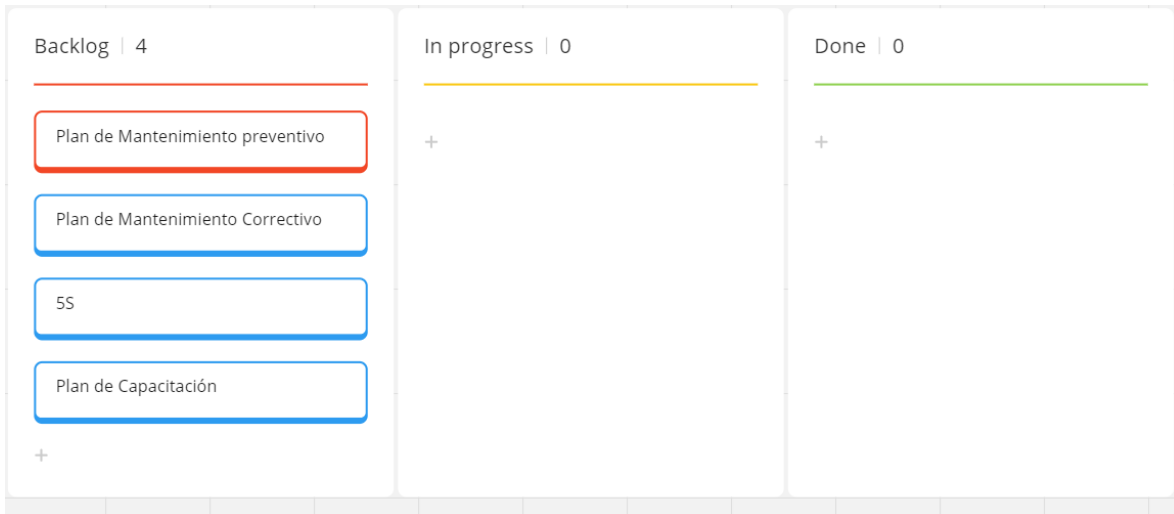
Debe destacarse que las actividades planteadas en este proyecto serán implementadas en un plan piloto de dos meses de duración, el cual empezará a regir a partir de Noviembre 2023.

5.2.2. Kanban

Por otra parte, para implementar este proyecto se sugiere emplear la metodología Kanban, pero como un mecanismo de seguimiento de más alto nivel, en el cual se evalúen los paquetes de tareas derivadas de las que ya se contemplan en el diagrama de Gantt.

Así, tal como se detalla en la ilustración 9, el Kanban ilustrará el avance por oportunidad de mejora implementada:

Ilustración 12. Kanban



Fuente: Elaboración propia.

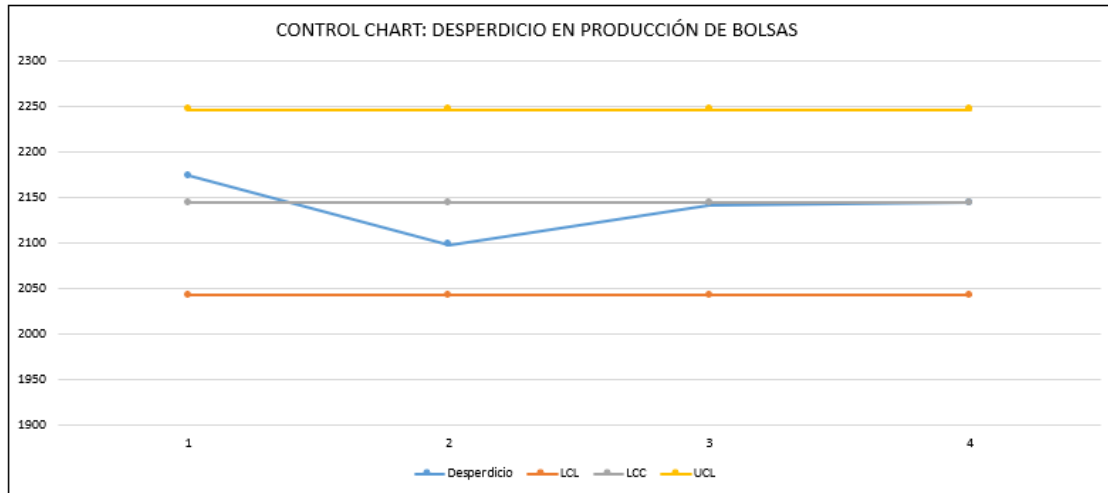
En este caso, Kanban brinda una representación visual clara de todas las propuestas programadas, lo que facilita a todos los miembros del equipo comprender en qué etapa del proyecto se encuentran.

Finalmente, en caso de surgir nuevas tareas o necesitar reestructurar el plan, Kanban facilita la adición o modificación de elementos sin interrumpir el flujo de trabajo existente, lo que resulta fundamental para la agilidad y flexibilidad en la gestión de proyectos de mejora continua.

5.2.3. Gráfico de control P

El gráfico de control P es una herramienta estadística que permite establecer límites de control para los datos recopilados. Estos límites representan los niveles de variación que son considerados aceptables en el proceso. Si los datos se mantienen dentro de estos límites, el proceso se considera bajo control; si se salen de estos límites, indica que hay una variación inusual y se deben investigar posibles causas. A continuación, se presenta el gráfico con la información obtenida de las 4 semanas de producción del mes de Julio 2023. En este caso, según lo muestra el gráfico de la ilustración número 10, la organización deberá alimentar el gráfico de control con la información de los últimos meses para mejorar su visibilidad del desarrollo del proceso.

Ilustración 13. Gráfico de Control



Fuente: Elaboración propia a partir de datos facilitados por la Empresa.

El gráfico de control P es una herramienta esencial en el monitoreo de la cantidad de desperdicio en el proceso de producción de bolsas plásticas. Este gráfico establece límites que representan los niveles de variación considerados aceptables. Mantener los datos dentro de estos límites indica un proceso bajo control, mientras que cualquier desviación sugiere una variación inusual que requiere investigación. Cabe destacar que, en este contexto, una disminución del límite inferior en el gráfico sería una señal clara de mejora en el proceso de producción, indicando una reducción en el desperdicio, por lo que deben evaluarse las causas para mantenerlas o potenciarlas. De la misma forma, se destaca que utilizar el gráfico de control P en este contexto ofrece varios beneficios:

- Primero, permite identificar tendencias a lo largo del tiempo en la cantidad de desperdicio. Por ejemplo, si se observa una tendencia creciente, esto podría indicar un problema en el proceso que necesita ser abordado de inmediato.
- Además, la detección de datos fuera de los límites de control señala cambios significativos en el proceso. Esto requiere una investigación inmediata para identificar y corregir cualquier nueva fuente de variabilidad.

- El enfoque de mejora continua es fundamental al emplear el gráfico de control. Al monitorear de forma constante el proceso, se pueden implementar ajustes y mejoras a medida que surgen, lo que lleva a una reducción continua del desperdicio.
- También, al identificar rápidamente cuando el proceso está fuera de control, se evitan pérdidas de tiempo y recursos que podrían ocurrir si el problema se detecta más tarde en el proceso.

En conclusión, el gráfico de control es una estrategia efectiva para mantener el proceso de producción de bolsas plásticas bajo control y promover una cultura de mejora continua. En este caso, facilita la identificación temprana de problemas y la implementación proactiva de soluciones, lo que tiene un impacto positivo en la eficiencia y calidad del proceso de producción.

5.3. Análisis Costo-Beneficio

En el anterior apartado, se profundizó en el coste económico total del desperdicio generado por la producción de bolsas de basura, el cual se estimó en \$25,083 dólares. A partir de este punto, se procederá a analizar aspectos relacionados con los costos y su evaluación en comparación con los beneficios esperados de la implementación de esta propuesta de mejora.

En primera instancia, en la tabla 13 se destacan los costos asociados de cada propuesta y se presenta también un total en colones y en dólares para referencia.

Tabla 17

Costos de la propuesta de mejora

Propuesta/Recurso	Plan de mantenimiento preventivo (máquina)	Inversión apróx	Plan de mantenimiento correctivo (máquina)	Inversión apróx	5s	Inversión apróx	Plan de Capacitación	Inversión apróx
Equipo/maquinaria	Herramientas y Suministros de Mantenimiento	€100.000		€0	Estanterías (3) y racks (4)	€0		€0
Materiales	Lubricantes y Aceites	€150.000		€0	Etiquetas, marcadores, cintas adhesiva, cintas de marcado,	€50.000	Marcadores, hojas de color, lapices/lapiceros, fotocopias,	€30.000
Recursos humanos	Supervisor de Mantenimiento (1) y Técnico de mantenimiento (1)	€1.750.000	Supervisor de Mantenimiento	€3.950.000	Supervisor de producción y operarios (2)	€2.550.000	Encargado de Capacitación	€1.268.000
COSTO POR PROPUESTA		€2.000.000		€3.950.000		€2.600.000		€1.298.000
Total		€9.848.000						

Nota: esta tabla muestra el costo aproximado de todas las propuestas.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 13 presenta estimaciones basadas en la información dada por la Empresa, y permite cuantificar el valor total de la inversión en recursos para todas las propuestas de mejora. Este costo es un elemento imprescindible en el análisis costo-beneficio.

En este sentido, se parte de un costo inicial de desperdicio de \$25,083 dólares, equivalente al 100% del gasto por mes de desperdicio, tal como se identificó al inicio del proyecto. Así, en el escenario en el que el proyecto no se implemente, el desperdicio persistiría, lo que implicaría un costo total para la empresa de \$50,166 dólares. Asimismo, para calcular el beneficio, se parte del supuesto que las causas atendidas por el proyecto reducirán el desperdicio en la misma proporción que se identificó en el Pareto, es decir, un total acumulado entre las 5 causas de 77,81%. De esta forma, la ilustración 14 muestra el balance del costo-beneficio, al considerar los costos destacados en la tabla 13 y un impacto global de todas las propuestas de un 77.18% sobre el costo total del desperdicio durante la duración del proyecto.

En este caso, el análisis sugiere que el proyecto tiene el potencial de generar un rendimiento positivo, lo que significa que la inversión inicial podría recuperarse y, además, obtener ganancias adicionales. Es evidente que el beneficio prácticamente duplica el costo. Por tanto, se concluye que el proyecto cuenta con el visto bueno de la evaluación financiera.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

En términos de conclusiones, a partir de cada objetivo específico, son las siguientes:

Diagnosticar las causas raíz potenciales del desperdicio en la producción del Tree Bag en la planta PolyAgro: Mediante la aplicación de la metodología DMAIC y otras herramientas de ingeniería, se logró identificar las causas subyacentes del desperdicio de material. Los puntos críticos en el proceso de producción de bolsas fueron el paso de verificación y el proceso de corte.

Evaluar los subprocesos de producción del Tree Bag en la planta PolyAgro: El análisis de Pareto, en conjunto con otras herramientas, permitió priorizar las causas identificadas. Se evidenció que el mayor porcentaje de los problemas estaban principalmente asociados con la máquina mal calibrada, el funcionamiento de la máquina y la falta de capacitación.

Proponer mejoras basadas en los hallazgos del diagnóstico y la evaluación: Las propuestas de mejora se fundamentaron en las causas identificadas. Todas estas juntas deben mejorar la eficiencia y gestión del proceso, de forma que se reduzcan los desperdicio.

Diseñar estrategias de control de proceso que potencien la sostenibilidad de las soluciones propuestas: Se brindaron herramientas para crear y mantener los registros de las actividades que se realizarán, así como la metodología sugerida para el control y aseguramiento de los resultados, tales como el gráfico de control P.

Estas conclusiones contribuyen a lograr el objetivo general del proyecto, que consiste en proponer una alternativa de solución para el desperdicio en la producción de Tree Bag. Como resultado, se espera una reducción sustancial del desperdicio de material, una disminución significativa de los costos de producción, y un aumento notable en la eficiencia de la operación

En este sentido, en general se destaca que los principales aportes del proyecto se centran en la reducción sustancial del desperdicio de material, lo que se traduce en una disminución significativa de los costos de producción. Además, se espera que esta optimización del proceso conduzca a un aumento notable en la eficiencia de la

operación, lo que permitirá a la empresa cumplir con los pedidos de manera más rápida y con mayor calidad.

6.2 RECOMENDACIONES

A continuación, se destacan las principales recomendaciones dirigidos a cada persona en la empresa según su rol:

- **Supervisor de Mantenimiento:**
 - Fomentar una cultura de mejora continua en el equipo de mantenimiento.
 - Mantener un monitoreo constante de los Indicadores de Desempeño (KPIs) relacionados con la eficiencia de producción y la reducción de desperdicios.
- **Supervisor de Producción & Operarios:**
 - Mantener un monitoreo constante de los Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) relacionados con la eficiencia de producción, la calidad y la reducción de desperdicios.
 - Participar en programas de formación recurrente.
- **Ingeniero de Procesos:**
 - Realizar auditorías y revisiones periódicas.
- **Encargado de Capacitación:**
 - Implementar programas de formación recurrente.
- **Supervisor de Producción:**
 - Explorar alternativas como el uso de materiales reciclables o la implementación de prácticas ecoamigables para abrir nuevas oportunidades de mercado.
 - Procurar la mejor tecnología posible en producción para buscar mejoras significativas en la eficiencia y calidad del proceso de producción.

CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA

- Achibat, F. E., Lebkiri, A., Aouane, E. mahjoub, Lougraimzi, H., Berrid, N., & Maqboul, A. (2023). Analysis of the Impact of Six Sigma and Lean Manufacturing on the Performance of Companies. *Management Systems in Production Engineering*, 31(2), 191–196. <https://doi.org/10.2478/mspe-2023-0020>
- Álvarez Melchor, P. C. (2020). Uso de la metodología Six Sigma para establecer la gestión de inventario del nitrógeno en una línea de producción de bebidas no carbonatadas.
- Azwir, H. H., Fanani, Z., & Oemar, H. (2022). Application of the Dmaic Method in Improving the Quality of Electric Power Steering Housing Products. *Spektrum Industri*, 20(1), 71–82. <https://doi.org/10.12198/spektrum.v20i1.16>
- Capris.Cr. (2023). Mitutoyo 547-500s medidor digital de espesores 47"/12mm. <https://www.capris.cr/cr/mitutoyo-547-500s-medidor-digital-de-espesores-47-12mm.html>
- Carrillo Landazábal, M. S., Alvis Ruiz, C. G., Mendoza Álvarez, Y. Y., & Cohen Padilla, H. E. (2019). Lean manufacturing: 5 s y TPM, herramientas de mejora de la calidad. Caso empresa metalmecánica en Cartagena, Colombia. *Signos*, 11(1), 71–86. <https://doi.org/10.15332/s2145-1389-4934>
- De Ita, M. M., & Eugenia, M. (1994). El concepto de productividad en el análisis económico. *Red de Estudios de la Economía Mundial*. México. <https://www.academia.edu/download/38054962/productividad-laboral.pdf>
- Devore, J. (2016). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. (9na Ed.). México: Cengage Learning.
- Dioses Quinde, S. A. (2021). Lean Manufacturing y la reducción de desperdicios en los procesos de las empresas industriales en los últimos cinco años: una revisión de la literatura científica. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/27426>

- Espinoza Cuadros, A. N., & Criollo Marcavillaca, M. R. (2021). Modelo de Producción para la Reducción de Tiempos de Entrega de Pedido en una empresa metalmeccánica de Lima Metropolitana basado en Six Sigma.
- Fuentes Morales, M. C., López Benavides, F. J., & Lerma Flores, A. (2018). Aplicación De La Metodología Seis Sigma en La Reducción Del Desperdicio De Tela en Una Empresa De Vestiduras Automotrices. *Congreso Internacional de Investigacion Academia Journals*, 10(5), 318–323.
- Gerges M. (2020). Lean Six Sigma, una metodología aplicada a procesos reales. <https://www.izertis.com/es/-/blog/lean-six-sigma-una-metodologia-aplicada-a-procesos-reales>
- Gestión de Operaciones. (2017). Qué es el Diagrama de Ishikawa o Diagrama de Causa Efecto. <https://www.gestiondeoperaciones.net/gestion-de-calidad/que-es-el-diagrama-de-ishikawa-o-diagrama-de-causa-efecto/>
- Gobierno de España. (2013). Lean Manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación. Medio ambiente, industria y energía. <https://www.eoi.es/es/file/19633/download?token=VL6T1iHz>
- Guayacundo, J. (2015). Graficos de control c y u. <https://prezi.com/otu3dpduvnti/graficos-de-control-c-y-u/>
- Gupta, K. (2022). A Review on Implementation of 5S for Workplace Management. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, 9(3), 323–330. <https://doi.org/10.22105/jarie.2021.292741.1347>
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2013). Control estadístico de la calidad y Seis Sigma (3ra ed.). McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- H. Walker, Ahmad K. Elshennawy, Bhisham C. Gupta, & Mary Mcshane Vaughn. (2019). The Certified Quality Inspector Handbook: Vol. Third edition. ASQExcellence. <https://asq.org/quality-press/display-item?item=H1556>
- Hernández Alvarado, G., Figueroa Fernández, V., Hernández González, S., & Carrillo Rodríguez, H. (2016). Metodología basada en la filosofía de la

- Manufactura Esbelta para lograr la eliminación de desperdicios en las MIPyMES manufactureras de Guanajuato. *Congreso Internacional de Investigacion Academia Journals*, 8(3), 861–866.
- ISO. (2015). ISO 9000:2015 Quality management systems - Fundamentals and vocabulary. <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:es>
- Jorquera, B. A. N., & Malfanti, I. R. S. Engineering Research. https://cdn.atenaeditora.com.br/artigos_anexos/ANLISI1_94909c45cceab2671c4f2d712d83f5dceb95fd6b.PDF
- Krishnamoorti, K.S., Krishnamoorti, V.R. & Pennathur, A. (2018). A First Course in Quality Engineering: Integrating Statistical and Management Methods of Quality. (3ra edición). Taylor & Francis, CRC Press
- La Nación. (14 de agosto 1997). Polymer tras mercados. Archivo. <https://www.nacion.com/archivo/polymer-tras-mercados/2O2HL7KHHJB3FOEBNHQBWVTHBY/story/>
- Lay-De-León, R. N., Acevedo-Urquiaga, A. J., & Acevedo-Suárez, J. A. (2022). Guía para la aplicación de una estrategia de mejora continua. *Ingenieria Industrial*, 43(3), 1–16. Accessed August 21, 2023. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=cookie,ip,url,custuid&custid=s7950840&db=asn&AN=160013770&lang=es&site=ehost-live&scope=site>
- Lipovetsky, S. (2009). Pareto 80/20 law: derivation via random partitioning. *International Journal of Mathematical Education in Science & Technology*, 40(2), 271–277. <https://doi.org/10.1080/00207390802213609>
- Makwana, A. D., & Patange, G. S. (2022). Strategic implementation of 5S and its effect on productivity of plastic machinery manufacturing company. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 20(1), 111–120. <https://doi.org/10.1080/14484846.2019.1676112>
- Miguel Ángel Pitol Reyes, Huerta Aguirre, V., Aparicio Bocarando, J., Gutiérrez Guerra, I. G., & Sánchez Hernández, d. (2017). Comportamiento del

mantenimiento preventivo y correctivo, y su efecto en los costos. Caso de tienda departamental. *Revista ciencia administrativa*, 206–224.

Minetto B. (febrero, 2019). ¿Qué es DMAIC? <https://blogdelacalidad.com/que-es-dmaic/>

Ortíz, W. E. (2013). *Plan de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos que intervienen en el desarrollo del proyecto hidroeléctrico porce III*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/1349>

Polymer SA. (05 de agosto de 2023). Conozca Polymer. <http://www.polymersa.com/>

Peña, S. (2017). *Análisis de Datos*. Fundación Universitaria del Área Andina. ISBN: 978-958-5460-45-4. <https://core.ac.uk/download/pdf/326425169.pdf>

Rendón-Macías ME, Villasís-Keever MÁ, Miranda-Novales MG. Estadística descriptiva. *Rev Alerg Mex.* 2016;63(4):397-407. <https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755026009.pdf>

Shankar, R. (2009). Process improvement using Six Sigma: A DMAIC guide. *ASQ Quality*. <https://pdfcoffee.com/dmaic-process-improvement-using-six-sigma-a-dmaic-guide-3-pdf-free.html>

Siles, R. & Mondelo, E. (2020). Herramientas y técnicas para la gestión de proyectos de desarrollo pm4r. *Guía de aprendizaje*. https://indesvirtual.iadb.org/file.php/1/PM4R/Guia%20de%20Aprendizaje%20OPMA%20SPA.pdf?fbclid=IwAR0_17MRzWGU-xgLta1HregQQYcDu4V8vVnAqa7GbhPdR2dJ0QbezaNZ-g

Tapia Coronado, J., Escobedo Portillo, T., Barrón López, E., Martínez Moreno, G., & Estebané Ortega, V. (2017). Marco de Referencia de la Aplicación de Manufactura Esbelta en la Industria. *Ciencia & Trabajo*, 19(60), 171–178. <https://doi.org/10.4067/S0718-24492017000300171>

Vergara, Rodríguez, C., J. (2018). *Historia de la Ingeniería Industrial*. Editorial CECAR. Colombia.

- Villada Cantor Diego Alexis, & Beltrán Cortés Oscar Javier. (2021). Elementos de estadística descriptiva y probabilidad. Siglo del Hombre Editores.
<https://www.unipiloto.edu.co/elementos-de-estadistica-descriptiva-y-probabilidad/>
- Voehl, F. (2016). 5 Whys. In *The Innovation Tools Handbook, Volume 2* (pp. 1-10). Productivity Press.
<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781315367699-1/5-whys-frank-voehl>
- Yadav, O. P., Nepal, B. P., Rahaman, M. M., & Lal, V. (2017). Lean Implementation and Organizational Transformation: A Literature Review. *Engineering Management Journal*, 29(1), 2–16.
<https://doi.org/10.1080/10429247.2016.1263914>

CAPÍTULO VIII: ANEXOS

ANEXOS.