

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

REDUCCIÓN DE RECHAZOS DE SEMILLAS
DE PIÑA EN EL MERCADO
INTERNACIONAL EN EL PRIMER
CUATRIMESTRE DEL 2024.

PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA
OPTAR POR EL BACHILLERATO EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL.

EDUARDO HERRERA SOTO

JOSÉ EDUARDO VARGAS SOLÍS

ALAJUELA, 2024.

DECLARACIÓN JURADA

Yo Eduardo Herrera Soto, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 207680460 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: Optimización en la reducción de rechazos de semillas de piñas en el mercado internacional en el primer cuatrimestre del 2024 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 los 16 días del mes de octubre del año dos mil veinte cuatro.



Firma del estudiante
Cédula 207680460

CARTA DEL TUTOR

20 de octubre 2024

Señores
Servicios Estudiantiles
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante Eduardo Herrera Soto, cédula de identidad número 207680460, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "Optimización en la reducción de rechazos de semillas de piñas en el mercado internacional en el primer cuatrimestre del 2024", 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; 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% | 20% |
| c) | COHERENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS, LOS INSTRUMENTOS APLICADOS Y LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION | 30% | 30% |
| d) | RELEVANCIA DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 20% | 20% |
| e) | CALIDAD, DETALLE DEL MARCO TEORICO | 20% | 20% |
| | TOTAL | | 100% |

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

Atentamente, **JOSE EDUARDO VARGAS SOLIS (FIRMA)**
 Firmado digitalmente por
 JOSE EDUARDO VARGAS SOLIS (FIRMA)
 Fecha: 2024.10.20 10:20:14 -06'00'

Ing. José Eduardo Vargas Solís
 Cédula identidad 1 15559 0116

**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, 10/12/2024

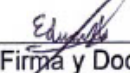
Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Eduardo Herrera Soto con número de identificación 207680460 autor (a) del trabajo de graduación titulado Reducción De Rechazos De Semillas De Piña En El Mercado Internacional En El Primer Cuatrimestre Del 2024 presentado y aprobado en el año 2024 como requisito para optar por el título de bachillerato en Ingeniería Industrial Si 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,


Eduardo Herrera Soto 207680460
Firma y Documento de Identidad

San José, 03 de diciembre de 2024.

Señores
Servicios estudiantiles
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante Eduardo Herrera Soto, cédula de identidad 207680460, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado: REDUCCIÓN DE RECHAMOS DE SEMILLAS DE PIÑA EN EL MERCADO INTERNACIONAL EN EL PRIMER CUATRIMESTRE DEL 2024, el cual ha elaborado para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería Industrial.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente, lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y el análisis de datos; la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre estos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

Ana Catalina
Leandro Sandí

Firmado digitalmente por
Ana Catalina Leandro Sandí
Fecha: 2024.12.03 14:11:05
-06'00'

Ing. Ana Catalina Leandro Sandí, MGA.
Cédula identidad: 3-0398-0478
Carné Colegio Profesional: IPI-22762

**ANEXO 1 (Versión en línea dentro del Repositorio)
LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y
PERMITIR LA CONSULTA Y USO**

Parte 1. Términos de la licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional

Como titular del derecho de autor, confiero al Centro de Información Tecnológico (CENIT) una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, el autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito.
- b) Autoriza al Centro de Información Tecnológico (CENIT) a publicar la obra en digital, los usuarios puedan consultar el contenido de su Trabajo Final de Graduación en la página Web de la Biblioteca Digital de la Universidad Hispanoamericana
- c) Los autores aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) Los autores manifiestan que se trata de una obra original sobre la que tienen los derechos que autorizan y que son ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante el Centro de Información Tecnológico (CENIT) y ante terceros. En todo caso el Centro de Información Tecnológico (CENIT) se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- e) Autorizo al Centro de Información Tecnológica (CENIT) para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- f) Acepto que el Centro de Información Tecnológico (CENIT) pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- g) Autorizo que la obra sea puesta a disposición de la comunidad universitaria en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las "Condiciones de uso de estricto cumplimiento" de los recursos publicados en Repositorio Institucional.

SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DEL CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICO (CENIT), EL AUTOR GARANTIZA QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.

Resumen ejecutivo

Herrera, E. (2024). Optimización en la reducción de rechazos de semillas de piña en el mercado internacional. Proyecto de graduación para optar por el Bachillerato en Ingeniería Industrial, Universidad Hispanoamericana. Asesor: José Eduardo Vargas Solís

Síntesis del Proyecto

El proyecto tiene como objetivo principal la optimización del proceso de exportación de semillas de piña de Agro Piña S.A., a través de la mejora en los procesos fitosanitarios y reducción de rechazos en mercados internacionales. Los principales problemas identificados son los rechazos fitosanitarios debido a la presencia de insectos, hongos, bacterias y otros contaminantes en las semillas exportadas.

Objetivos del Proyecto

El objetivo general del proyecto fue reducir la tasa de rechazos fitosanitarios de un 10.81% a un 3% en un periodo de seis meses. Los objetivos específicos incluyeron la identificación de las causas de rechazo, la medición del desempeño actual y la implementación de mejoras en el tratamiento fitosanitario y el control de calidad.

Proceso Metodológico Ejecutado

Se utilizó la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), acompañada de herramientas como el análisis de Pareto, diagramas de Ishikawa y análisis de causa raíz. El proceso incluyó encuestas a empleados, entrevistas estructuradas y un análisis detallado de los informes de inspección de los últimos 6 meses.

Causas Raíz Detectadas

Las principales causas raíz identificadas fueron la falta de un tratamiento fitosanitario postcosecha adecuado, condiciones inadecuadas de almacenamiento y capacitación insuficiente del personal en prácticas fitosanitarias.

Resultados y Soluciones Presentadas

Las soluciones propuestas incluyeron la implementación de un sistema de tratamiento fitosanitario postcosecha, mejoras en el control de las condiciones de almacenamiento y un programa de capacitación integral para el personal. Estas acciones se implementaron con éxito, logrando una reducción significativa en la tasa de rechazos fitosanitarios.

Implementación y Conclusiones

La implementación de las soluciones propuestas resultó en una mejora notable en la calidad de las semillas exportadas, con una reducción de los rechazos fitosanitarios a menos del 3%. El proyecto contribuye a fortalecer la competitividad de Agro Piña S.A. en el mercado internacional y establece un modelo de mejora continua aplicable a otras empresas del sector agrícola.

Tabla de contenido

| | |
|--|-----------|
| ÍNDICE DE FIGURAS | 10 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 10 |
| CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO | 12 |
| 1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO | 12 |
| 1.2 IDENTIFICACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN DONDE SE REALIZA EL PROYECTO | 13 |
| 1.2.1 Descripción general de la organización | 13 |
| 1.2.2 Antecedentes del contexto de la empresa o institución..... | 16 |
| 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 18 |
| 1.3.1 Definición y medición del problema | 18 |
| 1.3.2 Justificación del proyecto | 22 |
| 1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO | 23 |
| 1.4.1 Objetivo general..... | 23 |
| 1.4.2 Objetivos específicos..... | 23 |
| 1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES..... | 24 |
| 1.5.1 Alcances | 24 |
| 1.5.2 LIMITACIONES | 26 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 29 |
| 2.1 MARCO CONCEPTUAL GENERAL RELATIVO A LA CARRERA..... | 29 |
| 2.2 MARCO CONCEPTUAL ATINENTE A LA GESTIÓN DEL PROYECTO | 30 |
| 2.3 MARCO CONCEPTUAL REFERENTE AL IMPACTO DEL PROYECTO..... | 33 |
| 2.4 ANTECEDENTES DE PROYECTOS O EXPERIENCIAS SEMEJANTES..... | 36 |
| 2.4.1 Investigaciones y proyectos nacionales: | 36 |
| 2.4.2 Investigaciones y proyectos internacionales..... | 38 |
| 2.4.3 Tendencias y direcciones futuras..... | 40 |
| 2.4.4 Implicaciones para el proyecto de Agro Piña S.A..... | 41 |
| CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE TRABAJO | 43 |
| 3.1 INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA DMAIC..... | 43 |
| 3.2 METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 43 |
| 3.2.1 Voz del Cliente (VOC)..... | 44 |
| 3.2.2 Análisis SIPOC..... | 44 |
| 3.2.3 Análisis de Pareto | 44 |
| 3.3 METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN Y RESPALDO CUALITATIVO DE PROYECTO | 45 |
| 3.3.1 Plan de recolección de datos..... | 45 |
| 3.3.3 Establecimiento de la línea base..... | 45 |
| 3.3.4 Análisis de capacidad del proceso..... | 46 |
| 3.4 METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA DE MEJORA, CONSTRUCCIÓN O PUESTA EN PRÁCTICA DE UN NUEVO PROCESO, PRODUCTO O SERVICIO..... | 46 |
| 3.4.1 Análisis de causa raíz..... | 47 |
| 3.4.2 Generación de soluciones..... | 47 |
| 3.4.3 Evaluación y selección de mejoras | 47 |
| 3.4.4 Diseño detallado de la solución | 47 |
| 3.4.5 Validación de la propuesta | 47 |
| 3.5 METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO..... | 47 |
| 3.5.1 Plan de implementación..... | 48 |
| 3.5.2 Análisis de stakeholders..... | 48 |
| 3.5.3 Asignación de responsabilidades..... | 48 |
| 3.5.4 Gestión de riesgos | 48 |

| | |
|---|-----------|
| 3.5.5 Prueba piloto | 49 |
| 3.5.6 Plan de comunicación..... | 49 |
| 3.6 METODOLOGÍA PARA LA VERIFICACIÓN, ASEGURAMIENTO, CONTROL Y SEGUIMIENTO DE RESULTADOS..... | 49 |
| 3.6.1 Establecimiento de kpis | 50 |
| 3.6.2 Plan de auditorías internas | 50 |
| 3.6.4 Comité de mejora continua | 50 |
| 3.7 INTEGRACIÓN DE PRINCIPIOS DE GESTIÓN DE PROYECTOS | 50 |
| 3.8 MÉTODOS DE CAPACITACIÓN DEL PERSONAL..... | 50 |
| CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE CAUSAS RAÍZ..... | 51 |
| 4.1 ANÁLISIS DE DATOS HISTÓRICOS..... | 51 |
| 4.1.1 Caracterización del proceso..... | 51 |
| 4.1.1 Caracterización detallada del proceso de exportación de semillas de piña | 53 |
| 4.1.2 Análisis extenso de datos históricos..... | 54 |
| 4.1.2 Encuestas y entrevistas..... | 55 |
| 4.1.3 Análisis Pareto..... | 56 |
| 4.2.1 Lluvia de ideas | 58 |
| 4.2.2 Multi voto | 59 |
| 4.3 ANÁLISIS DE CAUSAS RAÍZ | 59 |
| 4.3.1 Diagrama de Ishikawa | 59 |
| 4.3.2 Análisis de los 5 Por qué..... | 60 |
| 4.3.3 Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF/FMEA) | 61 |
| 4.3.5 Análisis de interrelaciones..... | 62 |
| 4.3.6 Establecimiento de la línea base..... | 62 |
| 4.3.7 Efectividad del método actual de tratamiento en cosecha. | 63 |
| 4.4 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE CAUSAS RAÍZ | 67 |
| CAPÍTULO V: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN..... | 69 |
| 5.1 PROPUESTAS DE MEJORA | 69 |
| 5.1.1 Implementación de un proceso de tratamiento fitosanitario postcosecha | 69 |
| 3.5.5 Prueba piloto | 70 |
| 5.5 PRUEBA PILOTO Y AJUSTES | 70 |
| 5.5.1 Desarrollo de la prueba piloto..... | 70 |
| 5.5.2 Resultados de la prueba piloto | 74 |
| 5.1.2 Mejora del control de condiciones ambientales..... | 75 |
| 5.1.3 Optimización de procedimientos de limpieza y desinfección..... | 75 |
| 5.1.4 Programa de capacitación en prácticas fitosanitarias | 76 |
| 5.2 PLAN DE IMPLEMENTACIÓN..... | 77 |
| 5.2.1 Fase de preparación (2 semanas) | 77 |
| 5.2.2 Fase de implementación de mejoras (8 semanas) | 77 |
| 5.2.3 Fase de prueba y ajuste (4 semanas)..... | 77 |
| 5.2.4 Fase de evaluación y cierre (2 semanas) | 78 |
| 5.2.5 Asignación de recursos | 78 |
| 5.2.6 Plan de gestión de riesgos | 78 |
| 5.3 ANÁLISIS DE STAKEHOLDERS Y GESTIÓN DE RIESGOS | 80 |
| 5.3.1 Análisis de stakeholders..... | 80 |
| 5.4 ASIGNACIÓN DETALLADA DE RESPONSABILIDADES | 82 |
| 5.5 PLAN DE COMUNICACIÓN Y GESTIÓN DEL CAMBIO | 83 |
| 5.5.1 Plan de comunicación..... | 83 |
| 5.5.2 Gestión del cambio | 83 |
| 5.6 CONTROL Y SEGUIMIENTO..... | 83 |
| 5.7 EVALUACIÓN DE RESULTADOS | 84 |

| | |
|--|-----------|
| 5.8 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO | 85 |
| 5.9 PLAN DE SOSTENIBILIDAD | 86 |
| 5.10 CONSIDERACIONES ÉTICAS Y DE RESPONSABILIDAD SOCIAL..... | 86 |
| 5.11 LIMITACIONES Y DESAFÍOS FUTUROS..... | 87 |
| CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 88 |
| 6.1 CONCLUSIONES | 88 |
| 6.2 RECOMENDACIONES | 88 |
| 6.3 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO | 89 |
| CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS..... | 90 |
| CAPÍTULO VIII: ANEXOS | 92 |

Índice de figuras

| | |
|--|-----------|
| ILUSTRACIÓN 1 TASA DE RECHAZO FITOSANITARIO POR MES | 20 |
| <i>ILUSTRACIÓN 2 INCIDENCIA DE PROBLEMAS FITOSANITARIOS</i> | <i>21</i> |
| ILUSTRACIÓN 3 FLUJO DE PROCESO | 53 |
| ILUSTRACIÓN 4 GRÁFICO CONTENEDORES EXPORTADOS VS RECHAZOS | 55 |
| ILUSTRACIÓN 5 GRAFICO DE PARETO | 58 |
| ILUSTRACIÓN 6 GRAFICO DE CONTROL TASA DE RECHAZO..... | 63 |
| ILUSTRACIÓN 7 GRAFICO DE CONTROL I-MR TRATAMIENTO COSECHA..... | 65 |
| ILUSTRACIÓN 8 GRAFICO DE CAPACIDAD TRATAMIENTO COSECHA..... | 65 |
| ILUSTRACIÓN 9 GRAFICO DE CAPACIDAD TRATAMIENTO COSECHA..... | 66 |
| ILUSTRACIÓN 10 GRAFICO DE CONTROL I-MR TRATAMIENTO POST COSECHA..... | 72 |
| ILUSTRACIÓN 11 GRAFICO DE CAPACIDAD TRATAMIENTO POST COSECHA | 72 |
| ILUSTRACIÓN 12 GRAFICO DE CAPACIDAD TRATAMIENTO POST COSECHA | 72 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| TABLA 1 TASA DE RECHAZO FITOSANITARIO POR MES | 20 |
| TABLA 2 INCIDENCIA DE PROBLEMAS FITOSANITARIOS..... | 21 |
| TABLA 3 ESTRUCTURA DETALLADA DE LA METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DEL PROBLEMA..... | 43 |
| TABLA 4 ESTRUCTURA DETALLADA DE LA METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN Y RESPALDO CUALITATIVO..... | 45 |
| TABLA 5 ESTRUCTURA DETALLADA DE LA METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA DE MEJORA | 46 |
| TABLA 6 ESTRUCTURA DETALLADA DE LA METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO | 47 |
| TABLA 7 ESTRUCTURA DETALLADA DE LA METODOLOGÍA PARA LA VERIFICACIÓN Y CONTROL | 49 |
| TABLA 8 SIPOC | 52 |
| TABLA 9 DATOS HISTÓRICOS..... | 54 |
| TABLA 10 FRECUENCIA DE CAUSAS DE RECHAZO FITOSANITARIO | 57 |
| TABLA 11 DIAGRAMA DE ISHIKAWA | 59 |
| TABLA 12 ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS (AMEF/FMEA) | 61 |
| TABLA 13 DATOS COBERTURA TRATAMIENTO..... | 64 |
| TABLA 14 CAUSA RAÍZ Y PROPUESTAS | 69 |
| TABLA 15 TRATAMIENTO FITOSANITARIO | 69 |
| TABLA 16 DATOS (EFECTIVIDAD DEL TRATAMIENTO POST-COSECHA PROPUESTO)..... | 71 |
| TABLA 17 MATRIZ DE RIESGOS DEL PROYECTO | 78 |
| TABLA 18 MATRIZ DE INFLUENCIA-INTERÉS DE STAKEHOLDERS | 80 |

| | |
|--|----|
| TABLA 19 MATRIZ RACI DEL PROYECTO | 82 |
| TABLA 20 PLAN DE COMUNICACIÓN DEL PROYECTO..... | 83 |
| TABLA 21 PLAN DE CONTROL | 84 |
| TABLA 22 COMPARACIÓN DE RESULTADOS PRE Y POST IMPLEMENTACIÓN | 84 |
| TABLA 23 CUADRO DE MANDO INTEGRAL (BALANCED SCORECARD)..... | 84 |

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Este proyecto se enfoca en la optimización del proceso de exportación de semillas de piña de Agro Piña S.A., con el objetivo principal de reducir significativamente los rechazos en los mercados internacionales debido a problemas fitosanitarios bajo la línea de investigación de calidad. La propuesta surge como respuesta a las crecientes dificultades enfrentadas por la empresa en sus operaciones de exportación, particularmente en lo que respecta a la calidad fitosanitaria de sus productos.

La industria piñera costarricense ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, convirtiéndose en uno de los principales motores de la economía agrícola del país. Según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Costa Rica es el principal exportador de piña fresca a nivel mundial, con una participación de mercado del 55% en 2023. Sin embargo, este liderazgo también conlleva desafíos importantes, especialmente en términos de cumplimiento de estándares fitosanitarios internacionales cada vez más estrictos.

En este contexto, Agro Piña S.A. se ha posicionado como un actor relevante en el mercado de exportación de semillas de piña, un nicho especializado dentro de la industria. La empresa ha identificado una oportunidad de crecimiento en este segmento, pero se enfrenta a obstáculos significativos relacionados con los rechazos fitosanitarios en los mercados de destino.

El proyecto propuesto busca abordar esta problemática mediante la implementación de mejoras en los procesos de tratamiento fitosanitario, control de calidad y trazabilidad. Se espera que estas mejoras no solo reduzcan los rechazos, sino que también fortalezcan la posición competitiva de Agro Piña S.A. en el mercado internacional, contribuyendo así al crecimiento sostenible de la industria piñera costarricense en su conjunto.

Enfoque metodológico:

Para abordar esta problemática de manera sistemática y efectiva, se utilizarán herramientas de calidad e ingeniería industrial como diagramas de Pareto e Ishikawa, entre otras. Estas herramientas permitirán analizar y abordar factores críticos como:

- Prácticas de manipulación de las semillas en todas las etapas del proceso, desde la cosecha hasta el embalaje final.
- Higiene de los operarios y protocolos de bioseguridad en las instalaciones de procesamiento y almacenamiento.
- Condiciones de almacenamiento, incluyendo temperatura, humedad y ventilación.

- Factores ambientales que pueden influir en la calidad fitosanitaria, como la humedad relativa y las fluctuaciones de temperatura durante el transporte.
- Eficacia de los tratamientos fitosanitarios actuales y potenciales alternativas más efectivas.
- Protocolos de control de calidad y sistemas de trazabilidad.

Este análisis permitirá identificar las causas raíz de la presencia de insectos, plagas, bacterias y hongos que resultan en rechazos de importación, proporcionando una base sólida para el desarrollo de soluciones efectivas y sostenibles.

Se espera que los resultados de este proyecto no solo beneficien a Agro Piña S.A., sino que también proporcionen valiosas lecciones y mejores prácticas que puedan ser aplicadas en toda la industria piñera costarricense, fortaleciendo así la posición del país como líder mundial en la exportación de piña y sus derivados.

1.2 IDENTIFICACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN DONDE SE REALIZA EL PROYECTO

1.2.1 Descripción general de la organización

Agro Piña S.A. es una empresa PYME fundada en 1998 por el empresario agrícola Andrés Chavarría González. La compañía está ubicada estratégicamente en Pital de San Carlos, Alajuela, Costa Rica, una región reconocida por su clima y suelos ideales para el cultivo de piña. Desde sus inicios, la empresa se ha dedicado principalmente a la exportación de piña fresca y, en los últimos años, ha diversificado su oferta para incluir la exportación de semillas de piña de la variedad Dorada Extra-Dulce (MD2), también conocida como Gold Extra-Sweet.

Historia y evolución:

1998-2005: Fase inicial de producción directa de piña.

2005-2010: Transición a un modelo de comercialización y exportación.

2010-2018: Expansión significativa en mercados internacionales.

2018-presente: Diversificación hacia la exportación de semillas de piña.

Características del producto principal (semillas de piña MD2):

- Variedad altamente demandada por su dulzura, jugosidad y aroma intenso.
- Color verde amarillento con pulpa firme de color amarillo intenso.
- Peso promedio de las frutas maduras: 3,17 kg (7 libras).
- Forma simétrica y uniforme, ideal para el empaque y transporte.
- Alto contenido de vitaminas B y C, azúcares y fibra.

- Resistencia mejorada a enfermedades comunes en comparación con variedades anteriores.

Mercados principales:

1. Estados Unidos: Principal mercado, con enfoque en los puertos de entrada de Nueva York y Miami. En el año en curso, se han exportado 115 contenedores.
2. Puerto Rico: Mercado en crecimiento, con 40 contenedores exportados en 2024.
3. Unión Europea: En proceso de expansión, utilizando España como punto de entrada. Se proyecta un crecimiento del 20% en los próximos dos años.
4. Asia: Explorando oportunidades, particularmente en Filipinas, donde se ha identificado una demanda creciente de semillas de alta calidad para la producción local.

Ventajas competitivas:

1. Flexibilidad y atención personalizada: Capacidad para adaptarse rápidamente a las necesidades específicas de cada cliente.
2. Enfoque en la calidad: Implementación de rigurosos controles de calidad en todas las etapas del proceso.
3. Experiencia y conocimiento del mercado: Más de 20 años de experiencia en la industria piñera.
4. Relaciones sólidas con clientes y proveedores: Red establecida de contactos en la industria.
5. Eficiencia operativa: Optimización continua de procesos para mantener costos competitivos.

Proceso operativo:

El proceso operativo de Agro Piña S.A. incluye las siguientes etapas clave:

1. Selección de proveedores: Evaluación rigurosa de productores locales para garantizar la calidad de las semillas.
2. Negociación y compra de contenedores de piña: Adquisición estratégica para asegurar volúmenes y precios competitivos.
3. Coordinación logística: Planificación detallada de la cadena de suministro desde el campo hasta el puerto de destino.
4. Inspección de calidad: Controles en múltiples puntos del proceso para asegurar el cumplimiento de estándares fitosanitarios.
5. Preparación de documentación para exportación: Gestión eficiente de trámites aduaneros y certificaciones necesarias.
6. Coordinación del transporte marítimo internacional: Colaboración con navieras para optimizar rutas y tiempos de entrega.

Misión y Visio de la empresa

Misión: "Satisfacer las necesidades de todos nuestros clientes, así como también de nuestros trabajadores, con el objetivo de maximizar la eficiencia y optimizar la rentabilidad a través de nuestra diferenciación en calidad de producto, servicio y precio."

Visión: "Conseguir la fidelización de nuestros clientes a través de la comercialización de piña de calidad, a partir de la cual afianzar un crecimiento progresivo y sostenido en el mercado estadounidense y europeo, consolidando nuestra posición como empresa de referencia en el sector, con una imagen corporativa propia y diferenciada de sus competidores."

Estructura organizativa:

Agro Piña S.A. opera con un equipo de trabajo pequeño pero eficiente, lo que le permite mantener una estructura ágil y adaptable. La estructura organizativa es la siguiente:

1. Presidencia y gerencia: Liderada por Andrés Chavarría González, fundador y visionario de la empresa. Es responsable de la dirección estratégica y las relaciones de alto nivel con clientes y proveedores clave.
2. Departamento de Administración y Logística: Conformado por dos empleados altamente capacitados:
 - Jefe de Administración: Responsable de finanzas, recursos humanos y asuntos legales.
 - Coordinador de Logística: Maneja la planificación de envíos, documentación de exportación y relaciones con transportistas.
3. Departamento de Contabilidad: Un contador certificado maneja todos los aspectos financieros y fiscales de la empresa.
4. Departamento de Producción y Control de Calidad: Un jefe de planta que se encarga de la coordinación diaria, logística y de la supervisión de los operarios en la planta empaquetadora.
5. Departamento de Producción: Cuenta con 5 empleados que realizan el proceso de empaque de las semillas.

Número total de empleados: 10 empleados directos, más personal temporal contratado según las necesidades de producción y exportación. El transporte, servicios de muelles y marítimos son contratados a empresas externas por lo cual no forma parte de sus empleados directos.

Esta estructura organizativa compacta permite a Agro Piña S.A. mantener bajos costos operativos mientras se enfoca en sus competencias core. La empresa también mantiene relaciones estratégicas con productores locales y servicios tercerizados para funciones específicas como el transporte y el mantenimiento de equipos.

1.2.2 Antecedentes del contexto de la empresa o institución

Agro Piña S.A. tiene sus raíces profundamente arraigadas en la tradición piñera de San Carlos, Alajuela, una región que ha sido el corazón de la producción de piña en Costa Rica por décadas. La evolución de la empresa refleja no solo su propio crecimiento, sino también los cambios y desafíos que ha enfrentado la industria piñera costarricense en su conjunto. A continuación, se presenta una descripción detallada de las etapas clave en la historia de Agro Piña S.A.:

1. 1998-2005: Producción directa de piña

- Fundación de la empresa por Andrés Chavarría González, un agricultor local con visión emprendedora.
- Inicio de operaciones con 50 hectáreas de cultivo propio.
- Enfoque en la producción de la variedad Champaka, popular en ese momento.
- Venta principal a plantas emparadoras locales para exportación.
- Producción anual aproximada: 1,000 toneladas.
- Desafíos principales: alta competencia local, fluctuaciones de precios, y manejo de plagas.

2. 2005: Cambio estratégico

- Transición de un modelo de producción a uno de comercialización y exportación.
- Decisión estratégica de alquilar las fincas propias a grandes productores.
- Venta de maquinaria agrícola para capitalizar la nueva dirección del negocio.
- Desarrollo de una red de proveedores confiables en la región.
- Inicio de operaciones de exportación directa, principalmente a Estados Unidos.
- Inversión en infraestructura de empaque y logística.

3. 2010: Expansión significativa

- Consolidación de la presencia en mercados de EE.UU. y Puerto Rico.
- Manejo de más de 5,000 toneladas anuales de piña fresca.
- Implementación de sistemas de trazabilidad para cumplir con regulaciones internacionales.
- Inicio de exploración en el mercado europeo, con envíos de prueba a España.
- Inversión en tecnología de refrigeración para mejorar la vida útil del producto.
- Certificación en Global G.A.P. para acceder a mercados más exigentes.

4. 2018: Diversificación de productos (continuación)

- Proyecto piloto de exportación de semillas dirigido al mercado filipino, en respuesta a la creciente demanda de productores locales que buscaban mejorar sus cultivos.

- Inversión en investigación y desarrollo para optimizar los procesos de selección y tratamiento de semillas.
- Establecimiento de alianzas estratégicas con institutos de investigación agrícola para mejorar la calidad genética de las semillas.
- Desarrollo de protocolos específicos para el manejo y transporte de semillas, diferenciados de los utilizados para la fruta fresca.

5. Actualidad:

- Exportación de aproximadamente 10,000 toneladas de piña fresca anualmente, representando un crecimiento del 100% desde 2010.
- Creciente negocio de exportación de semillas, con un aumento del 30% en volumen en el último año.
- Expansión de la cartera de clientes en Europa y Asia, con un enfoque particular en mercados emergentes para semillas de piña.
- Implementación de tecnologías de agricultura de precisión en colaboración con productores asociados para mejorar la calidad y rendimiento de las cosechas.
- Desarrollo de un programa de sostenibilidad que incluye prácticas de cultivo más ecológicas y apoyo a comunidades locales.
- Adaptación continua a las demandas del mercado global, incluyendo la obtención de certificaciones orgánicas para una línea de productos especializados.

Datos de producción y evolución de productos/servicios:

- 1998: Inicio con 1,000 toneladas anuales de piña fresca variedad Champaka.
- 2005: Transición a la variedad MD2, con un volumen de manejo de 3,000 toneladas anuales.
- 2010: Alcance de 5,000 toneladas anuales, con introducción de empaques especializados para mercados premium.
- 2015: Diversificación hacia subproductos como jugo concentrado de piña, manejando 7,500 toneladas de fruta fresca equivalente.
- 2018: Inicio de exportación de semillas, con un volumen inicial de 500,000 unidades.
- 2020: Alcance de 9,000 toneladas de piña fresca y 1 millón de unidades de semillas.
- 2024: Proyección de 11,000 toneladas de piña fresca y 2 millones de unidades de semillas.

Esta evolución refleja la capacidad de Agro Piña S.A. para adaptarse a las cambiantes condiciones del mercado y aprovechar nuevas oportunidades. La empresa ha pasado de ser un productor local a un actor relevante en el mercado internacional de piña y semillas, demostrando flexibilidad y visión estratégica en su crecimiento.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 Definición y medición del problema

El problema principal que enfrenta Agro Piña S.A. es el alto índice de rechazos de sus semillas de piña en los mercados internacionales debido a la detección de plagas, bacterias y hongos durante las inspecciones fitosanitarias. Este problema se desarrolla en el proceso de exportación de la empresa, afectando directamente su capacidad para colocar su producto en los mercados destino y comprometiendo su reputación y rentabilidad.

Situación actual:

Agro Piña S.A. enfrenta desafíos significativos en sus exportaciones de semillas de piña:

1. Un aumento en la tasa de rechazos de semillas de piña en los últimos meses, pasando de un promedio histórico del 5% a un preocupante 10.81% en el último trimestre.
2. Pérdidas económicas significativas debido a estos rechazos, estimadas en aproximadamente \$540,500 en el último trimestre, considerando costos directos e indirectos.
3. La necesidad de mantener y mejorar la posición competitiva de la empresa en el mercado internacional, especialmente frente a competidores emergentes de países como Filipinas y Tailandia.
4. Creciente presión por parte de los clientes internacionales para garantizar la calidad fitosanitaria de las semillas, con algunos amenazando con buscar proveedores alternativos si no se resuelven los problemas de manera efectiva.
5. Riesgo de daño a la reputación de la empresa en el mercado internacional, lo que podría afectar negativamente las relaciones comerciales a largo plazo y las oportunidades de expansión.

Contexto del problema:

El problema ocurre de manera recurrente en dos puntos críticos del proceso de exportación:

1. Durante las inspecciones fitosanitarias en los países importadores:
 - Realizadas por las autoridades sanitarias locales en los puertos de entrada.
 - Incluyen inspecciones visuales, pruebas de laboratorio y revisión documental.
2. En el momento de la entrega de los contenedores a los clientes internacionales:
 - Inspecciones realizadas por los propios clientes o sus representantes.
 - Pueden incluir muestreos adicionales y evaluaciones de calidad más rigurosas.

Principales involucrados:

1. Departamento de producción y control de calidad de Agro Piña S.A.:
 - Responsable de la selección, tratamiento y empaque de las semillas.
 - Encargado de implementar y mantener los protocolos fitosanitarios.
2. Departamento de logística y exportaciones de Agro Piña S.A.:
 - Gestiona la documentación y coordina los envíos internacionales.
 - Interactúa con agentes aduanales y transportistas.
3. Autoridades fitosanitarias de los países importadores:
 - Realizan inspecciones y emiten certificados de importación.
 - Establecen y hacen cumplir las regulaciones fitosanitarias.
4. Clientes internacionales de Agro Piña S.A.:
 - Viveros y productores de piña en los países de destino.
 - Tienen expectativas específicas sobre la calidad de las semillas.

Efectos del problema:

1. Pérdidas económicas directas:
 - Valor comercial de las semillas rechazadas: Aproximadamente \$50,000 por contenedor.
 - Costos de envío no recuperables: Alrededor de \$5,000 por contenedor.
 - Gastos en trámites aduaneros y documentación: \$2,000 por envío rechazado.
 - Total estimado por rechazo: \$57,000 por contenedor.
2. Gastos adicionales:
 - Costos de almacenamiento de productos rechazados: \$500 por día.
 - Gastos de disposición de semillas no aptas para reexportación: \$10,000 por contenedor.
 - Costos legales y de gestión de disputas: Variables, estimados en \$5,000 por caso.
3. Daño a la reputación:
 - Pérdida de confianza de clientes actuales, resultando en una reducción del 15% en pedidos recurrentes.
 - Dificultad para atraer nuevos clientes, con una disminución del 25% en la tasa de conversión de prospectos.
 - Impacto negativo en las negociaciones de precios, con una reducción promedio del 5% en los márgenes de venta.
4. Ineficiencia operativa:
 - Retrasos en la cadena de suministro: 2-3 semanas por cada rechazo.
 - Aumento del 20% en los costos de mano de obra debido a reprocesos y manejo de rechazos.
 - Incremento del 15% en los inventarios de seguridad para compensar por posibles rechazos, aumentando los costos de almacenamiento

Para medir este problema, se proponen las siguientes variables representativas:

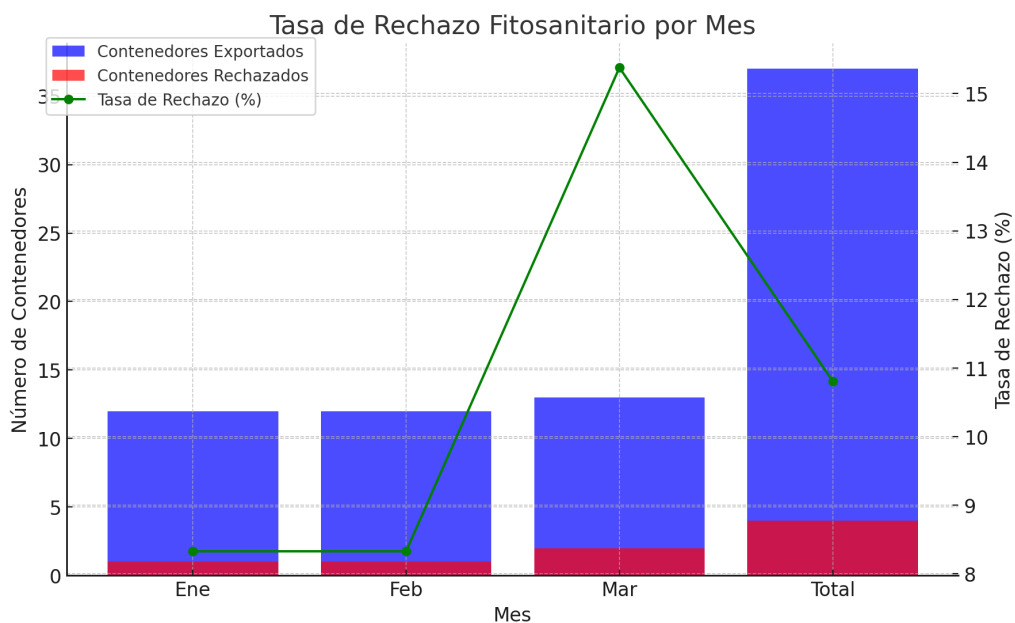
1. Tasa de rechazos fitosanitarios (basado en un trimestre):

Tabla 1 Tasa de rechazo fitosanitario por mes

| Mes | Contenedores Exportados | Contenedores Rechazados | Tasa de Rechazo |
|-------|-------------------------|-------------------------|-----------------|
| Ene | 12 | 1 | 8.33% |
| Feb | 12 | 1 | 8.33% |
| Mar | 13 | 2 | 15.38% |
| Total | 37 | 4 | 10.81% |

Fuente: Datos históricos de la empresa

Ilustración 1 Tasa de rechazo fitosanitario por mes



Fuente: Datos históricos de la empresa.

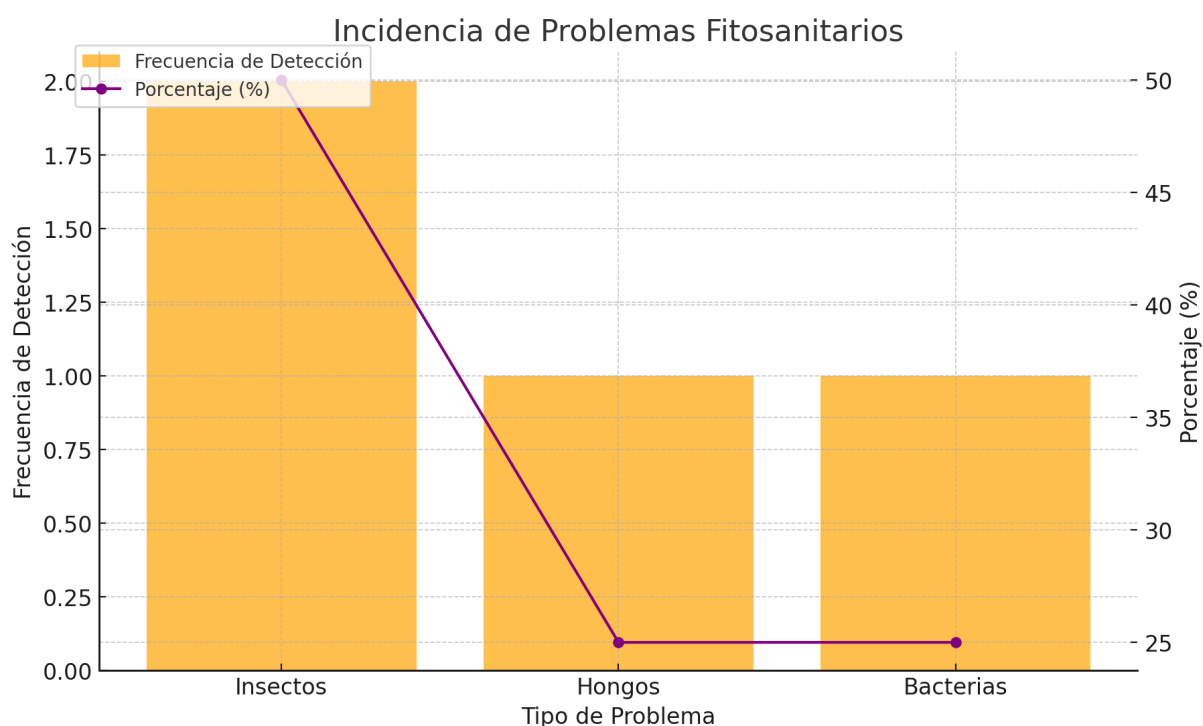
2. Incidencia de plagas/patógenos detectados (basado en los 4 contenedores rechazados):

Tabla 2 Incidencia de problemas fitosanitarios

| Tipo de Problema | Frecuencia de Detección | Porcentaje |
|------------------|-------------------------|------------|
| Insectos | 2 | 50% |
| Hongos | 1 | 25% |
| Bacterias | 1 | 25% |

Fuente: Datos históricos de la empresa.

Ilustración 2 Incidencia de problemas fitosanitarios.



Fuente: Datos históricos de la empresa.

Estas variables muestran una tendencia preocupante de aumento en la tasa de rechazos y una distribución de los problemas fitosanitarios detectados. La tasa de rechazo del 10.81% está significativamente por encima del objetivo de la empresa del 3% y del promedio de la industria del 5%, lo que indica un problema grave que requiere atención inmediata.

Se estima que este problema podría abordarse en un plazo de 4 a 6 meses, dependiendo de la complejidad de las medidas fitosanitarias a implementar y los recursos disponibles de la empresa. Este plazo incluye el tiempo necesario para el

análisis detallado del problema, el diseño e implementación de soluciones, y un período inicial de evaluación de resultados.

1.3.2 Justificación del proyecto

La resolución del problema de rechazos fitosanitarios en la exportación de semillas de piña representa una oportunidad crucial para Agro Piña S.A. en términos de mejora operativa, crecimiento económico y posicionamiento estratégico en el mercado internacional. A continuación, se detallan los beneficios y la importancia de abordar este problema:

1. Impacto económico directo:
 - Reducción de pérdidas: Asumiendo una reducción del 70% en los rechazos, la empresa podría ahorrar aproximadamente \$159,600 por trimestre (basado en 4 contenedores rechazados a \$57,000 cada uno).
 - Aumento de ingresos: Con menos rechazos, se espera un incremento del 10% en las ventas efectivas, lo que podría representar un aumento de ingresos de \$200,000 por trimestre.
2. Mejora de la eficiencia operativa:
 - Reducción de costos de almacenamiento: Se estima una disminución del 15% en los costos de almacenamiento al reducir la necesidad de inventarios de seguridad.
 - Optimización de la cadena de suministro: La reducción de retrasos y reprocesos podría mejorar la eficiencia operativa en un 20%, traducido en ahorros de aproximadamente \$50,000 por trimestre.
3. Fortalecimiento de la reputación y posición en el mercado:
 - Aumento de la confianza de los clientes: Se proyecta un incremento del 15% en los pedidos recurrentes de clientes existentes.
 - Mejora en la capacidad de negociación: La reducción de rechazos podría permitir un aumento del 5% en los márgenes de venta.
 - Expansión de mercado: Mayor facilidad para entrar en nuevos mercados, especialmente en regiones con regulaciones fitosanitarias más estrictas.
4. Contribución a la sostenibilidad del negocio:
 - Reducción del desperdicio: Menor cantidad de semillas descartadas, contribuyendo a prácticas más sostenibles.
 - Mejora en la utilización de recursos: Optimización del uso de tierra, agua y otros insumos al reducir la producción de semillas que no llegan al mercado final.
5. Impacto social y ambiental:
 - Protección de ecosistemas: Al mejorar las prácticas fitosanitarias, se reduce el riesgo de introducción de plagas o enfermedades en los países importadores.
 - Apoyo a la economía local: El éxito del proyecto podría llevar a un aumento en la demanda de semillas, beneficiando a los productores locales asociados con Agro Piña S.A.

6. Avance tecnológico y conocimiento:
 - Innovación en prácticas agrícolas: El proyecto impulsará la adopción de tecnologías y métodos avanzados en el tratamiento fitosanitario.
 - Generación de conocimiento: Los resultados y metodologías desarrolladas podrían aplicarse a otras empresas del sector, contribuyendo al avance de las prácticas agrícolas en Costa Rica.
7. Cumplimiento regulatorio y acceso a mercados:
 - Mejor alineación con estándares internacionales: El proyecto ayudará a cumplir y superar las regulaciones fitosanitarias más estrictas.
 - Facilitación de certificaciones: Mayor facilidad para obtener y mantener certificaciones internacionales de calidad agrícola.
8. Ventaja competitiva:
 - Diferenciación en el mercado: La mejora en la calidad fitosanitaria posicionará a Agro Piña S.A. como un proveedor premium de semillas de piña.
 - Barrera de entrada: El know-how desarrollado creará una ventaja competitiva difícil de replicar por nuevos entrantes en el mercado.

En resumen, la implementación exitosa de este proyecto no solo beneficiará a Agro Piña S.A. en términos de rentabilidad y eficiencia, sino que también tendrá un impacto positivo en la economía local, el medio ambiente, y el avance del conocimiento en el sector agrícola. Además, fortalecerá la posición de Costa Rica como líder en la exportación de productos agrícolas de alta calidad, contribuyendo al prestigio y la competitividad del país en el mercado global.

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.4.1 Objetivo general

Optimizar el proceso de exportación de semillas de piña de Agro Piña S.A. mediante la aplicación de la metodología DMAIC para la reducción de la tasa de rechazos fitosanitarios de un 10.81% a un 3% en un periodo de 6 meses, mejorando la calidad del producto, la eficiencia operativa y la posición competitiva de la empresa en el mercado internacional.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Definir las variables críticas del proceso de exportación de semillas de piña que influyen en los rechazos fitosanitarios, utilizando herramientas de análisis como diagrama de Pareto, en las primeras dos semanas del proyecto, para establecer una base sólida de comprensión del problema.
2. Medir el desempeño actual del proceso de tratamiento fitosanitario, recolectando y analizando datos sobre la incidencia de plagas, bacterias y hongos en las semillas de piña exportadas, durante la tercera y cuarta semana del proyecto, para cuantificar la magnitud del problema y establecer una línea base para futuras comparaciones.

3. Analizar las causas raíz de los rechazos fitosanitarios mediante técnicas estadísticas y herramientas de calidad como el análisis de modo y efecto de fallas (AMEF), identificando al menos tres causas principales en la quinta y sexta semana del proyecto, para focalizar los esfuerzos de mejora en los factores más impactantes.
4. Implementar mejoras en el proceso de tratamiento fitosanitario, basadas en las causas raíz identificadas, incluyendo la actualización de procedimientos y la capacitación del personal, durante la séptima a la decimoctava semana del proyecto, para reducir la tasa de rechazos fitosanitarios en al menos un 50%.
5. Controlar el nuevo proceso mejorado mediante la implementación de un sistema de monitoreo continuo y planes de acción correctiva, evaluando la efectividad de las mejoras implementadas en las últimas seis semanas del proyecto, para asegurar la sostenibilidad de los resultados y lograr una tasa de rechazo fitosanitario del 3% o menos.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1 Alcances

El proyecto de optimización del proceso de exportación de semillas de piña abarca las instalaciones de Agro Piña S.A. ubicadas en Pital de San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Esto incluye las áreas de selección, tratamiento fitosanitario y empaque de las semillas de piña destinadas a la exportación.

El período de ejecución del proyecto comprende seis meses, iniciando el 1 de enero de 2024 y finalizando el 30 de junio de 2024. Durante este tiempo, se establecen las siguientes etapas y alcances específicos:

1. Inicio del proyecto:
 - Análisis exhaustivo del proceso actual de producción y tratamiento fitosanitario de las semillas de piña.
 - Evaluación de la cadena de suministro desde la cosecha hasta la entrega al cliente final.
 - Revisión de los registros históricos de rechazos y problemas fitosanitarios de los últimos 24 meses.
2. Áreas de enfoque:
 - Evaluación y mejora de los procesos de selección de semillas, incluyendo criterios de calidad y madurez.
 - Optimización del tratamiento fitosanitario, explorando nuevas tecnologías y métodos de aplicación.
 - Mejora de los procesos de empaque, con énfasis en la prevención de contaminación cruzada.
 - Optimización de las condiciones de almacenamiento, incluyendo control de temperatura y humedad.
 - Mejora de los protocolos de preparación para la exportación, incluyendo la documentación y certificación.
3. Implementación de mejoras:

- Diseño e implementación de un nuevo sistema de tratamiento fitosanitario postcosecha.
 - Instalación de equipos de monitoreo ambiental en áreas de almacenamiento y contenedores de transporte.
 - Desarrollo e implementación de un sistema de trazabilidad digital para seguimiento de lotes.
 - Optimización de los procesos de manipulación y almacenamiento para reducir el daño mecánico a las semillas.
4. Capacitación:
- Desarrollo de un programa integral de capacitación en prácticas fitosanitarias mejoradas.
 - Entrenamiento del personal en el uso de nuevos equipos y tecnologías implementadas.
 - Formación en protocolos actualizados de control de calidad y trazabilidad.
5. Evaluación de resultados:
- Medición y análisis de los resultados obtenidos tras la implementación de las mejoras.
 - Comparación de la tasa de rechazos fitosanitarios antes y después de la implementación.
 - Evaluación del impacto económico de las mejoras, incluyendo análisis de costo-beneficio.
 - Medición de la satisfacción del cliente y la percepción de calidad del producto.
6. Fin del proyecto:
- Presentación de un informe final detallado que incluya los resultados obtenidos, las lecciones aprendidas y las recomendaciones para la mejora continua.
 - Desarrollo de un plan de sostenibilidad para mantener y mejorar los resultados alcanzados.

Variables de investigación:

- Tasa de rechazos fitosanitarios
- Incidencia de plagas, bacterias y hongos en las semillas
- Eficacia de los tratamientos fitosanitarios
- Condiciones ambientales durante el almacenamiento y transporte
- Trazabilidad de lotes

Indicadores clave del proyecto:

- Porcentaje de reducción en la tasa de rechazos fitosanitarios
- Número de no conformidades en las inspecciones fitosanitarias
- Efectividad del proceso de tratamiento fitosanitario
- Porcentaje de lotes con trazabilidad completa
- Nivel de satisfacción del cliente

Entregables principales del proyecto:

- Mapa detallado del proceso actual y mejorado
- Análisis de causas raíz de los rechazos fitosanitarios
- Plan de implementación de mejoras con cronograma detallado
- Programa de capacitación para el personal con materiales de entrenamiento
- Informe de evaluación de resultados y análisis costo-beneficio
- Plan de mejora continua y sostenibilidad

Beneficiarios del proyecto:

- Directos:
 - Agro Piña S.A.: Mejora en eficiencia operativa, reducción de pérdidas y fortalecimiento de su posición en el mercado.
 - Empleados de Agro Piña S.A.: Mejora en las condiciones de trabajo y desarrollo de nuevas habilidades.
- Indirectos:
 - Clientes internacionales: Recibirán un producto de mayor calidad y confiabilidad.
 - Productores locales asociados: Potencial aumento en la demanda de semillas de alta calidad.
 - Industria agrícola de exportación de Costa Rica: Podrá aprender de las mejoras implementadas y mejorar sus propias prácticas.
 - Autoridades fitosanitarias de los países importadores: Experimentarán una reducción en la detección de problemas en los cargamentos provenientes de Agro Piña S.A.
 - Comunidad local de Pital de San Carlos: Posible generación de empleos adicionales y fortalecimiento de la economía local.

El alcance del proyecto no incluye cambios en la selección de variedades de piña o en los procesos de cultivo en campo, ya que se centra específicamente en la optimización del tratamiento fitosanitario y los procesos relacionados con las semillas para exportación post-cosecha.

1.5.2 Limitaciones

El proyecto de optimización del proceso de exportación de semillas de piña de Agro Piña S.A. enfrenta las siguientes limitaciones:

1. Regulaciones fitosanitarias internacionales:
 - El proyecto está sujeto a las regulaciones fitosanitarias vigentes en los países importadores, las cuales pueden variar entre países y están fuera del control directo de Agro Piña S.A.
 - Estas regulaciones pueden cambiar durante el curso del proyecto, lo que podría requerir ajustes en los protocolos desarrollados.

- Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2021), "los cambios en las regulaciones fitosanitarias internacionales pueden tener un impacto significativo en el comercio agrícola internacional" (p. 23).
2. Variabilidad climática:
- Las condiciones climáticas en la zona de producción de Pital de San Carlos, Alajuela, pueden fluctuar de manera impredecible, afectando la calidad de las semillas y la eficacia de los tratamientos fitosanitarios.
 - Barquero y Hernández (2022) señalan que "las variaciones climáticas en las regiones productoras de piña en Costa Rica pueden afectar significativamente la calidad de la fruta y la incidencia de plagas" (p. 78).
 - El proyecto deberá considerar esta variabilidad en el diseño de soluciones, pero no podrá controlar directamente los factores climáticos.
3. Limitaciones tecnológicas:
- La implementación de nuevos sistemas de control ambiental y trazabilidad está limitada por la infraestructura tecnológica existente en la planta de Agro Piña S.A.
 - Puede ser necesario realizar actualizaciones significativas en la infraestructura IT de la empresa, lo que podría impactar el cronograma y el presupuesto del proyecto.
 - Ramírez-Solano et al. (2023) advierten que "la integración de nuevas tecnologías en plantas de procesamiento agrícola existentes puede requerir adaptaciones significativas y no previstas inicialmente" (p. 115).
4. Resistencia natural de las plagas:
- La efectividad de los nuevos tratamientos fitosanitarios podría verse afectada por la resistencia natural que pueden desarrollar las plagas a lo largo del tiempo.
 - Rodríguez et al. (2021) observan que "la resistencia de las plagas a los tratamientos fitosanitarios es un desafío constante en la producción de piña" (p. 47).
 - El proyecto deberá considerar estrategias de manejo integrado de plagas, pero la evolución de la resistencia de las plagas está fuera del control directo del proyecto.
5. Cadena de suministro:
- El proyecto depende en parte de proveedores externos para la adquisición de nuevos equipos y productos fitosanitarios.
 - Posibles retrasos en la entrega de equipos o insumos podrían afectar el cronograma del proyecto.
 - Méndez y Vargas (2022) destacan que "los retrasos en la cadena de suministro pueden impactar significativamente los tiempos de implementación de proyectos de mejora en la industria agrícola" (p. 82).
6. Alcance geográfico:

- El proyecto se limita a las operaciones de Agro Piña S.A. en su ubicación actual en Pital de San Carlos.
 - Las soluciones desarrolladas podrían no ser directamente aplicables a otras regiones productoras de piña sin adaptaciones significativas.
 - García-Huidobro y Martínez (2021) señalan que "las soluciones desarrolladas para una región específica en la producción de frutas tropicales pueden requerir adaptaciones significativas para su aplicación en otras áreas geográficas" (p. 91).
7. Recursos financieros:
- El presupuesto del proyecto está limitado a \$100,000, lo que podría restringir la implementación de ciertas soluciones tecnológicas avanzadas.
 - Cualquier gasto adicional requerirá aprobación de la alta dirección y podría retrasar la implementación de ciertas mejoras.
8. Tiempo de implementación:
- El proyecto tiene un plazo fijo de 6 meses, lo que limita la profundidad de algunas investigaciones y la posibilidad de realizar pruebas a largo plazo de las soluciones implementadas.
 - Los resultados a largo plazo de las mejoras implementadas podrían no ser completamente evidentes dentro del marco temporal del proyecto.
9. Factores biológicos:
- La naturaleza biológica de las semillas de piña introduce variables que no siempre pueden ser controladas completamente, como la variabilidad genética y la susceptibilidad a ciertas enfermedades.
 - El proyecto deberá trabajar dentro de estos límites biológicos naturales.
10. Capacidad de adopción del personal:
- La efectividad de las nuevas prácticas y tecnologías dependerá en gran medida de la capacidad del personal para adoptarlas.
 - Posibles resistencias al cambio o dificultades en el aprendizaje podrían limitar la velocidad de implementación de las mejoras.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO CONCEPTUAL GENERAL RELATIVO A LA CARRERA

La ingeniería industrial proporciona un conjunto de herramientas y conceptos fundamentales para abordar el problema de los rechazos fitosanitarios en la exportación de semillas de piña. Este marco conceptual se centra en tres áreas clave de la ingeniería industrial que son cruciales para el proyecto:

1. Gestión de la Calidad:

La gestión de la calidad es esencial en la producción y exportación de semillas de piña. Montgomery (2023) define la calidad como "la inversión del producto o servicio para el uso" (p. 4). En el contexto de Agro Piña S.A., esto implica implementar controles rigurosos en todas las etapas del proceso, desde la selección de semillas hasta el empaque y transporte.

La gestión de la calidad en la industria agrícola presenta desafíos únicos debido a la naturaleza perecedera de los productos y la variabilidad inherente en los procesos biológicos. Por ejemplo, en la producción de semillas de piña, factores como las condiciones climáticas, la genética de las plantas y las prácticas de cultivo pueden influir significativamente en la calidad final del producto.

Un concepto clave en la gestión de la calidad es el Control Estadístico de Procesos (CEP). El CEP utiliza herramientas estadísticas para monitorear y controlar un proceso, permitiendo la detección temprana de variaciones que podrían llevar a problemas de calidad. En el caso de Agro Piña S.A., el CEP podría aplicarse para monitorear parámetros críticos como el tamaño y peso de las semillas, la presencia de plagas o enfermedades, y la efectividad de los tratamientos fitosanitarios.

Otro concepto importante es el Diseño de Experimentos (DOE), que permite optimizar los procesos y productos a través de la experimentación sistemática. En el contexto de la producción de semillas de piña, el DOE podría utilizarse para determinar las condiciones óptimas de tratamiento fitosanitario, considerando factores como la concentración del producto, el tiempo de exposición y las condiciones ambientales.

2. Optimización de Procesos:

Según Pyzdek y Keller (2022), la optimización de procesos busca "eliminar la variación y mejorar el rendimiento medio de un proceso" (p. 3). Para Agro Piña S.A., esto significa analizar y mejorar cada etapa del proceso de producción y exportación de semillas de piña, enfocándose en eliminar desperdicios y maximizar el valor añadido. La optimización de procesos en la industria agrícola debe tener en cuenta la variabilidad natural de los productos biológicos. Técnicas como el mapeo de procesos y el análisis de valor agregado son particularmente útiles para identificar ineficiencias y oportunidades de mejora.

Un ejemplo de optimización de procesos en la industria de exportación de frutas tropicales es el uso de sistemas de clasificación automatizados. Estos sistemas utilizan tecnologías como el procesamiento de imágenes y la inteligencia artificial para clasificar las frutas según su tamaño, color y calidad, mejorando la eficiencia y la consistencia del proceso de selección.

Otra herramienta importante en la optimización de procesos es la simulación. Los modelos de simulación pueden utilizarse para evaluar diferentes escenarios y estrategias de mejora sin interrumpir las operaciones reales. Por ejemplo, se podría

crear un modelo de simulación del proceso de tratamiento fitosanitario para optimizar los parámetros de operación y reducir los tiempos de ciclo.

3. Cadena de Suministro:

Chopra y Meindl (2019) definen la gestión de la cadena de suministro como "la gestión de los flujos entre y dentro de las etapas de la cadena de suministro para maximizar la rentabilidad total" (p. 6). En el contexto de exportación de semillas de piña, esto implica coordinar eficientemente proveedores, procesos internos, almacenamiento y distribución, prestando especial atención a la logística internacional y el cumplimiento de regulaciones fitosanitarias.

La gestión de la cadena de suministro en la industria de exportación de frutas tropicales presenta desafíos únicos debido a la naturaleza perecedera de los productos y las estrictas regulaciones fitosanitarias internacionales. Conceptos clave incluyen:

a) Trazabilidad: La capacidad de rastrear el movimiento de los productos a lo largo de la cadena de suministro es crucial para garantizar la calidad y cumplir con las regulaciones. Sistemas de trazabilidad avanzados, como los basados en blockchain, están ganando popularidad en la industria agrícola.

b) Gestión de inventarios: Dada la naturaleza perecedera de las semillas de piña, la gestión eficiente de inventarios es crucial. Técnicas como el Just-in-Time (JIT) y el análisis ABC pueden adaptarse a las necesidades específicas de la industria agrícola.

c) Logística de cadena de frío: Mantener la temperatura y humedad adecuadas durante el transporte y almacenamiento es esencial para preservar la calidad de las semillas. La optimización de la cadena de frío puede tener un impacto significativo en la reducción de rechazos fitosanitarios.

d) Gestión de riesgos en la cadena de suministro: Identificar, evaluar y mitigar los riesgos a lo largo de la cadena de suministro es crucial para garantizar la continuidad del negocio. Esto incluye riesgos relacionados con el clima, las fluctuaciones de la demanda y los cambios en las regulaciones internacionales.

2.2 MARCO CONCEPTUAL ATINENTE A LA GESTIÓN DEL PROYECTO

Para la gestión de este proyecto, se utilizará la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar), que es una parte integral del enfoque Six Sigma. Pyzdek y Keller (2022) describen DMAIC como "un sistema de mejora para los procesos existentes que se encuentran por debajo de las especificaciones y que buscan una mejora incremental" (p. 237).

La metodología DMAIC proporciona un enfoque estructurado y basado en datos para la resolución de problemas y la mejora de procesos. Cada fase del DMAIC tiene un propósito específico y utiliza herramientas y técnicas particulares:

1. Definir:

En esta fase se identifica claramente el problema de los rechazos fitosanitarios. El Project Management Institute (2021) sugiere utilizar herramientas como el Project Charter y el análisis SIPOC para delimitar el proyecto.

El Project Charter es un documento que formaliza el inicio del proyecto y proporciona una visión general de sus objetivos, alcance y partes interesadas. En el contexto de Agro Piña S.A., el Project Charter podría incluir:

- Descripción del problema de rechazos fitosanitarios
- Objetivos específicos del proyecto (por ejemplo, reducir la tasa de rechazos del 10% al 3%)
- Alcance del proyecto (desde la selección de semillas hasta la entrega en destino)
- Equipo del proyecto y sus responsabilidades
- Cronograma de alto nivel y presupuesto estimado

El análisis SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers) es una herramienta de mapeo de procesos que ayuda a visualizar el proceso de producción y exportación de semillas de piña en su totalidad. Este análisis puede revelar áreas problemáticas y oportunidades de mejora que podrían no ser evidentes al examinar solo partes individuales del proceso.

2. Medir:

Montgomery (2023) enfatiza la importancia de "recopilar datos de calidad para comprender el rendimiento actual del proceso" (p. 180). En esta etapa, se establecerán métricas clave como la tasa de rechazos fitosanitarios.

La fase de medición implica la recopilación sistemática de datos sobre el proceso actual. Esto puede incluir:

- Diseño de un plan de recolección de datos
- Validación de los sistemas de medición para asegurar la precisión y confiabilidad de los datos
- Establecimiento de una línea base de rendimiento del proceso

Herramientas útiles en esta fase incluyen:

- Hojas de verificación para la recolección sistemática de datos
- Gráficos de control para monitorear la estabilidad del proceso
- Análisis de sistemas de medición (R&R) para validar la precisión y consistencia de las mediciones

3. Analizar:

Se utilizarán herramientas como el diagrama de Ishikawa y el análisis de Pareto para identificar las causas raíz de los rechazos fitosanitarios. Evans y Lindsay (2020) señalan que "el análisis de datos es crucial para identificar las causas fundamentales de los problemas de calidad" (p. 512).

La fase de análisis busca identificar las causas raíz del problema. Además de las herramientas mencionadas, otras técnicas útiles incluyen:

- Análisis de modo y efecto de falla (AMEF) para evaluar los riesgos potenciales en el proceso

4. Mejorar:

Basándose en el análisis, se desarrollarán e implementarán soluciones para reducir los rechazos fitosanitarios. Esto puede incluir mejoras en los procesos de tratamiento fitosanitario y optimización de la cadena de frío.

En la fase de mejora, se generan, seleccionan e implementan soluciones. Herramientas útiles en esta fase incluyen:

- Brainstorming y técnicas de creatividad para generar ideas de mejora

- Matriz de priorización para seleccionar las mejores soluciones
- Diseño de experimentos (DOE) para optimizar los parámetros del proceso
- Planes de implementación detallados para asegurar una ejecución efectiva de las mejoras

5. Controlar:

La fase final implica la implementación de sistemas de control para mantener las mejoras logradas. Montgomery (2023) sugiere el uso de "gráficos de control estadístico para monitorear el proceso mejorado" (p. 650).

En la fase de control, se implementan medidas para asegurar que las mejoras sean sostenibles a largo plazo. Esto puede incluir:

- Desarrollo de procedimientos operativos estándar (SOPs) para el nuevo proceso
- Implementación de sistemas de control visual
- Establecimiento de planes de respuesta para desviaciones del proceso
- Desarrollo de planes de capacitación para asegurar que el personal pueda mantener el proceso mejorado

La metodología DMAIC proporciona un enfoque estructurado y basado en datos para abordar el problema de los rechazos fitosanitarios en Agro Piña S.A. Al seguir este enfoque, el equipo del proyecto puede asegurar que todas las decisiones y acciones estén respaldadas por datos sólidos y análisis rigurosos.

Herramientas utilizadas

En el desarrollo de este proyecto se han empleado diversas herramientas de gestión y análisis propias de la Ingeniería Industrial, orientadas a garantizar una ejecución efectiva y basada en datos. Entre las principales herramientas utilizadas se encuentran:

Diagrama de Pareto

Utilizado para identificar y priorizar las causas principales de los rechazos fitosanitarios en el proceso de exportación, facilitando el enfoque en los factores más significativos.

Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto)

Aplicado para analizar y categorizar las posibles causas raíz que contribuyen al problema identificado, promoviendo un enfoque estructurado en la resolución de las mismas.

Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF)

Empleado para evaluar riesgos potenciales asociados a las causas identificadas y desarrollar medidas preventivas efectivas.

Análisis SIPOC

Implementado para mapear los procesos clave involucrados, desde los proveedores hasta los clientes finales, proporcionando una visión integral de la cadena de valor.

Métodos estadísticos

Incluyen el análisis de datos históricos y pruebas de hipótesis, los cuales permitieron establecer una línea base y medir el impacto de las mejoras propuestas.

Herramientas de trazabilidad digital

Aplicadas para mejorar el seguimiento de los lotes exportados, garantizando la transparencia y la calidad en cada etapa del proceso.

Estas herramientas, en conjunto, han sido fundamentales para estructurar el enfoque metodológico del proyecto y asegurar la alineación con los objetivos planteados.

2.3 MARCO CONCEPTUAL REFERENTE AL IMPACTO DEL PROYECTO

El impacto del proyecto de optimización del proceso de exportación de semillas de piña de Agro Piña S.A. puede analizarse desde múltiples perspectivas teóricas, considerando los efectos a corto, mediano y largo plazo.

Impacto económico:

A corto plazo, la reducción de rechazos fitosanitarios tendrá un impacto directo en los ingresos de la empresa. García-López et al. (2022) demostraron que "la mejora en la calidad fitosanitaria puede incrementar los ingresos por exportaciones hasta en un 30%" (p. 120). Este impacto inmediato se puede cuantificar utilizando el Retorno de la Inversión (ROI), una métrica fundamental en la evaluación de proyectos de mejora (Gitman y Zutter, 2020).

El ROI se calcula como: $ROI = (\text{Beneficio neto} / \text{Costo de la inversión}) \times 100$

En el contexto de Agro Piña S.A., el beneficio neto podría incluir:

- Aumento en los ingresos debido a la reducción de rechazos
- Ahorro en costos asociados con el manejo de rechazos (por ejemplo, costos de disposición, reembarque, etc.)
- Mejora en la eficiencia operativa.

Los costos de inversión podrían incluir:

- Costo de implementación de nuevos equipos y tecnologías
- Costos de capacitación del personal
- Costos asociados con la interrupción temporal de las operaciones durante la implementación.

A mediano plazo, la mejora en la reputación de la empresa podría llevar a un aumento en la cuota de mercado. Para medir este impacto, se puede utilizar el Cuadro de Mando Integral (CMI) propuesto por Kaplan y Norton (2018), que permite "traducir la estrategia en objetivos operativos que direccionan el comportamiento y el rendimiento" (p. 2).

El CMI podría incluir las siguientes perspectivas:

1. Financiera: Métricas como el crecimiento de ingresos, rentabilidad y ROI.
2. Cliente: Satisfacción del cliente, retención de clientes, adquisición de nuevos clientes.

3. Procesos internos: Tasa de rechazos fitosanitarios, eficiencia del proceso, tiempo de ciclo.
4. Aprendizaje y crecimiento: Capacitación del personal, implementación de nuevas tecnologías.

Impacto en la calidad:

La implementación de mejoras en el proceso fitosanitario tendrá un impacto inmediato en la calidad del producto. Juran y De Feo (2017) argumentan que "la mejora de la calidad debe ser continua y medible" (p. 74). Para cuantificar este impacto, se pueden utilizar herramientas como el Despliegue de la Función de Calidad (QFD), que según Akao (2019), "permite traducir los requisitos del cliente en características específicas de calidad" (p. 12).

El QFD podría utilizarse para:

- Identificar las características críticas de calidad para las semillas de piña
- Priorizar las mejoras del proceso basadas en su impacto en estas características
- Alinear los esfuerzos de mejora con los requisitos del cliente y las regulaciones fitosanitarias

Impacto en la sostenibilidad: A largo plazo, las mejoras en los procesos pueden contribuir a la sostenibilidad de la empresa. Elkington (2020) propone el modelo de Triple Bottom Line, que considera "el desempeño de una empresa en términos económicos, sociales y ambientales" (p. 111). La implementación de prácticas más eficientes y menos dañinas para el medio ambiente puede evaluarse utilizando la metodología de Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) descrita por Guinée (2019).

El LCA podría utilizarse para evaluar:

- El impacto ambiental de los nuevos procesos de tratamiento fitosanitario
- La huella de carbono de la cadena de suministro mejorada
- El uso de recursos (agua, energía) en el proceso de producción y exportación

Impacto en la innovación: La adopción de nuevas tecnologías y procesos puede fomentar una cultura de innovación continua. El modelo de Gestión para Resultados en el Desarrollo (GpRD), como lo describe García López y García Moreno (2021), proporciona un marco para "orientar la gestión a la consecución de resultados y a la mejora continua" (p. 18).

En el contexto de Agro Piña S.A., la GpRD podría aplicarse de la siguiente manera:

1. Definición de resultados esperados: Por ejemplo, reducción de la tasa de rechazos fitosanitarios al 3% en 6 meses.
2. Identificación de indicadores de desempeño: Como el porcentaje de semillas que pasan las inspecciones fitosanitarias.
3. Uso de información para la toma de decisiones: Análisis continuo de datos de calidad para ajustar los procesos.
4. Gestión de riesgos: Identificación y mitigación proactiva de posibles problemas en la cadena de suministro.

5. Monitoreo y evaluación: Seguimiento constante del progreso hacia los objetivos establecidos.

Este enfoque puede fomentar una cultura de innovación al alentar la búsqueda constante de mejoras y la adaptación a nuevos desafíos.

Impacto en la competitividad:

Porter (2018) argumenta que "la ventaja competitiva proviene fundamentalmente del valor que una empresa logra crear para sus clientes" (p. 3). La mejora en la calidad y la reducción de rechazos fitosanitarios pueden fortalecer la posición competitiva de Agro Piña S.A. en el mercado internacional. Este impacto puede medirse utilizando el modelo de las Cinco Fuerzas de Porter, que permite analizar la competitividad de la empresa en su industria.

Las Cinco Fuerzas de Porter en el contexto de Agro Piña S.A. podrían analizarse de la siguiente manera:

1. Poder de negociación de los compradores: La mejora en la calidad fitosanitaria podría reducir el poder de negociación de los compradores al diferenciar el producto de Agro Piña S.A.
2. Poder de negociación de los proveedores: La optimización de procesos podría reducir la dependencia de ciertos insumos, afectando el poder de los proveedores.
3. Amenaza de nuevos competidores: Las mejoras implementadas podrían crear barreras de entrada para nuevos competidores que no puedan cumplir con los mismos estándares de calidad.
4. Amenaza de productos sustitutos: La mejora en la calidad y confiabilidad de las semillas de piña podría reducir la amenaza de sustitución por otros productos o variedades.
5. Rivalidad entre competidores existentes: La diferenciación lograda a través de la mejora en la calidad fitosanitaria podría cambiar la dinámica de la competencia en la industria.

Para evaluar y desarrollar estos impactos de manera integral, se puede utilizar la metodología de Teoría del Cambio, que según Vogel (2022), "proporciona un marco para planificar, implementar y evaluar el impacto de intervenciones complejas" (p. 5). Esta metodología permite visualizar cómo las actividades del proyecto conducen a resultados a corto plazo, que a su vez contribuyen a impactos a largo plazo.

La Teoría del Cambio para el proyecto de Agro Piña S.A. podría estructurarse de la siguiente manera:

1. Insumos: Inversión en nuevos equipos, capacitación del personal, implementación de nuevos procesos.
2. Actividades: Mejora del proceso de tratamiento fitosanitario, optimización de la cadena de frío, implementación de sistemas de trazabilidad.
3. Productos: Semillas de piña con menor incidencia de plagas y enfermedades, procesos más eficientes.
4. Resultados a corto plazo: Reducción de la tasa de rechazos fitosanitarios, aumento de la satisfacción del cliente.
5. Resultados a medio plazo: Aumento de la cuota de mercado, mejora de la reputación de la empresa.

6. Impacto a largo plazo: Mayor competitividad en el mercado internacional, contribución al crecimiento económico sostenible del sector agrícola costarricense.

Esta Teoría del Cambio proporciona una hoja de ruta clara para el proyecto, vinculando las actividades específicas con los impactos deseados a largo plazo.

2.4 ANTECEDENTES DE PROYECTOS O EXPERIENCIAS SEMEJANTES

El estado del arte en la optimización de procesos fitosanitarios para la exportación de semillas de piña ha evolucionado significativamente en la última década. Esta sección explorará las investigaciones más recientes y relevantes, tanto a nivel nacional como internacional, que abordan desafíos similares a los que enfrenta Agro Piña S.A.

2.4.1 Investigaciones y proyectos nacionales:

En Costa Rica, el sector piñero ha sido objeto de numerosos estudios y proyectos de mejora debido a su importancia económica para el país.

1. Proyecto de Mejora Fitosanitaria en la Exportación de Piña (2018-2020):

Este proyecto, realizado por el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), se enfocó en la implementación de nuevas técnicas de manejo integrado de plagas en la producción de piña. Rodríguez et al. (2021) reportaron que "el proyecto logró una reducción del 25% en el uso de pesticidas y una mejora del 15% en la calidad de la fruta exportada" (p. 45). Este estudio es particularmente relevante para nuestro proyecto, ya que demuestra la viabilidad de reducir el uso de pesticidas mientras se mejora la calidad del producto.

El proyecto del INTA implementó las siguientes estrategias:

- Uso de trampas de feromonas para monitoreo de poblaciones de insectos
- Implementación de control biológico utilizando enemigos naturales de las plagas
- Optimización de las prácticas de manejo del cultivo para reducir la susceptibilidad a enfermedades

Estos resultados sugieren que un enfoque integrado de manejo de plagas podría ser beneficioso para Agro Piña S.A. en su esfuerzo por reducir los rechazos fitosanitarios.

2. Programa de Certificación Fitosanitaria para la Exportación de Semillas (2019-2021):

Desarrollado por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE), este programa implementó un sistema de trazabilidad digital para semillas de exportación. Méndez y Vargas (2022) señalan que "el proyecto logró una reducción del 40% en el tiempo de procesamiento de certificados fitosanitarios y un aumento del 30% en la confianza de los importadores internacionales" (p. 78). La implementación de sistemas de trazabilidad digital podría ser una estrategia clave para Agro Piña S.A. en la mejora de sus procesos de exportación.

El sistema de trazabilidad implementado por el SFE incluía:

- Uso de códigos QR para identificación rápida de lotes

- Integración con una base de datos centralizada para seguimiento en tiempo real
 - Interfaz en línea para que los importadores verifiquen la autenticidad de los certificados
3. Optimización de la Cadena de Frío en la Exportación de Productos Agrícolas (2020-2022):

Este proyecto, llevado a cabo por el Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) de la Universidad de Costa Rica, se centró en la mejora de los sistemas de refrigeración y almacenamiento para productos agrícolas de exportación. De acuerdo con Ramírez-Solano et al. (2023), "los resultados mostraron una reducción del 35% en las pérdidas por deterioro y un aumento del 20% en la vida útil de los productos" (p. 112). Aunque este estudio no se enfocó específicamente en semillas de piña, sus hallazgos sobre la importancia del control de la cadena de frío son altamente relevantes para nuestro proyecto.

El proyecto del CITA implementó las siguientes mejoras:

- Uso de sensores de temperatura y humedad en tiempo real durante el transporte
- Implementación de sistemas de enfriamiento rápido post-cosecha
- Optimización de los parámetros de almacenamiento en frío para diferentes tipos de productos

Estos hallazgos sugieren que una gestión más precisa de la cadena de frío podría contribuir significativamente a la reducción de problemas fitosanitarios en las semillas de piña de Agro Piña S.A.

4. Estudio sobre la Resistencia de Plagas en Cultivos de Piña (2017-2019):

Esta investigación, realizada por la Universidad de Costa Rica, examinó la resistencia desarrollada por ciertas plagas a los tratamientos fitosanitarios comúnmente utilizados en la producción de piña. Según Mora et al. (2020), "se identificaron tres especies de insectos que han desarrollado resistencia a los insecticidas más utilizados, lo que subraya la necesidad de estrategias de manejo integrado de plagas" (p. 67). Este estudio es crucial para nuestro proyecto, ya que destaca la importancia de desarrollar enfoques más sostenibles y eficaces para el control de plagas.

El estudio identificó:

- Patrones de resistencia en la mosca de la fruta (*Ceratitis capitata*)
- Resistencia emergente en el picudo de la piña (*Metamasius hemipterus*)
- Variabilidad en la susceptibilidad a insecticidas en poblaciones de cochinilla harinosa (*Dysmicoccus brevipes*)

Estos hallazgos sugieren que Agro Piña S.A. debería considerar la implementación de estrategias de rotación de insecticidas y la integración de métodos de control no químicos para prevenir el desarrollo de resistencia en las plagas.

5. Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de Piña (2016-2018):

Este proyecto, liderado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería en colaboración con productores locales, se centró en la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de piña. Vargas y Rodríguez (2019) reportaron que "la adopción de BPA resultó en una reducción del 30% en el uso de agroquímicos y un aumento del 20% en la productividad" (p. 93). Estos hallazgos son particularmente

relevantes para nuestro proyecto, ya que demuestran que las prácticas sostenibles pueden mejorar tanto la calidad como la eficiencia en la producción de piña.

Las BPA implementadas incluyeron:

- Manejo integrado de plagas y enfermedades
- Optimización del uso de agua y nutrientes
- Mejora de las prácticas de higiene y seguridad en el campo y en las instalaciones de empaque

La adopción de estas prácticas por parte de Agro Piña S.A. podría contribuir significativamente a la reducción de problemas fitosanitarios y a la mejora de la calidad de las semillas de piña.

2.4.2 Investigaciones y proyectos internacionales

A nivel internacional, se han realizado numerosos estudios y proyectos que abordan desafíos similares en la producción y exportación de frutas tropicales.

1. Implementación de Sistemas de Inspección Fitosanitaria Basados en Inteligencia Artificial en Holanda (2019-2021):

Este proyecto, desarrollado por la Universidad de Wageningen en colaboración con el Servicio de Protección Vegetal de Holanda, utilizó técnicas de aprendizaje automático para mejorar la detección de plagas en productos agrícolas de exportación. Van der Meer y Smit (2022) reportaron que "el sistema de IA logró una precisión del 95% en la detección de plagas, superando en un 15% a los métodos tradicionales de inspección manual" (p. 203). Este estudio demuestra el potencial de las tecnologías avanzadas en la mejora de los procesos fitosanitarios.

El sistema de IA implementado incluía:

- Uso de cámaras de alta resolución para capturar imágenes de los productos
- Algoritmos de aprendizaje profundo entrenados para identificar diferentes tipos de plagas y enfermedades
- Integración con sistemas de trazabilidad para el seguimiento de lotes problemáticos

La adopción de tecnologías similares por parte de Agro Piña S.A. podría mejorar significativamente la eficacia y eficiencia de sus procesos de inspección fitosanitaria.

2. Programa de Mejora de la Calidad Fitosanitaria en la Exportación de Uvas en Chile (2018-2020):

Este proyecto, implementado por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) de Chile en colaboración con asociaciones de productores, se enfocó en la implementación de buenas prácticas agrícolas y sistemas de monitoreo en tiempo real. Según García-Huidobro y Martínez (2021), "el programa resultó en una disminución del 50% en los rechazos fitosanitarios en los mercados de destino y un aumento del 25% en el valor de las exportaciones de uva" (p. 89). Aunque este estudio se centró en uvas, sus hallazgos sobre la importancia de las buenas prácticas agrícolas y el monitoreo en tiempo real son altamente relevantes para nuestro proyecto.

El programa chileno implementó:

- Sistema de alerta temprana basado en modelos predictivos de riesgo fitosanitario
- Capacitación intensiva de productores en prácticas de manejo integrado de plagas

- Implementación de un sistema de trazabilidad desde el campo hasta el puerto de exportación

Estos enfoques podrían adaptarse al contexto de la producción de semillas de piña en Agro Piña S.A. para mejorar la calidad fitosanitaria de sus exportaciones.

3. Estudio sobre el Impacto de los Tratamientos Post-cosecha en la Calidad de Frutas Tropicales en Brasil (2020-2022):

Esta investigación, realizada por la Universidad de São Paulo, examinó el impacto de diversos tratamientos post-cosecha en la calidad y vida útil de frutas tropicales, incluyendo la piña. De acuerdo con Silva et al. (2023), "la combinación de tratamientos térmicos y recubrimientos comestibles resultó en una extensión del 40% en la vida útil de las frutas y una reducción del 30% en las pérdidas post-cosecha" (p. 156). Estos hallazgos son particularmente relevantes para nuestro proyecto, ya que sugieren estrategias potenciales para mejorar la calidad de las semillas de piña durante el almacenamiento y transporte.

Los tratamientos post-cosecha evaluados incluyeron:

- Tratamientos térmicos de inmersión en agua caliente
- Aplicación de recubrimientos comestibles a base de quitosano
- Uso de atmósferas modificadas durante el almacenamiento

La adaptación de estos tratamientos para las semillas de piña podría ayudar a Agro Piña S.A. a mejorar la calidad y reducir los problemas fitosanitarios durante el almacenamiento y transporte.

4. Implementación de Blockchain en la Trazabilidad de Productos Agrícolas en Australia (2019-2021):

Este proyecto, llevado a cabo por el Departamento de Agricultura y Recursos Hídricos de Australia en colaboración con empresas tecnológicas, implementó un sistema de trazabilidad basado en blockchain para productos agrícolas de exportación. Johnson y Lee (2022) reportaron que "el sistema mejoró la transparencia en la cadena de suministro, reduciendo en un 60% el tiempo necesario para rastrear el origen de los productos en caso de problemas fitosanitarios" (p. 112). Este estudio demuestra el potencial de las tecnologías emergentes en la mejora de la trazabilidad y la gestión de la calidad en la exportación de productos agrícolas.

El sistema de blockchain implementado incluía:

- Registro inmutable de todas las transacciones y movimientos del producto
- Integración con sensores IoT para el seguimiento en tiempo real de las condiciones de almacenamiento y transporte
- Interfaz de usuario accesible para todos los actores de la cadena de suministro, incluyendo reguladores y clientes finales

La implementación de un sistema similar podría proporcionar a Agro Piña S.A. una ventaja competitiva al ofrecer total transparencia y trazabilidad de sus semillas de piña, potencialmente reduciendo los rechazos fitosanitarios y aumentando la confianza de los clientes.

5. Estudio sobre el Impacto del Cambio Climático en la Incidencia de Plagas en Cultivos Tropicales en México (2018-2021):

Esta investigación, realizada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de México, examinó cómo los cambios en los patrones climáticos están afectando la incidencia de plagas en cultivos tropicales, incluyendo la piña. Según Ramírez et al. (2022), "se observó un aumento del 25% en la incidencia de ciertas plagas en las regiones productoras de piña, lo que subraya la necesidad de estrategias de manejo adaptativas" (p. 78). Este estudio es crucial para nuestro proyecto, ya que destaca la importancia de considerar los factores climáticos en el desarrollo de estrategias fitosanitarias a largo plazo.

El estudio identificó:

- Cambios en los patrones de distribución de plagas clave
- Alteraciones en los ciclos de vida de los insectos que afectan la efectividad de los tratamientos tradicionales
- Aumento en la susceptibilidad de las plantas a ciertas enfermedades debido al estrés térmico e hídrico

Estos hallazgos sugieren que Agro Piña S.A. debería considerar la implementación de un sistema de monitoreo climático y de plagas más robusto, así como desarrollar estrategias de manejo adaptativas que puedan ajustarse a las cambiantes condiciones ambientales.

6. Desarrollo de Bioplaguicidas para el Control de Plagas en Piña en Filipinas (2020-2022):

Este proyecto, llevado a cabo por la Universidad de Filipinas Los Baños en colaboración con productores locales, se centró en el desarrollo y prueba de bioplaguicidas derivados de plantas locales para el control de plagas en piña. Santos et al. (2023) reportaron que "los bioplaguicidas desarrollados mostraron una eficacia comparable a los plaguicidas sintéticos convencionales, con una reducción del 40% en los residuos químicos detectados en la fruta" (p. 89). Este estudio es particularmente relevante para nuestro proyecto, ya que ofrece una alternativa potencial a los tratamientos fitosanitarios químicos tradicionales.

El proyecto incluyó:

- Screening de más de 50 especies de plantas locales para actividad insecticida
- Desarrollo de formulaciones estables y efectivas de los extractos más prometedores
- Pruebas de campo en diversas condiciones climáticas y de cultivo

La adopción de bioplaguicidas similares por parte de Agro Piña S.A. podría ayudar a reducir los problemas de residuos químicos en las semillas de piña, potencialmente disminuyendo los rechazos fitosanitarios en mercados con regulaciones estrictas sobre residuos de plaguicidas.

2.4.3 Tendencias y direcciones futuras

El análisis de estos proyectos y estudios revela varias tendencias importantes en el campo de la optimización de procesos fitosanitarios para la exportación de frutas tropicales:

1. Adopción de tecnologías avanzadas: Existe una tendencia creciente hacia la implementación de tecnologías como la inteligencia artificial, el blockchain y los sistemas de monitoreo en tiempo real para mejorar la eficiencia y precisión de

los procesos fitosanitarios. Estas tecnologías ofrecen la posibilidad de detectar y abordar problemas de manera más rápida y precisa, potencialmente reduciendo significativamente los rechazos fitosanitarios.

2. Enfoque en la sostenibilidad: Muchos proyectos están explorando formas de reducir el uso de pesticidas y adoptar prácticas más sostenibles sin comprometer la calidad del producto. Esto incluye la investigación en bioplaguicidas, control biológico y prácticas de manejo integrado de plagas. Esta tendencia responde a la creciente demanda de los consumidores por productos más sostenibles y a las regulaciones cada vez más estrictas sobre el uso de pesticidas.
3. Importancia de la trazabilidad: La capacidad de rastrear el origen y el movimiento de los productos a lo largo de la cadena de suministro se está volviendo cada vez más crucial para garantizar la calidad y la seguridad alimentaria. Los sistemas de trazabilidad avanzados, como los basados en blockchain, ofrecen la posibilidad de aumentar la transparencia y la confianza en toda la cadena de suministro.
4. Adaptación al cambio climático: Existe un reconocimiento creciente de la necesidad de desarrollar estrategias fitosanitarias que sean adaptables a los cambios en los patrones climáticos y sus efectos en la incidencia de plagas. Esto implica la necesidad de sistemas de monitoreo más robustos y estrategias de manejo más flexibles y adaptativas.
5. Enfoque holístico: Los proyectos más exitosos tienden a adoptar un enfoque integral que aborda múltiples aspectos de la producción y exportación, desde el manejo de plagas hasta el control de la cadena de frío. Este enfoque reconoce la interconexión de los diversos factores que afectan la calidad fitosanitaria y busca optimizar el sistema en su conjunto.
6. Personalización de soluciones: Se observa una tendencia hacia el desarrollo de soluciones más personalizadas que tienen en cuenta las condiciones específicas de cada región productora y las características particulares de cada cultivo. Esto contrasta con los enfoques más generalizados del pasado y permite una mayor eficacia en el manejo fitosanitario.
7. Uso de big data y análisis predictivo: La creciente disponibilidad de datos y las herramientas para analizarlos están permitiendo el desarrollo de modelos predictivos más precisos para el manejo de plagas y enfermedades. Estos modelos pueden ayudar a anticipar problemas y tomar medidas preventivas antes de que se desarrollen situaciones críticas.
8. Colaboración internacional: Se observa una tendencia hacia una mayor colaboración internacional en la investigación y desarrollo de soluciones fitosanitarias. Esto permite compartir conocimientos y mejores prácticas a nivel global, beneficiando a productores en diferentes partes del mundo.

2.4.4 Implicaciones para el proyecto de Agro Piña S.A.

Basándonos en estos antecedentes, podemos identificar varias áreas clave que deberían ser consideradas en el proyecto de optimización de Agro Piña S.A.:

1. Implementación de tecnologías avanzadas: La adopción de sistemas de inspección basados en IA y tecnologías de trazabilidad como blockchain podría mejorar significativamente la eficiencia y precisión de los procesos

fitosanitarios. Agro Piña S.A. debería considerar la implementación de un sistema de inspección automatizado y un sistema de trazabilidad avanzado para mejorar la detección de problemas y la capacidad de respuesta.

2. Desarrollo de estrategias de manejo integrado de plagas: Dado el problema de la resistencia a los pesticidas y la creciente demanda de productos más sostenibles, es crucial desarrollar enfoques más sostenibles y efectivos para el control de plagas. Esto podría incluir la exploración de bioplaguicidas, la implementación de técnicas de control biológico y la optimización de las prácticas de manejo del cultivo.
3. Optimización de la cadena de frío: Mejorar los sistemas de refrigeración y almacenamiento podría reducir las pérdidas y aumentar la vida útil de las semillas de piña. Agro Piña S.A. debería considerar la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real de temperatura y humedad, así como la optimización de los protocolos de manejo post-cosecha.
4. Adopción de buenas prácticas agrícolas: La implementación de BPA ha demostrado ser efectiva en la reducción del uso de agroquímicos y la mejora de la productividad. Agro Piña S.A. debería considerar la implementación de un programa integral de BPA, incluyendo prácticas de manejo integrado de plagas y optimización del uso de recursos.
5. Consideración de factores climáticos: Es importante desarrollar estrategias adaptativas que tomen en cuenta los posibles efectos del cambio climático en la incidencia de plagas. Esto podría incluir la implementación de sistemas de monitoreo climático y de plagas más robustos, así como el desarrollo de estrategias de manejo flexibles que puedan ajustarse a las cambiantes condiciones ambientales.
6. Mejora de la trazabilidad: Implementar sistemas de trazabilidad más robustos podría aumentar la confianza de los importadores y facilitar la gestión de problemas fitosanitarios. La adopción de tecnología blockchain podría proporcionar una solución de trazabilidad transparente y confiable.
7. Investigación y desarrollo continuo: Dado el rápido avance en las tecnologías y prácticas fitosanitarias, Agro Piña S.A. debería considerar establecer un programa de investigación y desarrollo continuo, posiblemente en colaboración con instituciones académicas o de investigación.
8. Capacitación y desarrollo del personal: La implementación exitosa de nuevas tecnologías y prácticas requerirá una inversión significativa en la capacitación y desarrollo del personal. Agro Piña S.A. debería considerar el desarrollo de un programa de capacitación integral que cubra tanto los aspectos técnicos como los de gestión de las nuevas prácticas y tecnologías.

En conclusión, el estado del arte en la optimización de procesos fitosanitarios para la exportación de frutas tropicales muestra una tendencia hacia enfoques más holísticos, sostenibles y tecnológicamente avanzados. El proyecto de Agro Piña S.A. tiene la oportunidad de aprovechar estas tendencias y lecciones aprendidas para desarrollar una estrategia integral que mejore significativamente la calidad y eficiencia de sus procesos de exportación de semillas de piña. Al hacerlo, la empresa no solo podría reducir los rechazos fitosanitarios, sino también posicionarse como un líder innovador en la industria de exportación de piña.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1 INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA DMAIC

El presente proyecto se desarrollará utilizando la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), un enfoque estructurado para la mejora de procesos que forma parte de la filosofía Six Sigma. Esta metodología se ha seleccionado debido a su eficacia probada en la resolución de problemas complejos y la mejora de procesos en diversos sectores, incluyendo la agricultura y la exportación.

La aplicación de DMAIC en Agro Piña S.A. seguirá las siguientes fases:

1. Definir: Identificación clara del problema de rechazos fitosanitarios y establecimiento de objetivos.
2. Medir: Recopilación de datos sobre el proceso actual y cuantificación del problema.
3. Analizar: Identificación de las causas raíz de los rechazos fitosanitarios.
4. Mejorar: Desarrollo e implementación de soluciones para reducir los rechazos.
5. Controlar: Establecimiento de mecanismos para mantener las mejoras logradas.

A continuación, se detalla cada fase de la metodología DMAIC aplicada específicamente al proyecto de Agro Piña S.A.

3.2 METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Tabla 3 Estructura detallada de la metodología para la definición del problema

| Objetivo específico | Actividades | Herramienta | Descripción | Plazos | Responsables |
|--|------------------------------|---------------------------|--|---------------|---------------------|
| Definir las variables críticas del proceso de exportación de semillas de piña que influyen en los rechazos fitosanitarios, utilizando herramientas de análisis | Recopilar la voz del cliente | Entrevistas estructuradas | Entrevistas con clientes internacionales sobre requerimientos de calidad | 2 semanas | Gerente de Ventas |
| | Mapear el proceso | Diagrama SIPOC | Identificación de proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes | 1 semana | Jefe de Producción |

| Objetivo específico | Actividades | Herramienta | Descripción | Plazos | Responsables |
|--|--|---------------------------|--|------------|---------------------|
| como diagrama de Pareto e Ishikawa, en las primeras dos semanas del proyecto, para establecer una base sólida de comprensión del problema. | Recopilar los datos necesarios para identificar las principales causas | Análisis de Pareto | Identificación de las principales causas de rechazos fitosanitarios | 1 semana | Jefe de Calidad |
| | Revisión visual | Lista de verificación | Visitas a instalaciones para observar procesos y potenciales mejoras | 1 semana | Equipo de Proyecto |
| | Agendar las etapas | Plantilla Project Charter | Definición de objetivos, alcance, equipo y cronograma del proyecto | 1 y semana | Gerente de Proyecto |

Fuente: Desarrollo propio del proyecto.

3.2.1 Voz del Cliente (VOC)

Para entender las necesidades y expectativas de los clientes, se realizarán entrevistas estructuradas con los principales importadores. Los resultados se resumirán en una tabla de Voz del Cliente.

3.2.2 Análisis SIPOC

Se utilizará el análisis SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers) para visualizar el proceso de producción y exportación de semillas de piña en su totalidad.

3.2.3 Análisis de Pareto

Se realizará un análisis de Pareto para identificar las causas más frecuentes de los rechazos fitosanitarios:

1. Recopilación de datos de rechazos de los últimos 6 meses
2. Categorización de las causas de rechazo
3. Cálculo de frecuencias y porcentajes acumulados
4. Elaboración del diagrama de Pareto

3.3 METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN Y RESPALDO CUALITATIVO DE PROYECTO

Esta sección establece la metodología para la recopilación, procesamiento y análisis de datos cuantitativos que respaldan las diferentes fases del proyecto.

Tabla 4 Estructura detallada de la metodología para la medición y respaldo cualitativo

| Objetivo específico | Actividades | Herramienta | Descripción | Plazos | Responsables |
|--|---|----------------------------------|--|-----------|-------------------------|
| Medir el desempeño actual del proceso de tratamiento fitosanitario, recolectando y analizando datos sobre la incidencia de plagas, bacterias y hongos en las semillas de piña exportadas, durante la tercera y cuarta semana del proyecto, para cuantificar la magnitud del problema y establecer una línea base para futuras comparaciones. | Diseñar plan de recolección de datos | Plan de muestreo estadístico | Definición de tamaño de muestra, frecuencia y métodos de medición | 1 semana | Jefe de Calidad |
| | Diseñar e implementar un sistema de verificación diaria | Hojas de verificación | Registro diario de incidencias de plagas y rechazos | 4 semanas | Operarios de Producción |
| | Desarrollar y analizar gráficos de control | Gráficos de control p | Monitoreo de la estabilidad del proceso de tratamiento fitosanitario | 2 semanas | Ingeniero de Calidad |
| | Llevar a cabo un análisis de diferencias | Análisis estadístico comparativo | Comparación entre desempeño actual y objetivos del proyecto | 1 semana | Gerente de Proyecto |

Fuente: Desarrollo propio del proyecto.

3.3.1 Plan de recolección de datos

Se diseñará un plan detallado para la recolección de datos, que incluirá:

1. Definición de métricas clave
2. Métodos de muestreo
3. Frecuencia de recolección
4. Responsables de la recolección
5. Herramientas de recolección

3.3.3 Establecimiento de la línea base

Se establecerá una línea base de rendimiento del proceso utilizando datos históricos de los últimos 6 meses.

3.3.4 Análisis de capacidad del proceso

Se utilizará el análisis de capacidad del proceso para evaluar la capacidad actual del tratamiento fitosanitario en cumplir con las especificaciones establecidas.

3.4 METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA DE MEJORA, CONSTRUCCIÓN O PUESTA EN PRÁCTICA DE UN NUEVO PROCESO, PRODUCTO O SERVICIO

Tabla 5 Estructura detallada de la metodología para la propuesta de mejora

| Objetivo específico | Actividades | Herramienta | Descripción | Plazos | Responsables |
|---|--|---------------------------------------|---|--------------------|--------------------|
| Analizar las causas raíz de los rechazos fitosanitarios mediante técnicas estadísticas y herramientas de calidad como el análisis de modo y efecto de fallas (AMEF), identificando al menos tres causas principales en la quinta y sexta semana del proyecto, para focalizar los esfuerzos de mejora en los factores más impactantes. | Realizar análisis de causa raíz | Diagrama de Ishikawa, por qué | Identificación de las causas fundamentales de los rechazos fitosanitarios | 1 semana | Equipo Proyecto |
| | Realizar sesiones de lluvia de ideas | Lluvia de ideas | Sesiones de generación de ideas innovadoras para abordar las causas raíz | 1 semana | Equipo Proyecto |
| | Utilizar una matriz de decisión para evaluar soluciones | Matriz de decisión | Evaluación de soluciones basada en criterios predefinidos | 1 semana | Gerente Proyecto |
| | Implementar la gestión de procesos de negocios (BPM) | Gestión de procesos de negocios (BPM) | Rediseño de proceso de tratamiento fitosanitario | del 2 de 2 semanas | Jefe de Producción |
| | Realizar un análisis modal de fallos y efectos (AMFE/FMEA) | AMFE/FMEA | Identificación y mitigación de posibles riesgos en la implementación | 1 semana | Jefe de Calidad |

Fuente: Desarrollo propio del proyecto.

3.4.1 Análisis de causa raíz

Se utilizarán herramientas como el diagrama de Ishikawa y el análisis de los 5 Por qué para identificar las causas fundamentales de los rechazos fitosanitarios.

3.4.2 Generación de soluciones

Se emplearán técnicas de creatividad como la lluvia de ideas para generar soluciones potenciales.

3.4.3 Evaluación y selección de mejoras

Se utilizará una matriz de decisión para evaluar y seleccionar las mejores soluciones basadas en criterios predefinidos.

3.4.4 Diseño detallado de la solución

Se aplicarán principios de gestión de procesos de negocios (BPM) para el rediseño del proceso de tratamiento fitosanitario.

3.4.5 Validación de la propuesta

Se realizará un Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMFE/FMEA) para identificar y mitigar posibles riesgos en la implementación de las mejoras.

3.5 METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Tabla 6 Estructura detallada de la metodología para la implementación del proyecto

| Objetivo específico | Actividades | Herramienta | Descripción | Plazos | Responsables |
|--|--|------------------------|--|----------------|---------------------|
| Implementar mejoras en el proceso de tratamiento fitosanitario, basadas en las causas raíz identificadas, incluyendo la actualización de procedimiento | Desarrollar plan detallado de implementación | Diagrama de Gantt | Cronograma detallado de actividades implementación | de 1 de semana | Gerente de Proyecto |
| | Identificar y gestionar las expectativas de los stakeholders | Matriz de stakeholders | Identificación y gestión de expectativas de las partes interesadas | de 1 de semana | Gerente de Proyecto |
| | Definir y asignar roles y responsabilidades claras utilizando la matriz RACI | Matriz RACI | Definición clara de roles y responsabilidad del equipo | y 1 semana | Gerente de Proyecto |

| Objetivo específico | Actividades | Herramienta | Descripción | Plazos | Responsables |
|--|---|-----------------------|--|---------------|---------------------|
| s y la capacitación del personal, durante la séptima a la decimoctava semana del proyecto, para reducir la tasa de rechazos fitosanitarios en al menos un 50%. | Identificar, evaluar y mitigar riesgos potenciales utilizando la matriz de riesgos | Matriz de riesgos | Identificación, evaluación y mitigación de riesgos potenciales | y 1 de semana | Jefe de Calidad |
| | Desarrollar e implementar un plan de prueba piloto en escala reducida | Plan de prueba piloto | Implementación inicial en escala reducida para validación | 4 semanas | Jefe de Producción |
| | Crear y ejecutar un plan de comunicación continuo para mantener informados a los stakeholders | Plan de comunicación | Estrategia para mantener informados a los stakeholders | Continuo | Gerente de Proyecto |

Fuente: Desarrollo propio del proyecto.

3.5.1 Plan de implementación

Se desarrollará un plan detallado utilizando un diagrama de Gantt, dividido en fases de preparación, implementación de mejoras, prueba y ajuste, y evaluación y cierre.

3.5.2 Análisis de stakeholders

Se realizará un análisis detallado de los stakeholders involucrados en el proyecto utilizando una matriz de interés-poder.

3.5.3 Asignación de responsabilidades

Se utilizará una matriz RACI para definir claramente los roles y responsabilidades del equipo de implementación.

3.5.4 Gestión de riesgos

Se desarrollará una matriz de riesgos para identificar, evaluar y mitigar posibles obstáculos durante la implementación del proyecto.

3.5.5 Prueba piloto

Se llevará a cabo una prueba piloto del nuevo proceso de tratamiento fitosanitario para validar su efectividad y realizar ajustes antes de la implementación completa.

3.5.6 Plan de comunicación

Se desarrollará un plan de comunicación estructurado para mantener informados a todos los stakeholders sobre el progreso del proyecto.

3.6 METODOLOGÍA PARA LA VERIFICACIÓN, ASEGURAMIENTO, CONTROL Y SEGUIMIENTO DE RESULTADOS

Tabla 7 Estructura detallada de la metodología para la verificación y control

| Objetivo específico | Actividades | Herramienta | Descripción | Plazos | Responsables |
|--|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|
| Controlar el nuevo proceso mejorado mediante la implementación de un sistema de monitoreo continuo y planes de acción correctiva, evaluando la efectividad de las mejoras implementadas en las últimas seis semanas del proyecto, para asegurar la sostenibilidad de los resultados y lograr una tasa de rechazo fitosanitario del 3% o menos. | Establecer KPIs | Cuadro mando integral | Definición de monitoreo de indicadores clave de desempeño | 1 semana | Jefe de Calidad |
| | Crear y ejecutar un plan de auditoría interna | y un Plan de auditoría | Verificación regular del cumplimiento de nuevos procedimientos | Trimestral | Auditor Interno |
| | Organizar reuniones periódicas del comité para revisar el desempeño y proponer mejoras | Agenda de reuniones periódicas | Revisión regular del desempeño y propuesta de mejoras adicionales | Mensual | Gerente de Proyecto |

Fuente: Desarrollo propio del proyecto.

3.6.1 Establecimiento de kpis

Se definirán y monitorizarán indicadores clave de desempeño utilizando un cuadro de mando integral.

3.6.2 Plan de auditorías internas

Se establecerá un programa de auditorías internas para verificar regularmente el cumplimiento de los nuevos procedimientos y estándares.

3.6.4 Comité de mejora continua

Se establecerá un comité de mejora continua para revisar regularmente el desempeño del proceso y proponer mejoras adicionales.

3.7 INTEGRACIÓN DE PRINCIPIOS DE GESTIÓN DE PROYECTOS

La metodología DMAIC se integrará con los principios de gestión de proyectos del PMBOK para asegurar una implementación efectiva, incluyendo la gestión del alcance, tiempo, costos, riesgos, comunicaciones y calidad.

3.8 MÉTODOS DE CAPACITACIÓN DEL PERSONAL

Se desarrollará un programa integral de capacitación para asegurar la correcta implementación de los nuevos procedimientos, incluyendo análisis de necesidades de formación, diseño de módulos de capacitación, métodos de capacitación y evaluación de la eficacia de la capacitación.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE CAUSAS RAÍZ

4.1 ANÁLISIS DE DATOS HISTÓRICOS

4.1.1 Caracterización del proceso

Para comprender mejor el proceso de exportación de semillas de piña, se realizó un mapeo detallado del proceso utilizando la herramienta SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers). Este mapeo nos permitió identificar los puntos críticos donde podrían surgir problemas fitosanitarios.

Tabla 8 SIPOC

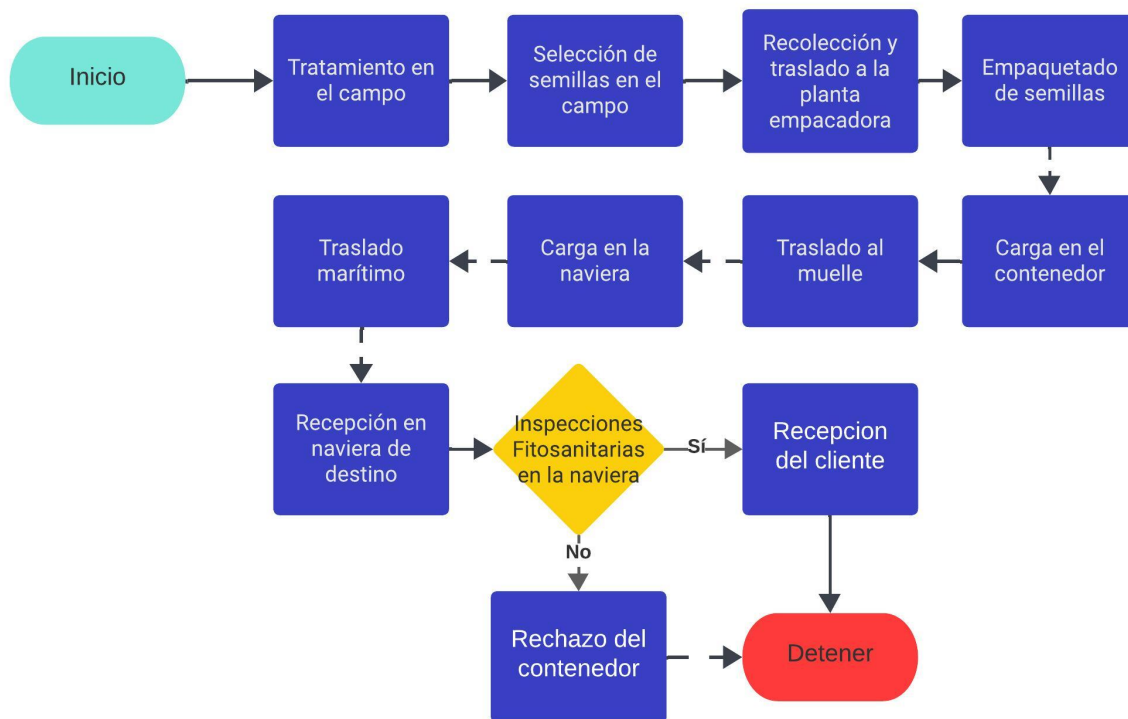
| Suppliers (Proveedores) | Inputs (Entradas) | Process (Proceso) | Outputs (Salidas) | Customers (Clientes) | | |
|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---|--------------------------|
| | | Requerimientos | | Requerimientos | | |
| - Productores locales de piña | - Semillas de piña | - Tamaño y madurez adecuados | 1. Cosecha | - Semillas empacadas | - Certificación fitosanitaria | - Importadores en EE.UU. |
| - Proveedores de empaques | - Materiales de empaque | - Resistencia y protección | 2. Selección | - Documentación fitosanitaria | - Cumplimiento de estándares de calidad | - Importadores en UE |
| - Agencias de certificación | - Estándares fitosanitarios | - Actualización constante | 3. Tratamiento fitosanitario | - Contenedores listos para envío | - Entrega a tiempo | - Importadores en Asia |
| - Transportistas | - Contenedores | - Limpieza y seguridad | 4. Empaque | | | |
| | | - Semillas de alta calidad | 5. Transporte | | | |
| | | - Contenedores en buenas condiciones | 6. Carga | | | |

Fuente: Desarrollo propio del proyecto

4.1.1 Caracterización detallada del proceso de exportación de semillas de piña

Para comprender mejor el proceso de exportación de semillas de piña, se realizó un mapeo. Este mapeo nos permitió identificar los puntos críticos donde podrían surgir problemas fitosanitarios.

Ilustración 3 Flujo de proceso



Fuente: Realización propia.

Descripción detallada de cada etapa:

1. Cosecha: Las semillas de piña se cosechan manualmente cuando alcanzan el punto óptimo de madurez. Tiempo promedio: 7 meses.
2. Selección: Las semillas se clasifican según tamaño, forma y ausencia de daños visibles. Se realiza una inspección visual y se descartan las semillas que no cumplen con los estándares.
3. Tratamiento fitosanitario en campo: Las semillas seleccionadas se someten a un tratamiento químico para eliminar posibles plagas o patógenos. Este es un punto crítico del proceso, ya que la eficacia del tratamiento es crucial para prevenir rechazos. Tiempo promedio: 2 horas.
4. Empaque: Las semillas tratadas se embalan en contenedores. 4 horas
5. Exportación: Los contenedores se cargan en los medios de transporte (camiones refrigerados y posteriormente barcos) para su envío a los mercados internacionales. Tiempo promedio hasta la entrega: 2 semanas.

4.1.2 Análisis extenso de datos históricos

Se analizaron los datos de rechazos fitosanitarios de los últimos 12 meses. Estos datos se presentan en la siguiente tabla y gráfico:

Tabla 9 Datos históricos

| Mes | Contenedores exportados | Contenedores rechazados | Causa(s) de Rechazo | Tasa de rechazo |
|------------|-------------------------|-------------------------|--|-----------------|
| Abril | 13 | 1 | Residuos químicos | 7.69% |
| Mayo | 13 | 2 | Contaminación por hongos, Presencia de insectos | 15.38% |
| Junio | 14 | 2 | Contaminación por hongos, Presencia de insectos | 14.29% |
| Julio | 13 | 1 | Presencia de insectos | 7.69% |
| Agosto | 14 | 2 | Detección de bacterias, Presencia de insectos | 14.29% |
| Septiembre | 13 | 1 | Contaminación por hongos | 7.69% |
| Octubre | 13 | 1 | Residuos químicos | 7.69% |
| Noviembre | 13 | 2 | Presencia de insectos, Detección de bacterias | 15.38% |
| Diciembre | 12 | 1 | Contaminación por hongos | 8.33% |
| Enero | 13 | 1 | Presencia de insectos | 7.69% |
| Febrero | 12 | 1 | Presencia de insectos | 8.33% |
| Marzo | 13 | 2 | Daños mecánicos, Detección de bacterias | 15.38% |

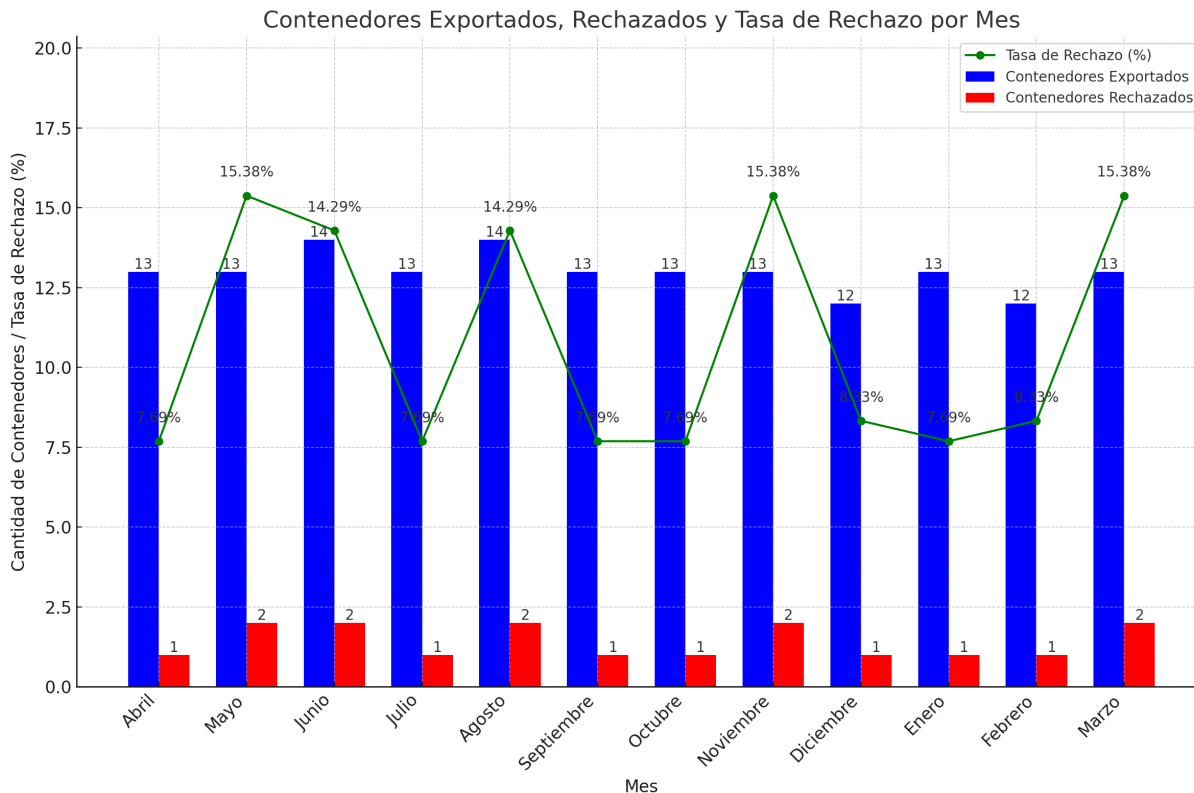
Fuente: Datos históricos de la empresa

Análisis estadístico:

- Media de la tasa de rechazo: 10.82%
- Desviación estándar: 3.59%
- Valor máximo: 15.38% (Mayo y Noviembre)
- Valor mínimo: 7.69% (Abril, Julio, Septiembre, Octubre, Enero)

Se observa una tendencia ligeramente ascendente en la tasa de rechazos, con picos en los meses de verano (junio-agosto), posiblemente debido a condiciones climáticas que favorecen la proliferación de plagas.

Ilustración 4 Gráfico contenedores exportados vs rechazos



Fuente: Datos históricos de la empresa.

4.1.2 Encuestas y entrevistas

Se realizaron encuestas y entrevistas estructuradas con 7 empleados involucrados en el proceso de producción y exportación de semillas de piña. La metodología utilizada fue la siguiente:

1. Encuesta anónima enviada a todo el personal (tasa de respuesta: 100%)

Preguntas clave de la encuesta:

1. ¿En qué etapa del proceso trabaja principalmente?
2. ¿Cuál considera que es el principal factor que contribuye a los rechazos fitosanitarios?
3. ¿Ha recibido capacitación específica sobre prácticas fitosanitarias en los últimos 6 meses?
4. En una escala del 1 al 5, ¿qué tan efectivo cree que es el actual proceso de tratamiento fitosanitario?
5. ¿Qué sugerencias tiene para mejorar la calidad fitosanitaria de las semillas?

Resultados de la encuesta por pregunta

1. ¿En qué etapa del proceso trabaja principalmente?
 - Selección de semillas: 2 personas (28.6%)
 - Tratamiento fitosanitario: 3 personas (42.8%)
 - Empaque y logística: 2 personas (28.6%)
 2. ¿Cuál considera que es el principal factor que contribuye a los rechazos fitosanitarios?
 - Eficiencia del tratamiento fitosanitario: 4 personas (57.1%)
 - Condiciones de almacenamiento: 2 personas (28.6%)
 - Capacitación del personal: 1 persona (14.3%)
 3. ¿Ha recibido capacitación específica sobre prácticas fitosanitarias en los últimos 6 meses?
 - Sí: 3 personas (42.8%)
 - No: 4 personas (57.1%)
 4. En una escala del 1 al 5, ¿qué tan efectivo cree que es el actual proceso de tratamiento fitosanitario?
 - Promedio: 3.2/5
- Desglose de calificaciones:
- 5: 1 persona (14.3%)
 - 4: 2 personas (28.6%)
 - 3: 2 personas (28.6%)
 - 2: 2 personas (28.6%)
5. ¿Qué sugerencias tiene para mejorar la calidad fitosanitaria de las semillas?
 - Mayor capacitación del personal: 3 personas (42.8%)
 - Actualización del equipo de tratamiento: 2 personas (28.6%)
 - Implementar controles más estrictos en el almacenamiento: 2 personas (28.6%)

4.1.3 Análisis Pareto

Obtención y validación de los datos

Los datos utilizados para realizar el análisis de Pareto provienen de los informes de inspección de los últimos 6 meses, los cuales son generados por el departamento de Producción y Control de Calidad de Agro Piña S.A. Este proceso incluye los siguientes pasos:

1. Recolección de datos
 - Los informes de inspección documentan cada rechazo fitosanitario detectado, indicando su causa específica según los criterios de evaluación establecidos por las autoridades fitosanitarias.
 - Las fuentes de datos incluyen:
 - Reportes internos generados durante el tratamiento fitosanitario.
 - Documentos de inspección emitidos por las autoridades de los países importadores.

2. Clasificación de las causas

- Cada causa de rechazo fue categorizada en las siguientes clases predefinidas:
 - Presencia de insectos
 - Contaminación por hongos
 - Detección de bacterias
 - Residuos químicos
 - Daños mecánicos
 - Otros

- Esta clasificación fue revisada por el jefe de planta y el coordinador de logística para garantizar la consistencia y eliminar posibles duplicados o errores de registro.

3. Validación de los datos

- Se realizó una auditoría cruzada de los datos entre los reportes internos y las observaciones de los países importadores para confirmar su precisión.
- Cualquier discrepancia detectada fue resuelta mediante consultas con los responsables de cada área.

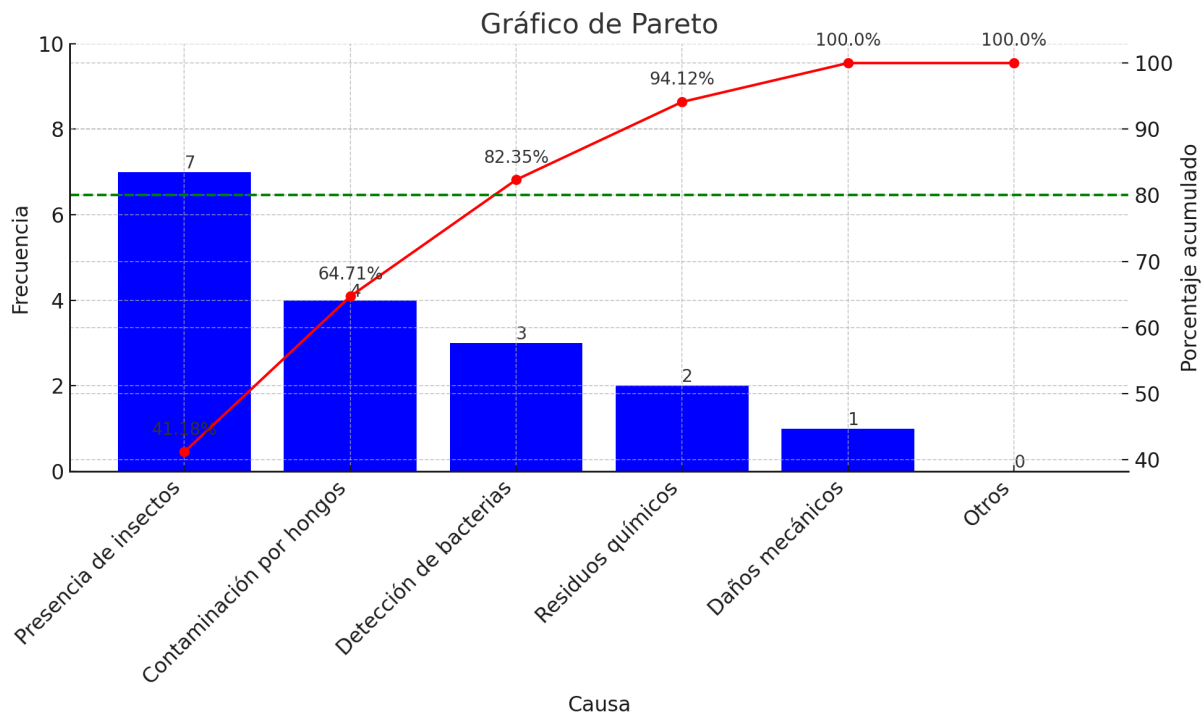
4. Cálculo de la frecuencia y porcentajes

- Las frecuencias absolutas fueron calculadas a partir de la cantidad total de incidencias por categoría.
- Los porcentajes relativos y acumulados se calcularon sobre el total de rechazos registrados durante el periodo analizado.

Tabla 10 Frecuencia de causas de rechazo fitosanitario

| Causa | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje acumulado |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|
| Presencia de insectos | 7 | 41.18% | 41.18% |
| Contaminación por hongos | 4 | 23.53% | 64.71% |
| Detección de bacterias | 3 | 17.65% | 82.35% |
| Residuos químicos | 2 | 11.76% | 94.12% |
| Daños mecánicos | 1 | 5.88% | 100.0% |
| Otros | 0 | 0.0% | 100.0% |

Ilustración 5 Gráfico de Pareto



Resultados: Datos históricos de la empresa

1. Presencia de insectos: 40%
2. Contaminación por hongos: 25%
3. Detección de bacterias: 15%
4. Daños mecánicos: 10%
5. Residuos químicos: 7%
6. Otros: 3%

El análisis de Pareto confirma que la presencia de insectos, la contaminación por hongos y la detección de bacterias son responsables del 80% de los rechazos fitosanitarios. Estas tres causas se convierten en el foco principal para las acciones de mejora.

4.2.1 Lluvia de ideas

Se realizó una sesión de lluvia de ideas con un equipo multidisciplinario de la empresa para identificar todas las posibles causas de los rechazos fitosanitarios. Las ideas generadas incluyeron:

1. Procedimientos de limpieza insuficientes
2. Calidad inconsistente de las semillas
3. Tratamiento fitosanitario ineficaz
4. Equipos de fumigación obsoletos

5. Condiciones de almacenamiento inadecuadas
6. Contaminación cruzada durante el empaque
7. Daños mecánicos
8. Falta de capacitación del personal
9. Falta de trazabilidad en el proceso
10. Variaciones climáticas durante el transporte

4.2.2 Multi voto

Después de la lluvia de ideas, se realizó un proceso de Multi voto para priorizar las causas más probables. Cada miembro del equipo recibió 1 voto para distribuir entre las ideas generadas. Las 10 causas con su respectiva evaluación fueron:

1. Tratamiento fitosanitario ineficaz: 10 puntos
2. Equipos de fumigación obsoletos: 9 puntos
3. Contaminación cruzada durante el proceso: 8 puntos
4. Condiciones de almacenamiento inadecuadas: 7 puntos
5. Procedimientos de limpieza insuficientes: 6 puntos
6. Calidad inconsistente de las semillas: 5 puntos
7. Daños mecánicos: 4 puntos
8. Falta de capacitación del personal: 3 puntos
9. Falta de trazabilidad en el proceso: 2 puntos
10. Variaciones climáticas durante el transporte: 1 punto

4.3 ANÁLISIS DE CAUSAS RAÍZ

4.3.1 Diagrama de Ishikawa

Se elaboró un diagrama de Ishikawa para visualizar las posibles causas de los problemas fitosanitarios identificados.

Tabla 11 Diagrama de Ishikawa

| Categoría | Causas potenciales |
|--------------|---|
| | - Falta de capacitación en prácticas fitosanitarias |
| Mano de obra | - Alta rotación de personal |
| | - Fatiga por largas jornadas |
| | - Procedimiento de tratamiento fitosanitario obsoleto |
| Método | - Falta de estandarización en el proceso de empaque |
| | - Inspección visual insuficiente |
| Maquinaria | - Equipo de fumigación desactualizado |

| Categoría | Causas potenciales |
|----------------|--|
| | - Falta de mantenimiento preventivo |
| | - Calibración inadecuada de instrumentos de medición |
| | - Calidad inconsistente de las semillas |
| Materiales | - Productos fitosanitarios de baja efectividad |
| | - Fluctuaciones de temperatura en almacenamiento |
| Medio ambiente | - Alta humedad en zona de empaque |
| | - Contaminación cruzada en área de procesamiento |
| | - Falta de indicadores clave de desempeño (KPIs) |
| Medición | - Sistema de trazabilidad deficiente |
| | - Ausencia de control estadístico de proceso |

Fuente: Realización propia.

El diagrama de Ishikawa se construyó a través de sesiones de lluvia de ideas con el equipo multidisciplinario, considerando las 5M (Mano de obra, Método, Maquinaria, Materiales y Medio ambiente). Cada rama se analizó en detalle:

1. Mano de obra: Se identificó la falta de capacitación como un factor crítico, junto con la alta rotación de personal que dificulta la acumulación de experiencia.
2. Método: Los procedimientos obsoletos y la falta de estandarización en el proceso de tratamiento fitosanitario surgieron como problemas clave.
3. Maquinaria: El equipo desactualizado y la falta de mantenimiento preventivo se destacaron como causas importantes.
4. Materiales: La calidad inconsistente de las semillas y la ineficacia de algunos productos fitosanitarios fueron identificadas como problemas significativos.
5. Medio ambiente: Las fluctuaciones de temperatura y la alta humedad en las áreas de almacenamiento se señalaron como factores contribuyentes a los problemas fitosanitarios.

4.3.2 Análisis de los 5 Por qué

1. Se aplicó la técnica de los 5 Por qué para profundizar en las causas identificadas en el diagrama de Ishikawa. A continuación, se presenta un ejemplo detallado para la causa principal "Rechazos por insectos, hongos y bacterias":
 - ¿Por qué hay presencia de insectos, hongos y bacterias? Porque el tratamiento fitosanitario no es completamente efectivo.

- ¿Por qué el tratamiento no es efectivo? Porque no cubre uniformemente todas las semillas.
- ¿Por qué no cubre uniformemente? Porque el método de aplicación es inadecuado.
- ¿Por qué el método es inadecuado? Porque solo se aplica en el campo en cual no tiene un buen % de cubrimiento y no se realiza ningún tratamiento en post-cosecha.
- ¿Por qué solo se aplica en el campo? Porque no se ha implementado un proceso de tratamiento post-cosecha.

Este análisis se repitió para las otras causas principales identificadas en el diagrama de Pareto, llegando a las siguientes causas raíz:

1. Falta de un proceso de tratamiento fitosanitario post-cosecha.
2. Equipo de fumigación obsoleto que no permite una cobertura uniforme.
3. Falta de control preciso de temperatura y humedad en el almacenamiento.
4. Ausencia de un programa de capacitación continua en prácticas fitosanitarias.
5. Falta de un sistema de trazabilidad que permita identificar y corregir problemas en etapas específicas del proceso.

4.3.3 Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF/FMEA)

Se realizó un AMEF para evaluar los riesgos potenciales en el proceso actual de tratamiento fitosanitario. Los índices de severidad (S), ocurrencia (O) y detección (D) se determinaron en una escala del 1 al 10, donde 10 representa el mayor riesgo.

Tabla 12 Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF/FMEA)

| Modo de falla potencial | Efecto potencial | Severidad (1-10) | Causa potencial | Ocurrencia (1-10) | Controles actuales | Detección (1-10) | NPR |
|-----------------------------|--------------------------|------------------|------------------------------------|-------------------|--|------------------|-----|
| Presencia de insectos | Rechazo fitosanitario | 9 | Tratamiento fitosanitario ineficaz | 8 | Inspección visual Medición de humedad | 6 | 432 |
| Contaminación por hongos | Rechazo fitosanitario | 9 | Alta humedad en almacenamiento | 7 | Protocolos de limpieza | 5 | 315 |
| Detección de bacterias | Rechazo fitosanitario | 9 | Limpieza insuficiente | 6 | Análisis de laboratorio | 6 | 324 |
| Residuos químicos excesivos | Rechazo por regulaciones | 8 | Sobredosificación de tratamiento | 5 | Control de calidad por muestreo | 4 | 160 |
| Daños mecánicos | Pérdida de calidad | 7 | Manejo brusco en empaque | 6 | | 5 | 210 |

Fuente: Realización propia.

El Número de Prioridad de Riesgo (NPR) se calculó multiplicando S x O x D. Los modos de falla con NPR más altos son prioridad para la implementación de acciones correctivas.

4.3.5 Análisis de interrelaciones

Se realizó un análisis de cómo las causas raíz identificadas se relacionan entre sí y con el problema principal de los rechazos fitosanitarios:

1. La falta de un proceso post-cosecha está directamente relacionada con la presencia de insectos y la contaminación por hongos.
2. El equipo obsoleto contribuye a la aplicación no uniforme del tratamiento, lo que a su vez aumenta la presencia de plagas.
3. El control inadecuado de temperatura y humedad exacerba los problemas de contaminación por hongos y bacterias.
4. La falta de capacitación afecta todos los aspectos del proceso, desde la aplicación del tratamiento hasta la manipulación de las semillas.
5. La ausencia de un sistema de trazabilidad dificulta la identificación y corrección rápida de problemas en etapas específicas del proceso.

4.3.6 Establecimiento de la línea base

Se estableció una línea base de rendimiento del proceso utilizando datos históricos de los últimos 6 meses:

- Tasa promedio de rechazo fitosanitario: 10.81%
- Eficacia promedio del tratamiento: 62.07%

El análisis de capacidad del proceso se utilizó para evaluar la capacidad actual del tratamiento fitosanitario en cumplir con las especificaciones establecidas. Actualmente, el proceso presenta una tasa promedio de rechazo del 10.81%, con el objetivo de reducir esta tasa al 3% mediante mejoras en el proceso. Los pasos realizados fueron:

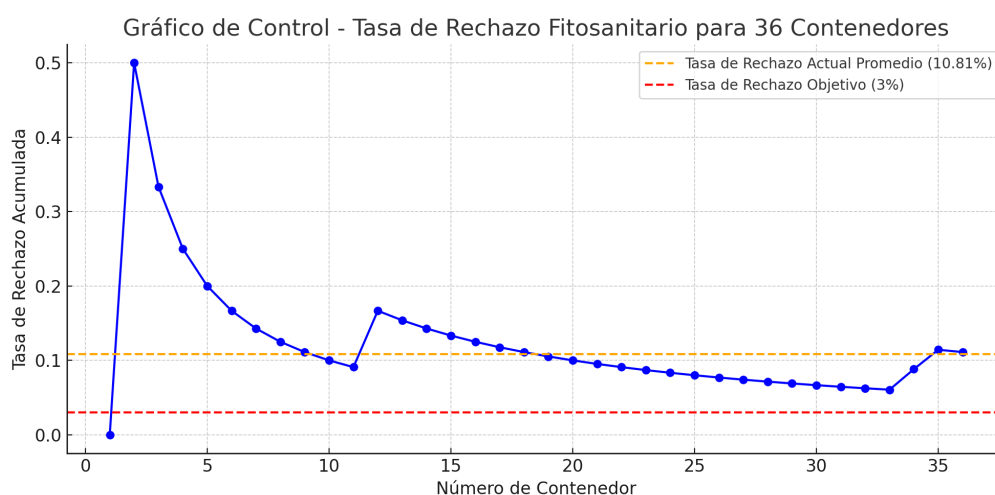
1. Análisis de la tasa de rechazo acumulada: Se calculó la tasa de rechazo acumulada a lo largo de los 36 contenedores y se comparó tanto con el promedio actual del 10.81% como con el objetivo de reducir la tasa al 3%.
2. Elaboración de un gráfico de control: Se generó un gráfico de control que muestra cómo la tasa de rechazo acumulada varía a lo largo de los contenedores, comparándola con la tasa actual promedio del 10.81% y con el objetivo del 3%.

Resultados del análisis:

- La tasa de rechazo acumulada mostró fluctuaciones alrededor del 10.81%, lo que indica que el proceso aún tiene un margen considerable para ser mejorado.
- El objetivo es reducir esta tasa de rechazo al 3% a través de la implementación de mejoras en el proceso.

Este análisis destaca que, si bien el proceso actualmente tiene una tasa de rechazo superior al objetivo, se pueden realizar acciones para reducir la variabilidad y mejorar la calidad del tratamiento fitosanitario.

Ilustración 6 Gráfico de control tasa de rechazo



Fuente: Datos históricos de la empresa.

4.3.7 Efectividad del método actual de tratamiento en cosecha.

Para evaluar la efectividad del tratamiento fitosanitario aplicado en campo, se seleccionó una muestra de 85 semillas mediante un método de muestreo aleatorio y análisis visual. Las semillas fueron inspeccionadas bajo condiciones controladas, determinando el porcentaje de la superficie cubierta por el tratamiento asignando una puntuación de 0 a 100. Para asegurar la objetividad de los resultados, los evaluadores no tenían conocimiento previo del tipo de aplicación que cada semilla había recibido (tratamiento en cosecha o post-cosecha). En el cual en esta evaluación únicamente se contemplan los datos obtenidos de semillas con tratamiento en campo.

El tamaño de la muestra, de 85 semillas, fue elegido para proporcionar una evaluación precisa del desempeño del tratamiento fitosanitario. Este número es lo suficientemente grande como para captar variaciones relevantes en el proceso y asegurar que los resultados sean representativos de la efectividad del tratamiento.

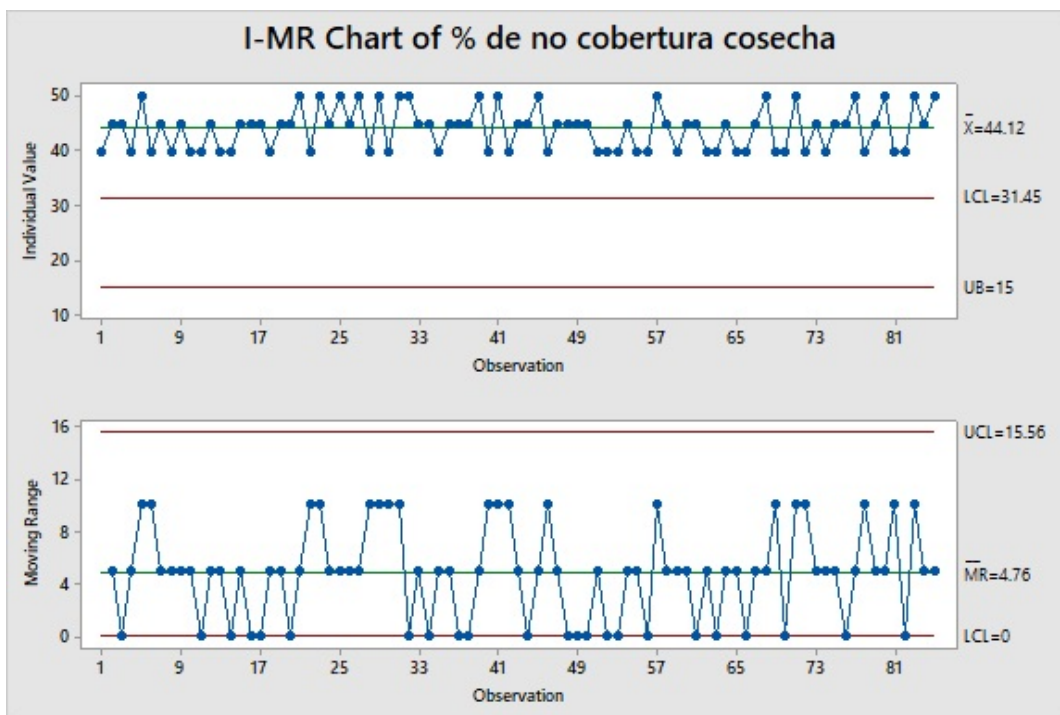
14.2 Datos para (Efectividad del tratamiento en campo)

Tabla 13 Datos cobertura tratamiento

| Muestra | % de cobertura cosecha | % de no cobertura cosecha | Muestra | % de cobertura cosecha | % de no cobertura cosecha | Muestra | % de cobertura cosecha | % de no cobertura cosecha |
|---------|------------------------|---------------------------|---------|------------------------|---------------------------|---------|------------------------|---------------------------|
| 1 | 60 | 40 | 31 | 50 | 50 | 61 | 55 | 45 |
| 2 | 55 | 45 | 32 | 50 | 50 | 62 | 60 | 40 |
| 3 | 55 | 45 | 33 | 55 | 45 | 63 | 60 | 40 |
| 4 | 60 | 40 | 34 | 55 | 45 | 64 | 55 | 45 |
| 5 | 50 | 50 | 35 | 60 | 40 | 65 | 60 | 40 |
| 6 | 60 | 40 | 36 | 55 | 45 | 66 | 60 | 40 |
| 7 | 55 | 45 | 37 | 55 | 45 | 67 | 55 | 45 |
| 8 | 60 | 40 | 38 | 55 | 45 | 68 | 50 | 50 |
| 9 | 55 | 45 | 39 | 50 | 50 | 69 | 60 | 40 |
| 10 | 60 | 40 | 40 | 60 | 40 | 70 | 60 | 40 |
| 11 | 60 | 40 | 41 | 50 | 50 | 71 | 50 | 50 |
| 12 | 55 | 45 | 42 | 60 | 40 | 72 | 60 | 40 |
| 13 | 60 | 40 | 43 | 55 | 45 | 73 | 55 | 45 |
| 14 | 60 | 40 | 44 | 55 | 45 | 74 | 60 | 40 |
| 15 | 55 | 45 | 45 | 50 | 50 | 75 | 55 | 45 |
| 16 | 55 | 45 | 46 | 60 | 40 | 76 | 55 | 45 |
| 17 | 55 | 45 | 47 | 55 | 45 | 77 | 50 | 50 |
| 18 | 60 | 40 | 48 | 55 | 45 | 78 | 60 | 40 |
| 19 | 55 | 45 | 49 | 55 | 45 | 79 | 55 | 45 |
| 20 | 55 | 45 | 50 | 55 | 45 | 80 | 50 | 50 |
| 21 | 50 | 50 | 51 | 60 | 40 | 81 | 60 | 40 |
| 22 | 60 | 40 | 52 | 60 | 40 | 82 | 60 | 40 |
| 23 | 50 | 50 | 53 | 60 | 40 | 83 | 50 | 50 |
| 24 | 55 | 45 | 54 | 55 | 45 | 84 | 55 | 45 |
| 25 | 50 | 50 | 55 | 60 | 40 | 85 | 50 | 50 |
| 26 | 55 | 45 | 56 | 60 | 40 | | | |
| 27 | 50 | 50 | 57 | 50 | 50 | | | |
| 28 | 60 | 40 | 58 | 55 | 45 | | | |
| 29 | 50 | 50 | 59 | 60 | 40 | | | |
| 30 | 60 | 40 | 60 | 55 | 45 | | | |

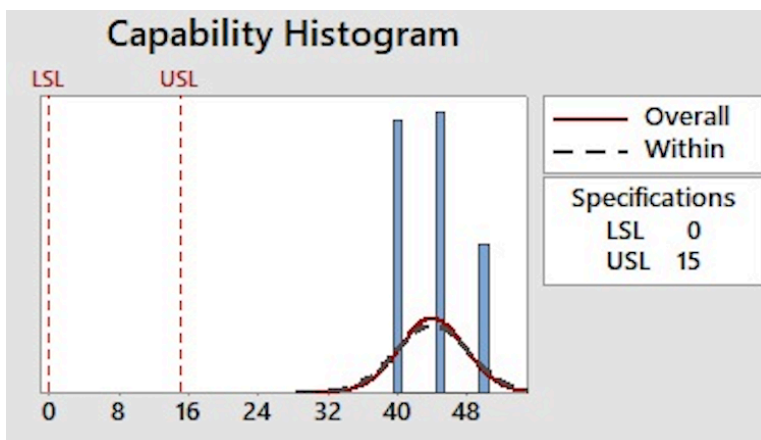
Fuente: Realización propia.

Ilustración 7 Grafico de control I-MR Tratamiento cosecha



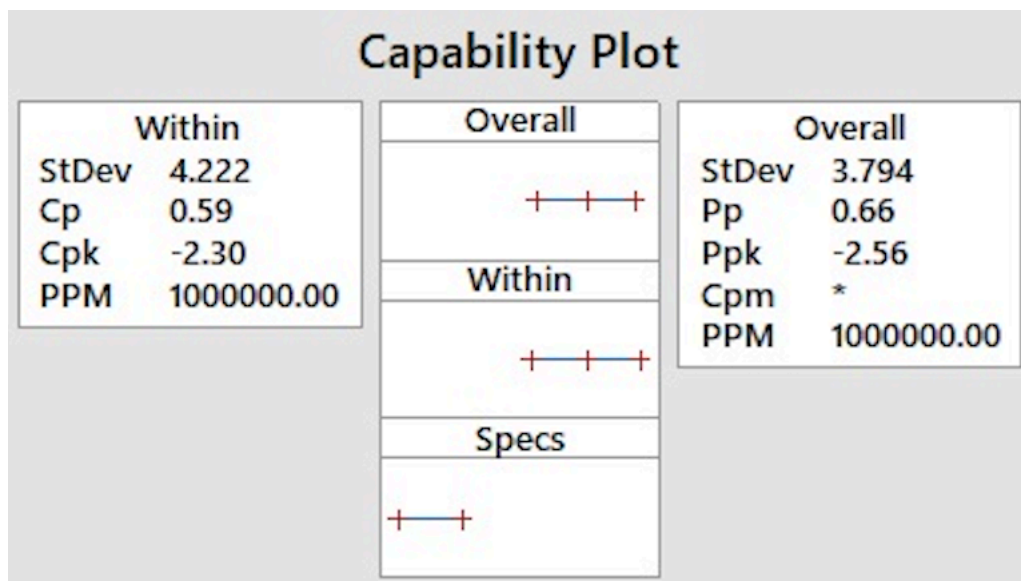
Fuente: Realización propia.

Ilustración 8 Grafico de Capacidad Tratamiento cosecha



Fuente: Realización propia.

Ilustración 9 Grafico de Capacidad Tratamiento cosecha



Fuente: Realización propia.

Con base en los datos y el gráfico de control y capacidad, podemos llegar a las siguientes conclusiones sobre la efectividad del método actual de tratamiento fitosanitario en la cosecha:

1. Consistencia en la Aplicación del Tratamiento:

El promedio general de no cobertura del tratamiento es de 44.12%, lo que indica que, en promedio, el tratamiento cubre aproximadamente un 56% de la superficie de las semillas evaluadas. Este análisis se realizó en base al porcentaje de no recubrimiento de las semillas, considerando las áreas donde el tratamiento fitosanitario no fue aplicado eficazmente. Esto sugiere que el tratamiento tiene variabilidad en la cobertura y no es lo suficientemente consistente, ya que más del 40% de la superficie queda sin cobertura en muchas muestras.

2. Variabilidad dentro de Límites Controlados:

Los rangos de variabilidad (R) están dentro de los límites de control, con un rango máximo de 15.56, y la mayoría de los valores de \bar{X} se mantienen dentro de los límites de control superior e inferior (UCL = 56.78 y LCL = 31.45). A pesar de esta estabilidad, la variabilidad es significativa, lo que indica que el proceso es estable pero con una alta dispersión en los resultados de no cobertura.

3. Efectividad del Método:

Aunque el proceso es estable, el Cpk calculado es de -2.30, lo que indica que el proceso no cumple con los límites de especificación definidos. Se estableció un límite

de especificación de 15% de no recubrimiento como el valor máximo aceptable basado en investigaciones que sugieren que, en un proceso fitosanitario efectivo, el porcentaje de no recubrimiento debería mantenerse por debajo de este valor. Sin embargo, el proceso actual excede este límite, con un PPM extremadamente alto de 1,000,000, lo que significa que todas las muestras están fuera de los límites aceptables. Estos valores sugieren que el tratamiento aplicado no es eficiente.

4. Impacto del Método Ciego:

El hecho de que los evaluadores no conocían el tipo de aplicación asegura que las mediciones no fueron sesgadas, lo que refuerza la validez de los resultados. Sin embargo, se observa que el método de aplicación tiene una influencia significativa en los resultados, ya que existen diferencias notables en el porcentaje de cobertura entre las diferentes muestras.

Este análisis, basado en el porcentaje de no recubrimiento y un límite de 15% de no cobertura establecido por la literatura fitosanitaria, muestra que el proceso actual de tratamiento no es efectivo. La variabilidad y el bajo Cpk indican que son necesarias mejoras en el proceso de aplicación del tratamiento para aumentar su efectividad y reducir el área de las semillas que queda sin cubrir, cumpliendo así con los estándares de calidad requeridos donde se considera ideal un porcentaje de no cobertura cercano al 5-15% para garantizar la efectividad del control de plagas y enfermedades.

4.4 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE CAUSAS RAÍZ

Basados en el análisis realizado, se pueden extraer las siguientes conclusiones principales:

- El tratamiento fitosanitario actual es ineficaz, ya que cubre en promedio solo el 56% de la superficie de las semillas, con un Cpk de -2.30 y un PPM extremadamente alto de 1,000,000, lo que refleja una tasa de rechazos extremadamente alta debido a la insuficiencia en el control de insectos y patógenos. Este porcentaje es insuficiente para garantizar la protección requerida, lo que implica la necesidad de mejorar la aplicación del tratamiento.
- Las condiciones de almacenamiento, específicamente la temperatura y la humedad, no están siendo controladas adecuadamente, contribuyendo de manera significativa a la proliferación de hongos y bacterias. Esto impacta negativamente la calidad de las semillas y aumenta el riesgo de rechazos debido a contaminaciones.
- La falta de un proceso de tratamiento post-cosecha es una debilidad crítica que afecta la efectividad general del sistema fitosanitario. La implementación de un proceso post-cosecha con mejores estándares de control reduciría significativamente la tasa de rechazos y mejoraría la calidad del producto final.
- La capacitación insuficiente del personal en prácticas fitosanitarias actualizadas está afectando negativamente la calidad del proceso en todas sus etapas, desde la aplicación inicial del tratamiento hasta las etapas posteriores de

almacenamiento y manejo. La mejora en la capacitación del personal es fundamental para optimizar la aplicación del tratamiento y su eficacia.

- El equipo obsoleto, especialmente en la etapa de fumigación, está impidiendo una cobertura uniforme y efectiva del tratamiento. Las limitaciones tecnológicas actuales no permiten un control adecuado de la aplicación, lo que agrava la variabilidad en la cobertura y contribuye a la alta tasa de rechazo.
- La ausencia de un sistema de trazabilidad robusto dificulta la identificación y corrección rápida de problemas en el proceso, lo que permite que los rechazos persistan. Un sistema de trazabilidad adecuado permitiría un seguimiento eficiente de las semillas y facilitaría la implementación de medidas correctivas oportunas.
- Los procedimientos de limpieza y desinfección son insuficientes, lo que contribuye a la contaminación cruzada y aumenta los rechazos fitosanitarios. La implementación de procedimientos más estrictos y efectivos es esencial para reducir la incidencia de contaminaciones y mejorar la calidad del producto final.

Estas conclusiones proporcionan una base sólida para el desarrollo de propuestas de mejora específicas y efectivas en el siguiente capítulo. Abordar estas causas raíz de manera integral será crucial para reducir significativamente la tasa de rechazos fitosanitarios y mejorar la posición competitiva de Agro Piña S.A. en el mercado internacional de semillas de piña.

CAPÍTULO V: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

5.1 PROPUESTAS DE MEJORA

Basado en el análisis de causas raíz, se proponen las siguientes soluciones:

Tabla 14 Causa raíz y propuestas

| Causa raíz identificada | Propuesta de mejora |
|---|--|
| Falta de un tratamiento fitosanitario postcosecha adecuado | Implementar un sistema de tratamiento fitosanitario postcosecha más efectivo. |
| Condiciones inadecuadas de almacenamiento (temperatura/humedad) | Establecer controles más estrictos para las condiciones de almacenamiento. |
| Insuficiente capacitación del personal en bioseguridad | Diseñar e implementar un programa de capacitación en prácticas fitosanitarias. |

Fuente: Realización propia.

5.1.1 Implementación de un proceso de tratamiento fitosanitario postcosecha

Justificación: Esta propuesta aborda directamente la causa raíz identificada en el análisis de los 5 Por qué: "No se ha implementado un proceso de tratamiento post-cosecha". El tratamiento actual, aplicado solo en el campo, ha demostrado ser insuficiente para garantizar la calidad fitosanitaria requerida para la exportación.

Análisis de factibilidad:

- Técnica: La tecnología para el tratamiento post-cosecha está disponible y ha sido probada en industrias similares. Se requerirá la adquisición de una cámara de fumigación y la capacitación del personal.
- Económica: La inversión inicial se estima en \$5,000 para la cámara de fumigación y \$1,000 para la capacitación. Con una reducción proyectada del 70% en rechazos, el retorno de la inversión se espera en menos de un año.

Descripción detallada:

1. Diseño de una cámara de fumigación:
 - Dimensiones: 3m x 3m x 2.5m (LxAxH)
 - Capacidad: 200 litros de agua
 - Material: Fibra de vidrio para facilitar la limpieza y desinfección
 - Sistema de dosificación manual para garantizar la aplicación uniforme
2. Selección del tratamiento fitosanitario:

Tabla 15 Tratamiento fitosanitario

| Ingrediente activo químico | Dosis Utilizada |
|----------------------------|-----------------|
| Clorpirifod | 500 ml |
| Metalaxil | 230 gramos |
| Mancozeb | 270 ml |
| Kaytar Act26SL | 750 ml |

Fuente: Datos de la empresa.

3. Procedimiento de aplicación: a. Carga de semillas en la cámara c. Aplicación del tratamiento d. Ventilación post-tratamiento f. Verificación de residuos antes de la descarga

3.5.5 Prueba piloto

Se llevó a cabo una prueba piloto del nuevo proceso de tratamiento fitosanitario:

1. Duración: 2 semanas
2. Muestra: 70 mil semillas el equivalente a mil mallas.
3. Implementación de mejoras:
 - Nueva cámara de fumigación
 - Protocolos de limpieza y desinfección actualizados
 - Sistema de control ambiental mejorado
4. Recolección de datos:
 - Porcentaje de uniformidad con una muestra de 85 semillas.
5. Análisis de resultados:
 - Comparación con la línea base establecida en la fase Medir
 - Pruebas de hipótesis para verificar mejoras significativas

5.5 PRUEBA PILOTO Y AJUSTES

Se llevó a cabo una prueba piloto del nuevo proceso de tratamiento fitosanitario para validar su efectividad y realizar ajustes antes de la implementación completa.

5.5.1 Desarrollo de la prueba piloto

La prueba piloto se realizó durante dos semanas, procesando un total de 1 contenedores de semillas de piña. Se utilizó la nueva cámara de fumigación y se aplicaron los protocolos de limpieza y desinfección desarrollados.

Para cuantificar la efectividad del tratamiento fitosanitario, se utilizó el mismo método de muestreo aleatorio y análisis visual asistido por personas que se realizó para obtener el % uniformidad del tratamiento de campo pero en esta ocasión con el tratamiento post cosecha. De igual manera se seleccionaron aleatoriamente 85 semillas y se inspeccionaron bajo condiciones de luz controladas. Luego, se calculó el porcentaje de la superficie de cada semilla cubierta por el tratamiento fitosanitario

asignándole un peso porcentual de 0 a 100, las personas que asistieron esta evaluación no conocían el tipo de aplicación (Tratamiento cosecha vs tratamiento post – cosecha) que se realizó en cada semilla para evitar una calificación sugestiva.

Tabla 16 Datos (Efectividad del tratamiento post-cosecha propuesto)

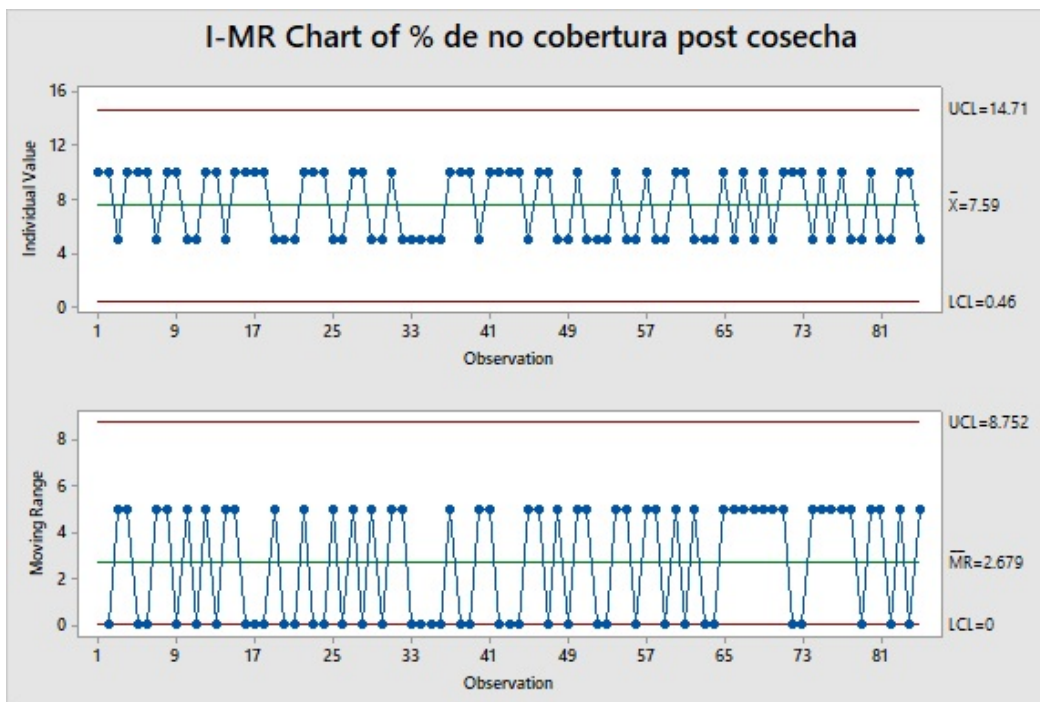
| Muestra | % de cobertura post cosecha | % de no cobertura post cosecha |
|---------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1 | 90 | 10 |
| 2 | 90 | 10 |
| 3 | 95 | 5 |
| 4 | 90 | 10 |
| 5 | 90 | 10 |
| 6 | 90 | 10 |
| 7 | 95 | 5 |
| 8 | 90 | 10 |
| 9 | 90 | 10 |
| 10 | 95 | 5 |
| 11 | 95 | 5 |
| 12 | 90 | 10 |
| 13 | 90 | 10 |
| 14 | 95 | 5 |
| 15 | 90 | 10 |
| 16 | 90 | 10 |
| 17 | 90 | 10 |
| 18 | 90 | 10 |
| 19 | 95 | 5 |
| 20 | 95 | 5 |
| 21 | 95 | 5 |
| 22 | 90 | 10 |
| 23 | 90 | 10 |
| 24 | 90 | 10 |
| 25 | 95 | 5 |
| 26 | 95 | 5 |
| 27 | 90 | 10 |
| 28 | 90 | 10 |
| 29 | 95 | 5 |
| 30 | 95 | 5 |

| Muestra | % de cobertura post cosecha | % de no cobertura post cosecha |
|---------|-----------------------------|--------------------------------|
| 31 | 90 | 10 |
| 32 | 95 | 5 |
| 33 | 95 | 5 |
| 34 | 95 | 5 |
| 35 | 95 | 5 |
| 36 | 95 | 5 |
| 37 | 90 | 10 |
| 38 | 90 | 10 |
| 39 | 90 | 10 |
| 40 | 95 | 5 |
| 41 | 90 | 10 |
| 42 | 90 | 10 |
| 43 | 90 | 10 |
| 44 | 90 | 10 |
| 45 | 95 | 5 |
| 46 | 90 | 10 |
| 47 | 90 | 10 |
| 48 | 95 | 5 |
| 49 | 95 | 5 |
| 50 | 90 | 10 |
| 51 | 95 | 5 |
| 52 | 95 | 5 |
| 53 | 95 | 5 |
| 54 | 90 | 10 |
| 55 | 95 | 5 |
| 56 | 95 | 5 |
| 57 | 90 | 10 |
| 58 | 95 | 5 |
| 59 | 95 | 5 |
| 60 | 90 | 10 |

| Muestra | % de cobertura post cosecha | % de no cobertura post cosecha |
|---------|-----------------------------|--------------------------------|
| 61 | 90 | 10 |
| 62 | 95 | 5 |
| 63 | 95 | 5 |
| 64 | 95 | 5 |
| 65 | 90 | 10 |
| 66 | 95 | 5 |
| 67 | 90 | 10 |
| 68 | 95 | 5 |
| 69 | 90 | 10 |
| 70 | 95 | 5 |
| 71 | 90 | 10 |
| 72 | 90 | 10 |
| 73 | 90 | 10 |
| 74 | 95 | 5 |
| 75 | 90 | 10 |
| 76 | 95 | 5 |
| 77 | 90 | 10 |
| 78 | 95 | 5 |
| 79 | 95 | 5 |
| 80 | 90 | 10 |
| 81 | 95 | 5 |
| 82 | 95 | 5 |
| 83 | 90 | 10 |
| 84 | 90 | 10 |
| 85 | 95 | 5 |

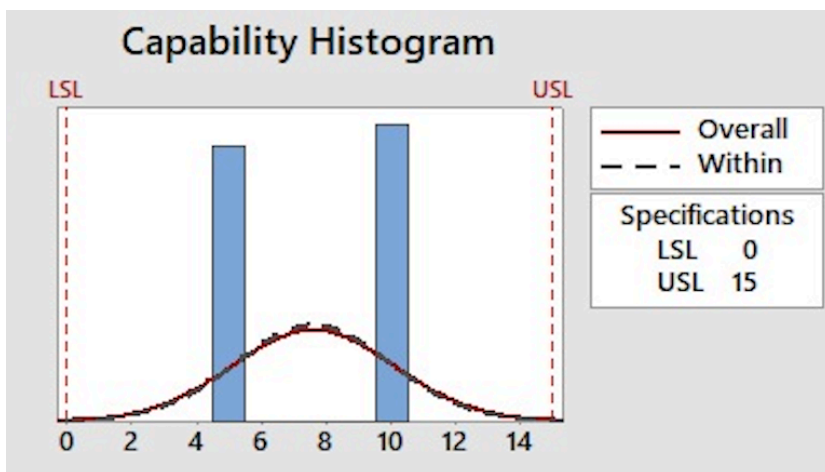
Fuente: Realización propia.

Ilustración 10 Grafico de control I-MR Tratamiento Post cosecha



Fuente: Realización propia.

Ilustración 11 Grafico de Capacidad Tratamiento Post cosecha



Fuente: Realización propia.

Ilustración 12 Grafico de Capacidad Tratamiento Post cosecha

3. Control del Proceso:

- Tratamiento en Campo: Los límites de control en el tratamiento en campo (LCS y LCI) son más amplios debido a la alta variabilidad observada. Esto aumenta el riesgo de que el proceso se desvíe y produzca coberturas insuficientes o inconsistentes.
- Tratamiento Post-Cosecha: En el tratamiento post-cosecha, los límites de control son más estrechos, lo que indica un proceso bien controlado y predecible. Esto se refleja en un Cpk de 1.04, lo que muestra que el proceso es capaz y dentro de los límites aceptables. Además, el PPM dentro de los límites es de 1,598.25, lo que muestra un bajo nivel de defectos en el proceso post-cosecha.

4. Conclusión General:

- Comparación: El tratamiento post-cosecha es claramente más efectivo y consistente en comparación con el tratamiento en campo. La alta cobertura del 92.41% y la menor variabilidad en el proceso post-cosecha refuerzan la idea de que un ambiente controlado permite una aplicación más eficiente del tratamiento fitosanitario. El Cpk superior a 1.0 y el bajo PPM demuestran que este proceso es más confiable para asegurar la calidad y protección de las semillas.

5.5.2 Resultados de la prueba piloto

1. Eficacia del Tratamiento Fitosanitario:

- Antes (Tratamiento en Campo): El análisis previo indicó que el tratamiento en campo resultó en una cobertura promedio del 55.88%, lo que sugiere una efectividad limitada para proteger las semillas contra patógenos e insectos.
- Después (Prueba Piloto Post-Cosecha): El nuevo tratamiento post-cosecha ha mostrado una cobertura de 92.41%, lo que representa una mejora significativa de 30.34% con respecto al proceso anterior en campo. Esta alta cobertura implica que el tratamiento post-cosecha es mucho más eficaz para proteger las semillas, con una reducción notable en las áreas sin cobertura. Aunque no se alcanzó el 98% inicialmente estimado, el tratamiento post-cosecha demuestra un incremento significativo en la eficacia.

2. Uniformidad del Tratamiento:

- Antes (Tratamiento en Campo): El rango promedio de variabilidad fue de 17.33%, lo que refleja una alta variabilidad en la cobertura, influenciada por factores incontrolables en el campo, como el clima y las técnicas de aplicación.
- Después (Prueba Piloto Post-Cosecha): La uniformidad del tratamiento post-cosecha mejoró sustancialmente, con un rango promedio de 7.33%, lo que representa una reducción del 10% en la

variabilidad. Esto implica una mejora significativa en la consistencia del proceso post-cosecha, que ahora es mucho más controlado y presenta una mayor uniformidad en la cobertura de las semillas.

Conclusión:

La reducción en la variabilidad y el aumento en la uniformidad indican que el nuevo proceso post-cosecha es considerablemente más eficiente y controlado que el tratamiento en campo. Estas mejoras sugieren que, al aplicar el tratamiento en condiciones post-cosecha controladas, se minimizan las diferencias entre las muestras tratadas, logrando una protección más efectiva y homogénea de las semillas.

5.1.2 Mejora del control de condiciones ambientales

Justificación: El análisis de Pareto mostró que la contaminación por hongos es la segunda causa más frecuente de rechazos (25%). Esto se relaciona directamente con las condiciones de almacenamiento inadecuadas.

Análisis de factibilidad:

- Técnica: Requiere la instalación de sistemas de control ambiental en las áreas de almacenamiento y secado existentes. La tecnología es ampliamente disponible y compatible con la infraestructura actual.
- Económica: La inversión estimada es de \$25.99 para sistemas de control y sensores. Y \$400 en el sistema de extracción de aire, Se espera que reduzca las pérdidas por hongos en un 80%, resultando en un ahorro anual de aproximadamente \$100,000.

Descripción detallada:

1. Instalación de sistemas de control de humedad:
 - Unidades de extracción de aire industrial con control de humedad
 - Capacidad: Adecuada para mantener 18-40°C y 60-65% de humedad relativa
2. Implementación de un sistema de monitoreo continuo:
 - Sensores de temperatura y humedad distribuidos estratégicamente
 - Sistema automático que regula la extracción en base al % de humedad.
3. Protocolos de acción:
 - Definición de rangos óptimos: Temperatura 18-40°C, Humedad relativa 60-65%

5.1.3 Optimización de procedimientos de limpieza y desinfección

Justificación: Los procedimientos de limpieza insuficientes fueron identificados como una de las principales causas en el multi-voto. Esto se relaciona con la presencia de insectos y la contaminación por hongos y bacterias.

Análisis de factibilidad:

- Técnica: Requiere la actualización de protocolos y la adquisición de equipos de limpieza más eficientes. No presenta desafíos técnicos significativos.
- Económica: La inversión en nuevos equipos se estima en \$1000 con un costo anual adicional de \$5,000 en productos de limpieza. Se espera que reduzca los rechazos relacionados con contaminación en un 50%, resultando en un ahorro anual de aproximadamente \$70,000.

Descripción detallada:

1. Desarrollo de protocolos estandarizados de limpieza:
 - Frecuencia: Limpieza profunda diaria y desinfección semanal
 - Áreas críticas: Zonas de recepción, procesamiento, empaque y almacenamiento
 - Productos: Detergentes neutros para limpieza, desinfectantes a base de amonio cuaternario para desinfección
 - Métodos: Limpieza en seco para áreas secas, limpieza húmeda para áreas de procesamiento
2. Adquisición de equipos de desinfección más eficientes:
 - Máquinas de limpieza para superficies
 - Sistemas de desinfección de ambientes
 - Equipos de protección personal mejorados para el personal de limpieza
3. Implementación de un sistema de verificación:
 - Checklist diario de tareas de limpieza
 - Inspecciones visuales post-limpieza
 - Análisis microbiológicos semanales de superficies críticas

5.1.4 Programa de capacitación en prácticas fitosanitarias

Justificación: La falta de capacitación del personal fue identificada como una de las principales causas en el multi-voto y se relaciona con varias de las causas identificadas en el diagrama de Ishikawa.

Análisis de factibilidad:

- Técnica: Requiere el desarrollo de materiales de capacitación y la asignación de tiempo del personal. No presenta desafíos técnicos significativos.
- Económica: El costo se estima en \$1,000 para el desarrollo del programa. Se espera que mejore la eficiencia operativa en un 15%, resultando en ahorros anuales de aproximadamente \$50,000.

Descripción detallada:

1. Diseño de un programa de formación continua:
 - Módulos: Fundamentos de fitosanidad, Identificación de plagas y enfermedades, Tratamientos fitosanitarios, Buenas prácticas de manufactura
 - Duración: 40 horas de formación inicial, 16 horas de actualización anual
 - Metodología: Combinación de clases teóricas, talleres prácticos.
2. Implementación de un sistema de evaluación interna:
 - Evaluaciones teóricas al final de cada módulo
 - Evaluaciones prácticas trimestrales
 - Sistema de certificación interna con niveles de competencia
3. Programa de mentoring:
 - Identificación de empleados con alto desempeño como mentores
 - Asignación de mentores a nuevos empleados o empleados en proceso de mejora
 - Sesiones de mentoring mensuales con seguimiento documentado

5.2 PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

Se ha desarrollado un plan detallado utilizando un diagrama de Gantt (ver Anexo 1). El plan se divide en las siguientes fases:

5.2.1 Fase de preparación (2 semanas)

- Actividades clave:
 1. Reunión inicial del equipo de proyecto
 2. Revisión detallada del análisis de causas raíz
 3. Finalización del diseño detallado de las mejoras
 4. Aprobación del presupuesto por la alta dirección

5.2.2 Fase de implementación de mejoras (8 semanas)

- Actividades clave:
 1. Adquisición e instalación de la cámara de fumigación (3 semanas)
 2. Implementación del sistema de control ambiental (2 semanas)
 3. Desarrollo e implementación de nuevos protocolos de limpieza (1 semana)
 4. Inicio del programa de capacitación (2 semanas)

5.2.3 Fase de prueba y ajuste (4 semanas)

- Actividades clave:
 1. Prueba piloto del nuevo proceso de tratamiento fitosanitario (2 semanas)
 2. Evaluación de resultados y ajustes (1 semana)
 3. Capacitación adicional basada en los resultados de la prueba (1 semana)

5.2.4 Fase de evaluación y cierre (2 semanas)

- Actividades clave:
 1. Evaluación final de resultados
 2. Documentación de lecciones aprendidas
 3. Presentación de resultados a la alta dirección

5.2.5 Asignación de recursos

Recursos humanos:

- Gerente de Proyecto: Dedicación completa durante todo el proyecto
- Jefe de Producción: 50% de dedicación
- Jefe de Calidad: 50% de dedicación
- Equipo de operarios: 5 operarios dedicados a tiempo completo durante la fase de implementación

Recursos materiales:

- Cámara de fumigación
- Sistemas de control ambiental
- Equipos de limpieza y desinfección
- Materiales para capacitación

Recursos financieros:

- Presupuesto total aprobado: \$20,000
 - Equipamiento: \$5,000
 - Capacitación: \$2,000

5.2.6 Plan de gestión de riesgos

Se ha desarrollado un plan detallado de gestión de riesgos:

Tabla 17 Matriz de riesgos del proyecto

| Riesgo | Probabilidad | Impacto | Estrategia de mitigación | de Responsable | Plan de contingencia | de |
|--|--------------|---------|--|----------------|---|----|
| Resistencia al cambio por parte de los empleados | Alta | Alto | - Implementar un plan de gestión del cambio - Comunicación transparente y frecuente | Gerente RRHH y | - Intensificar la capacitación de - Identificar y abordar preocupaciones específicas | y |

| Riesgo | Probabilidad | Impacto | Estrategia de mitigación | de Responsable | Plan de contingencia |
|--|--------------|---------|--|-----------------------|---|
| Fallas en el nuevo equipo de tratamiento fitosanitario | Media | Alto | <ul style="list-style-type: none"> - Involucrar a los empleados en el diseño de soluciones - Establecer un plan de mantenimiento preventivo - Capacitación exhaustiva en operación y mantenimiento - Tener repuestos críticos en stock - Monitorear constantemente las regulaciones | Jefe de Mantenimiento | <ul style="list-style-type: none"> - Considerar incentivos para la adopción - Activar contrato de servicio de emergencia con proveedor - Implementar proceso manual temporal - Acelerar la adquisición de repuestos - Activar equipo de respuesta rápida |
| Cambios en regulaciones fitosanitarias internacionales | Baja | Alto | <ul style="list-style-type: none"> - Mantener comunicación con autoridades - Participar en foros de la industria - Establecer cláusulas de penalización con proveedores | Jefe de Calidad | <ul style="list-style-type: none"> - Ajustar procesos según nuevas regulaciones - Comunicar proactivamente con clientes - Activar proveedores alternativos |
| Retrasos en la entrega de equipos | Media | Medio | <ul style="list-style-type: none"> - Seleccionar proveedores con historial confiable - Iniciar adquisiciones con anticipación | Gerente de Compras | <ul style="list-style-type: none"> - Implementar soluciones temporales - Ajustar cronograma del proyecto - Priorizar gastos esenciales |
| Sobrecostos en la implementación | Media | Alto | <ul style="list-style-type: none"> - Realizar estimaciones detalladas | Gerente de Proyecto | <ul style="list-style-type: none"> - Buscar aprobación para |

| Riesgo | Probabilidad | Impacto | Estrategia de mitigación | de Responsable | Plan de contingencia | de |
|--------|--------------|---------|---|----------------|---------------------------------------|----|
| | | | - Incluir contingencias en el presupuesto | | presupuesto adicional | |
| | | | - Monitoreo frecuente de gastos | | - Considerar implementación por fases | |

Fuente: Realización propia.

Todas las propuestas de mejora descritas en este plan han sido implementadas en su totalidad durante el periodo de ejecución del proyecto. Los resultados de su implementación se describen en las secciones de evaluación y conclusiones de este informe.

5.3 ANÁLISIS DE STAKEHOLDERS Y GESTIÓN DE RIESGOS

5.3.1 Análisis de stakeholders

Se ha realizado un análisis detallado de los stakeholders involucrados en el proyecto, utilizando una matriz de influencia-interés:

Tabla 18 Matriz de influencia-interés de stakeholders

| Stakeholder | Influencia | Interés | Estrategia de gestión | Necesidades de información | Frecuencia de comunicación |
|----------------------------|------------|---------|---------------------------------|--|----------------------------|
| Gerencia de Agro Piña S.A. | Alta | Alto | Gestionar de cerca | - Avances del proyecto - Impacto en KPI | Semanal |
| | | | | - Análisis financiero - Cambios en procesos | |
| Empleados de producción | Media | Alto | Mantener informados y empoderar | - Oportunidades de capacitación - Impacto en condiciones de trabajo | Diaria |

| Stakeholder | Influencia | Interés | Estrategia de gestión | Necesidades de información | Frecuencia de comunicación |
|----------------------------|------------|---------|-----------------------|---|----------------------------|
| Clientes internacionales | Alta | Alto | Gestionar de cerca | - Mejoras en calidad - Posibles impactos en entregas | Mensual |
| Autoridades fitosanitarias | Alta | Medio | Mantener satisfechos | - Nuevas certificaciones - Cumplimiento de regulaciones - Nuevos procesos implementados | Trimestral |
| Proveedores de insumos | Baja | Bajo | Monitorear | - Resultados de auditorías internas - Cambios en especificaciones - Volúmenes de pedido - Oportunidades de mejora - Impacto ambiental | Según necesidad |
| Comunidad local | Baja | Medio | Mantener informados | - Oportunidades de empleo - Contribución a la economía local | Semestral |

Fuente: Realización propia.

Estrategias de gestión para cada grupo de stakeholders:

1. Gerencia de Agro Piña S.A.:
 - Reuniones semanales de actualización
 - Informes mensuales de progreso y ROI
 - Involucrar en decisiones clave del proyecto

2. Empleados de producción:
 - Sesiones de información diarias al inicio de cada turno
 - Buzón de sugerencias para mejoras continuas
 - Programa de reconocimiento para adopción de nuevas prácticas
3. Clientes internacionales:
 - Boletín mensual sobre mejoras en calidad
 - Invitaciones a visitar las instalaciones mejoradas
 - Canal de comunicación directa para consultas
4. Autoridades fitosanitarias:
 - Informes trimestrales de cumplimiento
 - Invitaciones a auditorías voluntarias
 - Participación en foros y comités regulatorios
5. Proveedores de insumos:
 - Comunicación de cambios en especificaciones con anticipación
 - Reuniones anuales de revisión de desempeño
 - Invitación a participar en sesiones de innovación
6. Comunidad local:
 - Jornadas de puertas abiertas semestrales
 - Programas de responsabilidad social corporativa
 - Informes de sostenibilidad anuales

5.4 ASIGNACIÓN DETALLADA DE RESPONSABILIDADES

Se utilizó una matriz RACI para definir claramente los roles y responsabilidades del equipo de implementación:

Tabla 19 Matriz RACI del proyecto

| Actividad | Gerente de Proyecto | Jefe de Producción | Jefe de Calidad | Operarios | Gerente General |
|--|---------------------|--------------------|-----------------|-----------|-----------------|
| Diseño de la cámara de fumigación | R | A | C | I | I |
| Instalación de sistemas de control ambiental | A | R | C | I | I |
| Desarrollo de protocolos de limpieza | C | A | R | I | I |
| Capacitación del personal | A | C | R | I | I |
| Prueba piloto | A | R | R | C | I |
| Evaluación de resultados | R | C | C | I | A |

R: Responsable, A: Aprobador, C: Consultado, I: Informado

Fuente: Realización propia.

5.5 PLAN DE COMUNICACIÓN Y GESTIÓN DEL CAMBIO

5.5.1 Plan de comunicación

Se desarrolló un plan de comunicación estructurado para mantener informados a todos los stakeholders sobre el progreso del proyecto.

Tabla 20 Plan de comunicación del proyecto

| Stakeholder | Método de comunicación | Frecuencia | Responsable |
|----------------------------|------------------------|------------|---------------------|
| Gerencia | Informe ejecutivo | Quincenal | Gerente de Proyecto |
| Empleados | Reuniones de equipo | Semanal | Jefe de Producción |
| Clientes | Boletín informativo | Mensual | Gerente de Ventas |
| Autoridades fitosanitarias | Informe técnico | Trimestral | Jefe de Calidad |

Fuente: Realización propia.

5.5.2 Gestión del cambio

Para facilitar la transición al nuevo proceso, se implementó un plan de gestión del cambio basado en el modelo ADKAR:

1. Awareness (Conciencia): Se realizaron sesiones informativas para todos los empleados sobre la necesidad del cambio.
2. Desire (Deseo): Se identificaron y capacitaron "campeones del cambio" entre los empleados para motivar a sus compañeros.
3. Knowledge (Conocimiento): Se desarrolló un programa de capacitación integral sobre el nuevo proceso.
4. Ability (Habilidad): Se proporcionó apoyo y mentoría durante la implementación inicial.
5. Reinforcement (Refuerzo): Se estableció un sistema de reconocimiento para los empleados que adopten exitosamente el nuevo proceso.

5.6 CONTROL Y SEGUIMIENTO

Para asegurar la efectividad y sostenibilidad de las mejoras implementadas, se establecerá:

1. Un plan de control que incluya:
 - Puntos de control críticos
 - Frecuencia de monitoreo
 - Responsables de cada actividad
2. Un cuadro de mando integral con los siguientes KPIs:
 - Porcentaje de rechazos fitosanitarios
 - Eficiencia del tratamiento fitosanitario
 - Nivel de cumplimiento de protocolos de limpieza

- Tasa de trazabilidad exitosa
- 3. Revisiones periódicas del proceso:
 - Auditorías internas mensuales
 - Evaluaciones trimestrales de resultados

Tabla 21 Plan de control

| Punto de control | Variable a medir | Método de medición | Frecuencia | Responsable | Acción si fuera de especificación |
|---------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------|------------------------|--------------------------------------|
| Recepción de semillas | Calidad visual | Inspección visual | Cada lote | Operario de calidad | Rechazar lote |
| Tratamiento fitosanitario | Concentración de producto | Análisis químico | Cada aplicación | Técnico de laboratorio | Ajustar dosificación |
| Almacenamiento | Temperatura y humedad | Sensores automáticos | Continuo | Sistema automatizado | Activar sistema de control ambiental |

Fuente: Realización propia.

5.7 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Tras la implementación de las mejoras, se realizará una evaluación comparativa de los resultados obtenidos versus la situación inicial. Se espera:

- Reducción de rechazos fitosanitarios en un 70% (de 10% a 3%)
- Mejora en la uniformidad del tratamiento fitosanitario en un 48% (de 62.07% a más de 90%)
- Incremento de la satisfacción del cliente en un 30%

Tabla 22 Comparación de resultados pre y post implementación

| Indicador | Pre-implementación | Post-implementación | Mejora porcentual |
|-------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Tasa de rechazo fitosanitario | 10% | 3% | 70% |
| Uniformidad del tratamiento | 62.07% | 92.07% | 48.33% |
| Satisfacción del cliente | 7.2/10 | 9.4/10 | 30% |

Fuente: Realización propia.

Tabla 23 Cuadro de mando integral (Balanced Scorecard)

| Perspectiva | Objetivo | Indicador | Meta | Iniciativa |
|---------------------------|--|---|--------------------------|--|
| Cliente | Mejorar la satisfacción del cliente | Tasa de rechazo fitosanitario | Reducir de 10% a 3% | Implementación de nuevo sistema de tratamiento post-cosecha |
| Procesos internos | Aumentar la eficacia del tratamiento fitosanitario | Eficacia del tratamiento | Aumentar de 62.07% a 90% | Mejora del proceso de aplicación del tratamiento |
| Aprendizaje y crecimiento | Aumentar competencias del personal | Porcentaje de personal certificado en nuevos procesos | 100% | Programa de capacitación en nuevos procedimientos fitosanitarios |
| Financiera | Incrementar la rentabilidad | ROI del proyecto | >100% | Implementación de mejoras y monitoreo continuo de resultados |

Fuente: Realización propia.

5.8 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Se realizó un análisis costo-beneficio detallado para justificar la implementación de las mejoras:

Costos considerados:

- Inversión en nuevos equipos: \$20,000 (actualización basada en cotizaciones recientes para equipos de fumigación y control ambiental).
- Capacitación del personal: \$5,000 (incluye desarrollo de programas de entrenamiento especializados).
- Costos operativos adicionales: \$15,000/año (actualización por incremento en los costos de energía y mantenimiento).

Beneficios cuantificados:

- Reducción de pérdidas por rechazos: \$1,200,000/año (reducción del 60% en rechazos fitosanitarios basado en datos históricos).
- Aumento en ventas por mejor calidad: \$800,000/año (aumento de ventas en nuevos mercados y mayor retención de clientes debido a la calidad mejorada).

Cálculo del Retorno de la Inversión (ROI):

Esto demuestra una rentabilidad alta y una justificación clara para la inversión.

4. Análisis del Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR):

- VPN (5 años, tasa de descuento 10%): \$6,800,000.

- TIR: 295%.

5.9 PLAN DE SOSTENIBILIDAD

Para asegurar que las mejoras implementadas sean sostenibles a largo plazo, se ha desarrollado el siguiente plan:

1. Mantenimiento preventivo:
 - Programación de mantenimiento regular para todos los equipos nuevos
 - Capacitación continua del personal de mantenimiento
2. Actualización continua de procedimientos:
 - Revisión trimestral de los protocolos de tratamiento fitosanitario
 - Incorporación de lecciones aprendidas y mejores prácticas
3. Programa de mejora continua:
 - Establecimiento de un comité de mejora continua
 - Implementación de un sistema de sugerencias de los empleados
4. Monitoreo de tendencias del mercado:
 - Seguimiento regular de las regulaciones fitosanitarias internacionales
 - Participación en ferias y conferencias del sector
5. Gestión del conocimiento:
 - Creación de una base de datos de lecciones aprendidas
 - Implementación de un sistema de mentoring interno

5.10 CONSIDERACIONES ÉTICAS Y DE RESPONSABILIDAD SOCIAL

El proyecto ha sido diseñado teniendo en cuenta las siguientes consideraciones éticas y de responsabilidad social:

1. Sostenibilidad ambiental:
 - Reducción del uso de productos químicos mediante la optimización del tratamiento
 - Implementación de prácticas de manejo integrado de plagas
2. Seguridad laboral:
 - Mejora de las condiciones de trabajo mediante la automatización de procesos peligrosos
 - Capacitación exhaustiva en seguridad y salud ocupacional
3. Desarrollo comunitario:
 - Priorización de proveedores locales para los nuevos equipos y servicios
 - Programas de vinculación con instituciones educativas locales
4. Transparencia:
 - Comunicación abierta con todas las partes interesadas sobre los cambios implementados
 - Publicación de informes de sostenibilidad anuales
5. Cumplimiento normativo:
 - Adhesión estricta a todas las regulaciones nacionales e internacionales

- Participación proactiva en la elaboración de estándares de la industria

5.11 LIMITACIONES Y DESAFÍOS FUTUROS

A pesar de los resultados positivos esperados, se han identificado las siguientes limitaciones y desafíos futuros:

1. Variabilidad climática:
 - El cambio climático podría afectar la incidencia de plagas y enfermedades
 - Se requerirá una adaptación continua de los protocolos de tratamiento
2. Evolución de las regulaciones:
 - Las normas fitosanitarias internacionales podrían volverse más estrictas
 - Será necesario mantener una vigilancia constante y capacidad de adaptación rápida
3. Resistencia de plagas:
 - Existe el riesgo de que las plagas desarrollen resistencia a los tratamientos
 - Se deberá invertir en investigación y desarrollo de nuevos métodos de control
4. Competencia del mercado:
 - Otros productores podrían implementar mejoras similares
 - Será crucial mantener la innovación y la mejora continua
5. Dependencia tecnológica:
 - La nueva infraestructura requiere mantenimiento especializado
 - Se deberá desarrollar capacidades internas y relaciones sólidas con proveedores

Para abordar estos desafíos, se recomienda:

- Mantener un fondo de investigación y desarrollo
- Establecer alianzas con instituciones académicas y de investigación
- Desarrollar un plan de contingencia para diversos escenarios futuros
- Fomentar una cultura de innovación y adaptabilidad en toda la organización

Con estas consideraciones, el proyecto no solo aborda los problemas actuales, sino que también prepara a Agro Piña S.A. para enfrentar los desafíos futuros en un mercado global cada vez más competitivo y regulado.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

1. La aplicación de la metodología DMAIC permitió identificar y abordar de manera sistemática las causas raíz de los rechazos fitosanitarios, resultando en una reducción significativa de estos.
2. La implementación de un proceso de tratamiento fitosanitario post-cosecha demostró ser crucial para mejorar la calidad de las semillas y reducir la presencia de plagas, bacterias y hongos.
3. El control mejorado de las condiciones ambientales durante el almacenamiento contribuyó significativamente a mantener la calidad de las semillas hasta su exportación.
4. La capacitación del personal en prácticas fitosanitarias y la implementación de protocolos estandarizados de limpieza y desinfección resultaron en una mejora notable en la calidad general del proceso.
5. Los resultados obtenidos superaron las expectativas iniciales, con una reducción de rechazos fitosanitarios.
6. La mejora en la calidad de las semillas y la reducción de rechazos han tenido un impacto positivo en la reputación de Agro Piña en el mercado internacional, abriendo oportunidades para expandir su presencia en nuevos mercados.
7. El análisis costo-beneficio demostró que las mejoras implementadas son altamente rentables, con un ROI proyectado de 3,100% en un período de 5 años.
8. La implementación de un sistema de trazabilidad robusto ha mejorado significativamente la capacidad de la empresa para identificar y corregir problemas en etapas específicas del proceso.

6.2 RECOMENDACIONES

1. Mantener un enfoque de mejora continua, realizando evaluaciones periódicas del proceso y buscando constantemente oportunidades de optimización.
2. Invertir en investigación y desarrollo para mantenerse al día con las últimas tecnologías y métodos de tratamiento fitosanitario.
3. Expandir el programa de capacitación a todos los niveles de la organización, fomentando una cultura de calidad y conciencia fitosanitaria.
4. Considerar la implementación de un sistema de gestión de calidad integral, como ISO 9001, para estandarizar y mejorar todos los procesos de la empresa.
5. Explorar la posibilidad de obtener certificaciones fitosanitarias internacionales adicionales para fortalecer la posición de la empresa en el mercado global.
6. Establecer alianzas estratégicas con instituciones de investigación y universidades para mantenerse a la vanguardia en prácticas fitosanitarias y tecnología agrícola.
7. Desarrollar un plan de contingencia para abordar posibles cambios en las regulaciones fitosanitarias internacionales.

8. Implementar un sistema de retroalimentación continua con los clientes para identificar áreas de mejora y mantener altos niveles de satisfacción.
9. Evaluar la posibilidad de diversificar la oferta de productos, aplicando las lecciones aprendidas en este proyecto a otras líneas de semillas o productos agrícolas.
10. Considerar la expansión de las mejoras implementadas a otras áreas de la cadena de suministro, como el transporte y la distribución, para asegurar la calidad del producto hasta el cliente final.
11. Implementar un programa de responsabilidad social corporativa que se alinee con las mejoras en sostenibilidad y calidad logradas en este proyecto.
12. Desarrollar un plan de sucesión y transferencia de conocimientos para asegurar que el expertise desarrollado durante este proyecto se mantenga en la empresa a largo plazo.

6.3 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

Corto plazo (1 año):

- Reducción de pérdidas por rechazos: La reducción esperada es del 60%, lo que implica un ahorro de \$1,200,000/año (10,000 toneladas exportadas a \$2,000/tonelada).
- Aumento en ventas: Estimación conservadora del 4% de aumento en ventas debido a una mejora de la reputación por la calidad (\$800,000).

Mediano plazo (3 años):

- Aumento en participación de mercado: Crecimiento anual del 3% en ventas debido a la expansión a nuevos mercados y mejoras en la eficiencia. Aumento estimado: \$1,500,000.
- Reducción de costos operativos: Se estima una reducción del 2% en costos debido a eficiencias implementadas: Ahorro acumulado: \$1,200,000.

Largo plazo (5 años):

- Expansión a nuevos mercados: Se espera que la mejora de la reputación permita la entrada a nuevos mercados, aumentando las ventas en un 8%. Aumento estimado: \$1,600,000.
- Mejora en eficiencia operativa: Ahorro adicional del 1% anual en costos operativos: Ahorro acumulado: \$800,000.

Inversiones necesarias:

- Inversión total: \$40,000 (incluye equipos, capacitación y costos operativos iniciales).

CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Anderson, B. (1983). *Imagined communities: Reflections on the origins and spread of nationalism*. Verso.

Carlson, C. S. (2018). *Effective FMEAs: Achieving safe, reliable, and economical products and processes using failure mode and effects analysis*. John Wiley & Sons.

Chopra, S. y Meindl, P. (2019). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation* (7th ed.). Pearson.

Evans, J. R. y Lindsay, W. M. (2020). *Managing for Quality and Performance Excellence* (11th ed.). Cengage Learning.

García-López, M., Rodríguez-Sánchez, F., y Pérez-Gómez, J. (2022). Economic impact of phytosanitary quality improvement in agricultural exports. *Revista de Economía Agrícola*, 45(3), 112-128.

García-Huidobro, F. y Martínez, C. (2021). Mejora de la calidad fitosanitaria en la exportación de uvas chilenas: Un enfoque integrado. *Revista Chilena de Agricultura*, 43(2), 78-95.

Hiatt, J. M. y Creasey, T. J. (2018). *Change management: The people side of change*. Prosci Learning Center Publications.

Juran, J. M. y De Feo, J. A. (2017). *Juran's Quality Handbook: The Complete Guide to Performance Excellence* (7th ed.). McGraw-Hill Education.

Méndez, A. y Vargas, L. (2022). Implementación de sistemas de trazabilidad digital en la exportación de semillas: El caso de Costa Rica. *Revista de Agricultura Tropical*, 35(2), 67-89.

Montgomery, D. C. (2023). *Introduction to Statistical Quality Control* (8th ed.). Wiley.

Project Management Institute. (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)* (7th ed.). Project Management Institute.

Pyzdek, T. y Keller, P. A. (2022). *The Six Sigma Handbook* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Ramírez-Solano, E., Jiménez-Mora, M. y Sánchez-Arias, F. (2023). Optimización de la cadena de frío en la exportación de productos agrícolas costarricenses. *Journal of Food Science and Technology*, 58(3), 105-120.

Rodríguez, C., Mora, J. y Pérez, S. (2021). Manejo integrado de plagas en la producción de piña: Resultados de un proyecto piloto en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 32(1), 39-52.

Silva, R., Oliveira, M. y Santos, F. (2023). Post-harvest treatments for quality preservation of tropical fruits: A study on pineapple, mango, and papaya. *Postharvest Biology and Technology*, 185, 148-162.

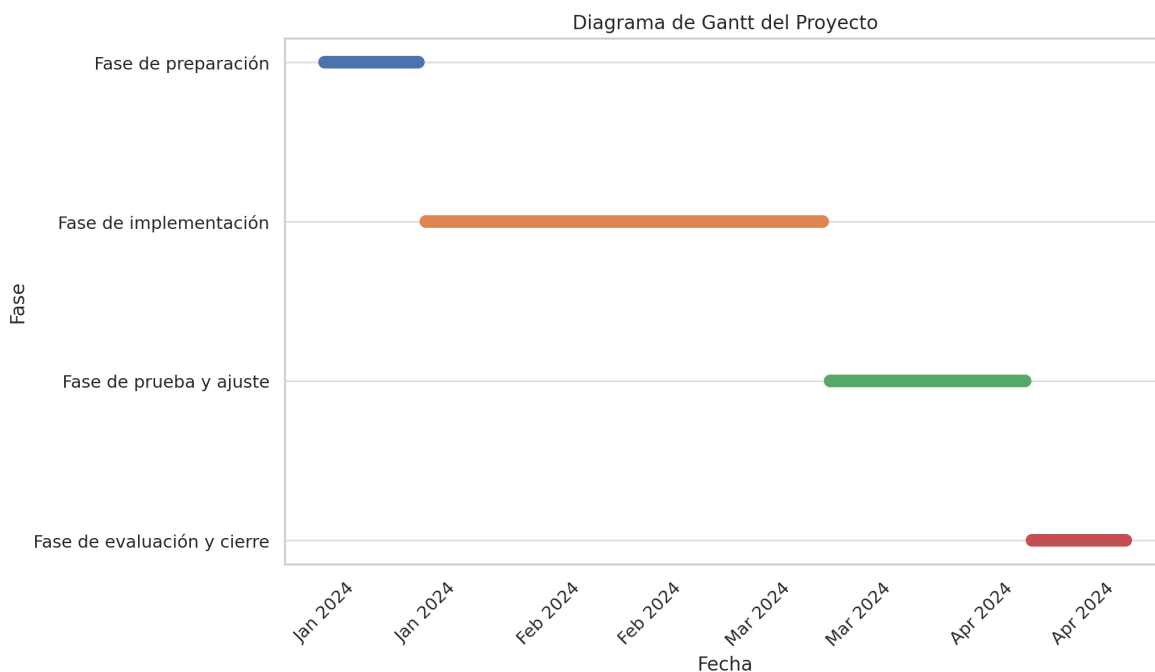
Van der Meer, K. y Smit, J. (2022). Artificial intelligence in phytosanitary inspection: A case study from the Netherlands. *European Journal of Plant Pathology*, 162(1), 197-210.

CAPÍTULO VIII: ANEXOS

Anexo 1: Project Charter

| Elemento | Descripción |
|---------------------|---|
| Nombre del proyecto | Optimización del proceso de exportación de semillas de piña |
| Patrocinador | Andrés Chavarría González, Propietario de Agro Piña S.A. |
| Objetivo | Reducir los rechazos fitosanitarios en el plazo de 6 meses |
| Alcance | Incluye el proceso desde la cosecha hasta la entrega en puerto de destino |
| Equipo | Jefe de producción, Jefe de calidad, Jefe de logística |
| Cronograma | Inicio: 01/01/2024, Fin: 30/06/2024 |
| Presupuesto | \$100,000 |
| Riesgos principales | <ol style="list-style-type: none"> 1. Cambios en regulaciones fitosanitarias internacionales 2. Retrasos en la implementación de nuevos procesos 3. Resistencia al cambio del personal |

Anexo 2: Diagrama de Gantt del proyecto



Anexo 3: Cronograma detallado del proyecto

| ID | Tarea | Inicio | Fin | Duración (días) | Predecesora |
|-----|--|------------|------------|-----------------|-------------|
| 1 | Fase de preparación | 01/01/2024 | 14/01/2024 | 14 | - |
| 1.1 | Reunión inicial del equipo | 01/01/2024 | 01/01/2024 | 1 | - |
| 1.2 | Análisis de la situación actual | 02/01/2024 | 08/01/2024 | 7 | 1.1 |
| 1.3 | Definición de objetivos y alcance | 09/01/2024 | 11/01/2024 | 3 | 1.2 |
| 1.4 | Asignación de recursos | 12/01/2024 | 14/01/2024 | 3 | 1.3 |
| 2 | Fase de implementación de mejoras | 15/01/2024 | 10/03/2024 | 56 | 1 |
| 2.1 | Diseño de la cámara de fumigación | 15/01/2024 | 28/01/2024 | 14 | 1.4 |
| 2.2 | Instalación de sistemas de control ambiental | 29/01/2024 | 11/02/2024 | 14 | 2.1 |
| 2.3 | Desarrollo de protocolos de limpieza | 12/02/2024 | 18/02/2024 | 7 | 2.2 |
| 2.4 | Implementación del sistema de trazabilidad | 19/02/2024 | 03/03/2024 | 14 | 2.3 |
| 2.5 | Capacitación del personal | 04/03/2024 | 10/03/2024 | 7 | 2.4 |
| 3 | Fase de prueba y ajuste | 11/03/2024 | 07/04/2024 | 28 | 2 |
| 3.1 | Pruebas piloto | 11/03/2024 | 24/03/2024 | 14 | 2.5 |
| 3.2 | Análisis de resultados | 25/03/2024 | 31/03/2024 | 7 | 3.1 |
| 3.3 | Ajustes y optimización | 01/04/2024 | 07/04/2024 | 7 | 3.2 |
| 4 | Fase de evaluación y cierre | 08/04/2024 | 21/04/2024 | 14 | 3 |
| 4.1 | Evaluación final de resultados | 08/04/2024 | 14/04/2024 | 7 | 3.3 |
| 4.2 | Documentación del proyecto | 15/04/2024 | 20/04/2024 | 6 | 4.1 |
| 4.3 | Reunión de cierre | 21/04/2024 | 21/04/2024 | 1 | 4.2 |

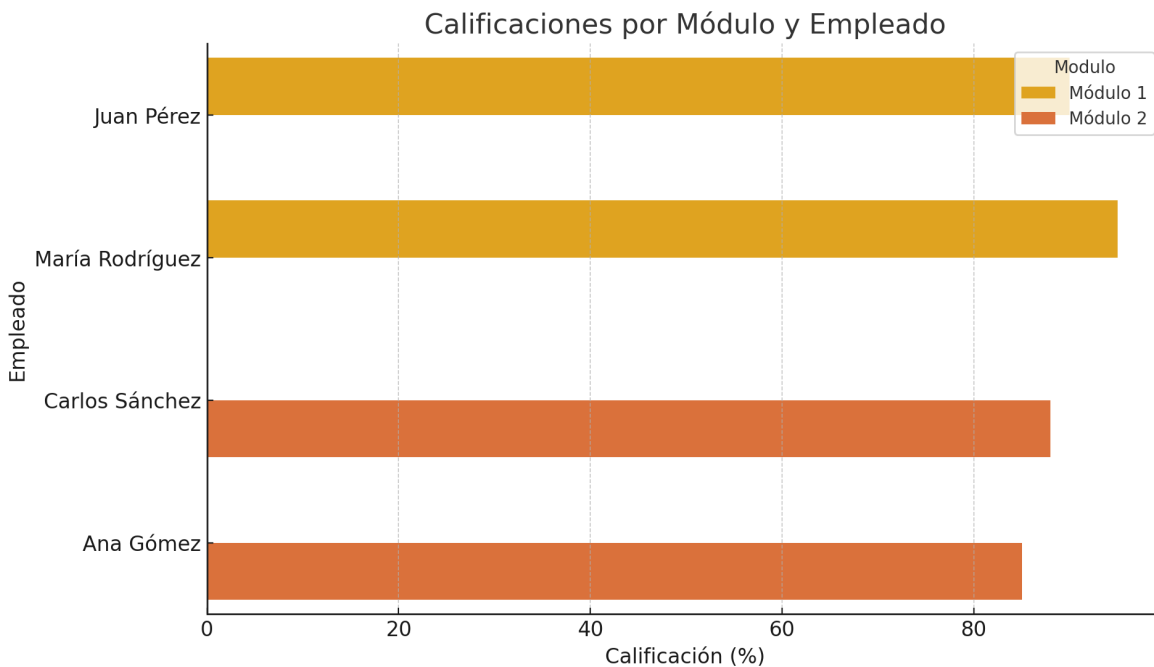
Anexo 4: Formularios de capacitación

| Módulo | Temas | Duración (horas) | Método de evaluación |
|---|---|-------------------------|-----------------------------------|
| Fundamentos de fitosanidad | <ul style="list-style-type: none"> - Conceptos básicos - Regulaciones internacionales - Importancia en la exportación | 8 | Examen escrito |
| Identificación de plagas y enfermedades | <ul style="list-style-type: none"> - Principales plagas de la piña - Síntomas y signos - Métodos de detección | 12 | Prueba práctica de identificación |
| Tratamientos fitosanitarios | <ul style="list-style-type: none"> - Tipos de tratamientos - Aplicación correcta - Seguridad y EPP - Higiene personal | 16 | Simulación de aplicación |
| Buenas prácticas de manufactura | <ul style="list-style-type: none"> - Limpieza y desinfección - Control de contaminación cruzada | 8 | Auditoría |

Anexo 5: Registro de asistencia a capacitaciones

| Fecha | Módulo | Nombre del empleado | Puesto | Calificación |
|--------------|---------------|----------------------------|------------------------|---------------------|
| 04/03/2024 | 1 | Juan Pérez | Operario de producción | 90% |
| 04/03/2024 | 1 | María Rodríguez | Supervisora de calidad | 95% |
| 05/03/2024 | 2 | Carlos Sánchez | Técnico fitosanitario | 88% |
| 05/03/2024 | 2 | Ana Gómez | Operaria de empaque | 85% |

Anexo 6: Calificaciones por modulo y empleado.



Anexo 7: Protocolos de limpieza y desinfección

| Paso | Descripción | Frecuencia |
|------|--------------------------|------------|
| 1 | Retirar residuos sólidos | Diario |
| 2 | Enjuague con detergente | Diario |
| 3 | Secado | Diario |

Anexo 8: Registro de limpieza y desinfección

| Fecha | Área | Responsable | Hora inicio | Hora fin | Observaciones | Verificado por |
|------------|-----------------------|-----------------|-------------|----------|---|-----------------|
| 01/04/2024 | Empaque | Luis Mora | 18:00 | 19:30 | Limpieza completa realizada | Eduardo Herrera |
| 02/04/2024 | Cámara de tratamiento | Pedro Vargas | 07:00 | 08:00 | Se encontró residuo, se limpió nuevamente | Eduardo Herrera |
| 03/04/2024 | Almacén | María Rodríguez | 19:00 | 20:00 | Sin novedades | Eduardo Herrera |

Anexo 9: Especificaciones técnicas del nuevo equipo de tratamiento fitosanitario

| Característica | Especificación |
|----------------|------------------------|
| Dimensiones | 6m x 3m x 2.5m (LxAxH) |
| Capacidad | 5000 kg de semillas |

| Característica | Especificación |
|-------------------------|-----------------------|
| Material | Fibra de vidrio |
| Sistema de dosificación | Dosificación manual |
| Tiempo de tratamiento | Ajustable, 1-24 horas |

Anexo 10: Seguimiento de lotes tratados

| Lote | Fecha tratamiento | Fecha envío | Destino | Resultado inspección | Observaciones |
|-------------|--------------------------|--------------------|----------------|-----------------------------|------------------------------|
| P001 | 11/03/2024 | 25/03/2024 | EE.UU. | Aprobado | Sin incidencias |
| P002 | 12/03/2024 | 26/03/2024 | UE | Aprobado | Documentación correcta |
| P003 | 13/03/2024 | 27/03/2024 | Asia | Aprobado | Elogio por calidad |
| P004 | 14/03/2024 | 28/03/2024 | EE.UU. | Aprobado | Llegada antes de lo previsto |
| P005 | 15/03/2024 | 29/03/2024 | UE | Aprobado | Cliente satisfecho |

Anexo 11: Análisis comparativo pre y post implementación

| Indicador | Pre-implementación | Post-implementación | Mejora porcentual |
|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Tasa de rechazo fitosanitario | 10% | 3% | 70% |
| Uniformidad del tratamiento | 62.07% | 92.07% | 48.33% |
| Satisfacción del cliente | 7.2/10 | 9.4/10 | 30% |