

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

Reducción de lotes que exceden en variación de rendimiento en fabricación de  
pinturas al agua

INGE-3081

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingenieros Industriales**

Presentado por:

Ottón Andrés Márquez de la Plata Gutiérrez

Rafael Alejandro Ayala Sánchez

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

## Dedicatoria

---

Dedico el presente trabajo de tesis a todas aquellas personas que, con su apoyo, conocimientos y confianza, hicieron posible el desarrollo de este proyecto.

Asimismo, dedico este trabajo a mis docentes, quienes con su orientación y enseñanzas contribuyeron al fortalecimiento de mis conocimientos los cuales me trajeron hasta este momento tan significativo.

Finalmente, este proyecto está dedicado a todos aquellos profesionales que buscan la mejora continua, la optimización de procesos y el uso eficiente de los recursos, como aporte al desarrollo sostenible.

**Rafael Ayala**

## Dedicatoria

---

Dedico este trabajo a Dios, a mi familia que me apoyo en todo momento, sobre todo a mis padres, que siempre tuvieron las palabras y acciones necesarias para ayudarme a salir adelante.

Se lo dedico también a mis profesores, por compartir su conocimiento y guiarnos en este camino, a mis compañeros, con los que compartí durante varios años.

**Ottón Márquez de la Plata**

## Agradecimientos

---

Antes que a nadie quiero agradecer a Dios que me ha guiado a lo largo de mi vida y me ha permitido llegar a este momento.

Quiero agradecer también a mi familia, especialmente, a mi mamá y a mi papá que fueron los pilares fundamentales de mi educación y me apoyaron siempre en mi camino.

Agradezco también a todos mis compañeros con los cuales he compartido momentos memorables y hemos sufrido juntos por llegar a un mismo objetivo.

Y por último, quiero agradecer a la ESPOL y todos aquellos que la conforman, por recibirme, orientarme y enseñarme durante estos años hasta este punto en el cual me convierto en profesional.

**Rafael Ayala**

## Agradecimientos

---

Agradezco primero a Dios, por brindarme todas las oportunidades que se me han presentado.

Agradezco a las personas que me apoyaron a sacar adelante mis estudios, especialmente en este trabajo, a los colaboradores de la empresa donde realizamos el proyecto, a mi tutora por ayudarnos a hacer un mejor trabajo y especialmente a mi compañero de trabajo, por pasar junto a mi este último paso.

Agradezco a la ESPOI, por todos estos años, por permitirme convertirme en un profesional de la calidad que nos caracteriza.

**Ottón Márquez de la Plata**

## Declaración Expresa

---


Rafael Alejandro Ayala Sanchez y Ottón Andrés Márquez de la Plata Gutiérrez acordamos y reconocemos que:


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

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

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

Guayaquil, 15 de octubre del 2025.

  
Rafael Alejandro Ayala  
Sanchez

  
Ottón Andrés Márquez de  
la Plata Gutiérrez

## **Evaluadores**

**María Laura Retamales García, MSc**

Profesora de Materia

**Jenny Pilar Gutiérrez López, PhD**

Tutora de proyecto

## Resumen

El presente trabajo analiza la variabilidad de rendimiento en la línea de producción de pinturas base agua, una problemática que impacta la rentabilidad y la sostenibilidad operativa de la empresa. El objetivo central es reducir el porcentaje de lotes que exceden la variación estándar del 5%, justificándose en la necesidad crítica de optimizar el consumo de materia prima y alinear los resultados con las exigencias corporativas internacionales. Durante el desarrollo del proyecto, se empleó la metodología DMAIC apoyada en herramientas estadísticas como la prueba exacta de Fisher, análisis de capacidad y verificación de sistemas de medición. Se ejecutaron soluciones técnicas que incluyeron la actualización dimensional de tanques desgastados y nuevos protocolos para la recuperación de producto en mangueras. Los resultados principales mostraron un incremento del cumplimiento de lotes del 85,47% al 92,86%, logrando reducir la brecha con la meta al 2,14% y proyectando un ahorro anual de \$114,240. Finalmente, se concluye que la estandarización de factores físicos y mecánicos, más que los químicos, garantiza la estabilidad del proceso y valida positivamente el impacto en los ejes económico, ambiental y social.

**Palabras Clave:** Six Sigma, DMAIC, Triple Bottom Line, Estandarización, Manufactura Esbelta.

## **Abstract**

*This paper analyzes yield variability in the water-based paint production line, an issue that impacts the company's profitability and operational sustainability. The main objective is to reduce the percentage of batches that exceed the standard variation of 5%, justified by the critical need to optimize raw material consumption and align results with international corporate requirements. During the development of the project, the DMAIC methodology was used, supported by statistical tools such as Fisher's exact test, capability analysis, and measurement system verification. Technical solutions were implemented, including the dimensional updating of worn tanks and new protocols for product recovery in hoses. The main results showed an increase in batch compliance from 85.47% to 92.86%, reducing the gap with the target to 2.14% and projecting annual savings of \$114,240. Finally, it is concluded that the standardization of physical and mechanical factors, rather than chemical ones, guarantees process stability and positively validates the impact on economic, environmental, and social aspects.*

**Keywords:** *Six Sigma, DMAIC, Triple Bottom Line, Standardization, Lean Manufacturing.*

## Índice general

Resumen.....	I
Abstract .....	II
Índice general.....	III
Índice de tablas .....	IV
Índice de figuras .....	V
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Introducción.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Descripción del problema .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Justificación del problema .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Objetivos.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Marco teórico .....</b>	<b>4</b>
<b>Capítulo 2 .....</b>	<b>8</b>
<b>2 Metodología .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Definición.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Medición .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3 Análisis .....</b>	<b>25</b>
<b>2.4 Mejora.....</b>	<b>34</b>
<b>2.5 Control.....</b>	<b>42</b>
<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>43</b>
<b>3 Resultados y análisis .....</b>	<b>44</b>
<b>3.1 Resultados de las soluciones implementadas .....</b>	<b>44</b>
<b>3.2 Resultados de lotes que no exceden el 5% de variación de rendimiento.....</b>	<b>45</b>
<b>3.3 Resultados Triple Bottom Line .....</b>	<b>46</b>
<b>Capítulo 4 .....</b>	<b>47</b>
<b>4 Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>48</b>
<b>4.1 Conclusiones .....</b>	<b>48</b>
<b>4.2 Recomendaciones .....</b>	<b>48</b>

**Índice de tablas**

<b>Tabla 1</b>	<i>Plan de recolección de datos</i> .....	17
<b>Tabla 2</b>	<i>Prueba exacta de Fisher para tipo de tanque</i> .....	21
<b>Tabla 3</b>	<i>Prueba exacta de Fisher para tanques pequeños y tanques grandes</i> .....	21
<b>Tabla 4</b>	<i>Matriz Causa-Efecto</i> .....	27
<b>Tabla 5</b>	<i>Análisis Modal Efecto Fallo (AMEF)</i> .....	28
<b>Tabla 6</b>	<i>Plan de verificación de causas</i> .....	30
<b>Tabla 7</b>	<i>Pulgadas vacías iniciales vs pulgadas vacías a la mañana siguiente</i> .....	33
<b>Tabla 8</b>	<i>Tabla de los ¿5 por qué?</i> .....	34
<b>Tabla 9</b>	<i>Tabla de posibles soluciones (lluvia de ideas)</i> .....	35
<b>Tabla 10</b>	<i>Matriz de decisión</i> .....	36
<b>Tabla 11</b>	<i>Plan de implementación de soluciones</i> .....	37
<b>Tabla 12</b>	<i>Plan de control</i> .....	42

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Diagrama de afinidad del VOC</i> .....	10
<b>Figura 2</b> <i>CTQ Tree</i> .....	11
<b>Figura 3</b> <i>Serie de tiempo “Porcentaje de lotes que no superan el 5% de variación de rendimiento”</i> .....	11
<b>Figura 4</b> <i>Triple Bottom Line</i> .....	13
<b>Figura 5</b> <i>Definición del problema 3W2H</i> .....	13
<b>Figura 6</b> <i>Diagrama de flujo del proceso de producción de pinturas base agua</i> .....	15
<b>Figura 7</b> <i>Prueba de correlación de Pearson</i> .....	19
<b>Figura 8</b> <i>Evidencias de equipos calibrados</i> .....	20
<b>Figura 9</b> <i>Evidencia de control de materia prima</i> .....	20
<b>Figura 10</b> <i>SKU’s producidos</i> .....	22
<b>Figura 11</b> <i>Carta de control I-MR para Individuales y Rango Móvil del porcentaje de lotes con variación de rendimiento</i> .....	23
<b>Figura 12</b> <i>Análisis de capacidad del proceso de lotes con variación de rendimiento</i> .....	24
<b>Figura 13</b> <i>Definición de Problema Enfocado 3W2H de variación de rendimiento en lotes pequeños</i> .....	24
<b>Figura 14</b> <i>Diagrama Ishikawa</i> .....	26
<b>Figura 15</b> <i>Matriz Impacto-Control</i> .....	29
<b>Figura 16</b> <i>Volumen actual vs volumen teórico de batches</i> .....	31
<b>Figura 17</b> <i>Cantidad real producida vs Cantidad planeada</i> .....	32
<b>Figura 18</b> <i>Matriz de priorización Impacto – Esfuerzo</i> .....	36
<b>Figura 19</b> <i>Evidencias de toma de mediciones</i> .....	38
<b>Figura 20</b> <i>Implementación de la solución y toma de muestras</i> .....	39
<b>Figura 21</b> <i>Diagrama de flujo – Control de pulgadas vacías</i> .....	40
<b>Figura 22</b> <i>Control visual en tanques de reducción</i> .....	41
<b>Figura 23</b> <i>Toma de muestras de pulgadas vacías y capacitación al personal</i> .....	41
<b>Figura 24</b> <i>Galones recuperados luego bombear añadiendo agua como tapón</i> .....	44
<b>Figura 25</b> <i>Comparación % de lotes que no superan el 5% de variación de rendimiento antes y después de las soluciones</i> .....	45
<b>Figura 26</b> <i>Resultados del Triple Bottom Line</i> .....	46

# **Capítulo 1**

## **1 Introducción**

El proyecto realiza su estudio en una empresa ecuatoriana con varias décadas en el medio, la cual fue adquirida a inicios del siglo por una multinacional. Esta empresa empezó con pocas líneas de producto y actualmente ofrecen un catálogo que incluye pinturas de nivel industrial, automotriz, construcción y decorativa. Actualmente es una de las comercializadoras de pinturas más grandes del país, desempeñándose mayormente dentro de los mercados mayoristas; la empresa ha adoptado una serie de políticas de sostenibilidad como es eliminar los metales pesados de sus fórmulas.

Al ser adquirida por una multinacional la empresa debe presentar varios indicadores a la matriz, entre los que destaca el porcentaje de lotes que exceden la variación de rendimiento, donde se ha identificado que no se está cumpliendo el objetivo. Bajo esta premisa, se presenta la oportunidad de aplicar técnicas de ingeniería industrial para la mejora continua, de forma que la empresa pueda ver un cambio positivo. Estas técnicas, principalmente el método DMAIC, se vinculan con el fin de lograr mejorar el proceso de producción identificando los puntos que están presentando pérdidas de material.

### **1.1 Descripción del problema**

Dentro de los diferentes indicadores que maneja la empresa, existe uno, el cual será el centro de este proyecto, el cual está relacionado con la variación de rendimiento en la producción. El problema reside directamente en la diferencia que se registra entre la cantidad teórica que se debe producir según la fórmula y la cantidad real obtenida en la etapa de envasado.

Las variables de interés incluyen tanto el volumen teórico como el real, mermas del proceso, desviaciones en las dosificaciones y la variación de volúmenes de los tanques de producción. Este proceso debe tener en cuenta que cualquier tipo de corrección que se vea

directamente relacionada con la producción o formulación de pintura, debe cuidar estrictamente las propiedades fisicoquímicas del producto y el estándar de calidad.

Actualmente, aunque la organización genera registros históricos y cuenta con sistemas de control, estos datos no han sido analizados sistemáticamente para identificar las causas raíz de la variabilidad. Existe una desconexión entre la información disponible y la toma de decisiones, lo que provoca que el proceso siga presentando inestabilidad y que los resultados se mantengan distantes de las exigencias de la matriz internacional.

## **1.2 Justificación del problema**

El problema es plenamente susceptible de observación, medición y análisis, puesto que la organización cuenta con registros históricos de producción, hojas de ruta y sistemas de control que permiten la trazabilidad. Esto faculta el levantamiento de datos cuantitativos para determinar las causas raíz de la variabilidad, haciendo factible la aplicación de herramientas de ingeniería para proponer soluciones que estabilicen el proceso y alineen los resultados con las exigencias de la matriz internacional.

La relevancia del problema recae directamente en el impacto económico asociado a la pérdida de producto. Específicamente, cuando se presentan desviaciones inferiores al rendimiento estándar establecido, la empresa incurre en pérdidas económicas dobles: por un lado, el costo de la materia prima que no se transformó en producto final (merma) y, por otro, el lucro cesante por el volumen de producto que se deja de comercializar.

Así mismo el desarrollo de este proyecto se verá reflejado de forma positiva en cuanto a la optimización del uso de recursos, como son las materias primas, recursos económicos y la utilización de agua, la cual se medirá a través del indicador que maneja la empresa, con el fin de intentar reducirlo, implicando esto un beneficio al medio ambiente.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Reducir el porcentaje mensual de lotes que superan una variación del 5 % en el rendimiento, disminuyendo la variación media actual del 9,53 % al 5 % en un periodo de 4 meses.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Promover la reducción de la pérdida de rendimiento en las líneas de producción de la planta basada en agua, garantizando un uso eficiente de los recursos.

Aplicar herramientas de fabricación ajustada para identificar las causas fundamentales y reducir la variación del rendimiento en el proceso de producción de pinturas al agua.

Aplicar herramientas Six Sigma para identificar las causas fundamentales y realizar mejoras en el proceso de fabricación.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Antecedentes de la Investigación**

En el contexto global de la manufactura de recubrimientos, la variabilidad de las propiedades fisicoquímicas, como la viscosidad, representa uno de los desafíos más críticos para la eficiencia operativa, dado que obliga a realizar ajustes posteriores que incrementan los costos y los tiempos de ciclo. Al respecto, Beciril y Valerio (2020) desarrollaron una investigación enfocada en la eliminación de la tasa de defectos en la producción de pintura látex blanca acrílica mediante la metodología Six Sigma. Su estudio partió de una problemática en la que el 70% de los lotes presentaban desviaciones de viscosidad, lo que obligaba a la planta a intervenir el producto terminado añadiendo espesantes o agua para cumplir con las especificaciones.

Los autores, Beciril y Valerio (2020), demostraron que estas correcciones reactivas no solo generaban inconsistencia en la calidad, sino que aumentaban el tiempo de procesamiento entre 15 y 30 minutos por lote, afectando directamente la productividad. A través de la

estandarización de variables de entrada y el ajuste de los límites de especificación basados en la capacidad real del proceso, lograron reducir la tasa de defectos a cero y eliminar la necesidad de ajustes.

#### **1.4.2 VOC**

La Voz del Cliente es un proceso sistemático diseñado para capturar los requerimientos y expectativas del cliente, tanto interno como externo, con el fin de traducirlos en especificaciones técnicas concretas. Esta metodología permite alinear los objetivos del proceso productivo con las necesidades críticas del mercado, asegurando que el diseño y la manufactura del producto cumplan con los estándares de satisfacción esperados (Gryna et al., 2007).

#### **1.4.3 CTQ's**

Los Críticos para la Calidad (CTQ's) se definen como los atributos clave de un producto o servicio que deben ser controlados para garantizar la satisfacción del cliente. Estos parámetros convierten las necesidades generales del cliente en indicadores cuantitativos y medibles, estableciendo límites de especificación precisos que determinan si el producto final es aceptable o defectuoso (Evans & Lindsay, 2015).

#### **1.4.4 Diagrama de Ishikawa**

El Diagrama de Ishikawa es una herramienta gráfica que facilita el análisis de problemas complejos al desglosar sus posibles causas en categorías principales, comúnmente denominadas las 6M (Mano de obra, Maquinaria, Materiales, Métodos, Medio ambiente y Medición). Su estructura visual permite identificar de manera sistemática la relación entre las variables del proceso y un efecto o problema de calidad específico, promoviendo un diagnóstico integral de la situación (Ishikawa, 1986).

#### **1.4.5 GEMBA**

El concepto de Gemba hace referencia al "lugar real" donde se crea valor dentro de una organización, implicando la necesidad de que la gerencia acuda físicamente al piso de

producción para observar los procesos. Esta práctica es fundamental para identificar desperdicios, comprender la realidad operativa sin intermediarios y verificar el cumplimiento de los estándares de trabajo directamente en la fuente (Imai, 1997).

#### **1.4.6 Prueba exacta de Fisher**

La prueba exacta de Fisher es una técnica de significancia estadística utilizada para analizar tablas de contingencia cuando los tamaños de muestra son pequeños. Es especialmente útil en entornos industriales para determinar si existe una asociación no aleatoria entre dos variables categóricas, como la relación entre un tipo de defecto específico y un turno de producción, proporcionando validez estadística donde otras pruebas aproximadas podrían fallar (Montgomery & Runger, 2018).

#### **1.4.7 Diagrama de Pareto**

El Diagrama de Pareto es una técnica estadística de priorización basada en el principio de que la mayoría de los problemas (80%) son generados por un número reducido de causas (20%). Mediante la representación gráfica de frecuencias ordenadas de mayor a menor, esta herramienta permite distinguir los "pocos vitales" de los "muchos triviales", facilitando la toma de decisiones para enfocar los recursos de mejora en las áreas de mayor impacto (Juran & Godfrey, 1999).

#### **1.4.8 Correlación de Pearson**

El coeficiente de correlación de Pearson es una medida estadística que cuantifica la fuerza y la dirección de la relación lineal entre dos variables continuas. En el ámbito de la ingeniería, esta herramienta es esencial para validar hipótesis sobre la interdependencia de variables, permitiendo determinar, por ejemplo, si el aumento de una variable de entrada en el proceso influye directamente en el comportamiento de una variable de salida (Walpole et al., 2012).

#### **1.4.9 Prueba t pareada**

La prueba t pareada es un método de inferencia estadística utilizado para comparar las medias de dos poblaciones relacionadas, típicamente en escenarios de "antes y después" sobre las mismas unidades experimentales. Esta prueba es crucial para validar proyectos de mejora, ya que permite demostrar estadísticamente si los cambios implementados en el proceso han generado una diferencia significativa en el rendimiento respecto a la situación inicial (Montgomery, 2019).

#### **1.4.10 AMEF**

El AMEF es una metodología estructurada para identificar modos de falla potenciales en un sistema, producto o proceso, evaluando el riesgo asociado a través de tres factores: severidad, ocurrencia y detección. El objetivo de esta herramienta es priorizar las acciones preventivas mediante el cálculo del Número Prioritario de Riesgo (NPR), mitigando los fallos antes de que impacten al cliente (Stamatis, 2003).

#### **1.4.11 5 porqués?**

Esta es una técnica de análisis iterativo utilizada para explorar las relaciones de causa y efecto subyacentes a un problema particular. La metodología consiste en preguntar "¿por qué?" repetidamente hasta superar los síntomas superficiales y llegar a la causa raíz del defecto, lo que permite implementar contramedidas efectivas que eviten la recurrencia del fallo (Ohno, 1988).

## **Capítulo 2**

## **2 Metodología**

El presente capítulo desarrolla detalladamente la metodología aplicada para el análisis, comprensión y mejora del proceso de fabricación de pintura base agua del cliente. La estructura metodológica se sustenta en los principios DMAIC utilizados en proyectos Lean Six Sigma, priorizando la definición precisa del problema, la medición confiable de datos operativos y el análisis riguroso para la identificación de causas raíz que explican la variación del rendimiento.

### **2.1 Definición**

La fase de Definición tuvo como propósito comprender integralmente la situación actual del cliente, delimitar el alcance del proyecto y establecer la variable crítica que permitiría medir el desempeño del proceso. Para lograr esto, era necesario entender las necesidades del cliente por lo cual se realizaron entrevistas con el cliente clave (coordinador de producción) y con el personal relacionado al proceso de fabricación de pinturas base agua (operadores, analistas de calidad y gerente de manufactura)

#### **2.1.1 Voz del cliente y diagrama de afinidad**

Luego de realizar las entrevistas se obtuvieron 14 comentarios que indicaban la necesidad de mejorar el proceso para disminuir el porcentaje de lotes que superan la variación de rendimiento aceptada. Estos comentarios fueron agregados en un diagrama de afinidad donde se destacaban las necesidades del cliente en cuatro grupos como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1**

*Diagrama de afinidad del VOC*

Instalaciones	Equipos	Calidad	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay tanques de hierro negro en los que la pintura se adhiere más a las paredes en comparación con los de acero.</li> <li>• Algunos tanques no tienen una base cónica, lo que dificulta bombear completamente la pintura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La pintura queda atrapada en las mangueras.</li> <li>• No hay raspadores disponibles para ayudar a eliminar toda la pintura de los tanques.</li> <li>• No hay ningún dispositivo de arrastre de pintura en las mangueras (embolo de arrastre).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El muestreo de calidad de las materias primas es ineficaz.</li> <li>• Hay un exceso de confianza en algunos proveedores de materias primas.</li> <li>• Algunas materias primas se aprueban con variaciones en los parámetros de calidad (viscosidad, densidad, peso, etc.).</li> <li>• No se realizan ajustes de calidad por pulgadas vacías.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El proceso no permite el uso de raspadores debido a accidentes que ya se han producido.</li> <li>• Medición incorrecta de pulgadas vacías.</li> <li>• Los operadores no verifican el peso de las materias primas necesarias.</li> <li>• Error en la distribución de volumen.</li> <li>• La cantidad de agua no se mide correctamente.</li> </ul>

### 2.1.2 CTQ's y CTQ Tree

Luego de recopilar las necesidades del cliente y agruparlas, era necesario establecer los CTQ's (críticos para la calidad) para medir cuantitativamente estas necesidades como se puede ver a continuación en la Figura 2.

En este diagrama de árbol CTQ, la necesidad general de reducir la variación del rendimiento se desglosó en cuatro impulsores clave (drivers): Instalaciones, Equipos, Calidad y Procedimiento. A partir de cada impulsor, se definieron indicadores específicos para controlar el proceso.

Por ejemplo, en la dimensión de Calidad, se estableció que, para garantizar la estabilidad del producto, el porcentaje de materias primas aprobadas debe ser mayor o igual al 95%. Esta estructura permite traducir una necesidad cualitativa del cliente en métricas operativas con fórmulas y metas claras.

**Figura 2**  
CTQ Tree

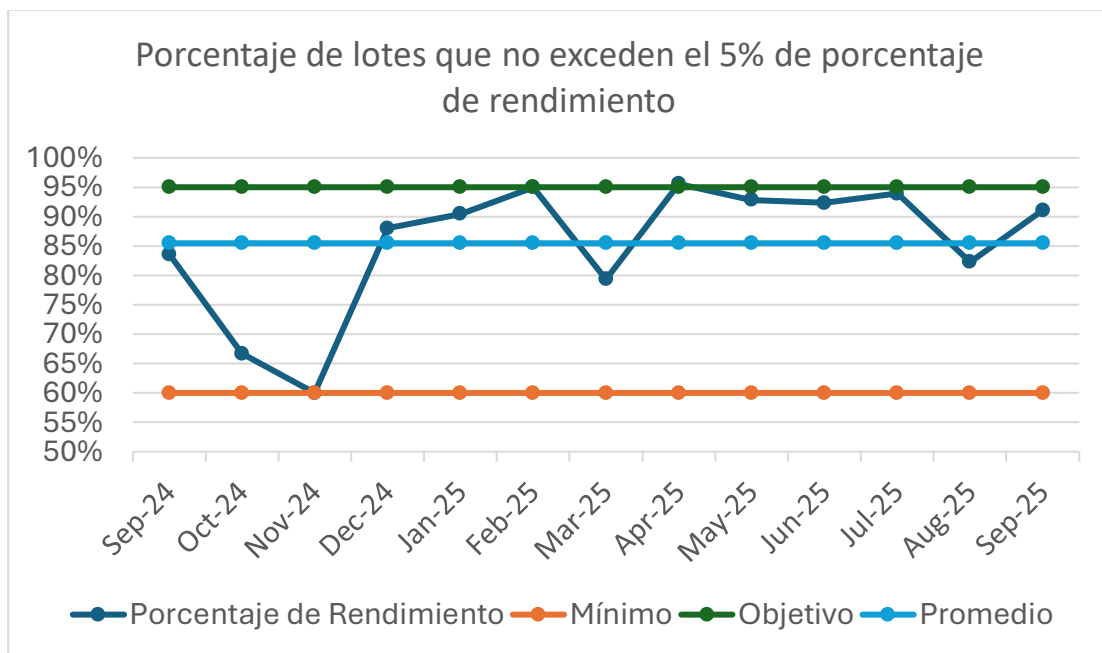


### 2.1.3 Variable de Respuesta

Según los CTQ definidos, la variable de respuesta corresponde al porcentaje de lotes que no superan el 5% de variación de rendimiento. Al analizar el comportamiento histórico, como muestra la Figura 3, se evidencia que el proceso actual es incapaz de cumplir con las especificaciones del cliente de manera sostenida.

**Figura 3**

Serie de tiempo "Porcentaje de lotes que no superan el 5% de variación de rendimiento"



La gráfica revela una brecha de desempeño (Gap) del 9.53% entre el promedio real y la meta establecida. Esta diferencia confirma que el proceso opera por debajo del estándar requerido. Además, la variabilidad es crítica, caídas drásticas hasta un 60% de cumplimiento (como la registrada en noviembre) demuestran una falta de control en la producción. En conclusión, estos resultados validan la existencia de una clara oportunidad de mejora, ya que el sistema actual no es robusto ni predecible frente a los objetivos de la empresa.

#### **2.1.4 Triple Bottom Line**

A partir del análisis del árbol CTQ, se seleccionaron tres indicadores estratégicos para conformar el Triple Bottom Line, mostrado en la Figura 4. Esta selección priorizó aquellas variables sobre las cuales el proyecto tiene influencia directa y que representan los puntos de dolor más críticos del proceso:

**Pilar Económico (Variación de Rendimiento):** Se eligió esta variable por encima de otras métricas financieras porque aísla el desempeño técnico del proceso. Al reducir la variación de rendimiento, se ataca directamente la fuente del desperdicio de materiales y costos operativos, siendo el indicador más sensible a las mejoras de ingeniería planteadas.

**Pilar Ambiental (Consumo de Agua):** Dado que la manufactura de pinturas es intensiva en el uso de agua especialmente en etapas de lavado y ajustes por errores, este indicador se consideró el más representativo de la huella ecológica de la planta. Una reducción en la variabilidad del proceso implica menos reprocesos y, consecuentemente, un menor consumo de agua por tonelada producida.

**Pilar Social (% de Carga Laboral):** Se seleccionó este indicador para cuantificar el impacto humano de la ineficiencia operativa. Al estabilizar el rendimiento, se busca eliminar estas actividades que no agregan valor, llevando el porcentaje de carga laboral a niveles sostenibles que garanticen el bienestar del trabajador y reduzcan el riesgo de fatiga o estrés laboral.

Figura 4

Triple Bottom Line



### 2.1.5 Definición del Problema

El problema central fue que el porcentaje de lotes que superan el 5% de variación de rendimiento había aumentado desde septiembre del 2024, y a través de la estructura 3W2H se definió el problema como se puede ver a continuación en la Figura 5.

Figura 5

Definición del problema 3W2H

3W	What? ¿Qué?	Incremento en el porcentaje de lotes con pérdida de rendimiento.
	Where? ¿Donde?	En la línea de producción de pinturas base agua.
	When? ¿Cuándo?	Desde septiembre 2024.
2H	How Much? ¿Cuánto?	9,53% de los lotes se encuentran por fuera del 5% de variación de rendimiento.
	How Do I Know? ¿Cómo lo sé?	Porque la cantidad total de lotes que están dentro del rango de variación aceptado es del 85,47 %.

Tras aplicar esta estructura, el problema quedó definido de la siguiente manera: Desde septiembre de 2024, la línea de producción de pinturas base agua ha presentado un descenso en la estabilidad del proceso. Actualmente, solo el 85,47% de los lotes cumple con el estándar de variación (+/- 5%), lo que implica una tasa de defecto del 14,53%. El objetivo del

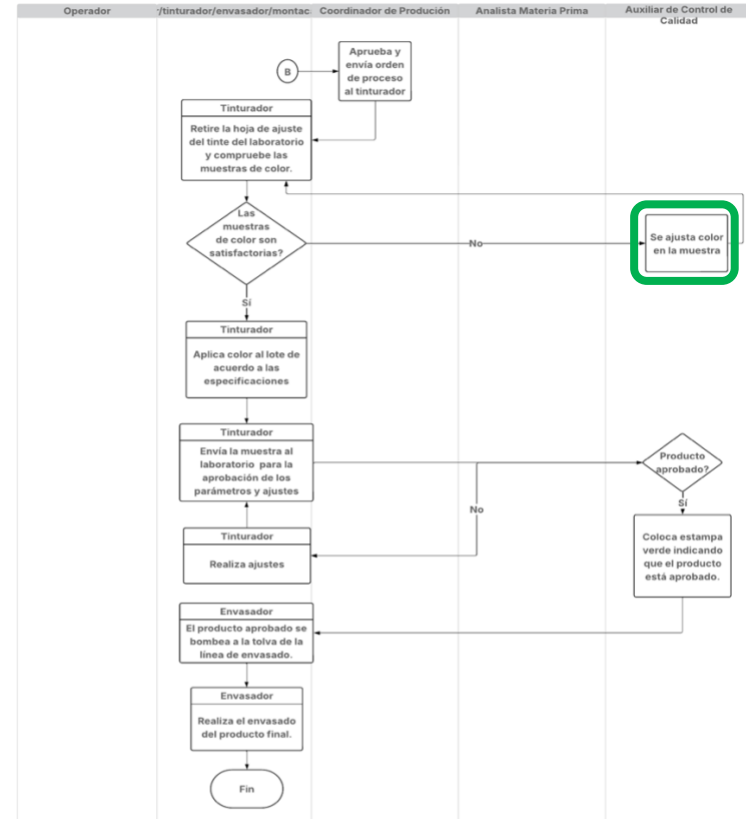
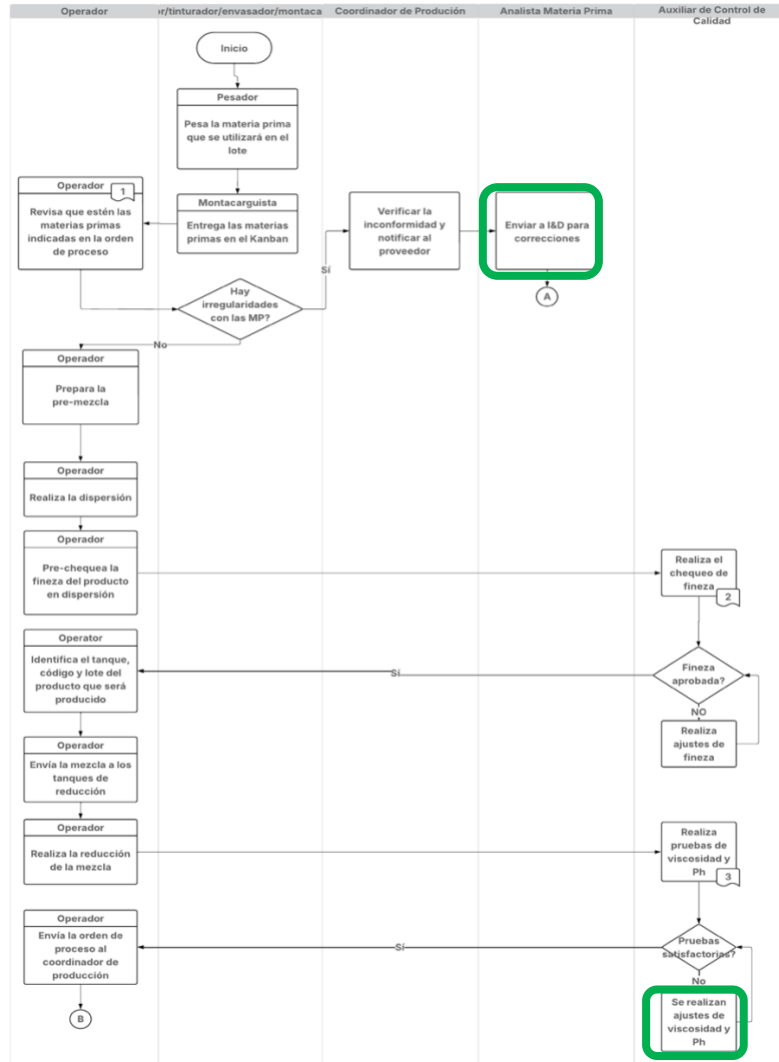
proyecto es incrementar el nivel de cumplimiento hasta alcanzar un 95% de lotes dentro del rango aceptado.

### **2.1.6 Alcance del Proyecto**

El alcance del proyecto se delimita a la línea de producción de pintura base agua, seleccionada estratégicamente por representar el mayor volumen de producción de la planta. Esta categoría agrupa seis familias de productos y el estudio abarca el ciclo completo de manufactura: desde la recepción de materias primas hasta la obtención del producto final, integrando las etapas de pesaje, dispersión, dilución y envasado, tal como se detalla en el diagrama de flujo de la Figura 6.

Figura 6

Diagrama de flujo del proceso de producción de pinturas base agua



### **2.1.7 Detección de fábricas ocultas**

Luego de haber diagramado el proceso, se identificaron las fábricas ocultas que este tenía. Se identificaron tres fábricas ocultas las cuáles fueron la fábrica de ajustes de calidad, la fábrica de ajustes de color y la fábrica de I&D, las cuales se encuentran enmarcadas en color verde en el diagrama de flujo. Estas tres fueron identificadas por el mismo motivo y es que cuando una de esas tres falla el proceso se detiene, y se requiere hacer ajustes hasta cumplir con los parámetros, de lo contrario el proceso no puede continuar.

## **2.2 Medición**

### **2.2.1 Plan de recolección de datos**

En la fase de Medición se buscó garantizar que los datos disponibles fueran confiables, representativos y suficientes para describir el comportamiento real del proceso. Para ello, se desarrolló un plan de recolección de datos , mostrado en la Tabla 1, que incluyó actividades documentales y observaciones directas en planta.

Tabla 1

## Plan de recolección de datos

PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS							
DATOS				PROCEDIMIENTO			
CTQ	Título de medición	Tipo de dato	Unidad de medida	Metodología	Factores de estratificación	Muestreo	Responsable(s)
Porcentaje de lotes producidos en tanques de fondo cónico	Cantidad de lotes producidos en tanques de fondo cónico	Discreto	Lotes	Al final del mes, se contará el número total de lotes fabricados y se determinará cuántos de ellos se fabricaron en tanques de fondo cónico.	Tanques con fondo cónico	Sí	Equipo de proyecto y asistentes de producción
	Total de lotes producidos en el mes	Discreto	Lotes				
Porcentaje de materias primas aprobadas al recibirlas	Cantidad aprobada de materias primas	Discreto	Lotes	A final de mes, los analistas de control de calidad proporcionarán la cantidad de lotes de materias primas que recibieron y cuántos de ellos fueron aprobados.	Proveedor	Sí	Equipo de proyecto y auxiliares de calidad
	Total de materias primas recibidas	Discreto	Lotes				
Porcentaje de lotes sin quejas de calidad	Cantidad de lotes con quejas de calidad	Discreto	Lotes	Al final del mes, el analista de reclamaciones proporcionará la información sobre la cantidad de lotes con quejas de calidad	Tipo de tanque	Sí	Project team and complains
	Número total de lotes producidos	Discreto	Lotes				
% de lotes que no superan el 5% de la variación de rendimiento	Cantidad de lotes que no superen el 5% de variación de rendimiento aceptada	Discreto	Lotes	Cuando se cierra un PO, la cantidad real producida se registra frente a la cantidad esperada, lo que nos da la variación porcentual en el rendimiento. Calculamos cuántos pedidos superan el 5%.	SKU	No	Equipo de proyecto y metrólogo
	Número total de lotes producidos	Discreto	Lotes				
Consumo de agua	Metro cúbico por tonelada producida	Continuo	Metro cúbico	El analista medio ambiental realiza los cálculos del consumo de agua y proporciona los datos	Sin estratificación	No	Analista ambiental
% de dispositivos calibrados	Número de dispositivos calibrados dentro de su rango de fechas	Discreet	Unidad	Se utiliza un cronograma para comprobar todos los equipo que requieren calibración, y se validan sus fechas de calibración para el año. Debe identificarse el porcentaje de equipos calibrados dentro de la fecha correspondiente.	Tipo de equipo	Sí	Equipo de proyecto y metrólogo
	Cantidad total de dispositivos que requieren calibración		Unidad				

## 2.2.2 Recolección de datos

Tras la ejecución del plan de recolección de datos detallado en la Tabla 1, se obtuvieron los resultados que establecen la Línea Base del proceso. Estos datos permiten caracterizar las entradas y cuantificar el desempeño actual de la variable de salida (Y).

Variables de Entrada: se identificó que solo el 37,43% de los lotes se producen en tanques de fondo cónico, lo que implica que la mayoría de la producción se realiza en tanques de fondo plano. Por otro lado, variables como la Calidad de Materia Prima y la Calibración de Equipos mostraron un cumplimiento del 100%, lo que sugiere preliminarmente que el problema no radica en los insumos ni en los instrumentos de medición.

Variable de Respuesta (Y): En cuanto al desempeño del rendimiento, se determinó que el 90,22% de los lotes cumple con el estándar. Esto revela una tasa de defecto actual del

9,78%, correspondiente a los lotes que exceden el límite de variación aceptado (>5%), confirmando la necesidad del proyecto de mejora.

### **Confiabilidad de los datos**

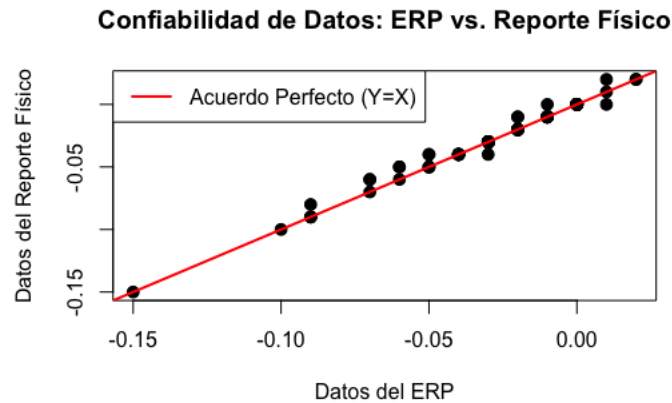
Tras la ejecución del plan de recolección de datos, se procedió a validar la confiabilidad de la información del sistema ERP frente a los registros físicos. Se analizaron 112 órdenes de producción de septiembre y octubre de 2025, obteniendo los siguientes resultados:

Para la variable X (% de lotes en tanques de fondo cónico): Se confirmó una coincidencia del 100% entre el sistema y los reportes físicos, validando plenamente la integridad de este registro.

Para la variable de respuesta Y (Variación de rendimiento): Como se observa en la Figura 7, la prueba de correlación de Pearson arrojó un coeficiente de  $r = 0.992$ , lo que demuestra una relación lineal extremadamente fuerte entre ambas fuentes.

Aunque la prueba T pareada indicó una diferencia estadísticamente significativa (), el análisis de la magnitud del error revela que la diferencia media es de apenas  $-0.0008$  (0.08%). Esta discrepancia, aunque detectable matemáticamente debido al tamaño de la muestra, carece de significancia práctica en el proceso productivo, ya que es despreciable frente a la variabilidad real del proceso que se busca corregir.

Basado en la alta correlación y la magnitud marginal del error, se concluye que el sistema de medición es confiable y los datos del ERP son aptos para ser utilizados en las siguientes etapas del análisis Six Sigma.

**Figura 7***Prueba de correlación de Pearson*

Adicionalmente, se verificó la confiabilidad de otras fuentes de información como consumo de agua, donde se compararon los indicadores mensuales con los reportes del sistema, demostrando coincidencia total. Para la variable “% de equipos calibrados” se revisó el cronograma anual de calibraciones y se validó físicamente, como muestra la Figura 8, que los 104 equipos se encontraban dentro de su fecha de calibración. Para las materias primas aprobadas al recibirlas, dado que no existían registros formales, se realizó un Gemba Walk junto con el asistente de calidad, verificando que, durante la semana analizada, la totalidad de materias primas (8) cumplió con los parámetros establecidos, como se puede ver en la Figura 9. Además, como propuesta de mejora, se recomendó utilizar un archivo que le sirva al cliente para llevar la trazabilidad de las materias primas. Por último, en la variable “% de lotes sin quejas de calidad”, se analizaron 756 lotes entre septiembre 2024 y mayo 2025, identificando únicamente tres casos de reclamos, lo cual evidenció la baja incidencia de esta variable por lo cual se decidió no seguirla analizando.

**Figura 8***Evidencias de equipos calibrados***Figura 9***Evidencia de control de materia prima*

Artículo:	10122182			
Lote:	TEXILAN 553 TAMBOR 200 KG			
Cliente:	2-10122182-10590			
Fecha de Fabricación:	29-SEP-25	Fecha de Vencimiento:	25-JUN-26	

4 1115:0-1  
 6800 KG.  
 10/10/2025  
 lote: 10590-591

Prueba: Método/Norma	Resultado	Min	Max	Unid Prueba
APARENCIA/IT-1-01	PASA	PASA		
VISCOSIDAD BROOKFIELD/IT-1-06	6000	3500	7500	SP
VISCOSIDAD STORMER KU/IT-1-07	90.00	80.00	100	KU
DENSIDAD/IT-1-08	3.85	3.80	3.90	kg/m <sup>3</sup>
PH/IT-1-10	8.70	7.50	9.00	pH
SOLIDOS EN PAPEL/IT-1-12	51.35	49.50	51.50	%
GRUMOS/IT-6-07	NEGATIVO	NEGATIVO		
GRUMOS/IT-6-11	NEGATIVO	NEGATIVO		
RESISTENCIA AL AGUA/IT-6-77	PASA	PASA		

Observaciones:

\_\_\_\_\_  
 Certificado generado electrónicamente, no requiere firma

\_\_\_\_\_  
 Gestión de calidad de la compañía garantiza el cumplimiento de todas las propiedades de calidad referenciadas en la hoja técnica de este producto.

\_\_\_\_\_  
 Persona Responsable de Aprobación:

### 2.2.3 Estratificación

Con el objetivo de demostrar si el tipo de tanque tenía algún tipo de incidencia en la variación de rendimiento, se realizó una prueba exacta de Fisher, mostrada en la Tabla 2, en la cual la hipótesis nula ( $H_0$ ) decía que el tipo de tanque no afecta a la probabilidad de exceder la variación de rendimiento, mientras que la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) decía que el tipo de tanque sí afecta a la probabilidad de exceder la variación de rendimiento aceptada.

**Tabla 2***Prueba exacta de Fisher para tipo de tanque*

Tipo de tanque	>5% variación de rendimiento	<= 5% variación de rendimiento	Ordenes producidas
Plano	68	405	473
Cónico	8	275	283
Total	76	680	756

Utilizando la tabla, y un Alpha de 0,05, se obtuvo que el valor p de la prueba exacta de Fisher fue aproximadamente 0,0000000659, con un valor  $p < 0,05$  se rechazó la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa.

Se confirmó que los tanques planos si aumentan la probabilidad de superar el rango de variación de rendimiento aceptado, sin embargo, esto levantó una nueva sospecha, ya que existen dos tipos de tanques planos, los pequeños y los grandes, por este motivo se volvió a realizar una prueba exacta de Fisher, pero esta vez considerando únicamente los tanques planos y catalogándolos en pequeños o grandes.

**Tabla 3***Prueba exacta de Fisher para tanques pequeños y tanques grandes*

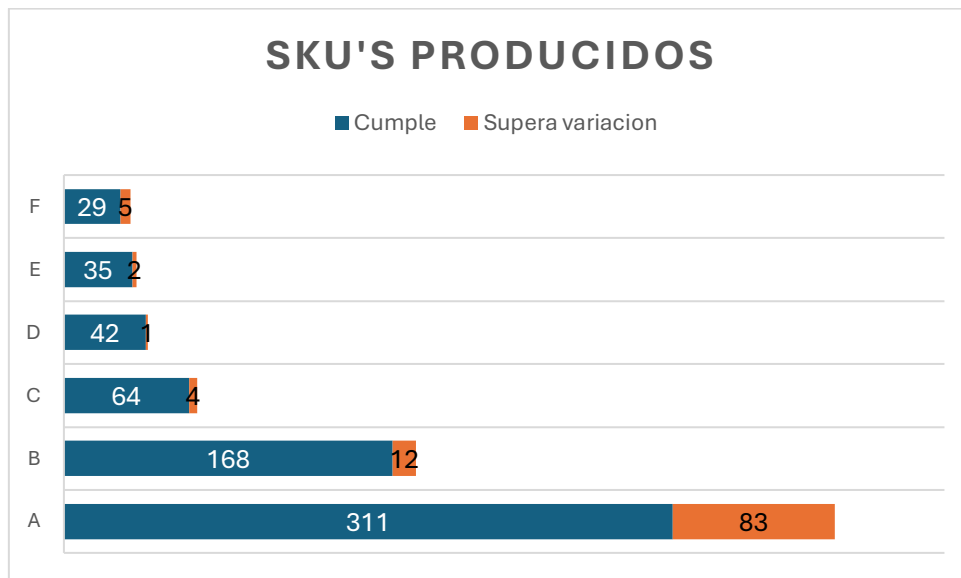
Tipo de tanque	>5% variación de rendimiento	<= 5% variación de rendimiento	Ordenes producidas
Pequeño	66	336	402
Grande	2	69	71
Total	68	405	473

En esta prueba, mostrada en la Tabla 3, la hipótesis nula y la alternativa fueron las mismas que en la de la Tabla 2, y se trabajó con el mismo Alpha de 0,05. Se obtuvo que el valor de p era aproximadamente 0,0026, es decir menor a 0,05 por ende, el tamaño del tanque plano si afectaba a la probabilidad de la pérdida de rendimiento.

Luego se identificó si existían SKU's que afecten más a la variación de rendimiento que otros, para esto se encontró la cantidad de órdenes por SKU y cuántas de ellas superaban el 5% de variación de rendimiento como lo podemos ver a continuación, en la Figura 10.

**Figura 10**

*SKU's producidos*



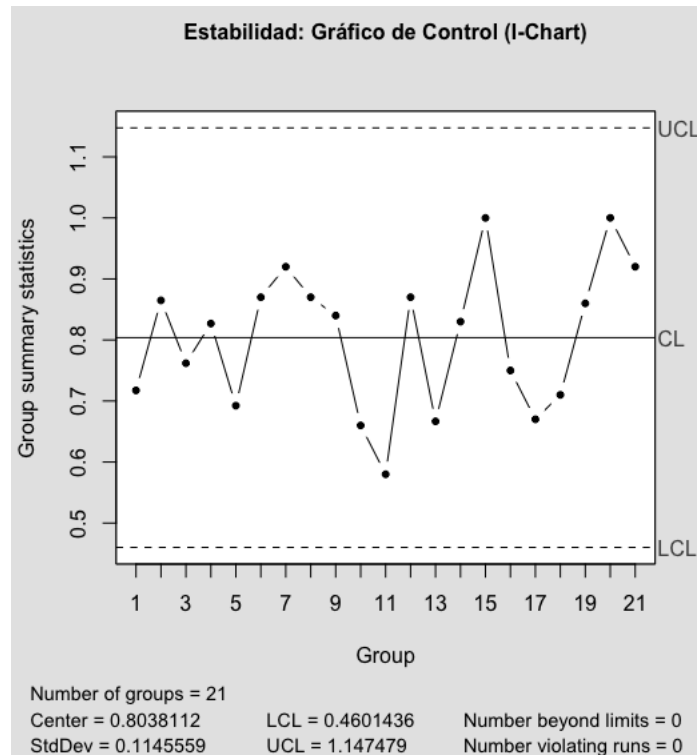
Se encontró que el SKU con mayor porcentaje de lotes con variación de rendimiento fue el tipo A (27%) lo cual concordó con la hipótesis anterior, pues el SKU A se fabrica en lotes pequeños. El segundo SKU con mayor porcentaje de lotes con variación de rendimiento fue el “F” con 17%, seguido por el “B” con un 7%, luego “C” y “E” con 6% y por último “D” con apenas un 2%.

#### 2.2.4 Análisis de Estabilidad

Para la variable de respuesta que se está analizando, se decidió trabajar con una gráfica de control I-MR para individuales con rango móvil, con la cual se evaluará la estabilidad a lo largo del proceso de trabajo del proyecto como se ve en la Figura 11.

**Figura 11**

*Carta de control I-MR para Individuales y Rango Móvil del porcentaje de lotes con variación de rendimiento*



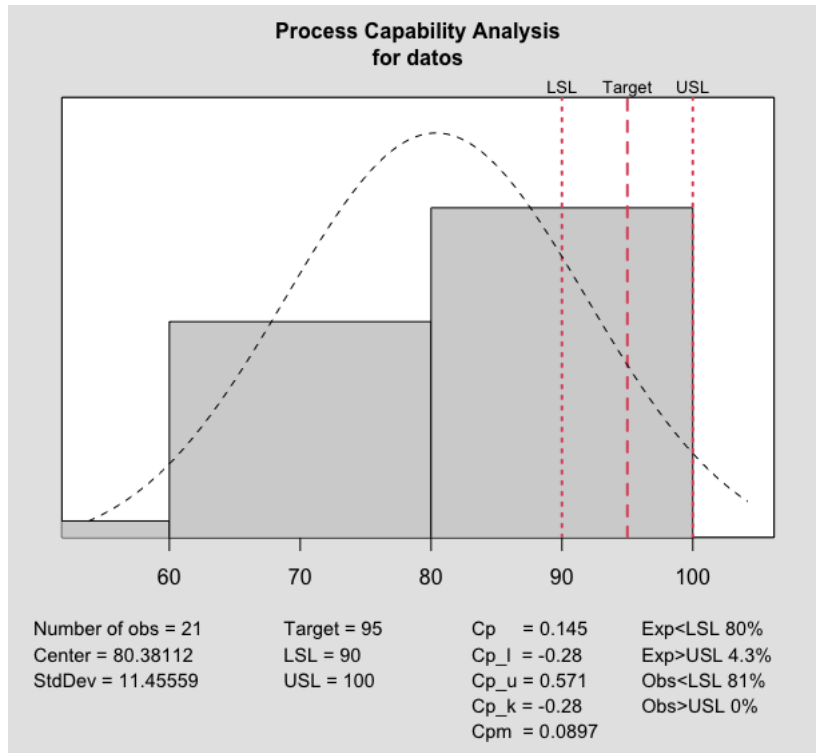
Se determina que el proceso es estable, ya que no presenta puntos fuera de los límites de control, lo que sugiere que no existen causas especiales.

### 2.2.5 Análisis de Capacidad

Luego de realizar el análisis de capacidad del proceso, se determinó que el proceso actualmente no es capaz, esto se puede observar ya que no se encuentra dentro de los límites que el cliente ha determinado, lo que abre camino para la mejora del proceso. En los resultados de la Figura 12, se puede observar un valor Cpk negativo, lo que dice que el proceso está por debajo de las especificaciones.

**Figura 12**

*Análisis de capacidad del proceso de lotes con variación de rendimiento*



**2.2.6 Problema Enfocado 3W2H**

**Figura 13**

*Definición de Problema Enfocado 3W2H de variación de rendimiento en lotes pequeños*

<b>3W</b>	<b>What?</b> ¿Qué?	El porcentaje de lotes pequeños y lotes de color con pérdida de rendimiento ha aumentado.
	<b>Where?</b> ¿Donde?	En la línea de producción de pinturas base agua.
	<b>When?</b> ¿Cuándo?	Desde septiembre 2024.
<b>2H</b>	<b>How Much?</b> ¿Cuánto?	9,53% de los lotes se encuentran por fuera del 5% de variación de rendimiento.
	<b>How Do I Know?</b> ¿Cómo lo sé?	Porque la cantidad total de lotes que están dentro del rango de variación aceptado es del 85,47 %.

Tras profundizar en el análisis de los datos mediante la estratificación y las pruebas de hipótesis, se identificó un comportamiento no aleatorio en la variabilidad del proceso.

Específicamente, la prueba exacta de Fisher demostró que el tamaño del tanque es un factor determinante, confirmando que los tanques planos pequeños aumentan significativamente la probabilidad de pérdida de rendimiento. A su vez, el análisis por SKU reveló que la referencia 'Tipo A' (producida en lotes pequeños) presenta una tasa de defectos crítica del 27%, muy superior al promedio general.

Estos hallazgos evidenciaron que intentar resolver la variabilidad de forma genérica en toda la planta sería ineficiente. Por consiguiente, se decidió acotar el alcance del proyecto para concentrar los recursos de mejora en el segmento más crítico: los lotes pequeños y de color. Esta reorientación estratégica dio lugar a la Definición del Problema Enfocado, la cual se evidencia en la Figura 13, estructurada bajo la metodología 3W2H.

## **2.3 Análisis**

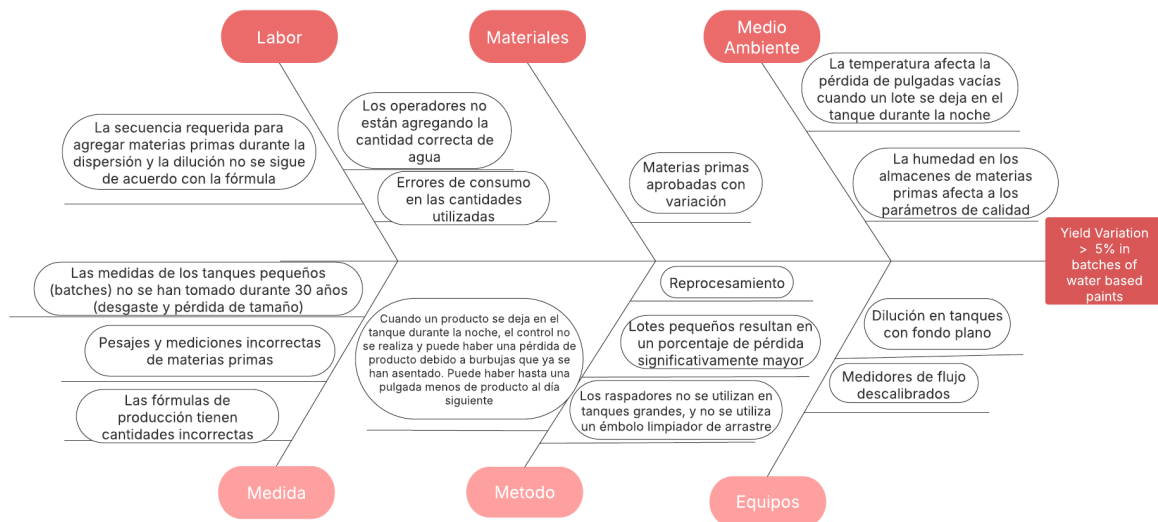
Como punto de partida para esta etapa se realizó una lluvia de ideas que nos permita identificar las causas raíz de la problemática, esto fue posible trabajando conjunto con el cliente, incluyendo colaboradores de distintas áreas. Luego, se llevó a cabo diferentes análisis estadísticos para llegar a las conclusiones y verificar las ideas.

### **2.3.1 Diagrama de Ishikawa**

Gracias a la lluvia de ideas realizada con el cliente, se recaudaron 15 ideas, catalogadas como causas potenciales, las mismas que se colocaron en el diagrama Ishikawa de la figura 14 según su categoría.

Figura 14

Diagrama Ishikawa



### 2.3.2 Matriz Causa-Efecto

Luego de recolección y clasificación de las causas potenciales, se realizó la matriz causa-efecto, la cual permitió otorgar un valor numérico en cuanto a importancia a cada una de las causas, para esto se trabajó con tres diferentes perfiles de cliente, cada uno con un peso diferente, calificando cada causa bajo su criterio con los valores 1,3,6 y 9 en orden de menos a más crítico respectivamente.

La ponderación de cada perfil se determinó de acuerdo con su grado de conocimiento del proceso en términos generales, que tanto control tienen sobre la información de la empresa y la relevancia jerárquica, de modo que, el coordinador de producción con la mayor valoración de 0.5, luego el coordinador de piso con la valoración de 0.3 y finalmente un operador con la valoración de 0.2, los resultados obtenidos están en la tabla 4.

Al terminar el uso de esta herramienta, se logró seleccionar 7 causas potenciales, siendo estas las valoradas con una calificación de 5 o más.

**Tabla 4***Matriz Causa-Efecto*

<b>Causas</b>	<b>Operador 0.2</b>	<b>Coordinador de producción 0.5</b>	<b>Coordinador de piso 0.3</b>	<b>Total</b>
No se sigue el orden en que se deben agregar las materias según la fórmula en dispersión y dilución	3	1	1	1
Operadores no ponen la cantidad de agua correcta	1	1	6	3
Errores de consumo en cantidades de materias primas utilizadas	3	1	6	3
Materias primas aprobadas con variación	1	3	1	2
Temperatura afecta a la pérdida de pulgadas vacías cuando se deja un lote en el tanque de un día al otro.	3	1	1	1
Humedad en bodegas de MP afectan a los parámetros de calidad	3	1	1	1
Medidas de tanques pequeños (batches) no se han tomado desde hace 30 años (desgaste y pérdida de tamaño)	6	6	3	5
Pesajes y medidas incorrectas de materias primas	3	1	1	1
Fórmulas de producción tienen cantidades incorrectas	1	1	6	3
No se utilizan raspadores en tanques grandes, y no se utiliza embolo de limpiador de arrastre	6	6	9	7
Lotes o tandas pequeñas generan porcentaje de pérdida significativamente mayor	6	6	3	5
Cuando un producto queda en el tanque de un día para otro, no se hace el control y puede haber pérdida de producto por burbujas que ya se han asentado. Puede haber hasta una pulgada menos de producto al día siguiente	6	6	6	6
Reprocesos	6	6	9	7
Dilución en tanques con fondo plano	3	6	9	6
Flujómetros descalibrados	3	6	9	6

### 2.3.3 AMEF

Mediante el uso de esta herramienta, como se muestra en la Tabla 5, se buscó obtener causas específicas según los pasos del proceso, siendo estas identificadas con la acción prioritaria, la cual toma en cuenta la severidad del efecto, la ocurrencia y la detección de la causa, obteniendo en este paso 3 causas más, las que puntuaron como prioridad media y alta.

**Tabla 5**

*Análisis Modal Efecto Fallo (AMEF)*

Paso del proceso	Objetivo	Efecto potencial de fallo	Sv.	Modo potencial de fallo	Causa potencial del fallo	Oc.	Dt.	Accion prioritaria
Pesaje de materias primas	Colocar la cantidad de materia prima establecida en la fórmula	Pérdida de rendimiento al no entregar materias primas completas	8	Lectura incorrecta en el momento del pesaje	Equipo descalibrado	2	2	L
Disperción	Mezclar las materias primas sólidas y líquidas para formar la premezcla	Premezcla no homogénea	9	Falta de tiempo en la dispersión	El operador se basa en el tiempo y no comprueba la homogeneidad	2	2	L
		Las reacciones químicas afectan a la premezcla	9	Coloca las materias primas en el orden equivocado	No se siguió la instrucción de la fórmula	3	5	H
Dilusión	Ajustar la viscosidad y consistencia de la pintura usando agua y aditivos.	Pintura muy gruesa	4	No se usa suficiente agua	Medidor de flujo descalibrado	4	1	L
		Bajo la cobertura y goteo	6	Se utiliza el exceso de agua		4	1	L
		Contaminación microbiológica	4	No se utiliza la cantidad correcta de aditivos	Balanza descalibrada	2	1	L
Bombeo del producto final desde el tanque de dilución hasta la tolva de embalaje	Llevar el producto final a las líneas de embalaje	Perdida de rendimiento	8	El producto queda atrapado en el tanque y las mangueras	Se utilizan lotes pequeños y sin raspadores ni émbolos de arrastre	9	4	H
Embalaje	Colocar el producto terminado en contenedores para que esté listo para la venta	Envase pesado o de bajo peso	6	Exceso o falta de presión en la máquina de embalaje	La verificación de peso no se realiza de acuerdo con el número de muestras a tomar	6	2	M

### 2.3.4 Matriz Impacto-Control

Luego de haber encontrado las causas más relevantes por medio de la matriz causa-efecto y el AMEF, se realizó una matriz de impacto-control como se ve en la Figura 15, en la cual se evaluaron las causas resultantes de las matrices anteriores y se clasificaron por cuadrantes de acuerdo con el impacto que podrían tener sobre el problema y la flexibilidad de control que permite cada una de ellas.

**Figura 15**

*Matriz Impacto-Control*



### 2.3.5 Plan de verificación de causas

Aunque en la matriz de control-impacto, solo dos causas quedaron en el cuadrante de alto impacto – bajo control, se decidió escoger una causa del cuadrante alto impacto – alto control, como se ve en la Tabla 6, ya que se consideró que era muy relevante para el desarrollo del proyecto y aunque el control era robusto, era posible llevarlo.

**Tabla 6***Plan de verificación de causas*

Causa Raíz	Soluciones
No se ha considerado la variación de volumen ni la verificación de los tanques pequeños	Realizar una actualización de medidas de los tanques
	Utilizar una balanza para verificar cantidades por peso
No se ha encontrado una forma de lograr una extracción total	Modificar el fondo de los tanques
	Utilizar embolo de arrastre
	Agregar agua para evitar el vacío de forma que se logre extraer más producto
No se le da importancia a el control de pulgadas vacías	Establecer en procedimiento la revisión de pulgadas vacías al día siguiente
	Capacitar a los operadores sobre la importancia de este problema

### 2.3.6 Verificación de causas

#### 2.3.6.1 Causa 1: No se han tomado medidas de tanques pequeños (lotes) en 30 años

Se tomaron nuevamente las medidas de los tanques pequeños para evidenciar si su volumen había cambiado en comparación al volumen que tenía registrado la empresa para cada tanque. En la Figura 16, se puede observar que todos los tanques pequeños han tenido variación en su volumen actual comparado con el original que se tomaba como referencia.

Figura 16

*Volumen actual vs volumen teórico de batches*

Tanque #	Diámetro cm	Altura cm	Pulgadas	PI	Radio cm	Radio cm 2	Volumen cm 3	Litros	Galones Total	Tamaño de lote	Galones por pulgada (medida real actualizada)	Galones por pulgada teórico (medida desactualizada)
100	80	82	32.28	3.1416	40	1600.0	412177.92	412.18	108.90	106.00	3.37	3.00
101	93	92	36.22	3.1416	46.5	2162.3	624949.06	624.95	165.11	106.00	4.56	4.40
102	93	90	35.43	3.1416	46.5	2162.3	611363.21	611.36	161.52	106.00	4.56	4.40
104	96	92	36.22	3.1416	48	2304.0	665918.67	665.92	175.94	106.00	4.86	4.40
105	105	92	36.22	3.1416	52.5	2756.3	796631.22	796.63	210.47	185.00	5.81	5.43
106	96	92	36.22	3.1416	48	2304.0	665918.67	665.92	175.94	106.00	4.86	4.42
107	85	92	36.22	3.1416	42.5	1806.3	522055.38	522.06	137.93	106.00	3.81	3.47
108	79	82	32.28	3.1416	39.5	1560.3	401937.87	401.94	106.19	106.00	3.29	3.00
109	93	91	35.83	3.1416	46.5	2162.3	618156.14	618.16	163.32	106.00	4.56	4.30
219	108	91	35.83	3.1416	54	2916.0	833642.41	833.64	220.25	185.00	6.15	6.00
220	106	91	35.83	3.1416	53	2809.0	803052.65	803.05	212.17	185.00	5.92	6.00
300	133	96	37.80	3.1416	66.5	4422.3	1333722.30	1333.72	352.37	290.00	9.32	9.00
301	143	110	43.31	3.1416	71.5	5112.3	1766670.91	1766.67	466.76	290.00	10.78	9.20
303	135	110	43.31	3.1416	67.5	4556.3	1574530.65	1574.53	415.99	290.00	9.61	9.00
304	134	110	43.31	3.1416	67	4489.0	1551290.66	1551.29	409.85	290.00	9.46	9.00
306	143	111	43.70	3.1416	71.5	5112.3	1782731.55	1782.73	471.00	290.00	10.78	9.20
308	134	110	43.31	3.1416	67	4489.0	1551290.66	1551.29	409.85	290.00	9.46	8.97
360	134	110	43.31	3.1416	67	4489.0	1551290.66	1551.29	409.85	290.00	9.46	9.00
357	134	111	43.70	3.1416	67	4489.0	1565393.31	1565.39	413.58	290.00	9.46	9.00

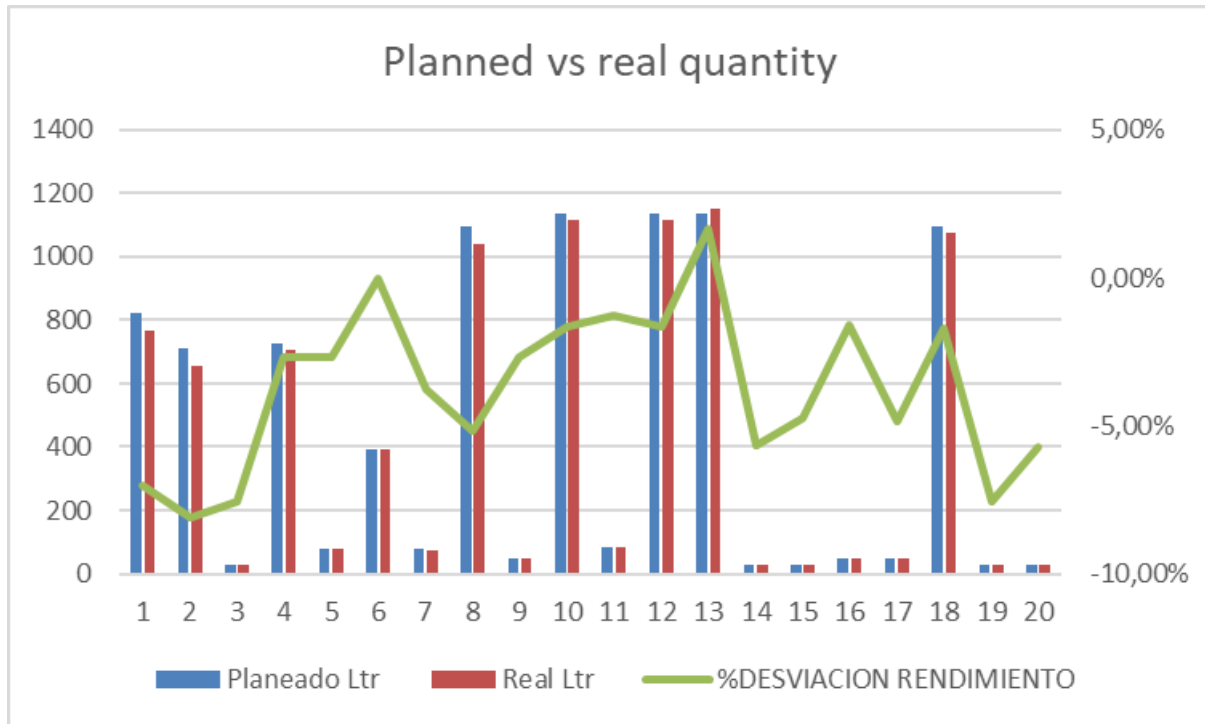
### 2.3.6.2 Causa 2: Los lotes pequeños generan un porcentaje significativamente mayor de pérdida de rendimiento

Para validar esta causa, se analizaron 20 lotes producidos en tanques pequeños durante el mes de noviembre. La Figura 17 ilustra la relación entre la cantidad planeada (azul) y la real (rojo), donde el eje secundario (línea verde) representa el porcentaje de desviación del rendimiento.

Es importante notar que los valores negativos en la línea verde indican pérdida de producto. Al analizar la muestra, se detectó que 7 de los 20 lotes presentaron una desviación superior al límite de variación de rendimiento aceptable, +/- 5%, lo que arroja una tasa de defecto del 35% para este tipo de tanques. Este valor es significativamente superior a la variación de rendimiento presentado previamente, que es apenas del 9,53%, confirmando que los lotes pequeños son una fuente crítica de variabilidad.

Figura 17

*Cantidad real producida vs Cantidad planeada*



**2.3.6.3 Causa 3: Cuando un producto se deja en el tanque durante la noche, no se revisa y puede haber pérdida de producto debido a burbujas que ya se han asentado. Puede que haya hasta una pulgada menos de producto al día siguiente**

Se analizaron 15 tanques con producto terminado que se dejaron para envasar al día siguiente, se tomó la medida de los tanques a las 4 pm de un día, y se volvió a tomar la medida a las 7 am del día siguiente, los resultados se pueden ver a continuación en la Tabla 7.

**Tabla 7***Pulgadas vacías iniciales vs pulgadas vacías a la mañana siguiente*

Tanque	Pulgadas vacías iniciales	Pulgadas vacías a la mañana siguiente
1	4	4.5
2	9.5	10.2
3	10.5	11
4	6	6.5
5	8	8.6
6	11	11.8
7	7.5	8
8	4.5	5
9	6.5	7
10	10	11
11	5	5.5
12	9.4	10
13	6	6.4
14	8.5	9
15	5.5	5.8

Esto demuestra concluyentemente la existencia del problema, el tiempo de espera prolongado provoca un asentamiento del producto que reduce el volumen real final. En consecuencia, la cantidad de galones envasados resulta menor a la teórica registrada el día anterior, impactando directamente en el indicador de variación de rendimiento.

### **2.3.7 ¿5 por qué?**

Luego de obtener las causas potenciales, se realizó un análisis de los 5 por qué, los cuales se muestran en la Tabla 8, para encontrar las causas raíz y proponer posibles soluciones.

Tabla 8

Tabla de los ¿5 por qué?

Medidas de tanques pequeños (batches) no se han tomado desde hace 30 años (desgaste y pérdida de tamaño)	¿Por qué no se han tomado medidas a los tanques pequeños hace 30 años?	¿Por qué no existe este procedimiento?	¿Por qué no se considera su calibración?	¿Por qué no se considero la susceptibilidad a variación de volumen?	Causa Raíz	
	Porque no existe un procedimiento de verificación de tanques	Porque los tanques no se consideran como equipo sujeto a calibración	Porque se asumió por costumbre que la estructura metálica no iba a variar en volumen	Porque no se pensó que podía sufrir golpes, desgaste o diferentes daños	No se ha considerado la variación de volumen ni la verificación de los tanques pequeños	
Lotes o tandas pequeñas generan porcentaje de pérdida significativamente mayor	¿Por qué las tandas pequeñas generan un porcentaje de pérdida más significativo?	¿Por qué hay galones perdidos?	¿Por qué siempre hay pintura que se queda?	¿Por qué no existe este procedimiento?	¿Por qué los equipos no tienen esta capacidad?	Causa Raíz
	Porque al ser un menor volumen cada galón perdido representa más	Porque siempre hay una cantidad que queda en las paredes, magueras y fondo plano	Porque no existe un procedimiento que permita extraer todo	Porque los equipos no tienen la capacidad de completar una succión completa	Por la forma geometría del fondo en relación a la toma de la manguera	No se ha encontrado una forma de lograr una extracción total
Cuando un producto queda en el tanque de un día para otro, no se hace el control y puede haber pérdida de producto por burbujas que ya se han asentado. Puede haber hasta una pulgada menos de producto al día siguiente	¿Por qué se deja producto de un día para otro sin hacer control al siguiente día?	¿Por qué no se hace un registro nuevamente?	¿Por qué no está en procedimiento?	¿Por qué solo se da importancia a los aditivos?	Causa Raíz	
	Por costumbre, el día anterior se realizó el registro y no se hace nuevamente	Porque no está establecido en el procedimiento	Porque se le da importancia únicamente a correcciones en cuanto a aditivos	Los operadores consideran que no es significativo	No se le da importancia a el control de pulgadas vacías	

## 2.4 Mejora

Luego de identificar las causas raíz, por medio de los ¿5 por qué? Se buscan soluciones para cada una de ellas por medio de diferentes análisis. El propósito de implementar estas soluciones es mitigar la variación del rendimiento abordando las causas raíz y generar beneficios a la empresa.

### 2.4.1 Posibles soluciones

Para encontrar posibles soluciones a las causas raíz, se realiza una lluvia de junto con cliente clave. En la Tabla 9 podemos ver las posibles soluciones encontradas.

**Tabla 9***Tabla de posibles soluciones (lluvia de ideas)*

<b>Causas Raíz</b>	<b>Posibles Soluciones</b>
No se ha considerado la variación de volumen un la verificación de tanques pequeños	Realizar una actualización de las medidas de los tanques Utilizar una báscula para comprobar las cantidades por peso
El cliente no ha encontrado la manera de lograr una extracción total del producto atrapado en las mangueras	Modificar el fondo de los tanques Usar el émbolo de arrastre Añadir agua para evitar aspiración de aire y así extraer más producto
No se consideraba que las pulgadas vacías tuvieran un alto impacto en la variación del rendimiento	Establecer en el procedimiento la revisión de las pulgadas vacías al día siguiente Entrenar a los operadores sobre la revisión de pulgadas vacías y cómo rellenarlas

#### 2.4.2 Matriz de decisión

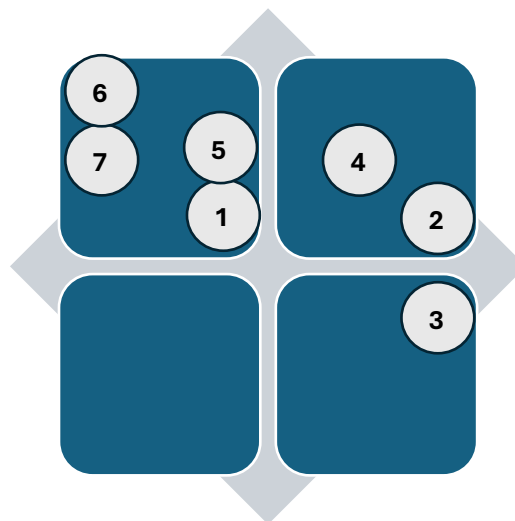
Luego de la lluvia de ideas, se procede con una matriz de decisión en la cual se evalúan todas posibles soluciones encontradas considerando su impacto sobre 3 ejes a los cuáles se les asigna un peso. Estos ejes son: CTQ's el cual tiene un peso de 0,25, variable de respuesta Y con un peso de 0,5 y la dificultad de la implementación, considerando costos, tiempo y esfuerzo y que tiene un peso de 0,25. A continuación, podemos ver la matriz de decisión en la Tabla 10.

**Tabla 10***Matriz de decisión*

Criterios Peso	CTQ's 0.25	Efecto sobre la Y 0.5	Implementación 0.25	Total
Realizar una actualización de las medidas de los tanques	1	6	6	5
Utilizar una báscula para comprobar las cantidades por peso	1	6	1	4
Modificar el fondo de los tanques	3	3	1	3
Usar el émbolo de arrastre	1	6	3	4
Agregar agua para evitar aspiración de aire y así extraer más producto	3	6	6	5
Establecer en el procedimiento la revisión de pulgadas vacías al día siguiente	3	9	9	8
Entrenar a los operadores sobre la revisión de pulgadas vacías y cómo rellenarlas	1	6	9	6

### 2.4.3 Matriz de priorización Impacto – Esfuerzo

En la Figura 18, se evalúa la relación entre el impacto que tiene la solución sobre la causa raíz y el esfuerzo que conlleva implementar esta solución.

**Figura 18***Matriz de priorización Impacto – Esfuerzo*

## 2.4.4 Plan de implementación

Luego de hacer la matriz de decisión y la matriz de priorización impacto – esfuerzo se seleccionan las soluciones que serán implementadas, y como muestra la Tabla 11, se elaboró un plan estructurado para ejecutar la implementación.

**Tabla 11**

### *Plan de implementación de soluciones*

Causa Raíz	Qué?	Por qué?	Cómo?	Dónde?	Quién?	Cúanto?	Cuándo?
El cliente no ha encontrado la manera de lograr una extracción total del producto atrapado en las mangueras	Agregar agua para evitar el vacío de forma que se logre extraer mas producto	Para evitar perder rendimiento de pintura que se quede atrapada en las mangueras	Cuando la pintura del tanque este baja y se empiece a succionar aire, se agregara agua como tapon para poder extraer todo el producto	Area de reduccion de tandas pequeñas	Equipo del proyecto Coordinador de produccion Operadores	\$ 2,095.00	7/1/26
No se consideraba que las pulgadas vacías tuvieran un alto impacto en la variación del rendimiento	Establecer en procedimiento la revision de pulgadas vacías al dia siguiente	Para realizar un control de cuanta agua falta para completar la cantidad indicada en la formula, obteniendo la cantidad real planificada de producto	Colocar una sañetetica al final del dia como forma de recordatorio para el dia siguiente, indicando la obligacion de realizar un control de pulgadas vacías al tanque	Area de reduccion de tandas pequeñas	Equipo del proyecto Coordinador de produccion Operadores	\$ 205.00	7/1/26
	Capacitar a los operadores sobre la importancia de este problema	Para que los operadores comprendan la implicacion de este problema en relacion a la cantidad de produccto que se pierde en la produccion	Se realizaran charlas donde se explicaran cosas relacionadas al tema, llevando un control de que operadores han sido capacitados	Sala de videoconferencia de manufactura	Equipo del proyecto Coordinador de produccion Operadores	\$ 14.00	12/1/26
No se ha considerado la variación de volumen un la verificación de tanques pequeños	Actualizar medidas de tanques	Para establecer tablas de calibración (galones por pulgada) exactas, ya que las medidas existentes han cambiado ligeramente y el error en la distribución de volumen es una causa raíz	Retomar las medidas de los tanques (altura y diámetro). Aplicar un Estudio Gage R&R (MSA) para validar estadísticamente la precisión y exactitud	Area de reduccion de tandas pequeñas	Equipo del proyecto Coordinador de produccion Operadores	\$ 343.00	14/1/26

## 2.4.5 Descripción de las soluciones de mejora

### 2.4.5.1 Realizar una actualización en las medidas de los tanques

Existen tanques pequeños en el área de producción que tienen hasta 30 años desde su adquisición. Cuando fueron adquiridos se tenía el volumen de estos tanques, sin embargo, con el paso de los años varios de ellos han sufrido cambios en el volumen, debido al desgaste del metal o deformaciones producidas por impactos. Por este motivo, es importante hacer una actualización de las medidas de los tanques, para trabajar con volúmenes reales, ya que, al momento de calcular el rendimiento esperado de acuerdo con el volumen teórico del tanque, este puede perder exactitud por la creencia de que el tanque tiene una mayor capacidad que la que realmente posee.

Para llevar a cabo esta mejora, se hace un estudio Gage R&R, el cual consiste en que tres operadores toman las medidas del tanque (diámetro y altura) y lo hacen tres veces cada uno tomando la medición desde distintos puntos del tanque, como se ve en la Figura 19. Al

final se promedian las mediciones obteniendo un volumen más real que con el que se trabajaba.

**Figura 19**

*Evidencias de toma de mediciones*



#### **2.4.5.2 Añadir agua para evitar aspiración de aire y así extraer más producto**

Cuando se bombea el producto del tanque de reducción a la tolva de envasado, el producto viaja por medio de una manguera, y cuando el producto se vacía en el tanque de reducción sigue habiendo producto atrapado en la manguera (entre 5 y 10 galones dependiendo del producto y manguera), sin embargo, como el hueco del tanque ya está vacío la bomba empieza a succionar aire y pierde presión con lo cual no se puede recuperar el producto atrapado en la manguera.

La solución que se encuentra a este problema es, como muestra la Figura 20, añadir agua en el tanque de reducción hasta que cubra por completo el hueco del tanque. Esto sirve como un tapón para que la bomba recupere la presión suficiente y salga el producto atorado en la manguera.

Se diseña un Poka Yoke el cual consiste en la propuesta, la cual no se ha implementado aun, de implementar sensores que hacen que una vez que la bomba empieza a

aspirar aire se bloquee automáticamente, esto evita que la malla de la tolva reviente, ya que al inflarse mucho de aire puede explotar. Por otro lado, una vez que la bomba se detenga se añade el agua al tanque y se vuelve a bombear hasta que nuevamente la bomba aspire aire y se vuelva a bloquear. En ese punto el producto atrapado en la manguera, ya se ha recuperado.

**Figura 20**

*Implementación de la solución y toma de muestras*



#### **2.4.5.3 Establecer en el procedimiento la revisión de las pulgadas vacías al día siguiente y entrenar a los operadores sobre la revisión de pulgadas vacías y cómo rellenarlas.**

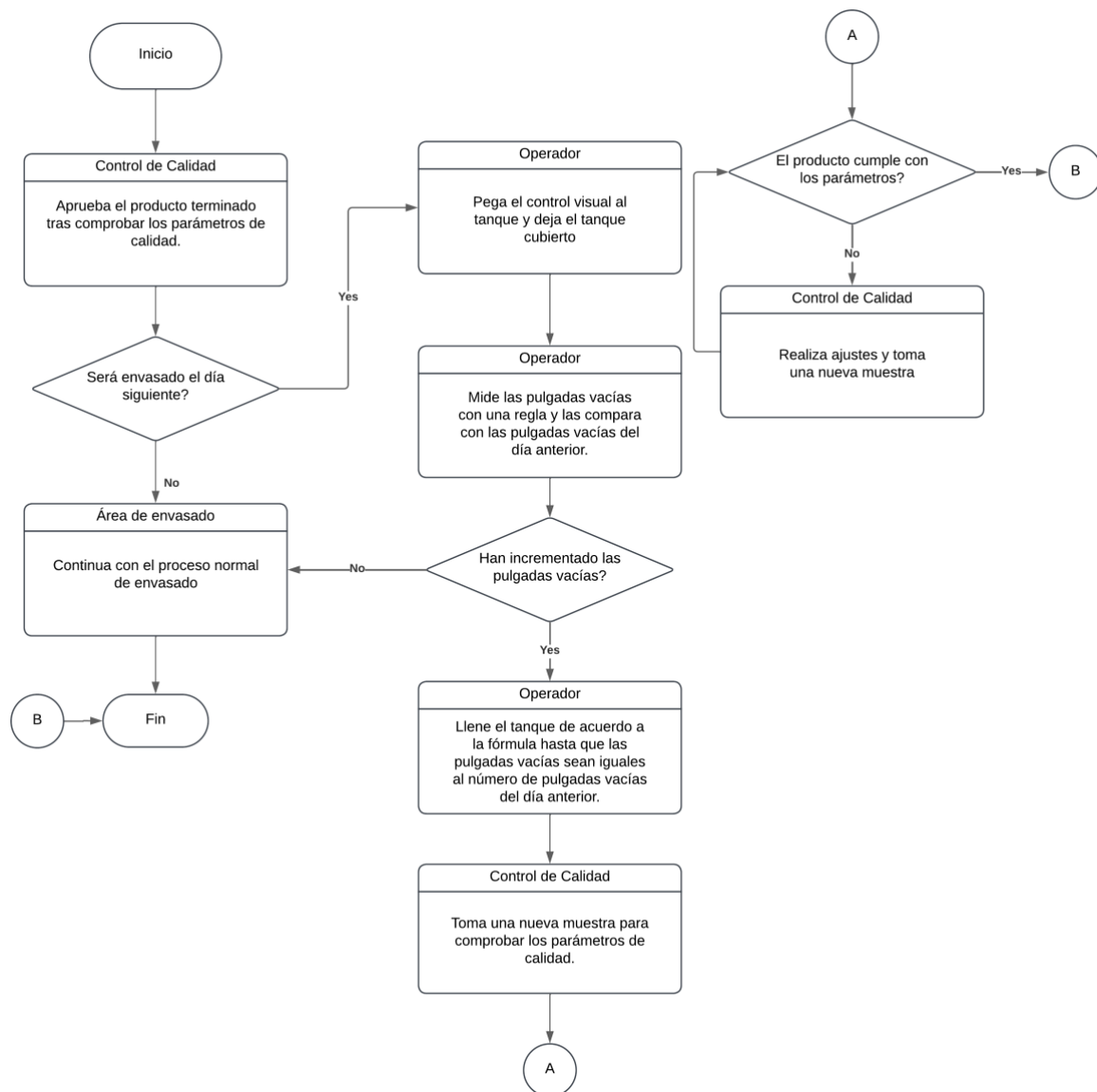
Cuando el producto en el tanque está listo para ser envasado, pero no alcanza a envasarse ese día, se debe hacer un control de pulgadas vacías. Este control consiste en medir con una regla las pulgadas vacías que tiene el tanque cuando termina el turno de producción y volverlas a medir cuando empieza el siguiente turno, es decir, al día siguiente. Si existe una diferencia de pulgadas vacías significa que hay pérdida de volumen y, por ende, se debe

completar de acuerdo con la fórmula y los parámetros de calidad para eliminar esa pérdida de volumen. La implementación de esta solución consta de tres pasos.

El primer paso es la actualización del procedimiento de producción en el cual se añade un apartado completamente nuevo de control de pulgadas vacías por medio de un diagrama de flujo, el cual antes no existía. Este nuevo procedimiento, mostrado en la Figura 21, requiere que se realice una capacitación al personal de producción para que manejen este nuevo método.

**Figura 21**

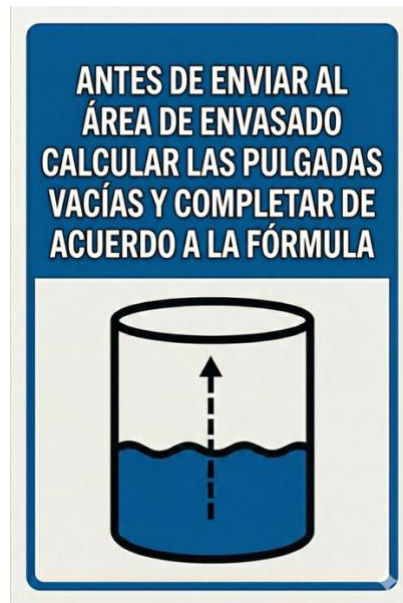
*Diagrama de flujo – Control de pulgadas vacías*



El segundo paso es la implementación de un control visual, que se muestra en la Figura 22, el cual debe ser colocado en los tanques de reducción al final del turno cuando estos no vayan a ser envasados en ese mismo día.

**Figura 22**

*Control visual en tanques de reducción*



El tercer paso de la implementación de esta solución es, capacitar a los operadores. Para hacer esto, como se ve en la Figura 23, se toman muestras como ejemplo, midiendo las pulgadas vacías de los tanques al finalizar el turno y volviendo a tomarlas al inicio del turno siguiente.

**Figura 23**

*Toma de muestras de pulgadas vacías y capacitación al personal*



## 2.5 Control

Luego de implementar las soluciones de mejora, se desarrolla un plan de control, el cual tiene como propósito que las soluciones perduren con el tiempo. Como podemos ver en la Tabla 12, el plan de control está hecho para cada una de sus soluciones y específica como se va a controlar y cada cuanto tiempo se debe llevar a cabo este control.

**Tabla 12**

*Plan de control*

Soluciones	¿Qué?	¿Quién?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Cuándo?	¿Dónde?
Realiza una actualización de las medidas de los tanques	Verifica si hay algún cambio en el volumen del tanque	Operadores de producción	Asegurar que el cliente trabaja con el volumen correcto	Toma medidas de los tanques utilizando la metodología Gage R&R	Cada 6 meses	Área de producción
Añadir agua para evitar la aspiración de aire y así extraer más producto	Verifica que los sensores funcionen correctamente una vez implementado el sistema Poka Yoke	Coordinador de mantenimiento	Para evitar que la bomba aspire aire y haga imposible recuperar el producto atrapado en las mangueras	Incorporando el sistema al programa de mantenimiento preventivo	Cada 3 meses	Área de producción
Establecer en el procedimiento la revisión de las pulgadas vacías al día siguiente	Comprueba si los tanques tienen pulgadas vacías que necesitan ser llenadas	Operadores de producción	Para evitar pérdidas de rendimiento por pulgadas vacías	Revisar las pulgadas vacías al final del turno y luego otra vez al comienzo del siguiente día	Diario	Área de producción

## **Capitulo 3**

### 3 Resultados y análisis

#### 3.1 Resultados de las soluciones implementadas

##### 3.1.1.1 Realizar una actualización en las medidas de los tanques

Luego de realizar la actualización de las medidas de los tanques, la cual se llevó a cabo en los 19 tanques pequeños, entre los días 14 y 15 de enero del 2026, se eliminó el sesgo de la capacidad real de los tanques el cual tenía un 7,3% de desviación con los volúmenes teóricos. Esto permite que la compañía mida un volumen real de cuánto producto hay en un tanque y evitar que el indicador de rendimiento salga de parámetros por mediciones erróneas de volumen.

##### 3.1.1.2 Añadir agua para evitar aspiración de aire y así extraer más producto

Del 8 al 16 de enero del 2026, 42 muestras de esta solución fueron tomadas y los resultados indicaron que en promedio 6 galones de producto fueron recuperados por lote luego de su implementación. La Figura 24 muestra 3 lotes que se tomaron como ejemplo y la cantidad de producto extraída antes de aplicar la solución y después de aplicarla.

**Figura 24**

*Galones recuperados luego bombear añadiendo agua como tapón*

<b>Batch</b>	<b>Amount of paint planned to be produced (Galons)</b>	<b>Before pumping using water (Galons)</b>	<b>Gallons obtained after pumping using the water cap</b>
579603041	240	233	+4
579604014	130	122	+5
579603011	291	282	+8

### 3.1.1.3 Establecer en el procedimiento la revisión de las pulgadas vacías al día siguiente y entrenar a los operadores sobre la revisión de pulgadas vacías y cómo rellenarlas

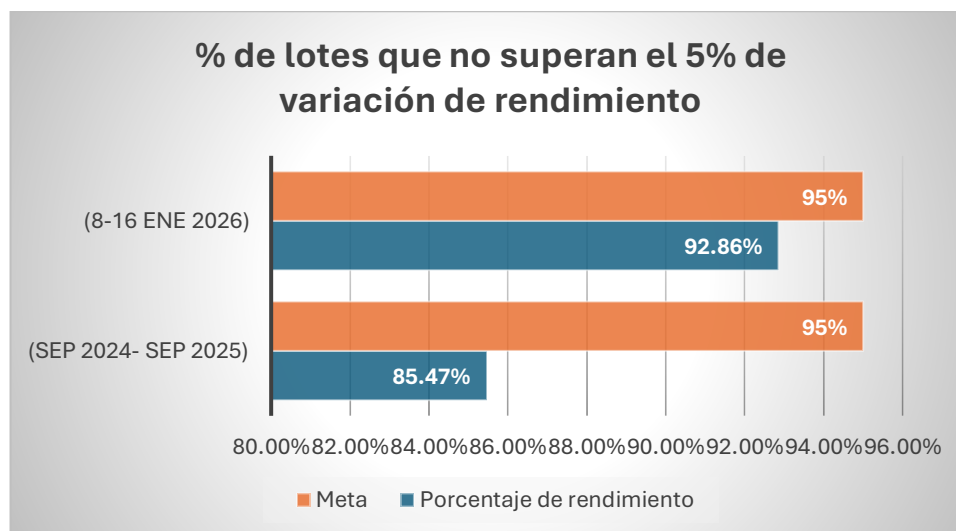
La tercera solución tuvo 20 muestras, del 8 al 16 de enero del 2026, ya que no todos los lotes se envasaban al día siguiente y no todos tenían un aumento en sus pulgadas vacías. De estos 20 lotes muestreados 19 demostraron un aumento de 0,5 pulgadas vacías y uno de ellos aumentó en una pulgada vacía. De acuerdo con el volumen del tanque, esos aumentos de pulgadas vacías representaban entre 3 y 7 galones por lote que fueron recuperados luego de completar los productos con aumento en pulgadas vacías según su fórmula y parámetros de calidad.

### 3.2 Resultados de lotes que no exceden el 5% de variación de rendimiento

Tras haber implementado las soluciones de mejora, y medir su impacto individual, se midió la eficacia de las soluciones en conjunto con un indicador semejante al de la “Y = Porcentaje de lotes que no superan el 5% de variación de rendimiento”, cambiando la periodicidad mensual a medirlo por lote fabricado. Esto se hace ya que la implementación abarcó un tiempo de dos semanas y los datos no eran los suficientes para medir la Y bajo su periodicidad original.

**Figura 25**

*Comparación % de lotes que no superan el 5% de variación de rendimiento antes y después de las soluciones*



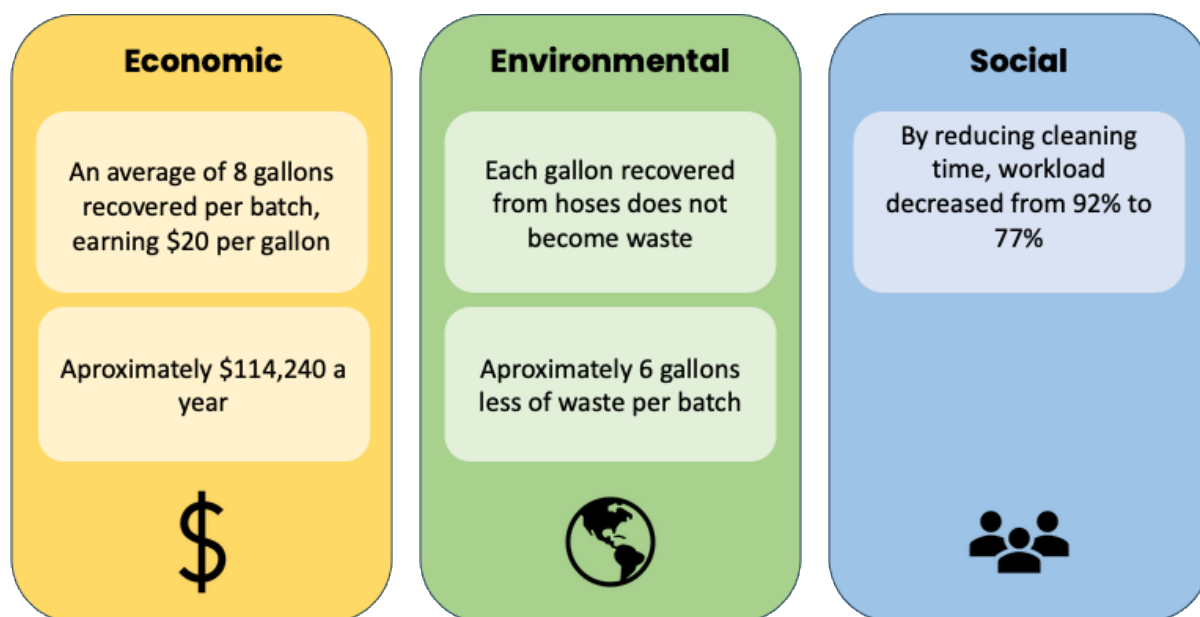
Con los resultados de la Figura 25 se puede observar que el porcentaje de lotes que no supera la variación de rendimiento aceptada subió de 85,47% a 92,86% lo que significa que la brecha entre el porcentaje de rendimiento y la meta (95%) disminuyó de 9,53% a 2,14%.

### 3.3 Resultados Triple Bottom Line

Los resultados del triple bottom line se ven a continuación en la Figura 26.

**Figura 26**

*Resultados del Triple Bottom Line*



Los resultados del triple bottom line demuestran que, en lo económico, cada galón recuperado se transforma en \$20 adicionales para la empresa. Esto medido con el plan de demanda del año 2026, equivale a \$114240 que se ganarían aplicando las soluciones.

En la parte ambiental, cada galón que se recupera de las mangueras se transformaría en desperdicio si no fuese recuperado, en promedio se tiene 6 galones menos de desperdicio por lote. Esto equivale a 4284 galones menos de desperdicio anual.

Por último, en lo social, el tiempo de limpieza de tanques y mangueras también disminuye debido a la recuperación de producto, al medirlo el resultado arrojó que la carga laboral disminuyó del 92% al 77% para el personal encargado del lavado de equipos

## **Capítulo 4**

## 4 Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

- La aplicación de la metodología DMAIC permitió incrementar el porcentaje de lotes dentro del rango aceptable de rendimiento del 85,47% al 92,86%. Esto redujo la brecha de desempeño (Gap) con la meta del 9,53% al 2,14%, validando la efectividad técnica de las soluciones.
- Se demostró que la variabilidad del proceso no provenía de errores humanos aleatorios, sino de factores físicos y mecánicos ignorados. La desactualización histórica de las medidas de los tanques y la pérdida sistemática de producto en mangueras y por asentamiento nocturno, descartando así fallos en la formulación química.
- El proyecto trasciende la mejora operativa y genera un impacto financiero proyectado de \$114,240 anuales al recuperar producto que antes se perdía. Simultáneamente, reduce la huella ambiental evitando el desperdicio de 4,284 galones/año y mejora el bienestar social al disminuir la carga laboral del personal de limpieza del 92% al 77%.

### 4.2 Recomendaciones

- Dada la efectividad demostrada del sistema Poka Yoke y el bombeo con tapón de agua, se recomienda evaluar la factibilidad técnica de replicar estas soluciones en las líneas de producción de pinturas base solvente u otras familias de productos de alto volumen. Extender estas mejoras, que ya generaron un ahorro proyectado de más de \$114,000 en una sola línea, podría multiplicar exponencialmente el impacto económico y la recuperación de material en toda la planta.
- Durante la fase de medición se detectó que la empresa no lleva un registro histórico formal de la calidad de las materias primas, dificultando el análisis estadístico. Se recomienda implementar, preferentemente, un archivo digital de control o módulo en

el ERP, que registre los parámetros de calidad de cada lote recibido. Esto permitirá pasar de una verificación puntual a un Aseguramiento de Calidad de Proveedores basado en datos históricos para futuros proyectos de mejora.

**Bibliografía**

Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2015). *Administración y control de la calidad* (9.ª ed.). Cengage Learning.

Gryna, F. M., Chua, R. C., & DeFeo, J. A. (2007). *Juran's quality planning and analysis for enterprise quality* (5.ª ed.). McGraw-Hill.

Imai, M. (1997). *Gemba kaizen: A commonsense, low-cost approach to management*. McGraw-Hill Professional.

Ishikawa, K. (1986). *Guide to quality control*. Asian Productivity Organization.

Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's quality handbook* (5.ª ed.). McGraw-Hill.

Montgomery, D. C. (2019). *Design and analysis of experiments* (10.ª ed.). John Wiley & Sons.

Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2018). *Applied statistics and probability for engineers* (7.ª ed.). John Wiley & Sons.

Ohno, T. (1988). *Toyota production system: Beyond large-scale production*. Productivity Press.

Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution* (2.ª ed.). ASQ Quality Press.

Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probability and statistics for engineers and scientists* (9.ª ed.). Pearson.