

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Evaluación de línea de producción de repostería aplicando herramientas de mejora
continua para la reducción de mermas

INGE-2874

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniera en Alimentos

Presentado por:

Clara Reyes Ruiz

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

A mi familia y amigos.

Agradecimientos

A Dios.

A mis padres y hermanos.

A mis amigos de toda la vida, del colegio, de
la universidad y del trabajo.

A mis profesores.

A Eduardo, Rony y el personal de la línea de
repostería por su ayuda para el desarrollo de
este proyecto.

Declaración Expresa

Yo, Clara Reyes Ruiz, acuerdo y reconozco que:

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

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

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

Guayaquil, 20 de mayo del 2025



Clara Reyes Ruiz

Evaluadores

Andrea Desire Ortega Suasnavas, MSc.

Profesor de Materia

Priscila María Castillo Soto, MSc.

Tutor de proyecto

Resumen

En la línea de repostería de una empresa de snacks, el indicador de merma semanal está 0.73% por encima del objetivo. Por esto, se ve la necesidad de desarrollar una propuesta para la reducción de las pérdidas, de forma que los recursos de la empresa se aprovechen plenamente. Se identificó mediante diagrama de Pareto los productos que generan más desperdicio. A continuación se identificó el defecto principal, y se determinaron las causas raíces utilizando diagrama de Ishikawa y 5 Por qué. Se propuso un plan de acción y las actividades planteadas fueron evaluadas con una matriz de priorización. Se analizaron dos productos que engloban cerca del 25% del desperdicio, y se determinó que el 50% de dicha merma se debe a la consistencia inadecuada de los cakes. Se encontró como causas raíces malas prácticas en el pesado y mezclado, y mal funcionamiento de dosificadora y horno. Se plantearon 6 actividades en el plan de acción, y se evaluaron según cuatro criterios. Se concluye que el pesado y mezclado de ingredientes son relevantes en el desarrollo de la estructura de la miga, y que restableciendo las condiciones básicas del proceso se puede minimizar las alteraciones en la consistencia del producto final.

Palabras Clave: desperdicio, causa raíz, plan de acción, consistencia

Abstract

In the confectionery line of a snack food company, the weekly waste is 0.73% above the target. Therefore, there is a need to develop a proposal to reduce losses so that the company's resources are fully utilized. The products that generate the most waste were identified using a Pareto chart. Next, the main defect was identified, and the root causes were determined using an Ishikawa diagram and 5 Whys. An action plan was presented, and the proposed activities were evaluated using a prioritization matrix. Two products that account for about 25% of the waste were analyzed, and it was determined that 50% of this loss is due to the inadequate consistency of the cakes. The root causes were found to be poor weighing and mixing practices and malfunctioning of the dosing machine and oven. Six activities were proposed in the action plan and evaluated according to four criteria. It was concluded that the weighing and mixing of ingredients are relevant to the development of the crumb structure, and that restoring the basic conditions of the process can minimize alterations in the consistency of the final product.

Keywords: waste, root cause, action plan, consistency

Índice general

Evaladores	5
Resumen	1
<i>Abstract</i>	2
Índice general	3
Abreviaturas	5
Simbología	6
Índice de figuras	7
Índice de tablas	7
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del Problema	3
1.3 Justificación del Problema	4
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 Marco teórico	5
1.5.1 Productos de repostería	5
1.5.2 Merma en industria repostería	6
1.5.3 Referencias normativas	6
1.5.4 Mejora continua y herramientas de ACR.....	8
Capítulo 2	11
2. Metodología.	12
2.1. Análisis preliminar de datos	12
2.2. Segmentación de desperdicio	12
2.3. Taller de 3 días	14

2.4.	<i>Análisis de causa raíz</i>	14
2.5.	<i>Selección de soluciones</i>	16
Capítulo 3		17
3.	Resultados y análisis	18
3.1.	<i>Análisis preliminar</i>	18
3.2.	<i>Taller de 3 días</i>	22
3.3.	<i>Análisis de causa raíz</i>	23
3.4.	<i>Plan de acción</i>	26
3.5.	<i>Selección de soluciones</i>	28
3.6.	<i>Control de procesos</i>	30
Capítulo 4		31
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	32
4.1.	<i>Conclusiones</i>	32
4.2.	<i>Recomendaciones</i>	33
Referencias		34
Apéndice A		38

Abreviaturas

ACR Análisis de causa raíz

KPI Key Process Indicator

SKU Stock Keeping Unit, código único de identificación de producto

Simbología

CO₂ Dióxido de carbono

kg kilogramo

Índice de figuras

Figura 1 <i>Pérdida y desperdicio de alimentos por región y etapa en la cadena de valor</i>	2
Figura 2 <i>Diagrama de causa-efecto</i>	15
Figura 3 <i>Merma porcentual por semana y por turno</i>	18
Figura 4 <i>Diagrama de Pareto de kilogramos empacados por SKU</i>	19
Figura 5 <i>Diagrama de Pareto de kilogramos de desperdicio por SKU</i>	19
Figura 6 <i>Diagrama de Pareto de principales defectos</i>	21
Figura 7 <i>Cake con consistencia poco firme</i>	21
Figura 8 <i>Diagrama de Ishikawa, causas potenciales</i>	23
Figura 9 <i>Sesión con personal de la línea de repostería</i>	38
Figura 10 <i>Sesión con supervisor de planta</i>	38
Figura 11 <i>Recorrido en planta</i>	38

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Criterios fisicoquímicos para productos de repostería</i>	7
Tabla 2 <i>Criterios microbiológicos para productos de repostería</i>	7
Tabla 3 <i>Defectos en la línea de repostería</i>	12
Tabla 4 <i>Estructura del plan de acción</i>	15
Tabla 5 <i>Matriz de priorización de soluciones</i>	16
Tabla 6 <i>Peso promedio de desperdicio por defecto</i>	20
Tabla 7 <i>Plan de acción</i>	27
Tabla 8 <i>Matriz de priorización de soluciones</i>	29

Capítulo 1

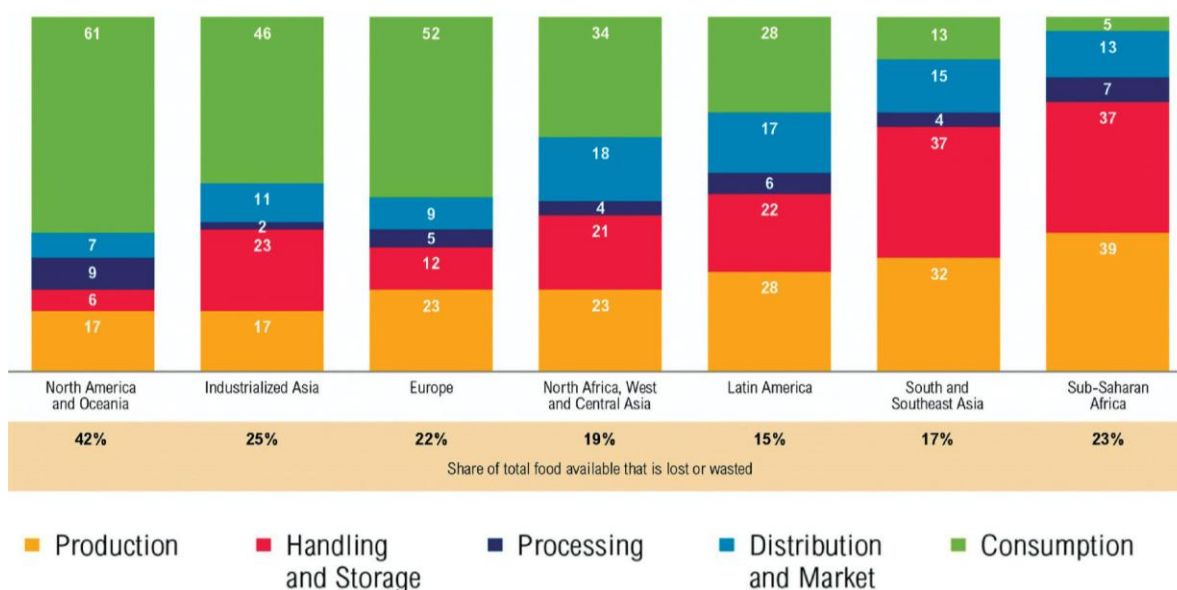
1.1 Introducción

La sostenibilidad del sistema global de alimentación se ve afectada por la pérdida y el desperdicio de alimentos. La pérdida comprende los alimentos que se echan a perder en la producción primaria, transporte y procesamiento, mientras que el desperdicio se cuantifica en las etapas de distribución y consumo (Chauhan et al., 2021). Alrededor de un tercio de la producción no es consumida (IFT, 2023), causando que todos los recursos utilizados para su manufactura (energía, agua, mano de obra y recursos económicos) se desperdicien, además de incrementar las emisiones de gases de efecto invernadero por su disposición en vertederos (Buzby, 2022).

Las pérdidas de alimentos, que ocurren desde la producción primaria hasta antes de la comercialización, están valoradas en \$400 billones a nivel global (IFT, 2023). En Latinoamérica y el Caribe se estima que se desecha un 15% de los alimentos producidos anualmente (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), cifra que representa el 6% de la pérdida de alimentos global (FAO, 2014; Krishnamurthy, 2024).

Figura 1

Pérdida y desperdicio de alimentos por región y etapa en la cadena de valor



Nota. Datos tomados de Krishnamurthy (2024).

Paradójicamente, la seguridad alimentaria, entendida como la garantía de acceso físico, social y económico a alimentos seguros, suficientes y nutritivos, continúa sin alcanzarse, con cerca de 900 millones de personas padeciendo de inseguridad alimentaria grave (FAO, 2023). Ecuador se encuentra en el puesto 48 de 113 en el ranking de seguridad alimentaria, con un puntaje de 65.6/100 (EIU, 2022). La prevalencia de la inseguridad alimentaria grave es del 13% de la población total, y un 37.3% padece inseguridad alimentaria moderada (FAO, 2023).

En el sistema alimenticio ecuatoriano, las pérdidas de alimentos en el procesamiento han alcanzado hasta el 20% (FAO, 2021). Aunque no existe una segmentación de esta pérdida por tipo de industria alimentaria, se conoce que la industria repostería es susceptible a sufrir grandes pérdidas en proceso, porque tiende a manejar grandes volúmenes de producción, a la par que alta rotación de productos (Rudge, 2024). Si bien no existen estudios acerca de la pérdida de alimentos en la industria repostería en el Ecuador, la variedad de operaciones involucradas y la tradicional falta de planificación de los procesos conducen a que la merma sea elevada. La merma se genera en etapas como almacenamiento de materia prima, dosificado/moldeado, horneado, empackado, envío y transporte, y las causas pueden ser factores humanos, errores del proceso, averías, calidad de materias primas, entre otras (Goryńska-Goldmann et al., 2021).

1.2 Descripción del Problema

En el sistema de producción de alimentos existen pérdidas que representan, a nivel global, 400 billones de dólares para las empresas (IFT, 2023), así como gran impacto ecológico relacionado al manejo de desperdicios. Por ello, la reducción de mermas constituye un punto neurálgico a considerar en las líneas de proceso.

En una empresa líder en el mercado nacional de pastelería industrial, la línea de repostería presenta elevadas mermas en proceso, con un promedio semanal de 2.55%, lo que

representa aproximadamente 1081.74 kg a la semana, durante los primeros 4 meses del año 2025. De las primeras diecisiete semanas del año, únicamente en tres se ha cumplido con el objetivo de desperdicio. Este indicador se ubica 0.73% por encima del límite máximo definido, por lo que es necesario desarrollar una propuesta técnica que incluya estrategias de mejora continua para reducir las pérdidas en la línea.

1.3 Justificación del Problema

Las pérdidas de alimentos son poco consideradas en los esfuerzos globales por mejorar la sostenibilidad de la industria alimentaria. Las iniciativas gubernamentales y privadas están principalmente orientadas a disminuir el desperdicio de alimentos a nivel de distribución y consumo, si bien las pérdidas en producción y procesamiento no son menos importantes (representan el 48% del total de pérdidas). El estudio de las pérdidas en las etapas de procesamiento es por naturaleza complejo, debido a la diversidad de los procesos y la necesidad de un enfoque personalizado para cada tipo de industria (Chauhan et al., 2021; Goryńska-Goldmann et al., 2021).

Por tanto, es necesario realizar un estudio cuantitativo y cualitativo de la merma en proceso en la línea de repostería, que permita identificar los productos que más se desperdician, cuantificar dicho desperdicio, reconocer las operaciones donde se produce más merma y las principales causas. La reducción en la merma permitirá a la empresa aprovechar mejor sus recursos económicos, energéticos y de mano de obra, reduciendo sus gastos operativos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un plan para la reducción de la merma en proceso de la línea de repostería a través de estrategias de mejora continua.

1.4.2 *Objetivos específicos*

- Identificar los productos que más se desperdicien, a partir de análisis de datos históricos.
- Determinar el defecto generador de la mayor parte del desperdicio y sus causas raíces, a través de segmentación de la merma y herramientas de mejora continua.
- Plantear acciones preventivas y correctivas para disminuir la merma y evitar la recurrencia de las causas.

1.5 Marco teórico

1.5.1 *Productos de repostería*

Los productos de repostería consisten en alimentos preparados a base de harina de trigo, azúcar y grasa, por lo que son artículos con alto contenido de carbohidratos y lípidos. Se obtienen a través de un amplio rango de etapas de procesamiento, incluyendo cocción en una fuente de calor seco, siendo la más usada los hornos (Rahaman et al., 2023; Zhang et al., 2024).

Para el procesamiento de productos de repostería es necesario obtener una mezcla de ingredientes, sin necesidad de que exista desarrollo de la masa. Para este efecto se utilizan mezcladoras de tipo orbital (Edwards, 2007). El propósito del mezclado es, además de asegurar homogeneidad en los ingredientes, obtener las propiedades reológicas y de textura deseadas y la aireación necesaria, considerando que los ingredientes tienen propiedades físicas diferentes, y que usualmente se trabaja con fluidos no newtonianos (Fellows, 2009).

La mezcla obtenida es colocada en moldes y horneada. El horneado es un proceso que involucra procesos de transferencia de calor y de masa simultáneamente. La transferencia de calor se produce por convección por el aire caliente circulante, radiación de las paredes del horno y conducción del molde. Por otro lado, la humedad se transfiere de la masa al aire, y es removida del horno (Fellows, 2009). Los hornos rotatorios de aire forzado pueden procesar grandes volúmenes de producto, y la rotación de las perchas garantiza una cocción uniforme (Cappelli et al., 2021). En los productos de repostería, donde se utilizan agentes leudantes químicos, el

aumento de volumen se debe a la expansión del aire y el CO₂, y la conversión del agua en vapor de agua (Edwards, 2007).

1.5.2 Merma en industria repostería

Los estudios de pérdidas y desperdicio en la industria alimentaria se han centrado principalmente en el desperdicio en la etapa de consumo, ignorando el análisis durante el procesamiento de las materias primas en producto final (Dora et al., 2020).

Dora et al. (2020) analizaron las causas de pérdidas de alimentos en procesamiento y empaclado por separado, categorizando las pérdidas en tres niveles (pérdida, pérdida sustancial y pérdida excesiva). Los resultados de encuestas realizadas en 47 empresas de fabricación de alimentos demostraron que las pérdidas “excesivas” estaban relacionadas a malas prácticas de transporte, cambios de producto, problemas de mantenimiento de equipos, ineficiencia de maquinaria, errores humanos y defectos de productos.

En un estudio realizado en Polonia, se determinó la cantidad de merma en diferentes panaderías y pastelerías, centrando el estudio en las etapas de procesamiento. Se encontró que el desperdicio en productos de repostería representaba del 6.8% al 24.4% de la producción. Adicionalmente, se determinó que las operaciones con mayor potencial de generación de desperdicio eran el moldeado y horneado, seguidas de el almacenamiento de materias primas y la preparación de la masa. Las causas de merma fueron clasificadas en factor humano, errores tecnológicos, averías, especificaciones del proceso, calidad de los equipos y calidad de materia prima (Goryńska-Goldmann et al., 2021).

1.5.3 Referencias normativas

En el Ecuador no se dispone de una normativa INEN para los productos de repostería, sin embargo, en la empresa estudiada se utiliza como referencia la normativa peruana RM N° 1020-

2010/MINSA y la norma oficial mexicana NOM-247-SSA1-2008, que establecen los siguientes límites:

Tabla 1

Criterios fisicoquímicos para productos de repostería

Parámetro	Límite máximo
Humedad	40.00%
Acidez (% ácido láctico)	0.70%
Cenizas	3.00%

Nota. Datos tomados de (Norma Sanitaria Para La Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería , 2011)

Por otro lado, los requisitos microbiológicos especificados son:

Tabla 2

Criterios microbiológicos para productos de repostería

Microorganismo	n	c	Límite por gramo	
			m	M
Mohos	5	2	10^2	10^3
Aerobios mesófilos	-	-	-	10^4
Coliformes totales	-	-	-	20
<i>Escherichia coli</i>	5	1	3	20
<i>Staphylococcus aureus</i>	5	1	10	10^2
<i>Clostridium perfringens</i>	5	1	10	10^2

<i>Salmonella</i> spp.	5	0	Ausencia/25g	---
<i>Bacillus cereus</i>	5	1	10 ²	10 ⁴

Nota. Datos tomados de (Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, 2008; Norma Sanitaria Para La Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería , 2011)

La pérdida de alimentos está regulada en el Ecuador por la Ley para prevenir y reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos, que detalla los lineamientos a seguir por instituciones productoras, procesadoras, distribuidoras, comercializadoras e importadoras de alimentos. Entre las normas dispuestas, se establece la obligación de no destruir los alimentos, salvo en caso de que ya no sean aptos para consumo. La jerarquización de acciones para reducir la pérdida y desperdicio de alimentos comprende, en primer lugar, las actividades de concienciación, a continuación donación para consumo humano, siempre que los productos cumplan con las especificaciones bromatológicas y de inocuidad de acuerdo a la normativa vigente. En el caso de alimentos que hayan dejado de ser aptos para consumo humano, se considera su aplicación para alimentos de consumo animal. Las empresas de fabricación de alimentos tienen prohibido destruir alimentos aptos para consumo humano, (Ley Para Prevenir y Reducir La Pérdida y El Desperdicio de Alimentos, 2022).

1.5.4 Mejora continua y herramientas de ACR

Las industrias de manufactura enfrentan problemas constantemente, por ejemplo, fallas en calidad de productos, procesos productivos poco fiables, demoras en entregas, quejas, etc. Para mantener su competitividad en el mercado y continuar satisfaciendo las necesidades de sus clientes, las empresas deben mejorar sus procesos de forma continua, buscando solución a los problemas y midiendo dichas mejoras a través de KPIs, de forma que se encaminen siempre

hacia la excelencia operacional (Jevgeni et al., 2015; John P.T. Mo et al., 2015; Lameijer et al., 2023).

El Prof. Kaoru Ishikawa y el Dr. Joseph Juran, citados por Purushothama (2012), propusieron una metodología para la resolución de problemas, que incluye:

1. Identificación del problema – Definir claramente el problema, sus implicaciones e importancia.
2. Observación – Investigar las características del problema desde diferentes puntos de vista.
3. Análisis – Identificar la causa raíz del problema utilizando la información levantada en el paso anterior.
4. Acción – Eliminar las causas, de forma que se prevenga la recurrencia del problema.
5. Verificación – Asegurarse de que el problema no es recurrente, comparando resultados antes y después de la implementación de la solución.
6. Estandarización – Creación de procedimientos y documentación, realizar entrenamiento y formación constante, para evitar que las soluciones se reviertan y el problema vuelva a ser recurrente.
7. Conclusión – Revisar el procedimiento de solución del problema, comprobar los resultados de las acciones tomadas y el progreso alcanzado.

En la etapa de análisis, diversas herramientas se utilizan para determinar la causa raíz del problema. El análisis de causa raíz es un método sistemático para identificar las razones subyacentes de los problemas, facilitando la implementación de acciones correctivas (Pietsch et al., 2024) y la mejora de los procesos. Entre las herramientas más utilizadas está el diagrama de Ishikawa o espina de pescado, y los 5 Por qué.

El diagrama de Ishikawa es una herramienta que ilustra la relación entre un evento y sus posibles causas (Goryńska-Goldmann et al., 2021). Los factores causales se agrupan en diferentes categorías que típicamente son: mano de obra, método, máquina, material, medición y medio ambiente (Liliana, 2016). El diagrama de Ishikawa permite que el equipo se concentre en las causas y no en los síntomas, y en combinación con los 5 Por qué, exploren las causas potenciales hasta hallar la causa raíz. La herramienta de los 5 Por qué consiste en preguntarse “¿Por qué sucede esto?” al menos cinco veces, hasta encontrar la verdadera causa de un suceso (Kent, 2016).

Capítulo 2

2. Metodología.

Las herramientas y procedimientos aplicados en el proyecto integrador se describen en la presente sección.

2.1. *Análisis preliminar de datos*

Se utilizó los datos históricos de kilogramos producidos, kilogramos de desperdicio y porcentaje de merma de la línea de repostería recolectados durante los cuatro primeros meses del año en curso. Los datos fueron segmentados por producto y por turno, considerando que la empresa opera en dos turnos de ocho horas.

Se realizó una serie de tiempo donde se graficó la merma porcentual por semana en el turno día, turno noche y global, considerando un objetivo de 1.82%.

Se identificó mediante gráficos de Pareto los SKU que más se producen, los que más kilogramos de merma generan y aquellos cuyo porcentaje de merma es mayor, aplicando la regla de 80-20. Se seleccionó el producto que más kg de merma genera semanalmente, con el fin de centralizar el estudio en dicho producto.

2.2. *Segmentación de desperdicio*

Para identificar el impacto de los diferentes defectos en el desperdicio de la línea se realizó un estudio de segregación de merma. Las etapas de identificación de producto defectuoso se presentan en la siguiente tabla, junto con los principales defectos asociados a los productos de la línea de repostería:

Tabla 3

Defectos en la línea de repostería

Etapas de identificación	Defecto	Observación

Dosificado	Cake pegado en los moldes	Los moldes son trasladados desde el área de empaque al área de dosificado, donde se recoge el producto que no se desmoldó al voltear los moldes.
	Cake no inyectado	El sensor no detecta el molde y no se inyecta crema
Inyectado	Cake reventado	Exceso de crema
	Cake sucio	Mezcla de masa de otro producto, lo que produce manchas
	Color no característico	Defecto en coloración
	Cake reventado	Cakes con exceso de crema que no fueron separados en la etapa de inyectado
Empacado	Consistencia no adecuada	Cake con poca solidez, se desprende parcialmente del molde o se desmorona
	Roto	Producto sufre daños al reempacar
	Humedad	Producto no cumple con los límites de humedad establecidos
Calidad	Tiempo de exposición	Producto excede el tiempo de exposición establecido por control de calidad

Nota. Elaboración propia

Se recolectó información durante una semana. Los pesos del desperdicio separado por defectos fueron tomados con una balanza industrial (Jadever Scale Co., Taiwán).

Con los datos de productos defectuosos se elaboró un diagrama de Pareto para segmentar los defectos causantes de la mayor parte del desperdicio.

2.3. Taller de 3 días

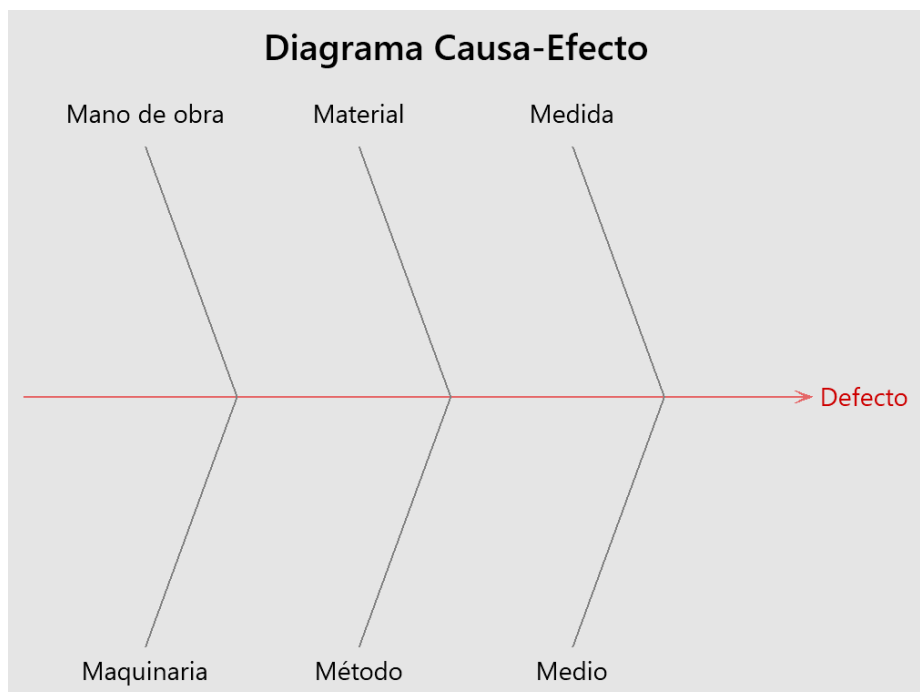
Una vez determinados los defectos prioritarios, se realizó un taller de 3 días consistente en un análisis integral de las pérdidas través de sesiones con personal operativo y supervisores de planta. Las técnicas utilizadas para recolección de la información fueron grupos de discusión y entrevistas individuales. Los grupos de discusión consisten en reunir grupos pequeños de personas en conversación informal, enfocada en un tema específico (Carey & Asbury, 2016).

En las sesiones se levantó información concreta acerca de las etapas en el proceso donde se generan los defectos identificados y las causas potenciales, desde la perspectiva de cada involucrado. Adicionalmente, se determinaron oportunidades de mejora y proyectos potenciales. La información recolectada fue corroborada en planta mediante observación en recorridos.

2.4. Análisis de causa raíz

Las causas potenciales identificadas en el taller de 3 días fueron analizadas con el diagrama de Ishikawa y la herramienta de 5 Por qué, con el fin de determinar las causas raíces del desperdicio. El formato utilizado para el diagrama de Ishikawa se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Los factores causales analizados fueron:

- Mano de obra: relacionado al desempeño de las personas que realizan las actividades.
- Material: materiales y componentes utilizados en la producción.
- Medida: relacionados a la medición de las características de calidad.
- Maquinaria: asociado a maquinaria o equipo.
- Método: métodos, procedimientos de trabajo. Incluye falta de estandarización, problemas de planificación.
- Medio ambiente: relacionado al ambiente de trabajo, factores ambientales que podrían influir.

Figura 2*Diagrama de causa-efecto*

Con base en las causas raíces determinadas se generó un plan de acción, siguiendo el formato presentado a continuación:

Tabla 4*Estructura del plan de acción*

Causa raíz	¿Qué?	¿Cómo?	¿Cuándo?	¿Quién?	Resultado esperado
Causa identificada con los 5 Por qué	Acciones a realizar	Tareas que darán cumplimiento al ¿Qué?	Fecha o periodo concreto de realización	Responsable	¿Qué se busca lograr?

Nota. Elaboración propia.

2.5. Selección de soluciones

Se realizó una matriz de priorización de soluciones, basada en los siguientes criterios con las ponderaciones presentadas:

- Rapidez: tiempo necesario para implementar la solución y empezar a evidenciar resultados. Ponderación: 30%
- Facilidad: dificultad de implementación, esfuerzo necesario para poner en práctica. Ponderación: 20%
- Impacto: qué tan influyente será la solución en el desperdicio. Ponderación: 20%
- Factibilidad económica: necesidad de recursos, posibles inversiones, etc.
Ponderación: 30%

Se construyó la siguiente matriz para evaluar las soluciones propuestas y determinar su calificación global, asignando por cada factor una calificación del 1 al 5 (1=muy mala, 5=muy buena).

Tabla 5

Matriz de priorización de soluciones

Solución	Factibilidad							
	Rapidez (30%)		Facilidad (20%)		Impacto (20%)		económica	Suma
							(30%)	total
	Valor	Resultado	Valor	Resultado	Valor	Resultado	Valor	Resultado

Nota. Elaboración propia.

Se solicitó a tres evaluadores que calificaran las soluciones propuestas, de forma que se pudiera ordenar las acciones de acuerdo a su factibilidad.

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

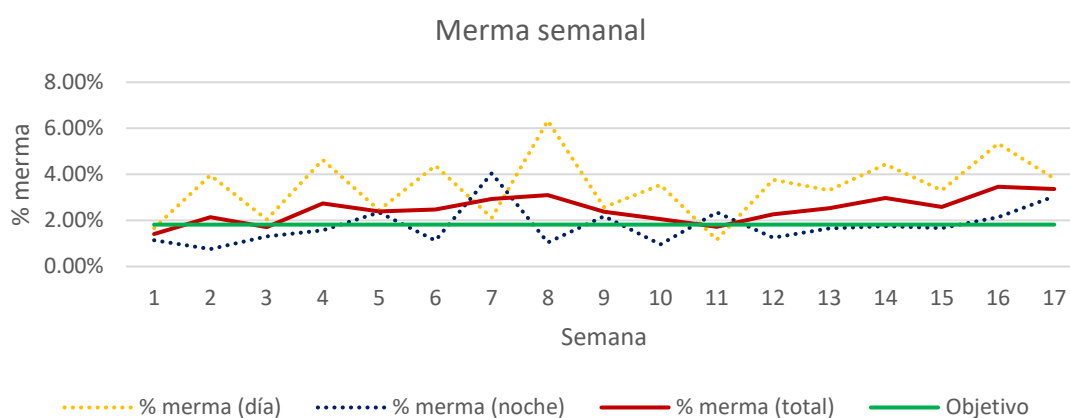
Los resultados obtenidos de la aplicación de los métodos descritos se presentan a continuación.

3.1. Análisis preliminar

Los resultados de merma porcentual semanal en los meses de enero a mayo del 2025 se visualizan en la siguiente serie de tiempo:

Figura 3

Merma porcentual por semana y por turno



Se observa que, de las 17 semanas, únicamente en tres se cumple el objetivo.

Se realizó un análisis con base en datos de control de producción y se determinó los productos con más volumen de producción y aquellos con mayor masa desperdiciada:

Figura 4

Diagrama de Pareto de kilogramos empacados por SKU

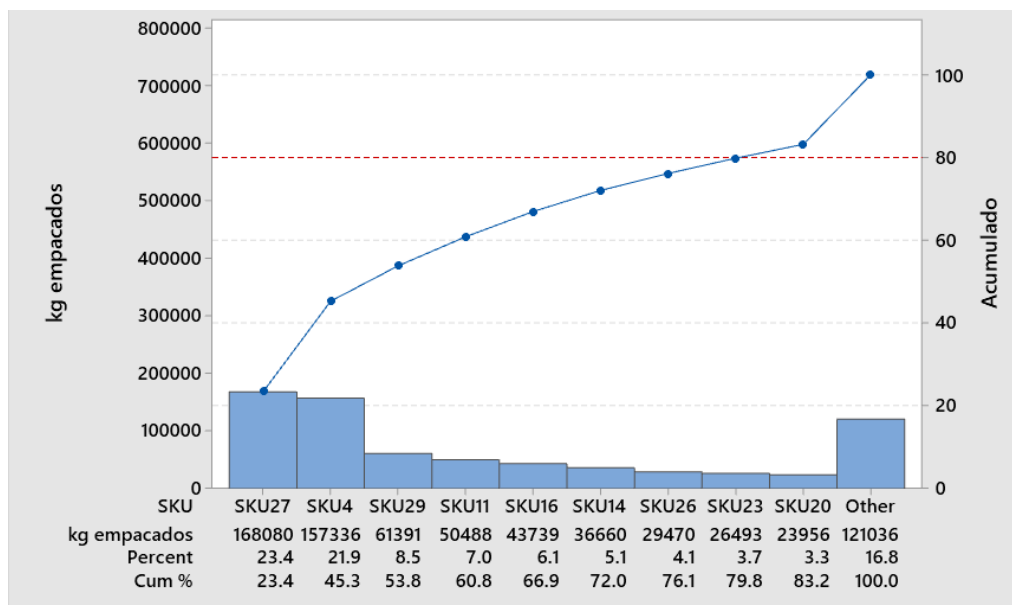
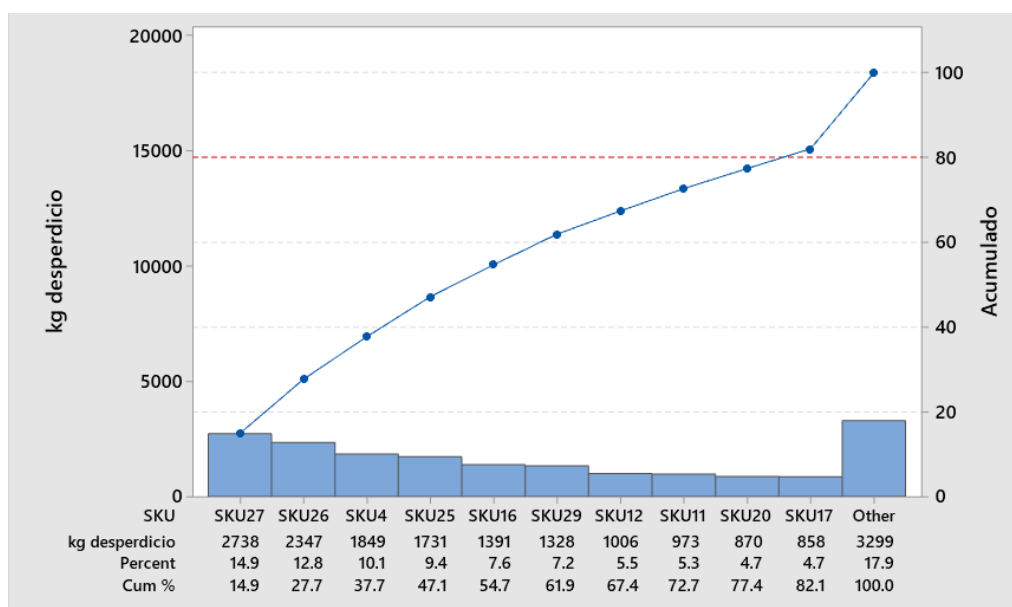
**Figura 5**

Diagrama de Pareto de kilogramos de desperdicio por SKU



Como se observa en las gráficas, el SKU 27 y el SKU 4 resultaron ser los más relevantes para el estudio, considerando el volumen empacado y el desperdicio generado. El SKU 26, si

bien representa el 12.8% de los kg de merma, por su naturaleza fue descartado del estudio, puesto que el 70% de la merma es propia del proceso productivo.

Por tanto, los productos escogidos para el presente trabajo fueron los SKU 27 y 4. Estos pueden ser agrupados en un grupo de productos, puesto que presentan características similares y comparten los mismos procesos. El SKU 27 consiste en un cake de vainilla con relleno de crema de vainilla, y el SKU 4 es un cake de chocolate con crema de vainilla. Por ende, se consideraron ambos productos en conjunto.

Una vez elegidos los productos, se realizó la recolección de merma separada por defecto durante 5 días. Los resultados promedio se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6

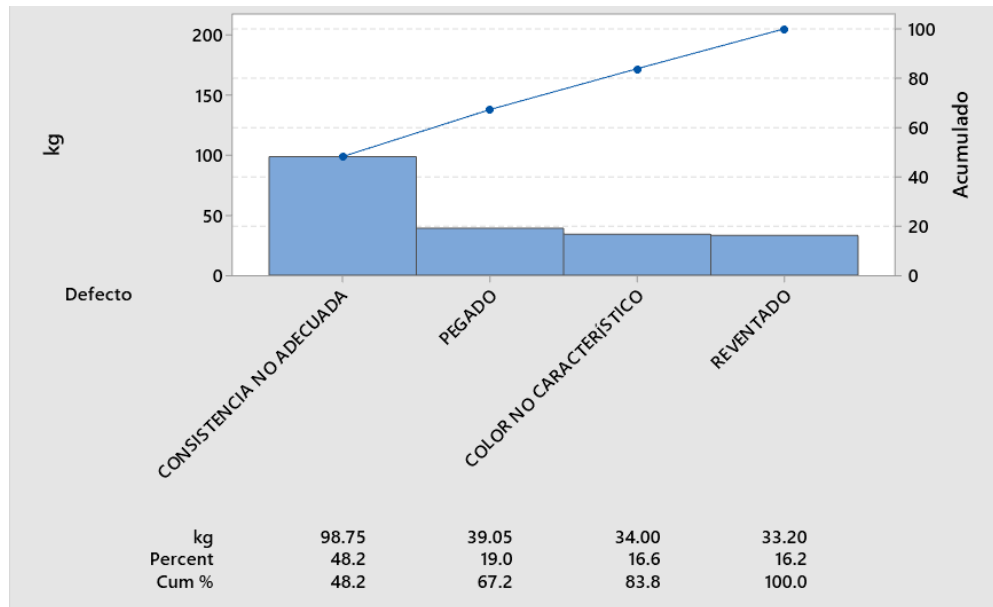
Peso promedio de desperdicio por defecto

Etapas	Defecto	Peso promedio (kg)
Dosificado	Pegado	7.81
Inyectado	Cake reventado	6.64
Empacado	Color no característico	6.8
	Consistencia no adecuada	19.75

Con los datos recopilados se realizó gráfica de Pareto para determinar los defectos más relevantes:

Figura 6

Diagrama de Pareto de principales defectos



De acuerdo con lo identificado, el defecto de consistencia no adecuada fue seleccionado por ser el más relevante, por ser la fuente de aproximadamente el 50% del desperdicio.

Los cakes con este defecto presentan poca firmeza de miga, ausencia de costra en la base y tendencia a romperse o desmoronarse, como se aprecia en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 7

Cake con consistencia poco firme



3.2. Taller de 3 días

Se realizó un grupo focal con el personal responsable de las etapas de dosificado, horno y empacado (ver Figura 9). Durante la sesión se realizó una lluvia de ideas acerca del problema, las más destacadas se enlistan a continuación:

1. La masa varía en consistencia.
2. La presión en el cabezal de dosificado se regula manualmente, algunos moldes con peso excesivo pasan al horneado.
3. Distribución de calor en el horno no es uniforme.
4. Variación en parámetros en preparación de masa.
5. Desgaste en cabezales de dosificadora.

Se realizaron entrevistas y un recorrido en las instalaciones en compañía de los supervisores del área (Figura 10 y Figura 11), y se comprobó la siguiente información:

1. En el pesado de materia prima para realizar la mezcla no se sigue con exactitud la formulación. Esto se comprueba al realizar el ajuste de inventario al final del turno, hay materia prima sobrante que debería haberse consumido.

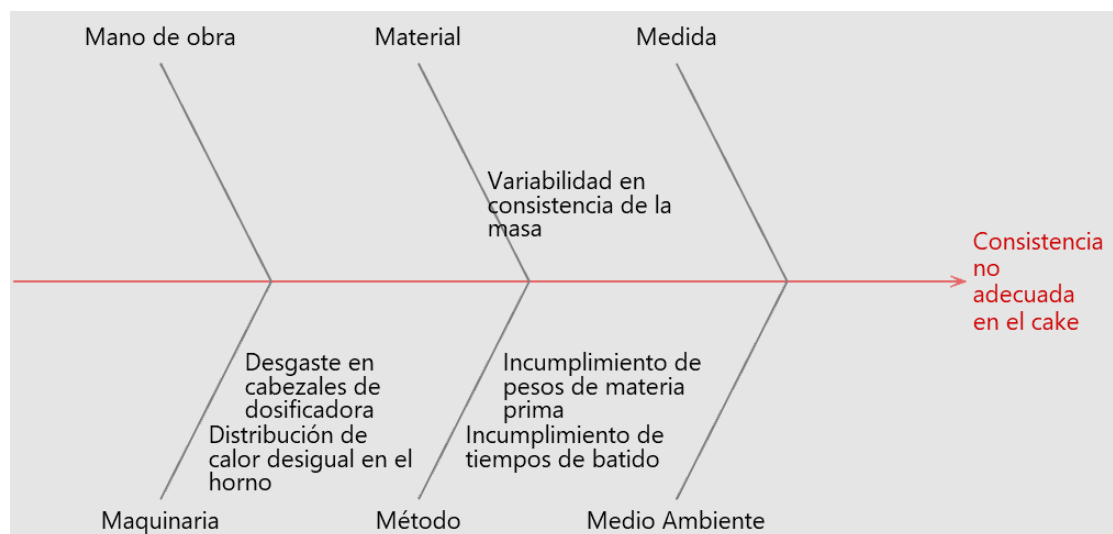
2. Ciertos ingredientes no se pesan, se dosifican directamente según la apreciación del pesador.
3. No se realiza la medición de gravedad específica de la masa.
4. Ciertas partes del horno no funcionan adecuadamente.
5. La malla del horno presenta zonas con incrustaciones.
6. El funcionamiento de la dosificadora es inestable.
7. El tiempo de batido está configurado en la amasadora, sin embargo, si al finalizar el batido se considera que la masa está demasiado densa, se reinicia el ciclo y se bate la mezcla por un tiempo más. Por otro lado, si se observa que la masa está poco densa, se detiene el mezclado antes de finalizar el ciclo.

3.3. Análisis de causa raíz

Una vez recolectada la información, se realizó el diagrama de Ishikawa, donde se reconocen las causas potenciales para el defecto:

Figura 8

Diagrama de Ishikawa, causas potenciales



Estas primeras causas fueron profundizadas con la herramienta de 5 Por qué, identificándose finalmente las causas raíces:

- Incumplimiento de pesos de materia prima.
- Incumplimiento de tiempo de batido.
- Falta de mantenimiento en dosificadora.
- Tiro 3 del horno inoperante.
- Malla del horno con incrustaciones.

La calidad de un producto tipo cake depende de tres factores fundamentales: la adecuación de los ingredientes para el tipo de producto a realizar, un balance adecuado de ingredientes, y un correcto mezclado y horneado (Al-Dmoor & El-Qudah, 2016). Las causas raíces determinadas afectan tanto a la mezcla de ingredientes como a la etapa de horneado, lo que demuestra su influencia en las características finales del producto.

La estructura, suavidad y humedad de los productos de repostería dependen, en primer lugar, de los ingredientes utilizados. Los pasteles son una mezcla de ingredientes suavizantes como azúcar, grasa, yemas de huevo, agentes leudantes y chocolate, e ingredientes estructurales o aglutinantes como harina, claras de huevo, y sólidos lácteos (Conforti, 2007, 2014).

El propósito del batido es formar una masa homogénea con los ingredientes, y garantizar la incorporación de aire (Wilderjans et al., 2013). La adición de aire y el mezclado confieren a la masa sus propiedades reológicas, que luego determinarán la estructura del producto horneado (Chesterton et al., 2011).

La capacidad de absorción de líquido de la harina es determinante para la viscosidad de la masa, y por tanto para la estabilidad de la emulsión (Wilderjans et al., 2013). Durante el batido no se desarrolla el gluten, puesto que la viscosidad de la masa es menor que en el pan y por tanto, se ejerce menor esfuerzo sobre el gluten. Por otro lado, las lipoproteínas del huevo reducen la tensión interfacial, propiciando la formación de la emulsión (Rodríguez-García et al., 2013; Wilderjans et al., 2013). La grasa se distribuye por la masa en partículas irregulares, que

favorecen la retención del aire. La función de la grasa se ve favorecida por la disminución en la tensión superficial a cargo de la proteína del huevo. El azúcar tiene un efecto sobre la grasa, rompiendo los cristales en cristales de menor tamaño, además, al disolverse disminuye la viscosidad de la masa, y compite con la glutenina y gliadina impidiendo el desarrollo del gluten. Por último, la proporción de líquido debe mantenerse. El agua disuelve los ingredientes e hidrata los almidones, además es necesaria para la generación de CO_2 a partir del agente leudante. Otro ingrediente determinante en las propiedades de flujo de la masa es el emulsionante añadido, que mejora la retención de aire (Conforti, 2007).

La densidad de la masa es una medida de la cantidad de aire incorporado. Los parámetros de batido son igualmente determinantes en la estructura de los pasteles. Si el tiempo de batido excede el establecido, la densidad de la masa disminuye (Tan et al., 2011).

En el proceso estudiado, se observó que los parámetros de batido no son consistentes entre paradas. Además, el pesado de ingredientes es manual, y existe descuido en el proceso, lo que ocasiona que la formulación no se observe estrictamente. De igual modo, se observó que en ciertas ocasiones los ingredientes pesados no son batidos inmediatamente, porque el personal pesa los ingredientes y se retira a almorzar, continuando el trabajo después. Esto afecta los parámetros de hidratación de la harina, dispersión de grasas y estabilidad de emulsión que, como se explicó previamente, determinan la densidad y viscosidad de la mezcla.

Esta variabilidad en las características de flujo de la masa causa que la presión del cabezal de la dosificadora se eleve fuera del rango cuando la masa bombeada es de menor densidad. Esto, sumado al funcionamiento defectuoso de las boquillas de la dosificadora, causa que ciertos moldes se dosifiquen con peso excesivo. De esta forma, algunos moldes con hasta 10 gramos de excedente son llevados a la etapa de horneado. El proceso de horneado fue diseñado para un peso determinado de producto en las cavidades del molde, por tanto, en los moldes con

peso excedente no se completa el proceso de cocción, y la miga del producto final no presenta la consistencia deseada.

Por otro lado, si las propiedades de la masa son variables, el desarrollo de la estructura durante el horneado se ve ciertamente afectado. La miga de los productos de pastelería se genera (parcialmente) durante el horneado, y depende del número y tamaño de burbujas de aire creadas, del grado de gelatinización, y la coagulación de las proteínas (Conforti, 2007). Durante la cocción, se forma una estructura reticular de proteína hidratada, con gránulos de almidón parcialmente gelatinizados incorporados, a la vez que las grasas actúan de lubricante en la estructura (Rodríguez-García et al., 2013).

La gelatinización parcial del almidón y la coagulación de las proteínas del huevo son los dos principales fenómenos causantes de la formación de estructura de los pasteles. A medida que la masa se calienta, la presión en las celdas de gas aumenta, y finalmente colapsan, permitiendo la salida de gas desde el cake. Además, se produce un incremento drástico en la viscosidad aparente de la masa, que termina formando una espuma sólida con celdas interconectadas (Wilderjans et al., 2013).

Además de experimentar gelatinización en el horneado, durante el enfriamiento inicia la retrogradación del almidón, que consiste en la re asociación parcial de ciertas moléculas de almidón, formando zonas de unión y finalmente, un gel o precipitado. En los productos de repostería la retrogradación que ocurre en la etapa de enfriamiento contribuye a la firmeza de la miga (Fennema, 2017; Wilderjans et al., 2013).

Por tanto, para asegurar la consistencia adecuada en el producto final, es necesario asegurar que se cumpla la fórmula y parámetros de batido, de forma que las propiedades reológicas de la masa sean consistentes entre lotes, y de esta forma los procesos de gelatinización

de almidones, coagulación de proteínas y desarrollo de estructura en general se lleven a cabo de manera uniforme.

3.4. Plan de acción

Con base en las causas identificadas, se generó el siguiente plan de acción:

Tabla 7

Plan de acción

Causa raíz	¿Qué?	¿Cómo?	¿Cuándo?	¿Quién?	Resultado esperado
	Dotar de	Gestionar	18-22	E. A.	Todos los
	balanzas al	compra de	Agosto	R. C.	ingredientes
	área de pesado	balanza		M. C.	son pesados
					correctamente.
Incumplimiento de pesos de materia prima	Colocar procedimientos operacionales en el área de pesado	Realizar			
		portafolio de			
		procedimientos,			
		ubicar en zona	18-22	E. A.	Seguimiento de
		de pesado de	Agosto	R. C.	fórmulas y
		MP. Educar al			procedimientos
		personal en su			
		uso y consulta.			
Incumplimiento de tiempo de batido.	Colocar procedimientos operacionales	Realizar			
		portafolio de	18-22	E. A.	Seguimiento de
		procedimientos,	Agosto	R. C.	procedimiento
		ubicar en zona			de batido

	en el área de batido	de batido. Educar al personal en su uso y consulta.			
Falta de mantenimiento en dosificadora.	Gestionar con departamento de mantenimiento el mantenimiento preventivo de la dosificadora	Revisión de plan de mantenimiento, priorización de acciones	Septiembre 2025	D. B. E. A. R. C.	Mejora en funcionamiento de dosificadora
Tiro 3 del horno inoperante.	Cambiar tiro 3	Solicitar repuesto y realizar reparación	Octubre 2025	D. B. M. C.	Mejora en distribución de calor en el horno
Malla del horno con incrustaciones.	Limpiar la malla	Realizar análisis y determinar tipo de suciedad. Realizar limpieza de malla	Diciembre 2025	D. B. E. A. R. C.	Mejora en distribución de calor en el horno

Nota. Por confidencialidad se han omitido los nombres de los responsables.

3.5. Selección de soluciones

Las soluciones propuestas fueron evaluadas de acuerdo a la matriz de priorización propuesta. Los evaluadores fueron: supervisor de producción, jefa de producción y coordinadora de mejora continua.

Tabla 8

Matriz de priorización de soluciones

Solución	Rapidez		Facilidad		Impacto		Factibilidad económica		Suma total
	Valor	30%	Valor	20%	Valor	20%	Valor	30%	
Dotar de balanzas al área de pesado	5	1.5	5	1	3	0.6	4	1.2	4.3
Colocar procedimientos operacionales en el área de pesado	5	1.5	5	1	3	0.6	5	1.5	4.6
Colocar procedimientos operacionales en el área de batido	5	1.5	5	1	3	0.6	5	1.5	4.6
Gestionar con departamento de mantenimiento el mantenimiento	2	0.6	3	0.6	5	1	2	0.6	2.8

preventivo de la									
dosificadora									
Cambiar tiro 3	1	0.3	2	0.4	5	1	2	0.6	2.3
Limpiar la malla	1	0.3	1	0.2	5	1	3	0.9	2.4

De acuerdo a la matriz de priorización, las acciones relativas al pesado de ingredientes y control en batido son aquellas más viables a corto plazo. El impacto que tienen es menor comparado con las acciones relacionadas a la maquinaria, sin embargo, como se ha descrito, es necesario estandarizar las condiciones mínimas básicas del proceso para asegurar la calidad del producto.

3.6. Control de procesos

Como se ha descrito previamente, las propiedades de la masa son clave en el desarrollo de las propiedades de textura del producto final. Por tanto, se propuso un control de la densidad relativa de la masa después del batido, antes de bombear la masa hacia la dosificadora.

Para determinar la densidad relativa (o peso específico), se requiere de un recipiente pequeño. Se debe conocer en primer lugar el peso del recipiente vacío y el peso del recipiente con agua. Estos valores son fijos, y cada parada se debe tomar una muestra para llenar el recipiente con masa y pesarlo. Para determinar la densidad relativa se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Peso de recipiente con masa} - \text{Peso de recipiente}}{\text{Peso de recipiente con agua} - \text{Peso de recipiente}}$$

De esta forma, es posible establecer control de las propiedades de la masa antes de continuar el proceso, y determinar si efectivamente es necesario alargar el tiempo de batido.

Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

Una vez aplicado lo planificado, se concluye lo siguiente:

- El plan desarrollado propone un conjunto de acciones dirigidas a la reducción de la merma en proceso, con base en un análisis de los defectos prioritarios y sus causas raíces determinados utilizando herramientas de mejora continua.
- Los datos de producción demuestran que los productos que más se producen y más se desperdician son dos SKU que se pueden agrupar en una misma familia de productos, puesto que comparten procesos y características de calidad. En conjunto, comprenden el 45.3% de la producción diaria y el 25% del desperdicio de la línea.
- El análisis de segmentación de desperdicio evidencia que el 48.2% de la merma se debe a la consistencia inadecuada del cake, causada por incumplimiento de parámetros de pesado y mezclado, y en averías de los equipos de dosificado y horneado. Las etapas de pesado y batido son de alta relevancia para el desarrollo de la estructura de los productos de repostería en el horneado y enfriamiento.
- El plan de acción levantado recoge acciones preventivas y correctivas para las causas raíces, resultando en un total de seis actividades enfocadas en restablecer las condiciones básicas del proceso. De estas, las acciones relativas a la mejora en los procesos de pesado de ingredientes y control de parámetros de batido son más factibles a corto plazo, mientras que aquellas correspondientes al mantenimiento y reposición de piezas defectuosas en maquinaria resultan menos convenientes desde un punto de vista económico y de rapidez de implementación, aunque su impacto en el desperdicio es mayor.

4.2. Recomendaciones

Con el fin de ampliar el presente estudio, se presentan las siguientes recomendaciones:

- Se sugiere analizar más en profundidad la merma por defecto, tomando datos por un periodo de 30 días como mínimo.
- Es recomendable implementar el control de densidad relativa de la masa para determinar un intervalo de tiempo de batido adecuado.
- Una vez planteadas las acciones, se sugiere poner en práctica las referentes al pesado y batido, con el correspondiente entrenamiento al personal, y cuantificar la reducción en la presencia de cakes con consistencia poco firme.
- Una operación determinante también en la estructura de los productos de repostería es el enfriamiento. Por tanto, es recomendable evaluar esta etapa en el proceso, y verificar que el enfriamiento sea uniforme para todos los lotes.
- Sería conveniente replicar la metodología con más productos de la línea, de forma que se abarque un mayor porcentaje del desperdicio semanal.

Referencias

- Al-Dmoor, H., & El-Qudah, J. (2016). Cake Flour Chlorination and Alternative Treatments (Review). *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 4(2), 127–134. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.4.2.06>
- Buzby, J. (2022). *Food Waste and its Links to Greenhouse Gases and Climate Change*. <https://www.usda.gov/about-usda/news/blog/food-waste-and-its-links-greenhouse-gases-and-climate-change>
- Cappelli, A., Lupori, L., & Cini, E. (2021). Baking technology: A systematic review of machines and plants and their effect on final products, including improvement strategies. *Trends in Food Science & Technology*, 115, 275–284. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.048>
- Carey, M. A., & Asbury, J.-E. (2016). *Focus Group Research*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315428376>
- Chauhan, C., Dhir, A., Akram, M. U., & Salo, J. (2021). Food loss and waste in food supply chains. A systematic literature review and framework development approach. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126438. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126438>
- Chesterton, A. K. S., Meza, B. E., Moggridge, G. D., Sadd, P. A., & Wilson, D. I. (2011). Rheological characterisation of cake batters generated by planetary mixing: Elastic versus viscous effects. *Journal of Food Engineering*, 105(2), 332–342. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.043>
- Conforti, F. D. (2007). Fundamentals of Cakes: Ingredients and Production. In *Handbook of Food Products Manufacturing* (pp. 307–325). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470113554.ch16>
- Conforti, F. D. (2014). Bakery Products Science and Technology. In W. Zhou, Y. H. Hui, I. De Leyn, M. A. Pagani, C. M. Rosell, J. D. Selman, & N. Therdthai (Eds.), *Bakery Products Science and Technology* (2nd ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118792001>
- Dora, M., Wesana, J., Gellynck, X., Seth, N., Dey, B., & De Steur, H. (2020). Importance of sustainable operations in food loss: evidence from the Belgian food processing

- industry. *Annals of Operations Research*, 290(1–2), 47–72.
<https://doi.org/10.1007/s10479-019-03134-0>
- Edwards, W. P. (2007). *The Science of Bakery Products*. The Royal Society of Chemistry.
<https://doi.org/10.1039/9781847557797>
- EIU. (2022). *Global Food Security Index*.
- FAO. (2014). *Food losses and waste in Latin America and the Caribbean*.
<https://www.fao.org/3/i3942e/i3942e.pdf>
- FAO. (2021, October 21). *Food Loss and Waste Database*. <https://www.fao.org/platform-food-loss-waste/flw-data/es/>
- FAO. (2023). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2023*. FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO; <https://doi.org/10.4060/cc3017es>
- Fellows, P. J. (2009). Baking and roasting. In *Food Processing Technology* (pp. 538–551). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845696344.3.538>
- Fennema, O. (2017). *Food Chemistry* (S. Damodaran & K. L. Parkin, Eds.). Taylor & Francis.
- Goryńska-Goldmann, E., Gazdecki, M., Rejman, K., Łaba, S., Kobus-Cisowska, J., & Szczepański, K. (2021). Magnitude, Causes and Scope for Reducing Food Losses in the Baking and Confectionery Industry—A Multi-Method Approach. *Agriculture*, 11(10), 936. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100936>
- IFT. (2023). *Food Science and Technology Solutions to Improve Food and Nutrition Security: Reducing Food Loss & Valorizing Food Processing Side Streams*. https://www.ift.org/-/media/policy-advocacy/files/fsts_improve_food_nutrition_security.pdf
- Jevgeni, S., Eduard, S., & Roman, Z. (2015). Framework for Continuous Improvement of Production Processes and Product Throughput. *Procedia Engineering*, 100, 511–519. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.398>
- John P.T. Mo, Cees Bil, & Arvind Sinha (Eds.). (2015). Continuous improvement. In *Engineering Systems Acquisition and Support* (pp. 205–212). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-212-0.00012-2>
- Kent, R. (2016). Tools for quality management and improvement. In *Quality Management in Plastics Processing* (pp. 197–226). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102082-1.50007-1>

- Kiran, D. R. (2017). Seven Traditional Tools of TQM. In *Total Quality Management* (pp. 271–290). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811035-5.00020-9>
- Krishnamurthy, K. (2024). Food waste: a changing landscape. *Food Science and Technology*, 38(1), 20–24. https://doi.org/10.1002/fsat.3801_4.x
- Lameijer, B. A., Boer, H., Antony, J., & Does, R. J. M. M. (2023). Continuous improvement implementation models: a reconciliation and holistic metamodel. *Production Planning & Control*, 34(11), 1062–1081. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1974114>
- Ley Para Prevenir y Reducir La Pérdida y El Desperdicio de Alimentos, Pub. L. No. Oficio Nro. AN-SG-2022-0393-O (2022).
- Liliana, L. (2016). A new model of Ishikawa diagram for quality assessment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 161, 012099. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/161/1/012099>
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control* (Sixth). John Wiley & Sons.
- Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Pub. L. No. 247 (2008).
- Norma Sanitaria Para La Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería , Pub. L. No. 088, Dirección General de Salud Ambiental (2011).
- Pietsch, D., Matthes, M., Wieland, U., Ihlenfeldt, S., & Munkelt, T. (2024). Root Cause Analysis in Industrial Manufacturing: A Scoping Review of Current Research, Challenges and the Promises of AI-Driven Approaches. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 8(6), 277. <https://doi.org/10.3390/jmmp8060277>
- Purushothama, B. (2012). Problem solving and change management. In *Training and Development of Technical Staff in the Textile Industry* (pp. 115–139). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857095848.115>
- Rahaman, S. M., Bhattarai, A., Kumar, D., Singh, B., & Saha, B. (2023). Application of biosurfactants as emulsifiers in the processing of food products with diverse utilization in the baked goods. In *Applications of Next Generation Biosurfactants in the Food Sector* (pp. 203–237). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824283-4.00021-6>

- Rodríguez-García, J., Puig, A., Salvador, A., & Hernando, I. (2013). Functionality of Several Cake Ingredients: A Comprehensive Approach. *Czech Journal of Food Sciences*, 31(4), 355–360.
- Rudge, S. (2024, May 14). How Bakeries Can Lead Global Efforts in Food Waste Reduction. *Food Chain Magazine*. <https://foodchainmagazine.com/news/how-bakeries-can-lead-global-efforts-in-food-waste-reduction/>
- Sałaciński, T., Chrzanowski, J., & Chmielewski, T. (2023). Statistical Process Control Using Control Charts with Variable Parameters. *Processes*, 11(9), 2744. <https://doi.org/10.3390/pr11092744>
- Scallan, P. (2003). Selection of quality assurance methods. In *Process Planning* (pp. 324–380). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-075065129-5/50009-X>
- Shelke, K., Faubion, J. M., & HOSENEY, R. C. (1990). The Dynamics of Cake Baking as Studied by a Combination of Viscometry and Electrical Resistance Oven Heating. *Journal of Cereal Chemistry*, 67(6), 575–580.
- Tan, M. C., Chin, N. L., & Yusof, Y. A. (2011). Power ultrasound aided batter mixing for sponge cake batter. *Journal of Food Engineering*, 104(3), 430–437. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.01.006>
- Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science & Technology*, 30(1), 6–15. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.01.001>
- Zhang, Z., Chen, Y., Deng, P., He, Z., Qin, F., Chen, Q., Wang, Z., Pan, H., Chen, J., & Zeng, M. (2024). Research progress on generation, detection and inhibition of multiple hazards - acrylamide, 5-hydroxymethylfurfural, advanced glycation end products, methylimidazole - in baked goods. *Food Chemistry*, 431, 137152. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137152>

Apéndice A

Figura 9 *Sesión con personal de la línea de repostería*



Figura 10 *Sesión con supervisor de planta*



Figura 11 *Recorrido en planta*

