

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**  
**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

**Diseño de un esquema de control de proceso en masas de chocolate blanco**  
**para una fábrica de confites**

**INGE-2465**

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingenieros Industriales**

Presentado por:

López Barahona Jesús Antonio

Parrales Santana Lady Milena

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

## Declaración Expresa

---

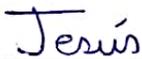
Nosotros Jesús Antonio López Barahona y Lady Milena Parrales Santana acordamos y reconocemos que:

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 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/los autor/es 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, 17 de mayo del 2024.



---

Jesús Antonio López

Barahona



---

Lady Milena Parrales

Santana

## **Evaluadores**

---

**María Fernanda López Sarzosa, MSc**

Profesora de Materia

---

**María Laura Retamales García, MSc**

Tutora de proyecto

## Resumen

El presente proyecto se llevó a cabo en una fábrica de confitería que recibe como materia prima masa de chocolate que se almacena en tanques por tiempos prolongados, lo que hace que cambien sus propiedades antes de entrar a producción, el objetivo de este proyecto es asegurar que los lotes de masa cumplan las especificaciones establecidas realizando un ajuste a las masas con aditivos como el Polirricinoleato de Poliglicerol (PGPR) y la lecitina. La metodología seleccionada para lograr este objetivo fue DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), así se logró identificar que las variables de interés para que la masa se encuentre en buen estado son la viscosidad y el límite de flujo. Como soluciones se implementó una reestructura de la tabla de ajuste de masas, un tablero de control y la documentación del procedimiento de ajuste rediseñado. Como resultado, el cumplimiento con las especificaciones para todos los lotes de masa de chocolate alcanzó el 100%, desde un 59%, y el mayor control ayudó a reducir el desperdicio asociado con el uso de Polirricinoleato de Poliglicerol (PGPR) y lecitina. En conclusión, se observaron mejoras en el cumplimiento de las especificaciones, ahorro en el uso de aditivos, reducción de desperdicios y una disminución en el tiempo que los operadores dedican al control de las masas.

**Palabras Clave:** Viscosidad, Límite de flujo, PGPR, lecitina, DMAIC.

### ***Abstract***

*This project was carried out in a confectionery factory that receives chocolate mass as raw material, which is stored in tanks for prolonged periods, causing its properties to change before entering production. The objective of this project is to ensure that the mass batches meet the established specifications by adjusting the masses with additives such as Polyglycerol Polyricinoleate (PGPR) and lecithin. The methodology selected to achieve this objective was DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control), through which it was identified that the key variables for the mass to be in good condition are viscosity and yield stress. As solutions, a restructuring of the mass adjustment table, a control dashboard, and the documentation of the redesigned adjustment procedure were implemented. As a result, compliance with the specifications for all chocolate mass batches reached 100%, up from 59%, and the increased control helped reduce waste associated with the use of Polyglycerol Polyricinoleate (PGPR) and lecithin. In conclusion, improvements were observed in specification compliance, savings in additive usage, waste reduction, and a decrease in the hours operators dedicate to mass control.*

*Keywords: Viscosity, Yield stress, PGPR, Lecithin, DMAIC.*

## Índice general

Resumen .....	I
Abstract.....	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	VI
Índice de Figuras.....	VII
Índice de Tablas .....	IX
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del Problema.....	3
1.2.1 Planteamiento del problema .....	4
1.3 Justificación del problema .....	6
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo General .....	7
1.4.2 Objetivos Específicos .....	7
1.5 Marco Teórico .....	8
1.5.1 Voice of customer (VOC) .....	8
1.5.2 DMAIC.....	8
1.5.3 SIPOC.....	9
1.5.4 Viscosidad .....	9
1.5.5 PGPR.....	9
1.5.6 Lecitina .....	10
1.5.7 ZLMV.....	10
1.5.8 Emulsificantes .....	10
1.5.9 TPM.....	11

1.5.10 ODS.....	11
Capítulo 2.....	12
2.1 Metodología.....	13
2.2 Requerimientos.....	13
2.3 Variables de interés.....	16
2.4 Métricas de sostenibilidad.....	17
2.5 Alcance del proyecto (SIPOC).....	18
2.6 Mapeo del proceso.....	18
2.7 Plan de recolección de datos.....	19
2.8 Restricciones.....	21
2.8.1 Recepción.....	21
2.8.2 Tanque de almacenamiento.....	21
2.8.3 Masa de chocolate.....	22
2.9 Causas.....	22
2.9.1 Análisis de Causas.....	27
2.9.2 Herramienta 5 Porque.....	33
2.10 Solución.....	35
2.10.1 Priorización de soluciones.....	36
2.10.2 Descripción de solución propuesta.....	38
2.10.2.1 Reestructura de tabla de ajuste.....	38
2.10.2.3 Rediseño del procedimiento de ajuste de masas de chocolate.....	42
Capítulo 3.....	45
3. Resultados y Análisis.....	46
3.1 Pruebas estadísticas.....	47
Capítulo 4.....	52

4.1 Conclusiones y recomendaciones .....	53
4.1.1 Conclusiones .....	53
4.1.2 Recomendaciones .....	54
Referencias .....	56

**Abreviaturas**

CTQ	Critical to Quality
TPM	Total Productive Maintenance
VOC	Voice of customer

## Índice de Figuras

Figura 1. Viscosidad de la masa de chocolate blanco antes de ser liberada a la línea de producción .....	3
Figura 2. Límite de flujo de la masa de chocolate blanco antes de ser liberada a la línea de producción.....	4
Figura 3. Voc de la coordinadora de producción .....	13
Figura 4. Voc del supervisor de producción .....	14
Figura 5. Voc del operario de recepción .....	14
Figura 6. Voc de la analista de materia prima .....	14
Figura 7. Diagrama de afinidad .....	15
Figura 8. Ctq tree (parte 1).....	15
Figura 9. Ctq tree (parte 2).....	16
Figura 10. Sipoc del alcance del proyecto .....	18
Figura 11. Mapa del proceso del alcance del proyecto .....	19
Figura 12. Plan de recolección de datos (parte 1).....	20
Figura 13. Plan de recolección de datos (parte 2).....	20
Figura 14. Plan de recolección de datos (parte 3).....	21
Figura 15. Lluvia de ideas sobre posibles causas .....	22
Figura 16. Diagrama de ishikawa de causas .....	23
Figura 17. Matriz causa efecto sobre la variable y1 (parte 1).....	23
Figura 18. Matriz causa efecto sobre la variable y1 (parte 2).....	24
Figura 19. Matriz causa efecto sobre la variable y2 (parte 1).....	24
Figura 20. Matriz causa efecto sobre la variable y2 (parte 2).....	25
Figura 21. Diagrama de pareto de causas .....	25
Figura 22. Diagrama impacto-esfuerzo sobre causas potenciales .....	27
Figura 23. Plan de verificación de causas (parte 1) .....	27
Figura 24. Plan de verificación de causas (parte 2) .....	28
Figura 25. Verificación de normalidad sobre la variable límite de flujo .....	28
Figura 26. Verificación de normalidad sobre la variable viscosidad.....	29
Figura 27. Correlaciones entre la cantidad de masa con el tiempo y los parámetros de viscosidad y límite de flujo.....	30

Figura 28. Modelo y ajuste de regresión de la viscosidad de la masa en el tiempo que reside en el tanque de almacenamiento .....	30
Figura 29. Anova de un factor para el límite de flujo antes y después de aditivos.....	31
Figura 30. Anova de un factor para la viscosidad antes y después de aditivos .....	31
Figura 31. Correlación entre variables y1, y2 antes y luego de aplicar aditivos, de acuerdo con los lotes .....	32
Figura 32. Ficha técnica de los emulsificantes usados .....	32
Figura 33. Priorización de soluciones .....	37
Figura 34. Pasos de la implementación de la solución .....	39
Figura 35. Relación entre la variación de la viscosidad en el tiempo y la cantidad de lecitina agregada .....	40
Figura 36. Relación entre la variación del límite de flujo en el tiempo y la cantidad de pgpr agregada .....	40
Figura 37. Vista general del tablero de control diseñado en power bi.....	42
Figura 38. Proceso del rediseño e implementación de procedimiento.....	43
Figura 39. Diagrama de subprocesos del tratamiento de masas de chocolate .....	43
Figura 40. Serie de tiempo de la viscosidad de masas de chocolate por lote antes de entrar a producción.....	46
Figura 41. Serie de tiempo de la viscosidad de masas de chocolate por lote antes de entrar a producción.....	47
Figura 42. Resultados de prueba de normalidad para la viscosidad después de implementar soluciones.....	48
Figura 43. Resultados de prueba de normalidad para el límite de flujo después de implementar soluciones.....	48

## Índice de Tablas

Tabla 1. Metodología 3W2H para definición del problema del proyecto .....	5
Tabla 2. Listado de causas potenciales .....	26
Tabla 3. Herramienta 5 Porque (parte 1) .....	33
Tabla 4. Herramienta 5 Porque (parte 2) .....	34
Tabla 5. Lista de posibles soluciones.....	35
Tabla 6. Niveles y valoraciones de característica: Tiempo de implementación .....	36
Tabla 7. Niveles y valoraciones de característica: Dificultad.....	36
Tabla 8. Niveles y valoraciones de característica: Tiempo de entrenamiento .....	37
Tabla 9. Niveles y valoraciones de característica: Impacto en el problema .....	37
Tabla 10. Tabla de ajuste de masas de chocolate.....	41
Tabla 10. Tabla de ajuste de masas de chocolate.....	41

# Capítulo 1

## 1.1 Introducción

El chocolate blanco es un producto derivado del cacao que se caracteriza por su color claro y su sabor dulce y suave. A diferencia del chocolate negro y del chocolate con leche, el chocolate blanco no contiene sólidos de cacao, sino que está compuesto principalmente por manteca de cacao, leche en polvo y azúcar (Konar et al., 2020).

En la producción de chocolate blanco, el control de proceso es un aspecto crítico que influye directamente en la calidad del producto final. Factores como la temperatura, la humedad, el tiempo de mezclado y la viscosidad son variables clave que deben ser monitoreadas y controladas de manera precisa para asegurar la consistencia y las propiedades deseadas del chocolate blanco (Guzmán et al., 2021). Pero no únicamente durante la producción del chocolate blanco se deben monitorear estos parámetros, este control se debe realizar durante todo el proceso subsecuente en la producción de derivados a partir de este tipo de chocolate, con el fin de asegurar la calidad del producto final.

El objetivo de este proyecto es diseñar un esquema de control de proceso para la fabricación de masas de chocolate blanco. La masa de chocolate blanco producida pasa por todo un proceso entre 2 fábricas hasta obtener el producto final, durante este proceso las propiedades de la masa de chocolate blanco pueden verse alteradas. Previamente, estos parámetros se controlan de manera no estandarizada, basándose en la experiencia visual y sensorial de los operarios, lo cual puede generar variaciones en la calidad del producto. Por lo que este esquema de control se enfocará en estandarizar el control sobre las masas de chocolate blanco y con esto optimizar la producción, mejorar la calidad del producto y reducir los costos operativos.

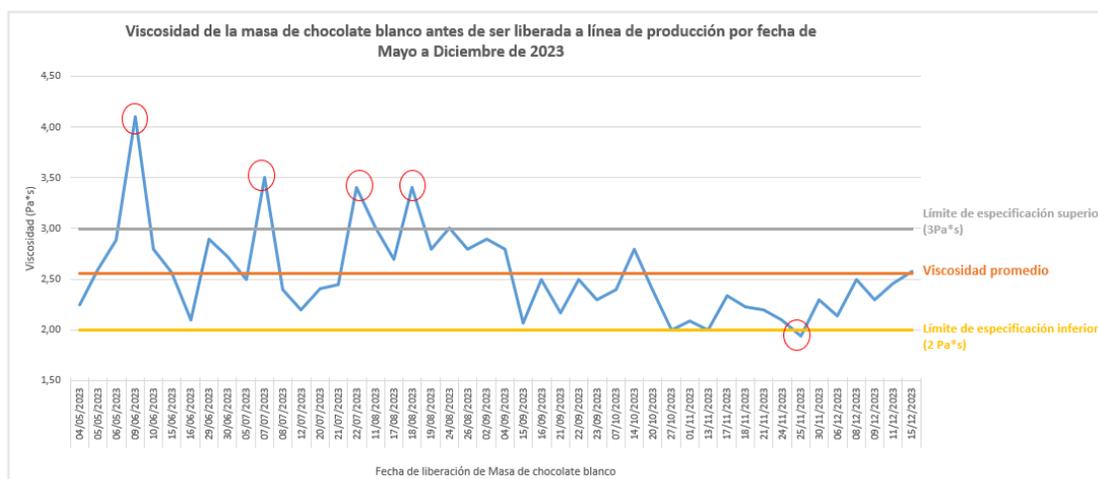
## 1.2 Descripción del Problema

Este proyecto surgió de la necesidad del tratamiento, ajuste y control estandarizado de los parámetros de viscosidad y límite de flujo de masas de chocolate blanco en una fábrica de confites en el sur de Guayaquil, ya que esta masa producida en la fábrica Norte varía sus parámetros durante todo el proceso antes de iniciar la producción de semielaborados a partir de esta masa en la fábrica Sur, afectando la calidad de la producción, produciendo desperdicios de masa y afectando la planificación de producción.

La fábrica produce distintos semi elaborados como tabletas, bombones y platillos de chocolate de diferentes gramajes, para asegurar su calidad, la masa de chocolate que ingresa al proceso de producción debe cumplir con las especificaciones de viscosidad y límite de flujo, ya que son parámetros que describen el comportamiento y propiedades físicas de la masa de chocolate blanco. Previamente, estos parámetros se controlan de manera no estandarizada, basándose en la experiencia visual y sensorial de los operarios, lo cual no asegura que la calidad de la masa sea la deseada. Esto se puede evidenciar en la Figura 1.

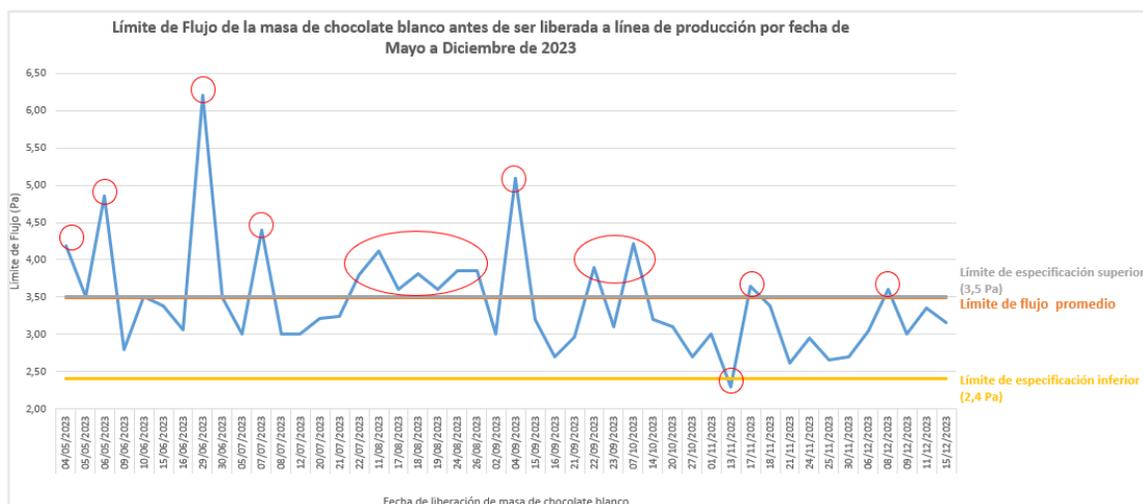
**Figura 1**

*Viscosidad de la masa de chocolate blanco antes de ser liberada a la línea de producción*



**Figura 2**

*Límite de flujo de la masa de chocolate blanco antes de ser liberada a la línea de producción*



La figura 1 muestra que en el 2023 se liberaron masas de chocolate blanco para producir semielaborados fuera de los límites de especificaciones de la viscosidad, mientras que en la figura 2 se muestra que se liberaron masas con el límite de flujo fuera de especificaciones, es importante mencionar que la masa debe cumplir con las especificaciones de ambas propiedades para encontrarse en las condiciones óptimas.

### **1.2.1 Planteamiento del problema**

El problema se centra en los parámetros de viscosidad y límite de flujo descritos previamente, los cuales determinan las condiciones y calidad de la masa de chocolate para producción. Al no cumplir la masa con las especificaciones de viscosidad y límite de flujo, puede presentar resistencia a fluir por las tuberías e inclusive el producto final podría presentar inconformidades.

**Tabla 1***Metodología 3W2H para definición del problema del proyecto*

<b>¿Qué?</b>	<b>La masa de chocolate blanco antes de ser liberada a línea de producción en la fábrica Sur se encuentra fuera de los parámetros de viscosidad y límite de flujo</b>
<b>¿Cuándo?</b>	Durante mayo a diciembre de 2023
<b>¿Dónde?</b>	En la fábrica sur
<b>¿Cuánto?</b>	El 89% de los lotes medidos cumplieron con el parámetro de viscosidad.  El 61% de los lotes medidos cumplieron con el parámetro de límite de flujo.
<b>¿Cómo lo sé?</b>	El 100% de los lotes deben ingresar a producción dentro de especificaciones. El ingreso de lotes fuera del parámetro de viscosidad y límite de flujo no está permitido.

Con lo cual el planteamiento del problema de este trabajo de tesis queda de la siguiente manera:

La masa de chocolate blanco liberada para producción en la fábrica Sur no cumple con las especificaciones establecidas para los parámetros de viscosidad y límite de flujo de mayo a diciembre de 2023. Tan solo el 89% de los lotes medidos cumplieron con el parámetro de viscosidad y el 61% de los lotes medidos cumplieron con el parámetro de límite de flujo, cuando

el 100% de los lotes deben ingresar a producción dentro de especificaciones ya que el ingreso de lotes fuera de parámetros no está permitido.

### **1.3 Justificación del problema**

El control preciso de los parámetros de viscosidad y límite de flujo en la producción de chocolate es esencial para garantizar la calidad y consistencia del producto final. La viscosidad y el límite de flujo influyen directamente en la textura del chocolate, su capacidad de moldeado y su comportamiento durante la solidificación. Una masa de chocolate que no cumpla con estos parámetros puede causar bloqueos en las líneas de producción, aumentar el tiempo de inactividad y producir lotes de productos que no cumplen con los estándares de calidad, lo que resulta en desperdicio de materiales y recursos.

El uso de emulsificantes como el Polirricinoleato de Poliglicerol (PGPR) y lecitina es común en la industria del chocolate para modificar sus propiedades reológicas. El PGPR reduce la viscosidad y mejora la fluidez, mientras que la lecitina actúa como emulsionante y estabilizador. Sin embargo, el control actual de estos emulsificantes se basa en la experticia del operario, lo que introduce una variabilidad significativa y un alto riesgo de error humano. Esta falta de estandarización puede llevar a inconsistencias en la calidad del chocolate, afectando la satisfacción del cliente y la reputación de la empresa.

Además, los estudios han demostrado que pequeñas variaciones en la concentración de emulsificantes pueden tener un impacto considerable en los parámetros de viscosidad y límite de flujo del chocolate. Implementar un esquema de control estandarizado y basado en datos, que incluya procedimientos operativos estándar y sistemas de monitoreo en tiempo real, puede minimizar la variabilidad y mejorar la eficiencia del proceso. Esto no solo garantizará que la masa

de chocolate siempre cumpla con los parámetros establecidos, sino que también reducirá los desperdicios y mejorará la eficiencia operativa.

Por lo tanto, la estandarización del uso de emulsificantes y la implementación de un control preciso de los parámetros de viscosidad y límite de flujo son esenciales para asegurar la calidad del chocolate, reducir desperdicios y mejorar la eficiencia del proceso de producción.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo General***

Reducir la cantidad de lotes de masas de chocolate blanco que se encuentran fuera de los límites de especificación, viscosidad en un 11% y límite de flujo en un 39% en 3 meses a través de la implementación de un esquema de control del proceso de ajuste a las masas de chocolate.

### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

1. Desarrollar el proceso de negocio e identificar las necesidades del cliente para reconocer indicadores de entrada, procesos y salida.
2. Analizar el proceso para determinar las causas fundamentales del problema de la masa de chocolate blanco.
3. Definir una solución y promover el plan de solución en el departamento de producción.
4. Desarrollar un plan de control de calidad que garantice que todo el equipo esté trabajando con las mismas técnicas y métricas.

5. Estandarizar las mejoras realizadas, estableciendo planes de control, formando al personal y documentando los cambios.

## **1.5 Marco Teórico**

### ***1.5.1 Voice of customer (VOC)***

"El Voice of Customer (VOC) es un proceso estructurado para capturar las expectativas, preferencias y aversiones de los clientes, utilizado en la gestión de calidad, desarrollo de productos y mejora continua, para asegurar que las necesidades del cliente sean comprendidas y priorizadas" (Griffin & Hauser, 1993). El VOC no solo recolecta las opiniones directas de los clientes, sino que también interpreta y traduce esas opiniones en requisitos específicos que la empresa debe satisfacer.

### ***1.5.2 DMAIC***

Harry & Schroeder (2000) definen el ciclo DMAIC, empleado en la metodología Seis Sigma, como "un enfoque estructurado de mejora continua que abarca las fases de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, buscando reducir la variabilidad y mejorar la calidad del proceso". Durante todas estas fases se identifican problemas críticos desde la perspectiva del cliente, se recopilan datos para establecer una línea base del rendimiento actual del proceso, se identifican las causas raíz de los problemas, se diseñan e implementan soluciones para abordar estas causas, las mismas que serán monitoreadas para asegurar que las mejoras se mantengan a lo largo del tiempo.

### ***1.5.3 SIPOC***

"El diagrama SIPOC es una herramienta que proporciona una visión general de los elementos clave de un proceso, ayudando a mapear y entender el flujo de trabajo desde proveedores hasta clientes" (George et al., 2005). De esta manera una de sus cualidades es que puede ser muy útil al momento de determinar el alcance de un proyecto teniendo en cuenta todos los elementos que se relacionan.

### ***1.5.4 Viscosidad***

"La viscosidad es una medida de la resistencia interna de un líquido al flujo, que indica cuánto resiste el líquido a la deformación por cizallamiento" (White, 2011). Un líquido con alta viscosidad, como la miel, fluye lentamente, mientras que un líquido con baja viscosidad, como el agua, fluye fácilmente.

### ***1.5.5 PGPR***

Según Beckett (2009) el Polirricinoleato de Poliglicerol (PGPR) se emplea para reducir la viscosidad del chocolate fundido, facilitando su procesamiento y contribuyendo a una textura suave en el producto final" (Beckett, 2009). El PGPR en los alimentos se puede utilizar ampliamente como emulsionante, agente gelificante y espesante en el chocolate y sus productos, productos para untar, margarina, glaseado de helado, etc.

### ***1.5.6 Lecitina***

La lecitina es un grupo de sustancias grasas presentes en los tejidos animales y vegetales, crucial para el funcionamiento biológico. Se utiliza como emulsionante en alimentos, permitiendo mezclar ingredientes como aceite y agua. En la industria alimentaria, se obtiene principalmente de soja y yema de huevo. "La lecitina, un emulsificante natural, se utiliza en la fabricación de chocolate para reducir la viscosidad, estabilizar emulsiones y mejorar la uniformidad del producto final" (Beckett, 2009).

### ***1.5.7 ZLMV***

El Zero Material Loss Variance (ZLMV) hace referencia a la variabilidad en la pérdida de materiales. "La variabilidad en la pérdida de materiales puede ser gestionada eficazmente mediante prácticas de control y optimización en la producción" (Juran & Godfrey, 2002). El ZLMV es un concepto relativamente nuevo pero que muchas empresas en la actualidad usan de distinta manera, siendo que esta puede traducirse directamente a términos financieros o incluso tiempo ocupado por la empresa, los cuales pueden ser indicadores bastante atractivos de control de eficiencia.

### ***1.5.8 Emulsificantes***

"Los emulsificantes son aditivos alimentarios esenciales con la capacidad de estabilizar los alimentos compuestos por fases inmiscibles" (Riaz et al., 2022). Relacionado al chocolate estos son usados como aditivos para la masa de chocolate para estabilizar sus parámetros reológicos, los comúnmente usados son: PGPR y lecitina.

### ***1.5.9 TPM***

Rajadell (2021) afirma que el Mantenimiento Productivo Total (TPM) se enfoca en incrementar la eficacia de los equipos a través de la participación de todo el personal, la prevención de fallos y la reducción de tiempos de inactividad.

### ***1.5.10 ODS***

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Globales, fueron adoptados por las ds y los definen como “el plan maestro para conseguir un futuro sostenible para todos. Se interrelacionan entre sí e incorporan los desafíos globales a los que nos enfrentamos día a día, como la pobreza, la desigualdad, el clima, la degradación ambiental, la prosperidad, la paz y la justicia. Para no dejar a nadie atrás, es importante que logremos cumplir con cada uno de estos objetivos para 2030”.

## **Capítulo 2**

## 2.1 Metodología.

La metodología aplicada en este proyecto fue DMAIC, que incluye las siguientes fases: Definición, Medición, Análisis. A través de esta metodología se definieron los elementos y variables relacionadas, se recopilaron y analizaron datos tanto históricos como actuales para cuantificar el impacto de las posibles causas y verificar su incidencia en las variables planteadas, y en base a todo lo descrito se adoptaron soluciones para este proyecto.

## 2.2 Requerimientos

Las personas que han participado en las preparaciones de la masa de chocolate blanco son quienes han presenciado el problema, por lo que los clientes son: los operadores de recepción, el supervisor y la coordinadora de producción, además de la analista de materia prima. Siendo el principal cliente la coordinadora de producción, quien se encarga de garantizar el cumplimiento del plan de producción y ejecuta el despliegue del TPM.

Para identificar sus requerimientos, se realizó un VOC (Voice of customer) con cada uno de los clientes internos, de manera que se pudieron recolectar aspectos relacionados al problema, como las consecuencias, el impacto y posibles causas.

**Figura 3**

*VOC de la coordinadora de producción*



Figura 4

VOC del supervisor de producción

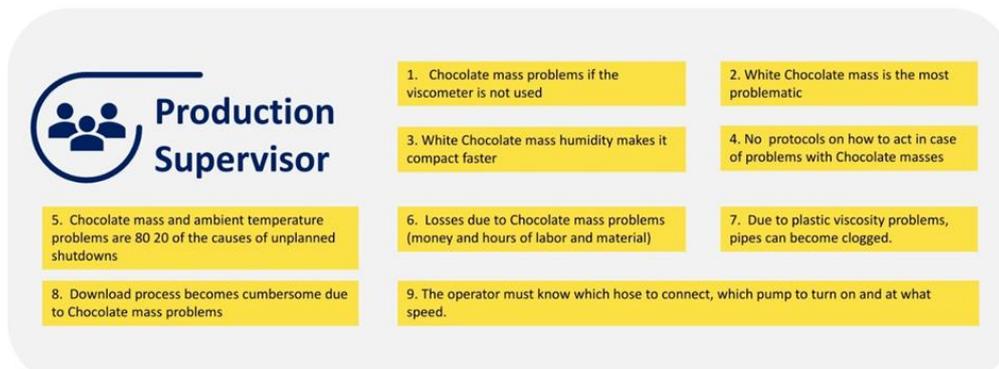


Figura 5

VOC del operario de recepción

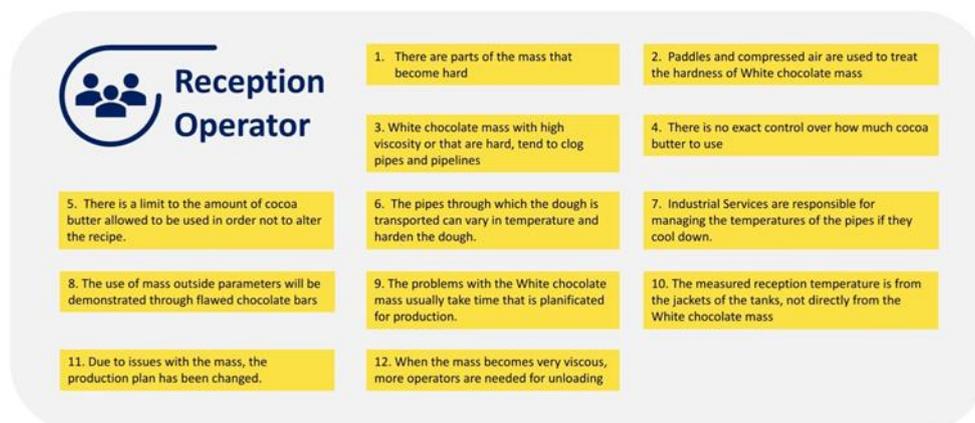
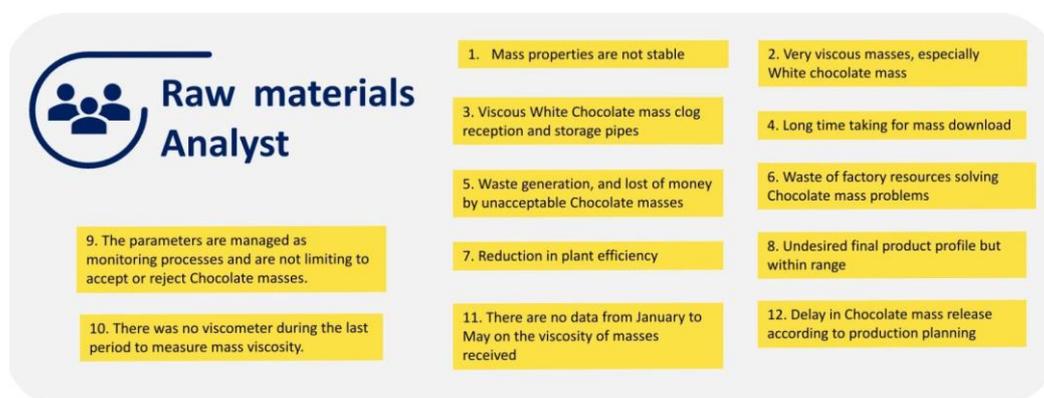


Figura 6

VOC de la analista de materia prima



Las ideas fueron clasificadas en 5 grupos: Calidad, materiales, procesos, control y producción, como se muestra en la Figura 7, a partir de estos se establecieron indicadores; En conjunto se formó un CTQ tree, con sus los indicadores, este se muestra en la figura 8.

**Figura 7**

*Diagrama de afinidad*



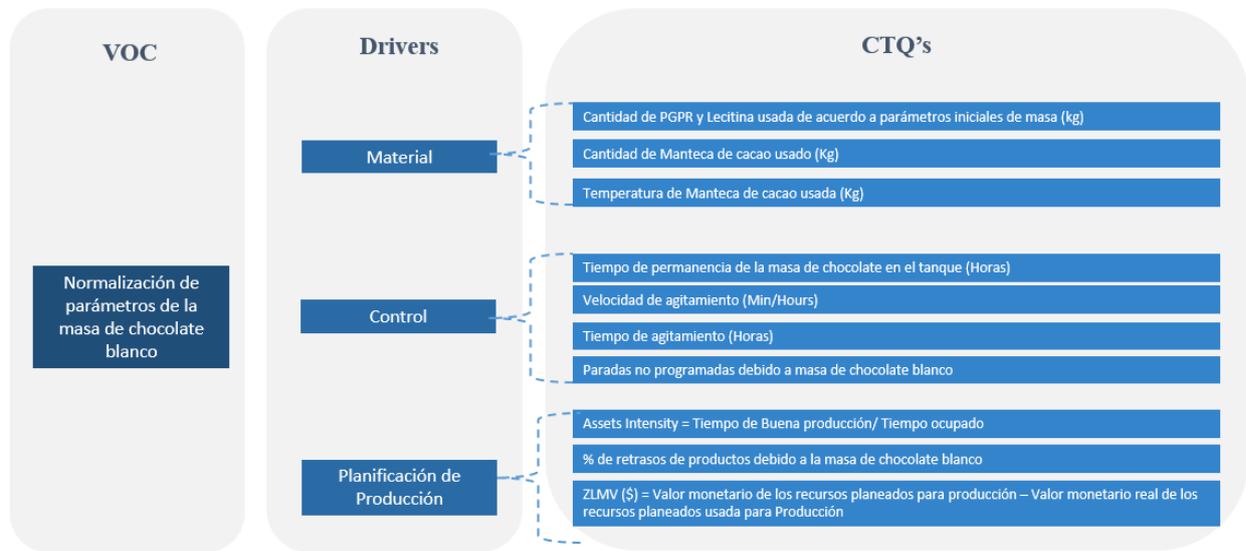
**Figura 8**

*CTQ tree (parte 1)*



**Figura 9**

CTQ tree (parte 2)



### 2.3 Variables de interés

A partir de los indicadores establecidos en el árbol CTQ el cliente clave estableció que hubo 2 variables de interés en la problemática, estas son:

**Y1:** Viscosidad de la masa de chocolate blanco antes de entrar a la línea de producción (Pa\*s).

**Y2:** Límite de flujo de la masa de chocolate blanco antes de entrar a la línea de producción (Pa).

Ambas variables son propiedades reológicas de la masa de chocolate. Los problemas en la descarga, paradas no planificadas y defectos en las barras de chocolate son causados en su mayoría por viscosidad de la masa y límite de flujo fuera de parámetros.

Según Ahmed y Basu (2023) "Las propiedades reológicas, como la viscosidad y elasticidad, son fundamentales para entender cómo un material fluye y se deforma bajo carga, influyendo en su procesamiento y aplicación".

La viscosidad de un fluido mide la resistencia al flujo, de manera que las masas de chocolate con alta viscosidad pueden obstruir las tuberías al ser espesas y las masas de chocolate con baja viscosidad son demasiado líquidas.

"El límite de flujo se define como el valor mínimo de tensión necesario para que un material comience a fluir de manera continua. Este parámetro es crucial para caracterizar la transición de un material de un estado sólido a un estado líquido bajo una carga aplicada". (Holmberg & Carlson, 2018)

## **2.4 Métricas de sostenibilidad**

Las métricas de sostenibilidad fueron planteadas en referencia al octavo objetivo de desarrollo sostenible (ODS), las Naciones Unidas (2015) lo describe como "Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos".

La dimensión social se enfocó en reducir la carga laboral de los operarios de recepción relacionado con las mediciones no estandarizadas a las masas de chocolate.

La dimensión económica se enlazó a la reducción de costos generados por las pérdidas de material relacionadas al uso de cada emulsificante. Estos desperdicios son controlados por la propia empresa en la fábrica con un indicador conocido como Zero Loss Material Variance (ZLMV).

Por último, la dimensión medio ambiental se enfocó en la reducción de la generación de desperdicio relacionada con el uso de emulsificantes.

## 2.5 Alcance del proyecto (SIPOC)

El diagrama SIPOC nos permitió definir las fases del proceso incluidas en el proyecto, así, el alcance comprende desde la recepción hasta la liberación de las masas de chocolate a producción

La figura 10, resume todos los elementos del SIPOC descrito.

**Figura 10**

*SIPOC del alcance del proyecto*

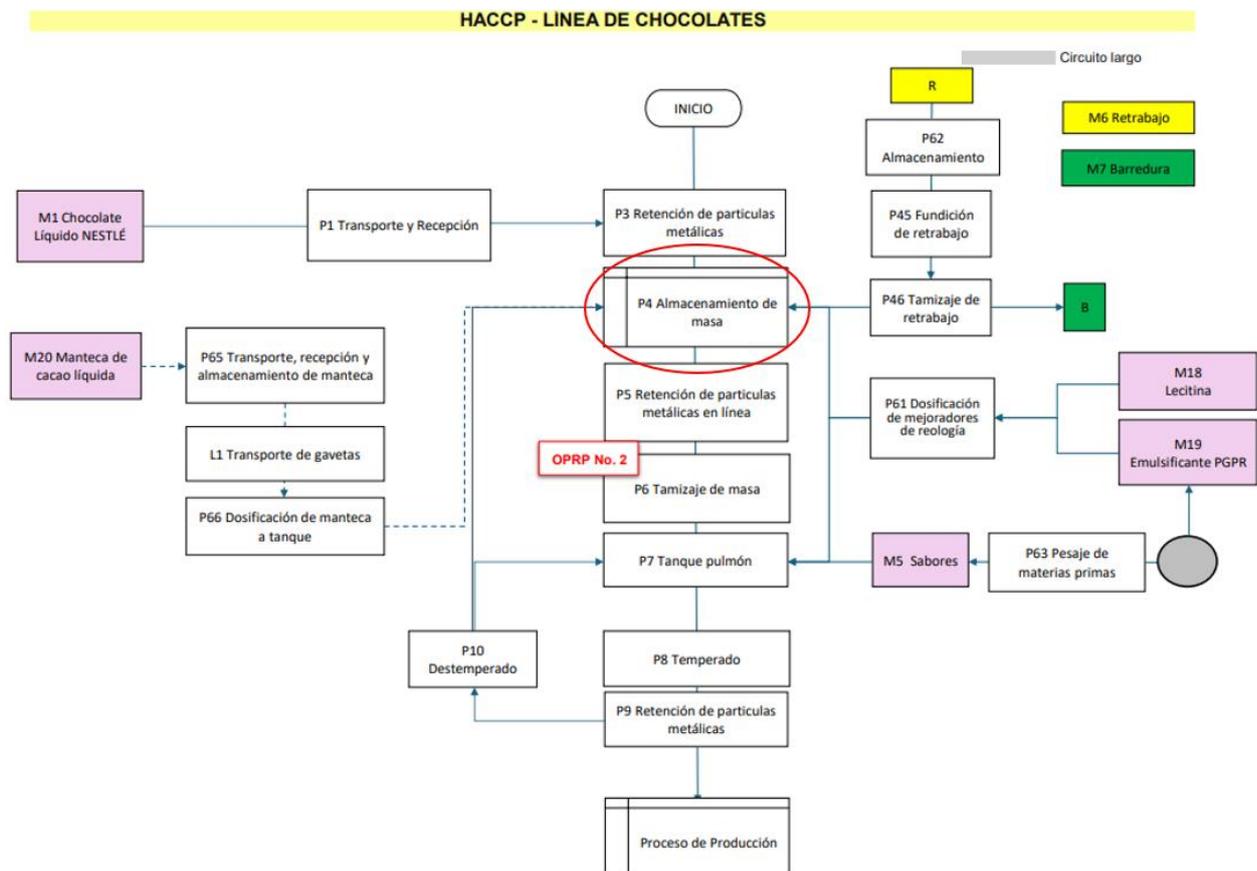
Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
• Norte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Masa de chocolate (Blanco, Familiar, Leche)</li> <li>Guardia</li> <li>Pesadora</li> <li>Tanquero</li> </ul> <b>Documents:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sello y código de seguridad</li> <li>Control de entrada</li> <li>Papeleta de salida (1 copia)</li> <li>Checklist de temperatura</li> <li>Comprobante de despacho</li> </ul>	Recepción	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ticket de peso</li> <li>Control de entrada firmado</li> <li>Tanquero</li> <li>Masa de chocolate (Blanco, Familiar, Leche)</li> </ul>	• Departamento de producción
• Fábrica Norte • Área de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Masa de chocolate (Blanco, Familiar, Leche)</li> <li>Operador de recepción</li> <li>Tanquero</li> <li>Bombas de aire comprimido</li> <li>Imán</li> <li>Mangueras de descarga</li> </ul> <b>Documents:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ticket de peso</li> <li>Sello y código de seguridad</li> <li>Control de entrada</li> <li>Papeleta de salida (1 copia)</li> <li>Checklist de temperatura</li> <li>Comprobante de despacho</li> </ul>	Descarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>Papeleta de salida firmada</li> <li>Checklist de temperatura</li> <li>Reporte de descarga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tanques de almacenamiento</li> <li>Departamento de producción</li> <li>Departamento de calidad</li> </ul>
• Departamento de producción • Departamento de calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Masa de chocolate (Blanco, Familiar, Leche) (42 °C)</li> <li>Tanque de almacenamiento</li> </ul>	Almacenamiento	• Masa de chocolate (Blanco, Familiar, Leche) (42 °C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Departamento de producción</li> <li>Departamento de calidad</li> </ul>
• Departamento de producción • Departamento de calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Masa de chocolate (Blanco, Familiar, Leche) (42 °C)</li> <li>Planificación de la producción</li> <li>Herramientas de calidad</li> <li>SAP</li> </ul>	Test de calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reporte de calidad de masa almacenada</li> <li>Masa de chocolate (Blanco, Familiar, Leche) (42 °C)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Departamento de producción</li> <li>Departamento de calidad</li> <li>Tanque central</li> </ul>
• Departamento de producción • Departamento de calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Masa de chocolate (Blanco, Familiar, Leche) (42 °C)</li> <li>Tanque central</li> </ul>	Almacenamiento	• Masa de chocolate (Blanco, Familiar, Leche) (42 °C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Departamento de producción</li> <li>Departamento de calidad</li> </ul>

## 2.6 Mapeo del proceso

El recorrido físico de la masa de chocolate blanco y todos los elementos esenciales durante el proceso puede ser visualizado en el mapa de la figura 11.

Figura 11

Mapa del proceso del alcance del proyecto



El proyecto se enfocó en los ajustes a la masa de chocolate blanco en los tanques de almacenamiento de masas de chocolate blanco, ya que es el lugar físico en donde los operarios realizan los ajustes de la masa. Este punto exacto se encuentra señalado en la figura 11, enmarcado en un círculo rojo.

## 2.7 Plan de recolección de datos

Luego de haber definido el alcance, las variables de decisión y los elementos involucrados, se estableció un plan de recolección de datos inicial para estas variables y elementos.

Figura 12

## Plan de recolección de datos (parte 1)

¿Qué?						¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Quién?	Estado
Variable	Significado operacional	Unidad de medida	Tipo de datos	Tamaño de la muestra	Factores de estratificación	Fecha	Punto de origen	Método de recolección	Uso futuro	Persona a cargo	
Y1	Viscosidad de la masa de chocolate blanco antes de su liberación a la línea de producción.	Pa*s	Continua	No se necesita un tamaño de muestra, todos los datos se registran	1. Por lote de masa de chocolate recibido en almacenamiento	De junio de 2024 a septiembre de 2024	Tanque de almacenamiento de masa de chocolate blanco	Informes de viscosímetro	La masa con viscosidad y límite elástico establecidos puede fluir suavemente a través de las tuberías	Líderes de proyecto	En proceso
Y2	Límite elástico de masa de chocolate blanco antes de su liberación a la línea de producción	Pa	Continua		1. Por lote de masa de chocolate recibido en almacenamiento		Tanque de almacenamiento de masa de chocolate blanco	Informes de viscosímetro		Líderes de proyecto	En proceso
X1	Cantidad de PGPR añadida a la masa	Kg	Continua		1. Por lote de masa de chocolate recibido en almacenamiento 2. Por proveedor		Tanque de almacenamiento de masa de chocolate blanco	Informes de medición de calidad de la masa antes de su lanzamiento.	PGPR puede reducir la viscosidad y el límite elástico de la masa de chocolate y ajustarlo a los parámetros	Líderes de proyecto	En proceso
X2	Cantidad de Lecitina añadida a la masa	Kg	Continua		1. Por lote de masa de chocolate recibido en almacenamiento 2. Por proveedor		Tanque de almacenamiento de masa de chocolate blanco	Informes de medición de calidad de la masa antes de su lanzamiento.	La lecitina puede reducir la viscosidad de la masa de chocolate y ajustarla a los parámetros.	Líderes de proyecto	En proceso
X3	Tiempo de residencia de la masa en el tanque de almacenamiento.	H	Continua		1. Por lote de masa de chocolate recibido en almacenamiento		Tanque de almacenamiento de masa de chocolate blanco	Informes de medición de calidad de la masa antes de su lanzamiento.	Las propiedades de la masa de chocolate cambian con el tiempo, la masa se vuelve "espesa" y la viscosidad y el límite elástico aumentan con el tiempo.	Líderes de proyecto	En proceso

Figura 13

## Plan de recolección de datos (parte 2)

¿Qué?						¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Quién?	Estado
Variable	Significado operacional	Unidad de medida	Tipo de datos	Tamaño de la muestra	Factores de estratificación	Fecha	Punto de origen	Método de recolección	Uso futuro	Persona a cargo	
X4	Temperatura de la manteca de cacao agregada a la masa	°C	Continuo	No se necesita un tamaño de muestra, todos los datos se registran	1. Por lote de masa de chocolate recibido en almacenamiento	De junio de 2024 a septiembre de 2024	Tanque de almacenamiento de masa de chocolate blanco	Informes de medición de calidad de la masa antes de su lanzamiento.	La manteca de cacao se puede diluir más fácilmente cuando la temperatura es más alta	Líderes de proyecto	En proceso
X5	Tiempo entre la aplicación de lecitina, PGPR y manteca de cacao	Min	Continuo		1. Por lote de masa de chocolate recibido en almacenamiento		Tanque de almacenamiento de masa de chocolate blanco	Informes de medición de calidad de la masa antes de su lanzamiento.	Efecto del cambio de aditivos en el tiempo, cuando se agrega un aditivo, las propiedades de la masa cambian	Líderes de proyecto	En proceso
X6	Cantidad de manteca de cacao agregada a la masa	Kg	Continuo		1. Por lote de masa de chocolate recibido en almacenamiento		Tanque de almacenamiento de masa de chocolate blanco	Informes de medición de calidad de la masa antes de su lanzamiento.	La manteca de cacao puede reducir la viscosidad de la masa de chocolate y ajustarla a los parámetros	Líderes de proyecto	En proceso
X7	Temperatura de la masa de chocolate blanco	°C	Continuo		1. Por lote de masa de chocolate recibido en almacenamiento		Tanque de almacenamiento de masa de chocolate blanco	Informes de medición de calidad de la masa antes de su lanzamiento.	El cambio de temperatura en el tiempo como otra propiedad física, a menor temperatura, mayor es la viscosidad de la masa y es más difícil fluir.	Líderes de proyecto	En proceso

**Figura 14***Plan de recolección de datos (parte 3)*

¿Qué?						¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Quién?	Estado
Variable	Significado operacional	Unidad de medida	Tipo de datos	Tamaño de la muestra	Factores de estratificación	Fecha	Punto de Origen	Método de recolección	Uso futuro	Persona a cargo	
X8	Viscosidad de la masa de chocolate blanco cuando llega al tanque de almacenamiento.	Pa*s	Continuo	No se necesita un tamaño de muestra, todos los datos se registran	1. Por lote de masa de chocolate recibido en almacenamiento	De junio de 2024 a septiembre de 2024	Tanque de almacenamiento de masa de chocolate blanco	Informes de viscosímetro	Se necesita el estado inicial de las propiedades de la masa para saber cómo cambiaron la viscosidad y el límite elástico con el tiempo.	Líderes de proyecto	En proceso
X9	Límite elástico de masa de chocolate blanco cuando llega al tanque de almacenamiento.	Pa	Continuo		1. Por lote de masa de chocolate recibido en almacenamiento		Tanque de almacenamiento de masa de chocolate blanco	Informes de viscosímetro		Líderes de proyecto	En proceso
X10	Cantidad de masa de chocolate en el tanque de almacenamiento.	Kg	Continuo		1. Por lote de masa de chocolate recibido en almacenamiento		Tanque de almacenamiento de masa de chocolate blanco	Informes de medición de calidad de la masa antes de su lanzamiento.		Líderes de proyecto	En proceso

## 2.8 Restricciones

El proyecto tuvo las siguientes limitaciones y restricciones:

### 2.8.1 Recepción

1. Solo existía un viscosímetro fijo que se encuentra ubicado en el área de producción, este instrumento no es movable. Las muestras de las masas en la recepción deben ser trasladadas a producción.
2. En el área de recepción no existía un espacio específico en donde se pueda tratar la masa de chocolate antes de ser descargada.
3. Si la masa de chocolate llega fuera de parámetros y no fluye por las tuberías, la masa se descargaba con gavetas.

### 2.8.2 Tanque de almacenamiento

1. No existían mediciones exactas sobre el número de aditivos añadidos a la masa, ya que no se llevaba un control obligatorio sobre el registro de la información.
2. La mayor parte del tratamiento de masas se basaba en la experticia del operario.

- Factores como la temperatura estuvieron prestablecidos teóricamente con el fin de conservar la masa de chocolate en buenas condiciones de acuerdo con sus propiedades.

### 2.8.3 Masa de chocolate

- Existieron limitaciones de acuerdo con las recetas, no se podía añadir más contenido del permitido de ciertos aditivos ya que puede cambiar la receta establecida.

## 2.9 Causas

A partir de una lluvia de ideas, se establecieron las posibles causas del problema mostradas en la figura 15.

**Figura 15**

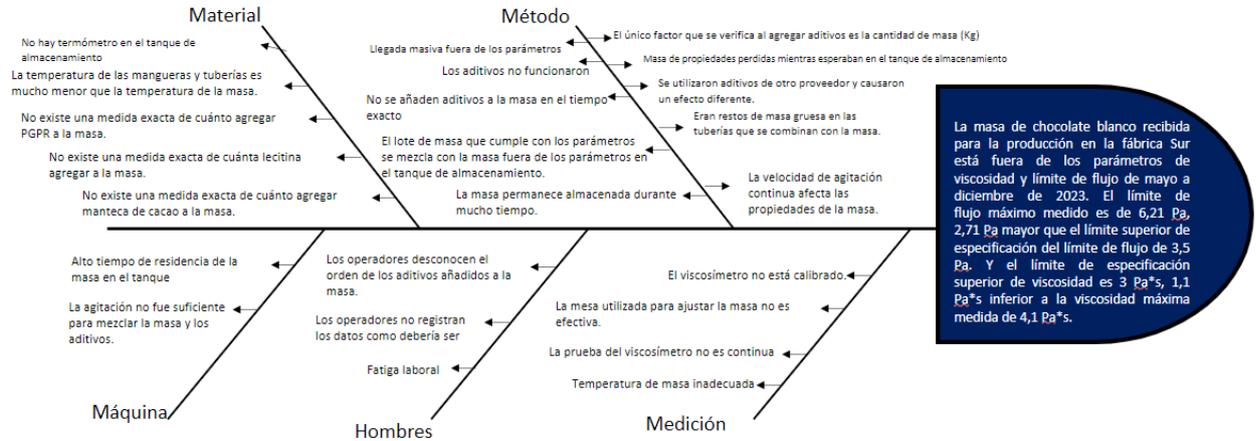
*Lluvia de ideas sobre posibles causas*



Estas ideas fueron agrupadas en 5 factores del diagrama de Ishikawa.

**Figura 16**

*Diagrama de Ishikawa de causas*



Además, se valoraron las causas para determinar el nivel de impacto sobre las variables de viscosidad y límite de flujo. Para esto se realizó una matriz impacto causa efecto, las figuras 17, 18, 19 y 20 muestran las valoraciones indicadas por cada miembro del equipo.

**Figura 17**

*Matriz causa efecto sobre la variable Y1 (parte 1)*

No.	Matriz causa-efecto	Y1= Límite de flujo de masa de chocolate blanco antes de su lanzamiento a la línea de producción						Sum
		Coordinador de producción	Supervisor de producción	Operador de recepción	Analista de Materias Primas	Analista 1 (López)	Analista 2 (Parrales)	
<b>Hombre</b>								
1	Los operadores desconocen el orden de los aditivos añadidos a la masa.	9	9	9	9	9	9	54
2	Los operadores no registran los datos como debería ser	1	3	3	1	6	3	17
3	Fatiga laboral	1	1	3	1	1	1	8
4								
<b>Máquina</b>								
5	Alto tiempo de residencia de la masa en el tanque.	6	3	3	3	3	6	24
6	La agitación no fue suficiente para mezclar la masa y los aditivos.	3	1	6	1	6	1	18

Figura 18

Matriz causa efecto sobre la variable Y1 (parte 2)

No.	Matriz causa-efecto	Y1= Límite de flujo de masa de chocolate blanco antes de su lanzamiento a la línea de producción						Sum
		Coordinador de producción	Supervisor de producción	Operador de recepción	Analista de Materias Primas	Analista 1 (López)	Analista 2 (Parrales)	
<b>Método</b>								
13	La masa llega fuera de los parámetros.	3	3	3	6	3	9	27
14	Masa de propiedades perdidas mientras esperaban en el tanque de almacenamiento	1	3	1	1	3	9	18
15	Se utilizaron aditivos de otro proveedor y causan un efecto diferente.	9	9	6	9	9	9	51
16	Quedaban restos de masa gruesa en las tuberías que se combinan con la masa.	3	3	6	3	3	6	24
18	La velocidad de agitación continua afecta las propiedades de la masa.	1	3	3	3	6	3	19
19	Los aditivos no funcionaron	9	9	9	9	9	3	48
20	No se añaden aditivos a la masa en el tiempo exacto	9	9	9	9	9	9	54
21	El lote de masa que cumple con los parámetros se mezcla con la masa fuera de los parámetros en el tanque de almacenamiento.	9	9	9	9	9	9	54
23	El único factor que se verifica al agregar aditivos es la cantidad de masa (Kg)	3	3	6	6	3	9	30
<b>Material</b>								
24	No hay termómetro en el tanque de almacenamiento	3	3	3	3	1	3	16
25	La temperatura de las mangueras y tuberías es mucho menor que la temperatura de la masa.	1	1	3	1	3	3	12
26	There is no exact measurement of how much to add PGPR to the mass.	9	9	9	9	9	9	54
27	No existe una medida exacta de cuánta lecitina agregar a la masa.	9	9	9	9	9	9	54
28	No existe una medida exacta de cuánto agregar manteca de cacao a la masa.	3	3	3	3	9	9	30
<b>Medición</b>								
29	El viscosímetro no está calibrado.	1	1	1	1	6	6	16
30	La mesa utilizada para ajustar la masa no es efectiva.	9	9	9	9	9	9	54
31	La prueba del viscosímetro no es continua.	3	3	3	3	3	3	18
32	Temperatura de masa inadecuada	6	6	6	6	3	6	33

Figura 19

Matriz causa efecto sobre la variable Y2 (parte 1)

No.	Matriz causa-efecto	Y2= Límite de flujo de masa de chocolate blanco antes de su lanzamiento a la línea de producción						Sum
		Coordinador de producción	Supervisor de producción	Operador de recepción	Analista de Materias Primas	Analista 1 (López)	Analista 2 (Parrales)	
<b>Hombre</b>								
1	Los operadores desconocen el orden de los aditivos añadidos a la masa.	9	9	9	9	9	9	54
2	Los operadores no registran los datos como debería ser	1	3	3	1	6	3	17
3	Fatiga laboral	1	1	3	1	1	1	8
4								
<b>Máquina</b>								
5	Alto tiempo de residencia de la masa en el tanque.	6	3	3	3	3	6	24
6	La agitación no fue suficiente para mezclar la masa y los aditivos.	3	1	6	1	6	1	18

**Figura 20**

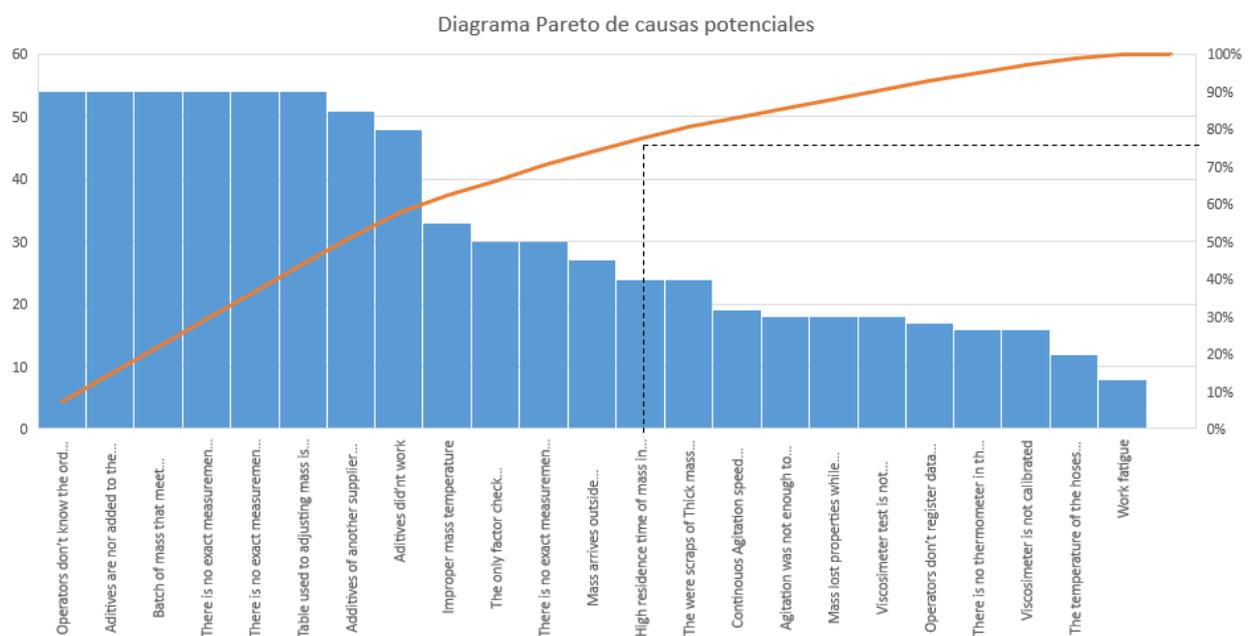
Matriz causa efecto sobre la variable Y2 (parte 2)

No.	Matriz causa-efecto	Y2= Límite de flujo de masa de chocolate blanco antes de su lanzamiento a la línea de producción						Sum
		Coordinador de producción	Supervisor de producción	Operador de recepción	Analista de Materias Primas	Analista 1 (López)	Analista 2 (Parrales)	
<b>Método</b>								
13	La masa llega fuera de los parámetros.	3	3	3	6	3	9	27
14	Perdida de propiedades de la masa mientras esperaban en el tanque de almacenamiento	1	3	1	1	3	9	18
15	Se utilizaron aditivos de otro proveedor y causaron un efecto diferente.	9	9	6	9	9	9	51
16	Eran restos de masa gruesa en las tuberías que se combinan con la masa.	3	3	6	3	3	6	24
18	La velocidad de agitación continua afecta las propiedades de la masa.	1	3	3	3	6	3	19
19	Los aditivos no funcionaron	9	9	9	9	9	3	48
20	No se añaden aditivos a la masa en el tiempo exacto.	9	9	9	9	9	9	54
21	El lote de masa que cumple con los parámetros se mezcla con la masa fuera de los parámetros en el tanque de almacenamiento.	9	9	9	9	9	9	54
23	El único factor que se comprueba al añadir aditivos es la cantidad en masa. (Kg)	3	3	6	6	3	9	30
<b>Material</b>								
24	No hay termómetro en el tanque de almacenamiento.	3	3	3	3	1	3	16
25	La temperatura de las mangueras y tuberías es mucho más baja que la temperatura de la masa.	1	1	3	1	3	3	12
26	No existe una medida exacta de cuánto agregar PGPR a la masa.	9	9	9	9	9	9	54
27	No existe una medida exacta de cuánta lecitina agregar a la masa.	9	9	9	9	9	9	54
28	No existe una medida exacta de cuánto agregar manteca de cacao a la masa.	3	3	3	3	9	9	30
<b>Medición</b>								
29	El viscosímetro no está calibrado	1	1	1	1	6	6	16
30	La tabla utilizada para ajustar la masa no es efectiva.	9	9	9	9	9	9	54
31	La prueba del viscosímetro no es continua	3	3	3	3	3	3	18
32	Temperatura de masa inadecuada	6	6	6	6	3	6	33

A partir de un diagrama de Pareto (Figura 21) que muestra las valoraciones totales se establecieron las principales causas, que suman el 80% de efectos sobre las variables.

**Figura 21**

Diagrama de Pareto de causas



Las causas potenciales obtenidas del Pareto se establecen en la tabla 2.

**Tabla 2**

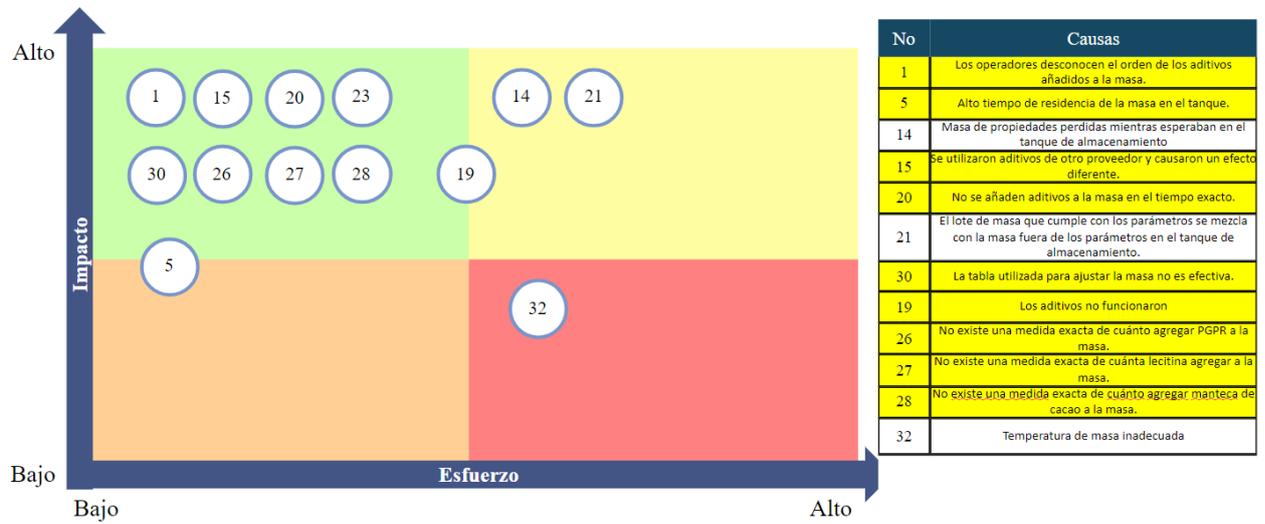
*Listado de causas potenciales*

No	Causas
1	Los operadores desconocen el orden de los aditivos añadidos a la masa.
5	Alto tiempo de residencia de la masa en el tanque.
14	Masa de propiedades perdidas mientras esperaban en el tanque de almacenamiento
15	Se utilizaron aditivos de otro proveedor y causaron un efecto diferente.
20	No se añaden aditivos a la masa en el tiempo exacto.
21	El lote de masa que cumple con los parámetros se mezcla con la masa fuera de los parámetros en el tanque de almacenamiento.
30	La tabla utilizada para ajustar la masa no es efectiva.
19	Los aditivos no funcionaron
26	No existe una medida exacta de cuánto agregar PGPR a la masa.
27	No existe una medida exacta de cuánta lecitina agregar a la masa.
28	No existe una medida exacta de cuánto agregar manteca de cacao a la masa.
32	Temperatura de masa inadecuada

Después se realizó un diagrama impacto-esfuerzo para determinar las causas que generaran soluciones viables de bajo esfuerzo, pero alto impacto, la figura 22 muestra el resultado de esta herramienta, las causas potenciales están en amarillo.

**Figura 22**

*Diagrama impacto-esfuerzo sobre causas potenciales*



**2.9.1 Análisis de Causas**

Con la aplicación de un plan de verificación de causas, se validó si estas causas realmente tuvieron un impacto sobre las variables de respuesta.

**Figura 23**

*Plan de verificación de causas (parte 1)*

Variables Y1, Y2	X	Causas potenciales	Impacto X->Y1	¿Cómo se comprueba?	¿Quién verifica?	¿Dónde se revisa?	Estado
		Descripción		Método	Responsable	Lugar	
Y1= Viscosidad de masa de chocolate blanco Y2= límite de flujo de masa de chocolate blanco	X1	Tiempo entre la aplicación de lecitina, PGPR y manteca de cacao	Cuando se agrega un aditivo, las propiedades de la masa cambian, cuando se agrega lecitina primero, el PGPR es solo para ajustar el estrés de rendimiento y, a veces, es posible que no se necesite manteca de cacao.	Anova de un factor. Establezca grupos agregando primero lecitina, luego PGPR y primero manteca de cacao.	Grupo de proyecto	Tanques de Almacenamiento en el área de Producción	Pendiente
	X2	Tiempo de residencia de la masa en el tanque de almacenamiento.	Las propiedades de pérdida de masa con el tiempo, si la masa está en reposo, obtendrá "Tick" y la viscosidad y el límite elástico aumentarán.	Correlograma y diagrama de dispersión			Pendiente
	X3	Se utilizaron aditivos de otro proveedor y causan un efecto diferente.	Los aditivos de diferentes proveedores tardan más tiempo en disminuir la viscosidad y el límite elástico	Gráfico de cajas, estadística descriptiva y ANOVA de un factor			Pendiente
	X4	La tabla utilizada para ajustar la masa no es efectiva	El tratamiento que se le debe dar a la masa dependerá de la cantidad de masa y del tiempo necesario.	Correlograma y diagrama de dispersión			Pendiente

**Figura 24**

*Plan de verificación de causas (parte 2)*

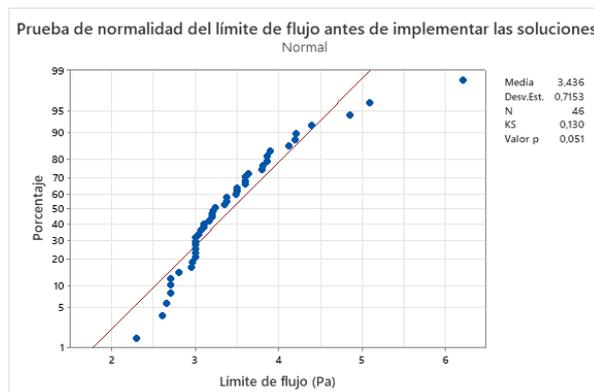
Variables Y1, Y2	X	Causas potenciales	Impacto X->Y1	¿Cómo se comprueba?	¿Quién verifica?	¿Dónde se revisa?	Estado
		Descripción		Método	Responsable	Lugar	
Y1= Viscosidad de masa de chocolate blanco Y2= límite de flujo de masa de chocolate blanco	X5	Cantidad de PGPR agregada a la masa de chocolate	PGPR puede reducir la viscosidad y el límite de flujo de la masa de chocolate	Anova de un factor. Compara el cumplimiento de la planificación de la producción con producción fluida versus producción con interrupciones. Se utilizará un gráfico de intervalos, una prueba de normalidad y un ANOVA de un factor con un tamaño de muestra de 30 para estudiar.	Grupo de proyecto	Tanques de Almacenamiento en el área de Producción	Pendiente
	X6	Cantidad de lecitina agregada a la masa de chocolate	La lecitina puede reducir la viscosidad de la masa de chocolate.	Estadística descriptiva. Análisis y verificación de la producción antes y después del mantenimiento. Se utilizará gráfico de cajas, estadística descriptiva y verificación de hipótesis (prueba de Mann-Whitney y correlación de Spearman) con un tamaño de muestra de 30 para estudiar.			Pendiente
	X7	Cantidad de manteca de cacao agregada a la masa	La manteca de cacao puede reducir la viscosidad de la masa de chocolate.	Estadística descriptiva. Análisis y verificación del cumplimiento de la planificación de producción con pedidos en caliente y sin pedidos en caliente. Se utilizará gráfico de cajas, estadística descriptiva y verificación de hipótesis (prueba de Mann-Whitney y correlación de Spearman) con un tamaño de muestra de 30 para estudiar.			Pendiente

Todas estas variables fueron verificadas siguiendo el método descrito en cada caso. Sin embargo, existieron limitaciones sobre las mediciones obtenidas, como se mencionó previamente la actividad de registro de información y control de parámetros no era una práctica estandarizada, por ende los operarios no se veían en la obligación de registrar la información de estos parámetros de control, por este motivo durante el progreso del proyecto se tomaron datos sobre todas las causas y su impacto sobre las variables.

La figura 25 y 26 muestran las pruebas de normalidad sobre ambas variables Y1 y Y2, concluyendo que los datos límite de flujo siguen una distribución normal, mientras que los datos de viscosidad no, con un nivel de significancia de 0.05.

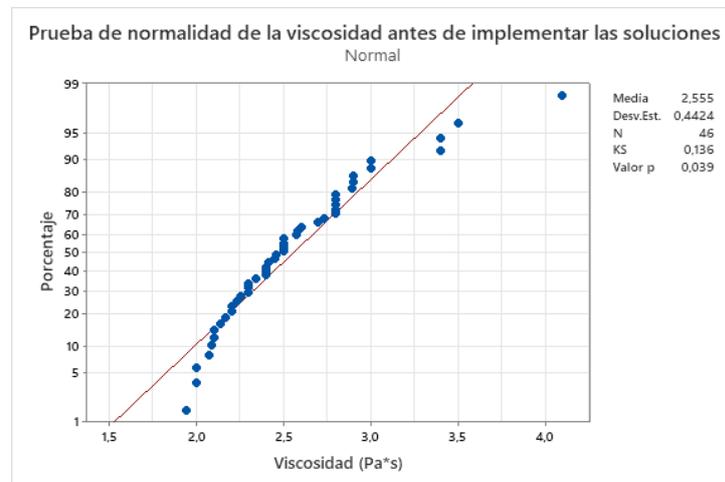
**Figura 25**

*Verificación de normalidad sobre la variable límite de flujo*



**Figura 26**

*Verificación de normalidad sobre la variable viscosidad*

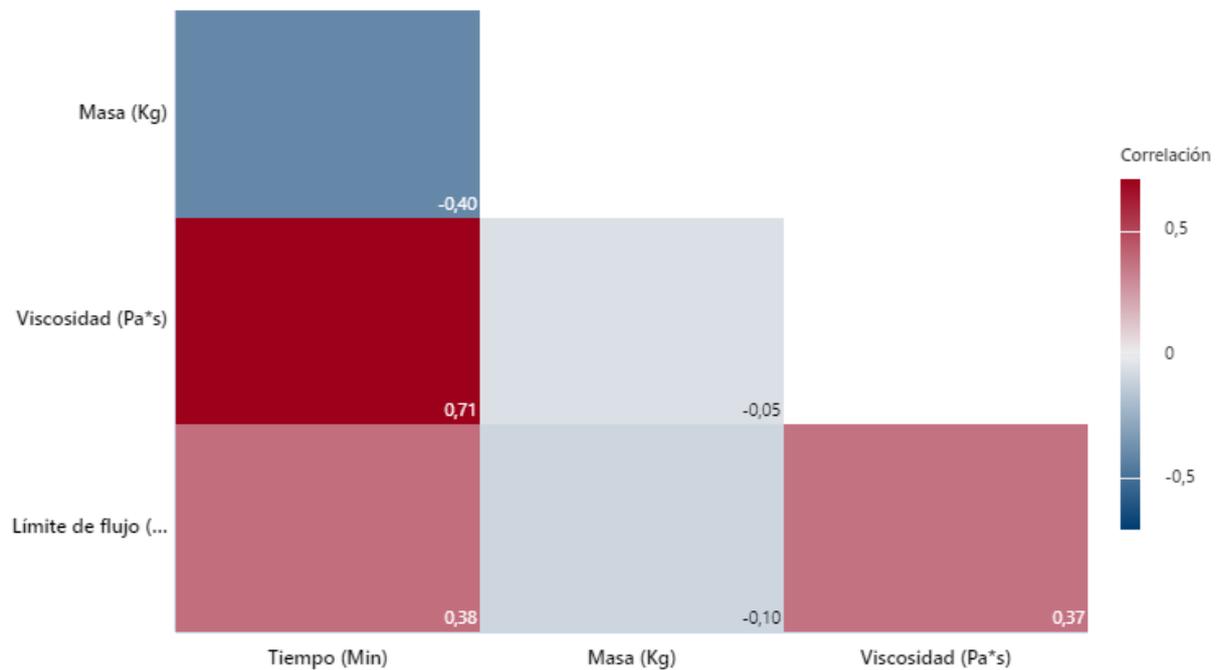


Para explorar las relaciones entre variables se graficó una matriz de correlación entre la cantidad de masa, el tiempo de residencia, la viscosidad y límite de flujo de las masas de chocolate en el tanque de almacenamiento, como se muestra en la figura 27. La cantidad de masa no tiene una correlación significativa con la viscosidad y el límite de flujo, por lo que no es una causa verificable de los cambios de la viscosidad y el límite de flujo.

El límite de flujo con la viscosidad y el tiempo tuvieron una relación débil. La única correlación fuerte es la viscosidad con el tiempo de residencia en el tanque, con lo que se concluye al aumentar el tiempo de permanencia de la masa en el tanque de almacenamiento, su viscosidad también aumentará.

**Figura 27**

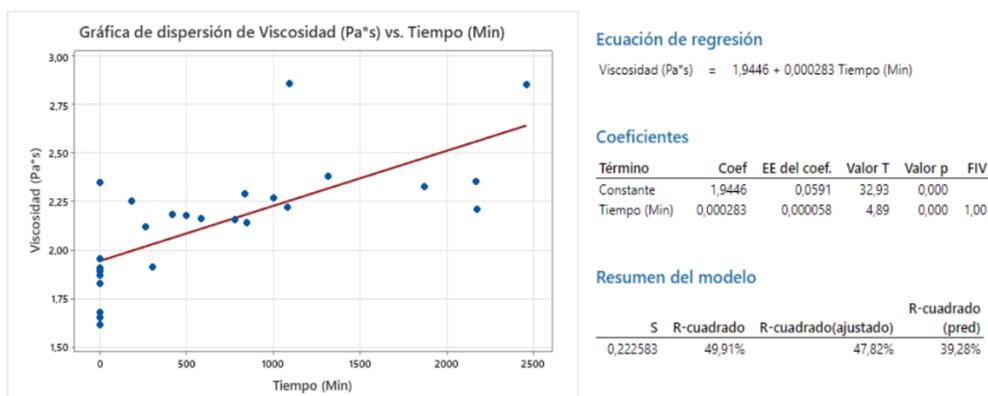
Correlaciones entre la cantidad de masa con el tiempo y los parámetros de viscosidad y límite de flujo



Ya que la relación entre el tiempo de residencia en el tanque y la viscosidad de la masa es significativa, se procedió a realizar una gráfica de dispersión entre ambas variables junto con el respectivo modelo de regresión. El modelo se muestra en la figura 28, en donde se expresa que la viscosidad es proporcional e incremental con respecto al tiempo.

**Figura 28**

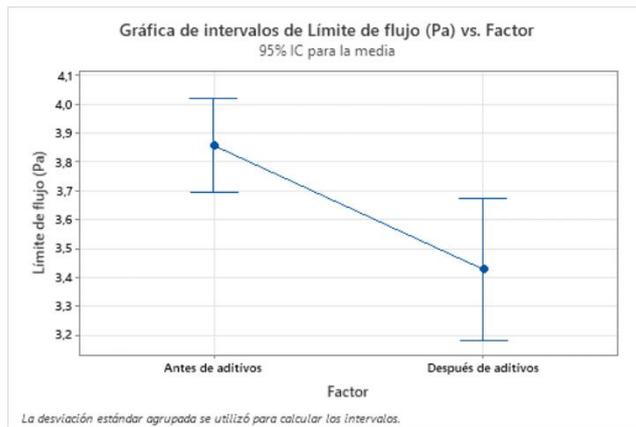
Modelo y ajuste de regresión de la viscosidad de la masa en el tiempo que reside en el tanque de almacenamiento



Otro factor importante en el cambio de la viscosidad y el límite de flujo es la adición de emulsificantes como PGRP o lecitina, en la gráfica 29 y 30 se muestra que luego de aditivos los parámetros de la masa disminuyen significativamente.

**Figura 29**

*Anova de un factor para el límite de flujo antes y después de aditivos*



#### Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales  
Hipótesis alterna No todas las medias son iguales  
Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

#### Información del factor

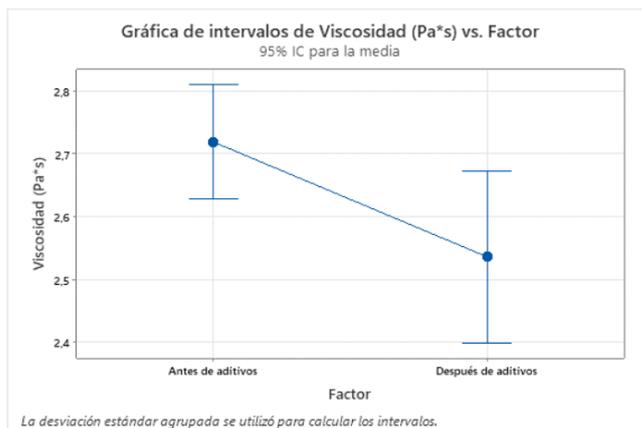
Factor Niveles Valores  
Factor 2 Antes de aditivos; Después de aditivos

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	5,762	5,7617	8,29	0,005
Error	145	100,831	0,6954		
Total	146	106,593			

**Figura 30**

*Anova de un factor para la viscosidad antes y después de aditivos*



#### Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales  
Hipótesis alterna No todas las medias son iguales  
Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

#### Información del factor

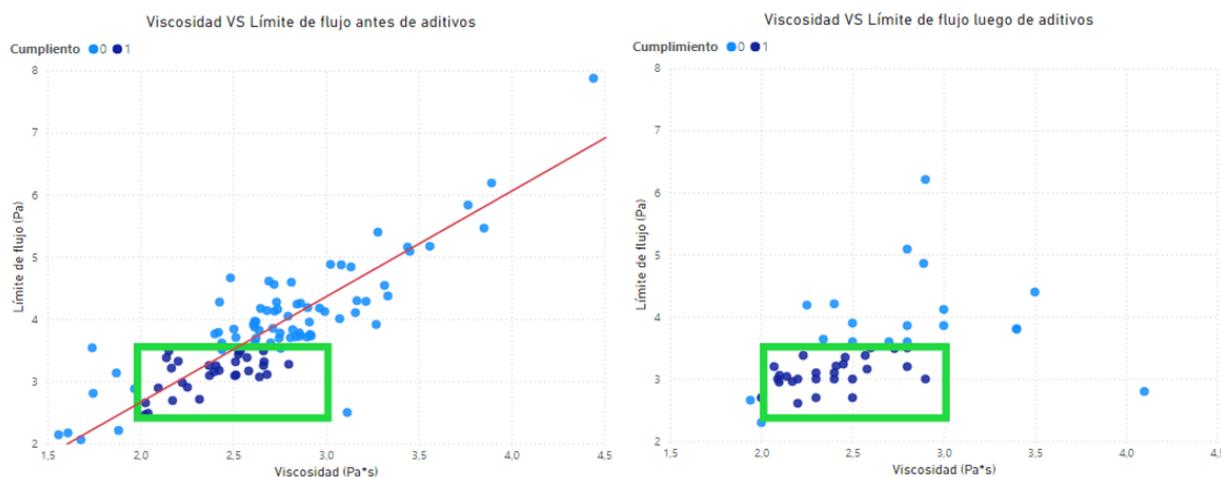
Factor Niveles Valores  
Factor 2 Antes de aditivos; Después de aditivos

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	1,046	1,0461	4,85	0,029
Error	145	31,269	0,2156		
Total	146	32,315			

Figura 31

Correlación entre variables  $y_1$ ,  $y_2$  antes y luego de aplicar aditivos, de acuerdo con los lotes



Aunque los aditivos si influyen en los parámetros de masa, el ajuste no es efectivo, ya que como se muestra en la figura 31, 41% lotes registrados continuaban fuera de parámetros antes de entrar a la línea de producción. Así se comprueba que la tabla de ajuste no es efectiva.

En cuanto a la variable sobre el efecto diferente que puede mostrar cada proveedor se comprobó directamente con la ficha técnica de cada aditivo.

Figura 32

Ficha técnica de los emulsificantes usados

<p><b>Polyglycerol Polyricinoleate</b></p> <p>Product Datasheet</p> <p>Product Code : DynaVisc 888 HV</p> <p><b>Description</b></p> <p>Form : Liquid Appearance : Light amber/ Yellowish viscous liquid Feedstock : Castor EC No : E 476</p> <p><b>Applications</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Viscosity reducer in chocolates</li> <li>- emulsifier in low fat spreads/margarine and dressings</li> <li>- emulsifier in tin greasing emulsions</li> <li>- emulsifier for w/o pharmaceutical and cosmetic preparations</li> </ul> <p><b>Nutritional Information (Theoretical) per 100g</b></p> <p>Energy (Kcal) : 895.68 Kcal Protein (g) : 0 g Total Fat (g) : 99.52 g Saturated Fat (g) : 16.37 g Polyunsaturated Fat (g) : 37.34 g Monounsaturated Fat (g) : 45.81 g Trans Fat (g) : 0 g Total Carbohydrates (g) : 0 g</p>		<p><b>Hoja técnica</b></p> <p><b>Palsgaard® PGPR 4125</b></p> <p>Identificación : 31076101</p> <p>Tipo : Poliglicerol policinoleato, PGPR.</p> <p>Aplicación : PGPR estandarizado para chocolate.</p> <p>Declaración : Policinoleato de poliglicerol E 476</p> <p><b>Información física/química</b></p> <p>Apariencia : Líquido amarillento Fuente lipídica : Aceite de ricino Valor ácido, max. : 3 mg KOH/g Valor oxidativo : 80-100 mg KOH/g Índice de refracción / 65 °C : 1.4630-1.4665 Valor de yodo : 72-103 g I2/100g Índice de saponificación : 170-210 mg KOH/g La parte del poliglicerol : Di- tri- y tetra gliceroles, min. : 75 % Heptaglicerol o superior, max. : 10 %</p>	<p><b>Palsgaard®</b> Heart working people</p> <p><b>Valores nutricionales</b></p> <p>Valor nutricional por 100 g (valores calculados)</p> <p>Energía : 3600 / 880 kJ/kcal Grasas : 100 g Hidratos de carbono : - g Proteínas : - g</p>
---	--	--	--

### 2.9.2 Herramienta 5 Porque

Con la herramienta de los “5 ¿Por qué?” se identificó las causas raíz de cada causa verificada previamente, además una lluvia de ideas sobre las posibles soluciones para cada causa raíz identificada.

**Tabla 3**

#### Herramienta 5 Porque (parte 1)

<u>¿Qué?</u>	<u>¿Por qué? 1</u>	<u>¿Por qué? 2</u>	<u>¿Por qué? 3</u>	<u>¿Por qué? 4</u>	<u>Posible Solución</u>
Los operadores desconocen el orden de los aditivos añadidos a la masa	La capacitación de los operadores fue incompleta	No tienen acceso a un procedimiento claro o documentado	No se ha desarrollado un procedimiento estandarizado para el orden de adición de aditivos		Rediseño del procedimiento de ajuste de la masa que contenga qué añadir y el orden de los aditivos
Alto tiempo de residencia de la masa en el tanque	La masa de chocolate se almacena mucho antes de que sea necesaria para la producción	La masa tiene que esperar a que la línea de moldeo esté disponible	Todos los tipos de masa se moldean en la misma línea	Solo hay una línea para el moldeo	Aplicar un análisis de teoría de colas y determinar la configuración del sistema en la línea de producción para reducir el tiempo de espera de la masa en el almacenamiento
		No se sabe cuánto tiempo puede tomar para que la masa de chocolate esté lista para la producción	No hay ningún indicador que especifique cuánto tiempo toman los ajustes a la masa de chocolate		Ajustar el plan de producción al tiempo máximo de residencia de la masa en el tanque
Se utilizaron aditivos de otro proveedor y causaron un efecto diferente	Tienen tiempos de reacción diferentes	La composición de los elementos de los aditivos difiere entre proveedores	Cada proveedor gestiona su propia receta para sus aditivos		Desarrollar un diseño experimental con variables como el tiempo de residencia de la masa en el tanque
					Añadir al SQA características de los aditivos necesarias para el efecto requerido en la masa (como el tiempo de reacción y de mezcla con la masa)
					Rediseño del procedimiento de

					ajuste de la masa que incluya qué proveedor de aditivos utilizar
La tabla utilizada para ajustar la masa no es efectiva	La tabla solo considera la cantidad de masa al agregar aditivos	There is no table that considers other factors	No se ha demostrado el efecto de otros factores en la masa	No se ha desarrollado un análisis de cuánto afecta cada causa a los parámetros de la masa	Desarrollar un diseño experimental con más variables y no solo con la cantidad de masa Desarrollar un sistema de control para monitorear cómo varían los parámetros de la masa de chocolate con los ajustes que se realizan
	No es usualmente usada	Se confía en la experiencia del operario para manejar la masa de chocolate			Reestructurar la tabla en colaboración con los operadores encargados, considerando todos los factores necesarios

**Tabla 4***Herramienta 5 Porque (parte 2)*

<u>¿Qué?</u>	<u>¿Por qué? 1</u>	<u>¿Por qué? 2</u>	<u>¿Por qué? 3</u>	<u>¿Por qué? 4</u>	<u>Posible Solución</u>
No hay una medida exacta de cuánto añadir PGPR a la masa	La adición de PGPR se basa en una tabla que solo considera la cantidad de masa	No hay una tabla que considere otros factores	El efecto de otros factores en la masa no ha sido comprobado	No se ha desarrollado un análisis de cuánto afecta cada causa a los parámetros de la masa	Desarrollar un diseño experimental con variables como la cantidad de PGPR añadido a la masa
No hay una medida exacta de cuánto añadir lecitina a la masa	La adición de lecitina se basa en una tabla que solo considera la cantidad de masa	No hay una tabla que considere otros factores	El efecto de otros factores en la masa no ha sido comprobado	No se ha desarrollado un análisis de cuánto afecta cada causa a los parámetros de la masa	Desarrollar un diseño experimental con variables como la cantidad de lecitina añadida a la masa

Los aditivos no se añaden a la masa en el momento exacto	No hay una monitorización continua de las propiedades de la masa a lo largo del tiempo	La información se recopila en un archivo de Excel y no se muestra en tiempo real		Diseñar un sistema que muestre cómo cambian las propiedades de la masa con el tiempo e indique cuándo y cuánto añadir los aditivos
	Los operadores no saben cuánto tiempo tardan los aditivos en hacer efecto	La formación de los operadores fue incompleta	Los formadores no consideraron que el tiempo de adición de los aditivos era crucial	No existe un manual o procedimientos sobre el ajuste de la masa que muestren cada detalle y subrayen la importancia del tiempo al añadir aditivos
				Desarrollar un diseño experimental con variables como el tiempo en que se añaden los aditivos

## 2.10 Solución

Algunas de las posibles soluciones descritas previamente tienen relación entre sí, por esto se agruparon en 8 posibles soluciones enlistadas en la tabla 5.

**Tabla 5**

*Lista de posibles soluciones*

No.	Posible Solución
1	Establecer un procedimiento estandarizado para el ajuste de la masa que contenga qué añadir, el orden de adición y el proveedor de los aditivos
2	Aplicar un análisis de teoría de colas y determinar la configuración del sistema en la línea de producción para reducir el tiempo de espera de la masa en el almacenamiento
3	Ajustar el plan de producción al tiempo máximo de residencia de la masa en el tanque
4	Desarrollar un diseño experimental con todas las variables que afectan los parámetros de la masa en el tanque
5	Añadir al SQA características de los aditivos necesarias para el efecto requerido en la masa (como el tiempo de reacción y de mezcla con la masa)
6	Desarrollar un sistema de control para monitorear cómo varían los parámetros de la masa de chocolate con los ajustes que se realizan
7	Reestructurar la tabla en colaboración con los operadores responsables, considerando todos los factores necesarios
8	Diseñar un sistema que muestre cómo cambian las propiedades de la masa con el tiempo e indique cuándo y cuánto añadir los aditivos

### 2.10.1 Priorización de soluciones

Para la elección de la propuesta de solución de este proyecto se realizó una priorización de soluciones, donde se destacaron 4 aspectos principales:

1. Tiempo de Implementación
2. Dificultad
3. Tiempo de entrenamiento
4. Impacto en el problema.

Los aspectos se clasificarán en 3 niveles de calificación, los valores se describen en las tablas 6, 7, 8 y 9.

#### Tabla 6

*Niveles y valoraciones de característica: Tiempo de implementación*

<b>Tiempo de Implementación</b>		
3	2	1
1 mes	Entre 1 mes y 3 meses	Más de 3 meses

#### Tabla 7

*Niveles y valoraciones de característica: Dificultad*

<b>Dificultad</b>		
3	2	1
Involucra 1 área de la fábrica	Involucra 2 áreas de la fábrica	Involucra más de 2 áreas de la fábrica

**Tabla 8***Niveles y valoraciones de característica: Tiempo de entrenamiento*

Tiempo de entrenamiento		
3	2	1
3 semanas	Entre 3 y 6 semanas	Más de 6 semanas

**Tabla 9***Niveles y valoraciones de característica: Impacto en el problema*

Impacto en el problema		
3	2	1
La solución resuelve más de 3 problemas	La solución resuelve 2 problemas	La solución resuelve 1 problema

Con esto se realizó la priorización resumida en la figura 33.

**Figura 33***Priorización de soluciones*

	Possible Solutions	Tiempo de implementación	Dificultad	Tiempo de entrenamiento	Impacto en el problema	Total
1	Establecer un procedimiento estandarizado para el ajuste de la masa que contenga qué añadir, el orden de adición y el proveedor de los aditivos	3	3	3	3	12
2	Aplicar un análisis de teoría de colas y determinar la configuración del sistema en la línea de producción para reducir el tiempo de espera de la masa en el almacenamiento	2	1	1	1	5
3	Ajustar el plan de producción al tiempo máximo de residencia de la masa en el tanque	1	1	1	1	4
4	Desarrollar un diseño experimental con todas las variables que afectan los parámetros de la masa en el tanque.	3	1	3	3	10
5	Añadir al SQA características de los aditivos necesarias para el efecto requerido en la masa (como el tiempo de reacción y de mezcla con la masa)	1	1	3	1	6
6	Desarrollar un sistema de control para monitorear cómo varían los parámetros de la masa de chocolate con los ajustes que se realizan	3	2	3	1	9
7	Reestructurar la tabla en colaboración con los operadores responsables, considerando todos los factores necesarios	3	2	3	3	11
8	Diseñar un sistema que muestre cómo cambian las propiedades de la masa con el tiempo e indique cuándo y cuánto añadir los aditivos.	3	3	3	3	12

### ***2.10.2 Descripción de solución propuesta***

Las 3 soluciones con mayor valoración conforman la propuesta del proyecto, estas son:

1. Reestructurar la tabla de ajuste, en colaboración con los operadores y registros de mediciones para que sea más eficiente.
2. Diseñar un tablero de control de masas de chocolate para dar tracking a sus propiedades y que los operadores sepan cuándo y cómo realizar ajustes.
3. Rediseñar el procedimiento del tratamiento de masas de chocolate para que sea más eficiente y el 100% de masas cumpla con las especificaciones de viscosidad y límite de flujo antes de producción.

**2.10.2.1 Reestructura de tabla de ajuste.** La tabla de ajuste que utilizaban los operadores solo consideraba la cantidad de masa en el tanque y establecía límites de adición de aditivos, más no una guía exacta de cuánto añadir.

De acuerdo con la información recolectada en el VOC y la lluvia de ideas, deberían considerarse también parámetros como el tiempo y la temperatura. Estas posibles causas fueron verificadas, siendo el tiempo y el estado inicial de la masa las variables más relevantes.

Para realizar el ajuste adecuado de la masa es necesario reestructurar la tabla para que el tratamiento sea efectivo. A continuación, se muestran los pasos llevados a cabo para implementar esta solución:

**Figura 34**

Pasos de la implementación de la solución



Las variables incluidas en la tabla de ajuste fueron el tiempo, la viscosidad y el límite de flujo inicial de la masa.

Los operadores registraron las mediciones recolectadas en el formato de recepción de masas y los registros de resultados de viscosidad y límite de flujo de las masas proporcionados. A partir de la información recolectada se establecieron las siguientes relaciones entre variables:

$$X_1: \text{Variación de la viscosidad en el tiempo} \quad (2.1)$$

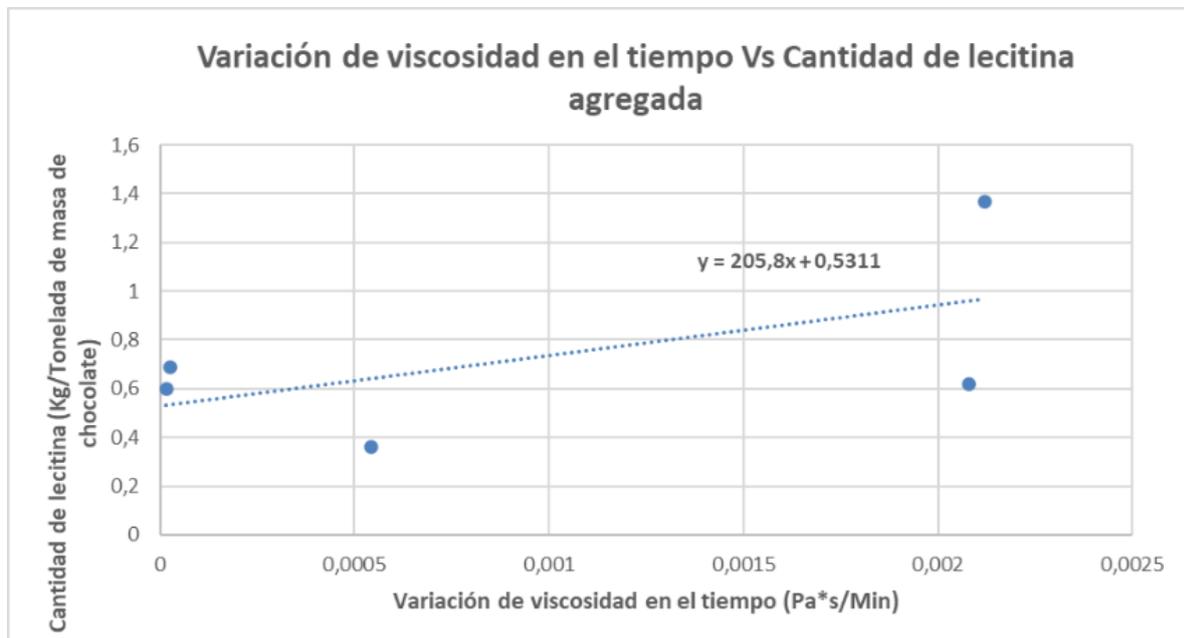
$$X_1 = \frac{\text{Viscosidad final}(Pa \cdot S) - \text{Viscosidad inicial}(Pa \cdot s)}{\text{Tiempo faltante para producción}(Min)} \quad (2.1)$$

$$X_2: \text{Variación del límite de flujo en el tiempo} \quad (2.2)$$

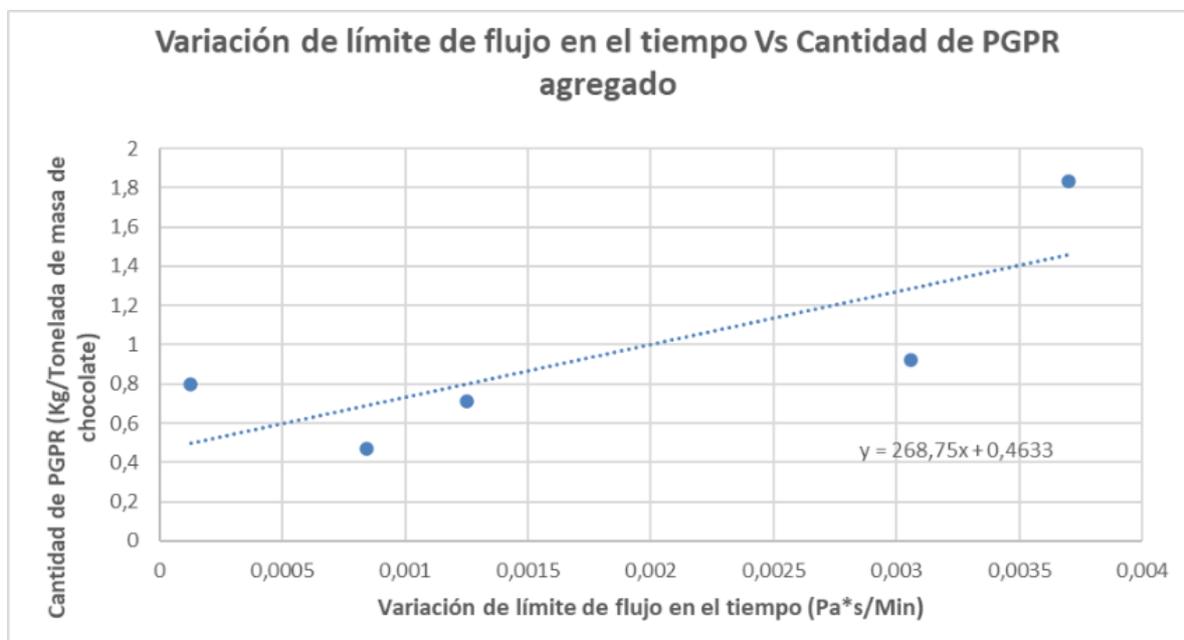
$$X_2 = \frac{\text{Límite de flujo final}(Pa) - \text{Límite de flujo inicial}(Pa)}{\text{Tiempo faltante para producción}(Min)} \quad (2.2)$$

**Figura 35**

Relación entre la variación de la viscosidad en el tiempo y la cantidad de lecitina agregada

**Figura 36**

Relación entre la variación del límite de flujo en el tiempo y la cantidad de PGPR agregada



En la siguiente tabla se resume el sistema de ajuste:

**Tabla 10**

*Tabla de ajuste de masas de chocolate*

<i>Variable</i>	<i>Fórmula de cálculo</i>
<i>Cantidad de Lecitina (Kg/Toneladas de chocolate)</i>	$205,8X_1 + 0,5311$
<i>Cantidad de PGPR (Kg/Toneladas de chocolate)</i>	$268,75X_2 + 0,4633$

**2.10.2.2 Tablero de control de masas de chocolate.** El tablero de Power BI le permitirá saber a los operadores cuánto añadir de cada emulsificante a la masa dentro del tanque de almacenamiento, a partir de las siguientes variables:

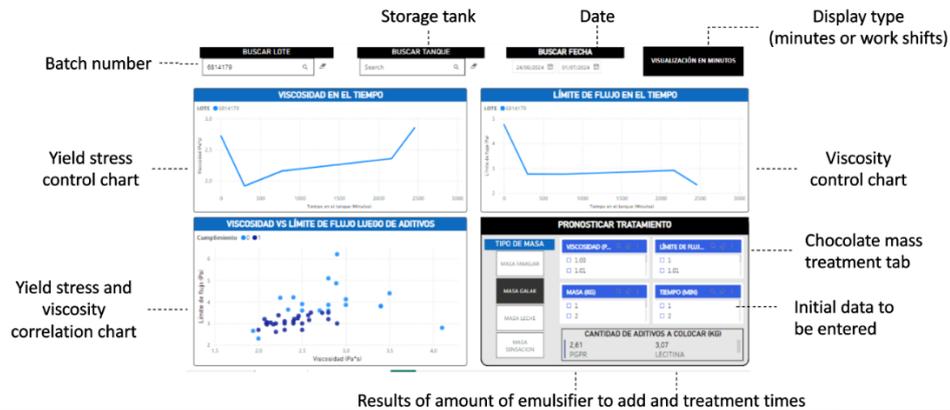
1. Cantidad de masa de chocolate dentro del tanque de almacenamiento
2. Viscosidad inicial de la masa de chocolate.
3. Límite de flujo de la masa de chocolate.
4. Tiempo faltante para producción.

Este sistema está configurado con una tabla de ajuste creada a partir de data histórica y datos tomados durante la duración del proyecto. Además de permitir tener un control dinámico e interactivo de ciertos indicadores sobre la masa de chocolate. El panel de control fue programado para actualizarse cada turno.

A continuación, se muestra una vista del tablero de control:

**Figura 37**

Vista general del tablero de control diseñado en Power Bi



**2.10.2.3 Rediseño del procedimiento de ajuste de masas de chocolate.** El procedimiento estandarizado es un documento que describe todas las partes y elementos del proceso y su alcance, en este caso el procedimiento está relacionado al ajuste de la masa de chocolate blanco, que va desde recepción hasta el tanque de almacenamiento de la masa de chocolate blanco antes de ser liberada a línea de producción en la fábrica Sur.

Dentro del procedimiento, el paso crítico es el tratamiento de las masas de chocolate, en donde se añaden emulsificantes como PGPR y lecitina para disminuir la viscosidad y el límite de flujo de la masa.

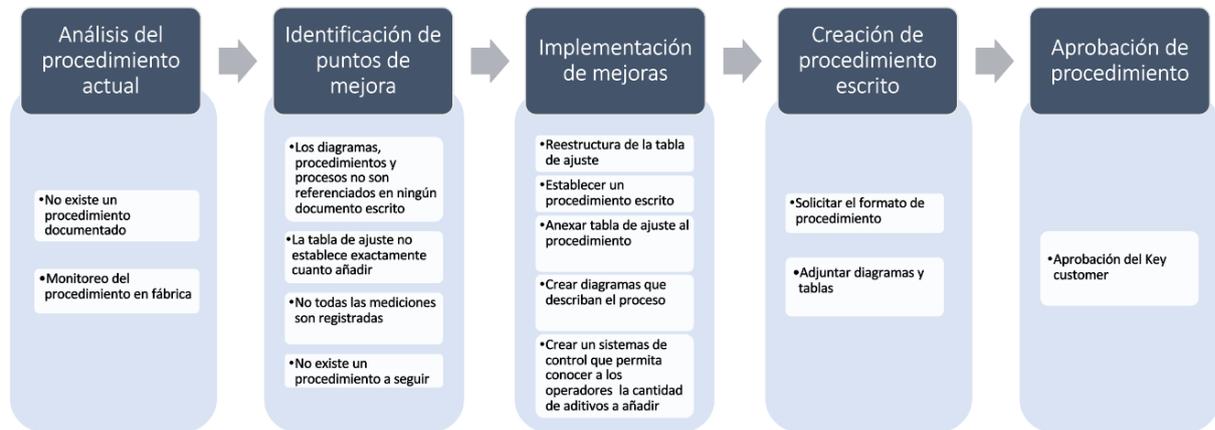
Para el rediseño del procedimiento se consideró:

1. Análisis del procedimiento actual de ajuste.
2. Identificación de oportunidades de mejora.
3. Implementación de mejoras.
4. Documentar procedimiento.

## 5. Aprobación del procedimiento.

**Figura 38**

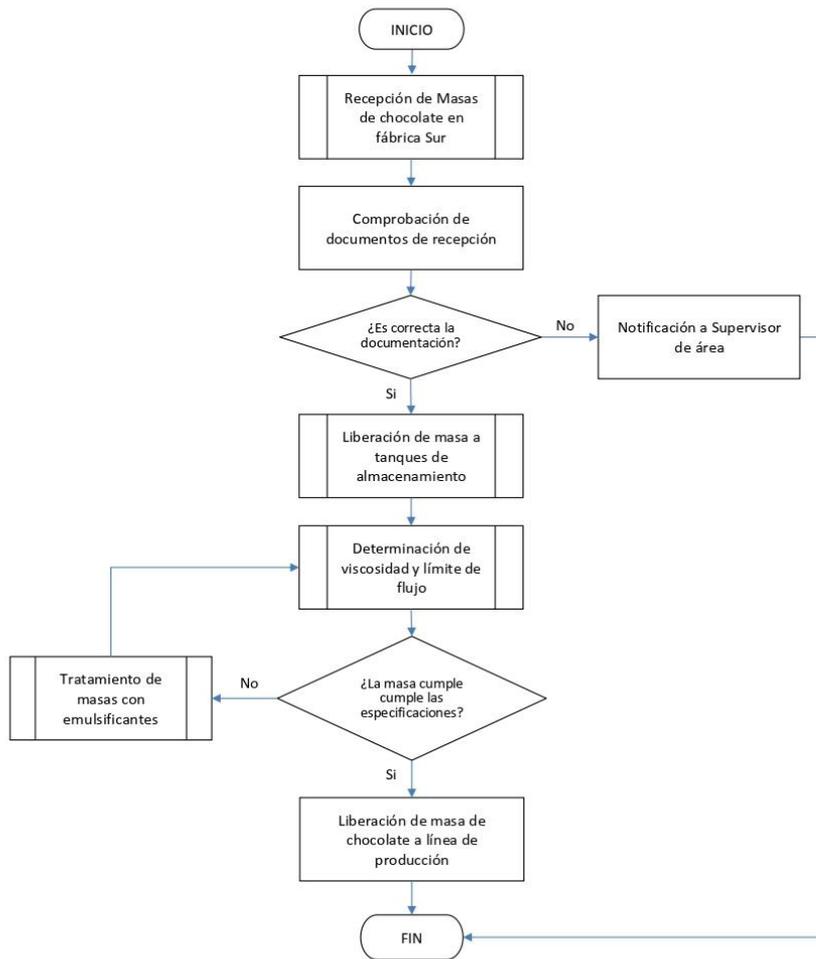
*Proceso del rediseño e implementación de procedimiento*



**Figura 39**

*Diagrama de subprocesos del tratamiento de masas de chocolate*

## TRATAMIENTO DE MASAS DE CHOCOLATE



## **Capítulo 3**

### 3. Resultados y Análisis

Tanto la primera como la segunda solución fueron implementadas desde el 16 de Julio, y se desarrollaron mediciones de resultados hasta el 24 de agosto.

Para implementar la tabla de ajuste rediseñada se compartió la tabla al área de producción y se les especificó cómo funciona, pero por la complejidad, esta se incluyó en el tablero de control como una sección de pronóstico de tratamientos de masa. Con los resultados del sistema, los operadores realizaron los tratamientos y para evaluar los resultados se registraron las mediciones de la viscosidad y el límite de flujo a lotes a los que se les realizó tratamiento con aditivos antes de entrar a producción.

Luego de implementar las mejoras, el 100% de lotes de masas de chocolate cumplieron con los parámetros de viscosidad antes de entrar a producción luego del tratamiento. Cuando anteriormente solo el 89% de los lotes cumplía con las especificaciones. En la siguiente serie de tiempo se muestra la viscosidad por lote dentro de los límites de especificación.

**Figura 40**

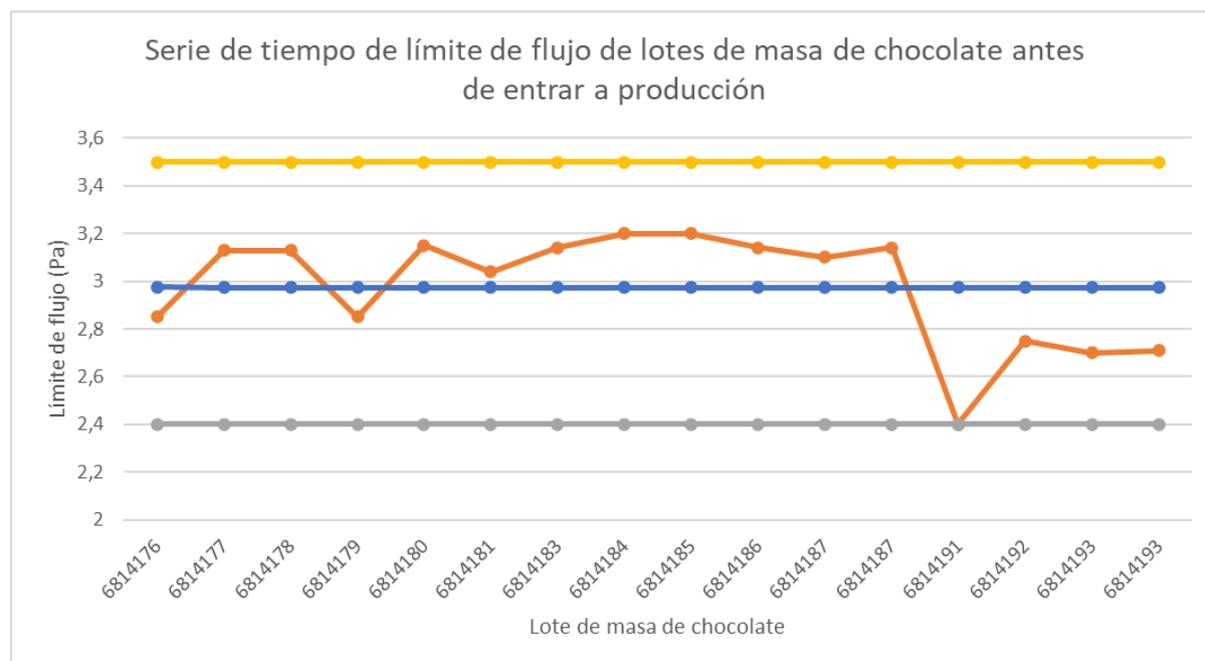
*Serie de tiempo de la viscosidad de masas de chocolate por lote antes de entrar a producción*



En cuanto al límite de flujo, también se obtuvo un cumplimiento de especificaciones al 100%, cuando antes era del 63 %, y, al cumplir todos los lotes con los límites de especificación, la media también se redujo situándose dentro de los límites.

**Figura 41**

*Serie de tiempo de la viscosidad de masas de chocolate por lote antes de entrar a producción*



Para ambas variables, la media está dentro de especificaciones y se redujo la diferencia a la meta, especialmente con el límite de flujo para el que la media antes estaba fuera de especificaciones, y todos los lotes cumplieron con las especificaciones de viscosidad y límite de flujo antes de entrar a producción, cuando antes solo el 59.7% cumplía con las especificaciones.

### 3.1 Pruebas estadísticas

A continuación, se muestra que la distribución de los datos de la viscosidad después de implementar las mejoras sigue una distribución normal, mientras que para el límite de flujo no hay suficiente evidencia estadística para probarlo con  $p < 0.01$  y nivel de significancia 0.05.

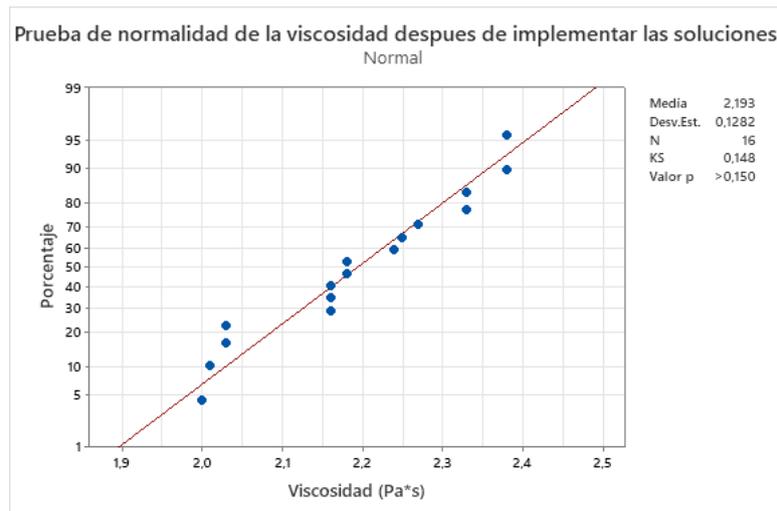
$H_0$ : Los datos siguen una distribución normal

$H_1$ : Los datos no siguen una distribución normal

Nivel de significancia establecido de 0.05.

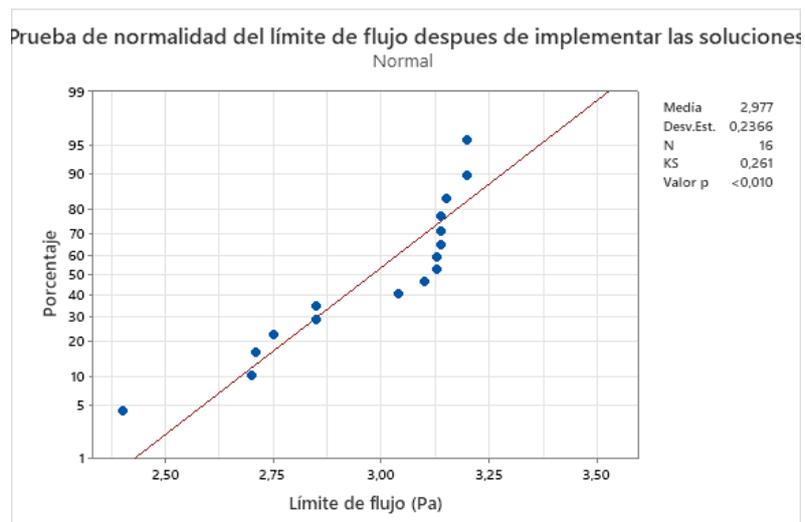
#### Figura 42

Resultados de prueba de normalidad para la viscosidad después de implementar soluciones



#### Figura 43

Resultados de prueba de normalidad para el límite de flujo después de implementar soluciones



Como los datos a analizar de uno de los parámetros no sigue una distribución normal, se realizó una prueba no paramétrica y categórica para analizar estadísticamente si hubo un cambio significativo en los resultados obtenidos, y determinar si las soluciones causaron un

cambio positivo en las variables. Una alternativa conveniente es usar la prueba Exacta de Fisher que permite evaluar si la distribución de lotes fuera de especificaciones ha cambiado significativamente, y funciona con tamaños de muestra pequeños o ceros, como es el caso de los lotes que no cumplen especificaciones luego de implementar las soluciones planteadas.

Para esto primero se plantean las hipótesis de la prueba, y se establece el nivel de significancia, en este caso de 0.05:

*H0: No hay diferencia en las proporciones de cumplimiento antes y después de implementar las soluciones.*

*H1: Hay una diferencia en las proporciones de cumplimiento antes y después de implementar las soluciones.*

#### **Figura 45**

*Resultados prueba de Fisher para la viscosidad*

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

<u>Valor p</u>
0,174977

Prueba exacta de Fisher para la viscosidad nos dio un valor p de 0.17, mayor que el nivel de significancia de 0.05 establecido: Esto sugiere que el cambio en el cumplimiento de este parámetro no es estadísticamente significativo. Sin embargo, dado que todas las mediciones antes de la implementación de las soluciones de este proyecto prueban una variabilidad menor que el límite de flujo, se concluye que el análisis estadístico está limitado por la falta de variabilidad en los resultados.

**Figura 46**

*Resultados prueba de Fisher para el límite de flujo*

**Prueba exacta de Fisher**

Valor p  
0,0030040

Prueba exacta de Fisher para límite de flujo nos dio un valor p de 0.003, menor que el nivel de significancia de 0.05 establecido: Esto sugiere que el cambio en el cumplimiento de este parámetro es estadísticamente significativo. Es decir, hay suficiente evidencia para afirmar que las soluciones del proyecto tuvieron un impacto positivo en este parámetro.

**Figura 47**

*Resultados prueba de Fisher para la suma de cumplimientos*

**Prueba exacta de Fisher**

Valor p  
0,0012603

Además, es conveniente analizar ambos parámetros conjuntamente relacionando su cumplimiento o no cumplimiento de ambos parámetros, con resultados de valor p de 0.0013 se concluye que el cambio en el cumplimiento de este parámetro es estadísticamente significativo. Hay suficiente evidencia para afirmar que las soluciones del proyecto tuvieron un impacto positivo.

### **3.2 Análisis de los tres pilares de sostenibilidad**

#### **3.2.1 Pilar Social**

La carga laboral de los operadores se redujo al disminuir el número de formatos que utilizaban para registrar los resultados de viscosidad y límite de flujo en las masas de chocolate con el rediseño del procedimiento de ajustes de masas de chocolate, donde previamente se utilizaban más de 3 formatos diferentes que incluían la misma información de mediciones, a

una integración en 2 formatos, uno relacionado al registro de ingreso de masa, y otro con las variaciones de los parámetros de las masas de chocolate.

### **3.2.2 Pilar Financiero**

El indicador Zero Loss Material Variation (ZLMV) se verificó para cada tipo de aditivo. Con respecto a PGPR, se utilizó 5.65% más material de lo esperado, lo que representa un exceso de 1.25 Kg /10000 Kg de masa producida y un costo de \$35.99/10000 Kg de masa producida por mes, así, se genera un ahorro de \$220 /10000 Kg de masa al mes por la reducción del exceso de PGPR usado entre mayo y diciembre de 2023, el cuál producía un costo de \$225.40/10000 Kg.

Con respecto a lecitina, se utilizó 87.02% menos material de lo esperado, lo que representa un ahorro de 16.0 Kg de lecitina y \$50.83 por cada 10000 Kg de masa producida a la semana, aumentando el ahorro mensual que antes se generaba por poco consumo de lecitina en \$33 /10000 Kg de masa producida al mes.

### **3.2.3 Pilar Medio ambiental**

El pilar medio ambiental también indicó la variación del indicador Zero Loss Material Variation (ZLMV), relacionado a la cantidad de desperdicio generado por el uso de cada aditivo.

Para el PGPR se redujo el exceso de uso de 5.75 kg/10000 kg de masa semanal, lo que representa una reducción del 25.28% de uso excesivo de PGPR.

En cuanto a la lecitina, su uso aumentó a 6.85kg/10000kg de masa producida semanalmente en los ahorros de material por su uso, representando un aumento del 17.09.

## **Capítulo 4**

## 4.1 Conclusiones y recomendaciones

### 4.1.1 Conclusiones

Tras la implementación rigurosa de la metodología DMAIC en el proyecto, se han llevado a cabo las fases necesarias para optimizar el proceso. Este enfoque sistemático ha permitido evaluar y mejorar de manera efectiva los parámetros críticos, lo que ha conducido a obtener las siguientes conclusiones primordiales que destacan los logros alcanzados:

1. Los resultados obtenidos durante el proyecto indican que la reestructuración y diseño de un sistema de control de ajuste ha tenido un impacto positivo reduciendo la cantidad de lotes de masa de chocolate blanco que ingresan a producción fuera los límites de especificación de viscosidad, en un 11%.
1. De igual forma con la implementación de sistema de control se redujo la cantidad de lotes de masa de chocolate blanco que ingresan a producción fuera los límites de especificación de límite de flujo, en un 39%.
2. Se identificaron las necesidades del cliente a través de sesiones de VOC tanto con el equipo del proyecto con el personal de recepción, lo que marcó una referencia que permitió determinar las causas principales de los problemas de masas de chocolate blanco.
3. El análisis de los resultados revela que el aumento de control, debido al sistema de control, produjo una reducción en la cantidad de desperdicio generado por uso de PGPR durante el ajuste de las masas de chocolate blanco.
4. Los resultados evidencian una reducción significativa en la variabilidad del proceso, lo que contribuye a una mayor consistencia en la calidad del producto.

5. Se desarrolló un plan de control para que las soluciones sean vigentes en el tiempo, considerando la actualización y el seguimiento de los parámetros a través del tablero de control y las practicas establecidas en el procedimiento.
6. Los resultados indicaron que el rediseño y documentación del procedimiento es primordial en los procesos repetitivos, donde se pudo observar subprocesos no estandarizados y para los cuales no se lleva control y seguimiento.

#### ***4.1.2 Recomendaciones***

A continuación, a partir de los hallazgos del proyecto se presenta una serie de recomendaciones que buscan optimizar y ampliar el entendimiento del tema estudiado. Estas sugerencias se fundamentan en los resultados y análisis realizados, así como en las limitaciones identificadas a lo largo del proceso. Las recomendaciones propuestas tienen el objetivo de abordar áreas que no fueron exhaustivamente exploradas en este proyecto debido a restricciones de tiempo o recursos y que podrían ofrecer importantes aportes y mejoras si se investigan a fondo en futuros estudios.

- El estudio reveló limitaciones en la precisión de los registros previos de aditivos, lo que podría afectar la reproducibilidad de los resultados. Se recomienda realizar estudios adicionales para refinar los métodos de medición y explorar nuevas técnicas de control en masa.
- Se sugiere realizar estudios futuros para explorar nuevas formulaciones de aditivos que puedan mejorar aún más las propiedades reológicas de las masas de chocolate, haciéndolos más efectivos con menor cantidad de uso.
- Se recomienda a la empresa desarrollar un estudio financiero sobre la factibilidad de implementar los ajustes de las masas de chocolate en el área de recepción de masas de la fábrica, de tal manera que se puedan abordar problemas relacionados con la descarga de la masa recibida a los tanques de almacenamiento.

- Se sugiere realizar un estudio sobre la integración de nueva tecnología en la planta de producción, ya sea para automatizar la adición de aditivos en el tanque de almacenamiento y control de las propiedades desde el tanque de almacenamiento.
- Se recomienda desarrollar herramientas de control para la automatización del seguimiento de ajustes a las masas de chocolate, con el fin de implementar acciones correctivas en las soluciones planteadas debido a variaciones que puedan surgir en el futuro.
- Es imprescindible que se compare la relación de los ajustes de todas las masas en la fábrica con la masa de chocolate blanco, para implementar el mismo sistema a todas las masas considerando sus características y parámetros individuales.

## Referencias

- Ahmed, J., y Basu, S. (2023). *Advances in food rheology and its applications*. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-01201-6>
- Beckett, S. (2009). *Industrial chocolate manufacture and use*. Wiley-Blackwell.
- George, M., Rowlands, D., Price, M., y Maxey, J. (2005). *The Lean Six Sigma pocket toolbox: A quick reference guide to nearly 100 tools for improving process quality, speed, and complexity*. McGraw-Hill.
- Griffin, A., y Hauser, J. (1993). The voice of the customer. *Marketing Science*, 12(1), 1-27. <https://doi.org/10.1287/mksc.12.1.1>
- Harry, M., y Schroeder, R. (2000). *Six Sigma: The breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations*. Doubleday.
- Holmberg, K., y Carlson, B. (2018). *Introduction to tribology*. Wiley.
- Juran, J., y Godfrey, A. (2002). *Juran's Quality Handbook (5th ed.)*. McGraw-Hill.
- Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Rajadell, M. (2021). *Lean Manufacturing: Herramientas para producir mejor*. Ediciones Diaz de Santos.
- Riaz, S., Amin, U., Maan, A. (2022). Natural Emulsifiers as Clean Label Ingredients. *The Age of Clean Label Foods*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-96698-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-96698-0_2)

White, F. (2011). Fluid mechanics (7th ed.). McGraw-Hill.