



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

**“PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN
DE CUAJADA ÁCIDA EN UNA INDUSTRIA LÁCTEA MEDIANTE LA
METODOLOGÍA SIX SIGMA”**



AUTOR: Leslie Tatiana Toro Chiscueth
DIRECTOR: MSc. Santiago Marcelo Vacas Palacios

Ibarra-Ecuador

2024

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004515951		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Toro Chiscueth Leslie Tatiana		
DIRECCIÓN:	Ibarra – Barrio El Milagro, Calle “El Aguacate” 5-50 y “El Cerezo”.		
EMAIL:	lttoroc@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELF. MOVIL	0986882261

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Propuesta de optimización de la línea de producción de cuajada ácida en una industria láctea mediante la metodología Six Sigma
AUTOR (ES):	Leslie Tatiana Toro Chiscueth
FECHA: AAAAMMDD	03 de agosto del 2024
SOLO PARA TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Industrial
DIRECTOR:	MSc. Santiago Marcelo Vacas Palacios

CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 04 días, del mes de septiembre de 2024

EL AUTOR:

Firma.....

Nombre: Leslie Tatiana Toro Chiscueth

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Ibarra 03 de agosto de 2024

MSc. Santiago Marcelo Vacas Palacios

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

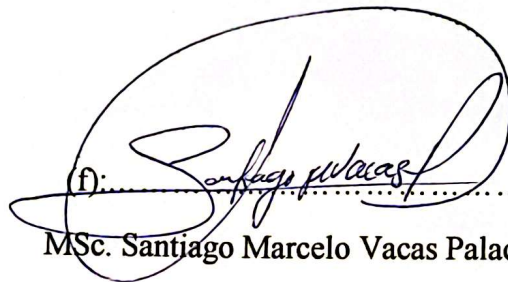
A handwritten signature in black ink, enclosed in a large, loopy oval shape. The signature appears to read 'Santiago Vacas Palacios'.

MSc. Santiago Marcelo Vacas Palacios

C.C.: 0909250615

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “Propuesta de optimización de la línea de producción de cuajada ácida en una industria láctea mediante la metodología Six Sigma” elaborado por Leslie Tatiana Toro Chiscueth, previo a la obtención del título de **Ingeniera Industrial** aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f): 

MSc. Santiago Marcelo Vacas Palacios

C.C.: 0909250615

(f): 

MSc. Ramiro Vicente Saraguro Piarpuezan

C.C.: 1001401866

DEDICATORIA

A Dios porque ha sido él quien ha sabido guiarme en cada paso que doy.

A mis Padres Mónica y Oscar quienes han sido apoyo en todo momento,
mi madre por enseñarme el coraje que debo tener para cumplir las cosas
que me propongo y mi padre por enseñarme que siempre se puede,
aunque implique comenzar de cero.

A mis hermanos Keyla y Oscar, quienes han sido mi motivación diaria en
que sigan un buen ejemplo y cumplan todo lo que se propongan.

A mi mejor amigo Samir, por nunca haber soltado mi mano y siempre me
ha recordado que he podido y puedo.

A mi novio Sully, por brindarme su apoyo y amor incondicional, porque
ha confiado ciegamente en mí y me ha empujado para seguir y no
detenerme porque puedo llegar muy lejos.

A mi Nena por ser fiel compañera en noches de desvelo.

Tatiana

AGRADECIMIENTO

Quiero Agradecer a Dios quien ha sido oído en tiempos difíciles, quien ha sabido guiar cada uno de los pasos que he dado, a quien ha contestado mis llamados cuando llorando pensaba que no iba a poder.

A mis Docentes el MSc. Marcelo Vacas, por ser quien ha brindado bases importantes en el desarrollo de la carrera y de la investigación, por ser quien ha brindado sus experiencias y conocimientos, mismos que han servido de ayuda para la vida personal y profesional, una guía y pilar fundamental en esta gran carrera, al MSc. Ramiro Saraguro por impartir sus conocimientos y siempre buscar que se lleve a cabo una investigación que esté a la altura de un profesional, sabiendo guiar de manera adecuada para hacer las cosas bien, al PhD. Robert Valencia por impartir sus conocimientos a lo largo de la carrera y cuando se desarrolló la investigación ser apoyo en temas de su conocimiento.

A mis padres Mónica y Oscar, mi madre que ha estado a pie junto apoyándome y en ocasiones parándose fuerte para no hacerme desfallecer, enseñándome que con esfuerzo y coraje puedo lograr todo lo que me proponga, a mi padre quien me ha enseñado que la vida es muy difícil pero que a pesar de las dificultades no es imposible empezar de cero.

A mis hermanos Keyla y Oscar porque han sido una gran motivación para ser una profesional, para que me vean como un buen ejemplo y siempre quieran ser mucho mejores de lo que piensan lograr.

A mi mejor amigo Samir, porque siempre ha estado conmigo dándome ánimos, siempre me ha hecho saber que he pasado por muchas cosas y he podido, puedo y podré siempre porque soy capaz.

A mis amigos y confidentes de la U mis mores Ale y Carlitos quienes han estado en todo momento, quienes han sido fieles compañeros de amanecidas, carcajadas, llantos y tareas, quienes cuando han podido nunca se han negado en tender una mano para ayudarnos, amigos de verdad que he podido encontrar.

A mis compañeros y amigos Mateo y Jorge los cuales han sido cómplices de muchos momentos, brindando siempre su apoyo y amistad sincera.

A mi prima Dani que siempre ha estado pendiente de como estoy, como avanzo y nunca me ha dejado desde que somos unas niñas.

A mi novio Sully, porque ha sido mi compañero, mi amigo, mi apoyo, mi paño de lágrimas y testigo de muchas cosas y momentos difíciles, sin embargo, en ningún momento me ha abandonado, siempre ha estado pendiente de mí, de que haga las cosas, que sea responsable, que coma, me ha apoyado en mis estudios, en mi vida personal e incluso en mi emprendimiento, tengo mucho por agradecerle y con unos escritos no creo que sea suficiente.

Por ultimo y no menos importante me agradezco a mí por haber llegado hasta aquí, porque todo lo que he logrado con apoyo de muchas personas y con otras tantas en contra, lo he logrado gracias a mí, al coraje de levantarme día a día pese a las críticas, a la valentía de aun teniendo personas que pensaban que no podía, siempre aunque con lágrimas en los ojos, me dije si puedo, a mí porque pidiendo de rodillas a Dios, le dije que no me soltara, que tengo muchas cosas por hacer, muchas cosas que lograr y muchas personas por las cuales ser feliz y estén orgullosas de lo que voy logrando.

RESUMEN

El proyecto titulado "Propuesta de Optimización de la Línea de Producción de Cuajada Ácida en una Industria Láctea mediante la Metodología Six Sigma" tiene como objetivo aplicar Six Sigma en la producción de cuajada ácida para mejorar la calidad del producto. Utilizando el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), se busca identificar, analizar y mejorar los procesos críticos, reduciendo la variabilidad en la calidad del producto. Este enfoque estructurado aborda problemas significativos como tiempos prolongados de producción, alta variabilidad, reprocesos y desperdicios.

La industria láctea en Ecuador, que representa el 1% del PIB y genera aproximadamente 1.2 millones de empleos, es fundamental para la economía, pero enfrenta desafíos debido a la falta de estándares de calidad y metodologías estructuradas, resultando en productos inconsistentes y defectuosos. Implementar Six Sigma permitirá optimizar procesos, mejorar la eficiencia operativa y elevar la calidad del producto, lo que incrementará la satisfacción del cliente y reducirá quejas y devoluciones. Los resultados esperados incluyen una reducción significativa de la variabilidad en el proceso, mejora en los tiempos de producción y uso de recursos, y una base sólida para la mejora continua y la competitividad a largo plazo de la industria. Se recomienda extender esta metodología a otras fases del proceso de producción y a diferentes líneas de productos, manteniendo una capacitación continua del personal y un monitoreo constante de los procesos para asegurar la estabilidad y sostenibilidad de las mejoras implementadas.

Palabras clave: Six Sigma, Industria láctea, Mozzarella, Estandarización, Contenido graso.

ABSTRACT

This project, titled "Optimization Proposal for the Production Line of Acid Curd in a Dairy Industry Using Six Sigma Methodology," aims to apply the Six Sigma methodology to the production of acid curd to improve product quality. The objective is to identify, analyze, and enhance critical processes to reduce variability in product quality. Six Sigma, through the DMAIC cycle (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), provides a structured approach to address significant issues such as prolonged production times, high quality variability, rework, waste, and non-conforming products.

The dairy industry is a key sector in Ecuador's economy, contributing 1% to the GDP and generating approximately 1.2 million jobs. However, it faces substantial challenges due to a lack of quality standards and structured methodologies, resulting in inconsistent and defective products, high operational costs, and decreased customer satisfaction. By implementing Six Sigma, the project aims to optimize processes, improve operational efficiency, and enhance product quality, thereby increasing customer satisfaction and reducing complaints and returns.

The expected outcomes include a significant reduction in process variability, improvement in production times, and better utilization of resources. This will establish a solid foundation for continuous improvement and long-term competitiveness in the dairy industry. Furthermore, it is recommended to extend this methodology to other phases of the production process and different product lines, maintaining continuous training for personnel and constant monitoring of processes to ensure the stability and sustainability of the implemented improvements. This project not only addresses current issues but also sets a framework for ongoing improvement, contributing to the success and competitiveness of the dairy industry in Ecuador.

Keywords: Six Sigma, Dairy industry, Mozzarella, Standardization, Fat content.

LISTA DE SIGLAS

1. **DMAIC** - *Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar*
2. **POE** - *Procedimiento Operativo Estandarizado*
3. **UCL** - *Upper Control Limit* (Límite Superior de Control)
4. **LCL** - *Lower Control Limit* (Límite Inferior de Control)
5. **ISO** - *Organización Internacional de Normalización*
6. **INEN** - *Instituto Ecuatoriano de Normalización*
7. **GMAO** - *Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador*
8. **KPI** - *Key Performance Indicator* (Indicador Clave de Rendimiento)
9. **CTQ** - *Critical to Quality* (Crítico para la Calidad)
10. **SPC** - *Statistical Process Control* (Control Estadístico de Procesos)
11. **CP** - *Capability Process* (Capacidad del Proceso)
12. **MR** - *Moving Range* (Rango Móvil)

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
A. Problema de investigación.	1
B. Justificación.....	2
C. Objetivos	4
1) Objetivo General	4
2) Objetivos Específicos	4
D. Alcance.....	4
CAPÍTULO II	6
A. BASES TEÓRICAS	6
1) Calidad y productividad	6
2) Control estadístico por procesos	6
3) Modelo y metodología Six Sigma.....	9
4) Componentes claves Six Sigma:	9
5) Importancia de la industria láctea en el Ecuador.....	11
6) El queso mozzarella	12
7) Características del Queso Mozzarella	12
8) El queso mozzarella en Ecuador	13
B. Marco Legal	15
1) Constitución de la República del Ecuador	15
2) Leyes Generales	15
3) Reglamentos	16
4) Normas Técnicas	17
5) Directrices y Manuales.....	18
6) Estándares Internacionales	18
7) Otras Regulaciones y Documentos Relacionados	18
CAPÍTULO III	20

A.	Enfoque y tipos de investigación	20
1)	Enfoque	20
2)	Tipo de investigación	20
3)	Método de Investigación	20
4)	Técnica de Investigación.....	20
5)	Instrumentos	21
6)	Diseño de la investigación.....	22
7)	Delimitación DMAIC.....	23
2	CAPÍTULO IV	25
A.	Diagnóstico.....	25
1)	Descripción de la empresa.....	25
2)	Localización de la empresa	26
3)	Misión.....	26
4)	Visión	26
5)	Política de Calidad e inocuidad	26
6)	Principios.....	26
7)	Valores	27
8)	Estructura Organizacional	28
9)	Distribución en Planta	28
10)	Análisis FODA	28
11)	Producción de pasta hilada de queso	29
B.	Especificaciones del método DMAIC	29
1)	Definir	30
2)	Medir	39
3)	Analizar	47
4)	Mejorar	56
5)	Controlar.....	66

C. Análisis de costos	68
Conclusiones	72
Recomendaciones	72
Referencias Bibliográficas	74
ANEXOS.....	79
ANEXO 001. Diagrama de producción de Pasta Hilada de Queso	79
ANEXO 002. POE	84
ANEXO 003. Cronograma de Implementación	92
ANEXO 004. Formatos para la Recolección de Datos	94
ANEXO 005. Proceso para diagnóstico y evaluación inicial.....	95
Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) en la estandarización de leche para la producción de quesos mozzarella pueden ayudar a monitorear y mejorar la eficiencia y calidad del proceso.....	96
ANEXO 006: CALENDARIO DE MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN	98

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. Herramientas y técnicas Six Sigma	10
TABLA II Metodología Seis Sigma (DMAIC).....	23
TABLA III Diagrama SIPOC de la producción de cuajada ácida	32
TABLA IV Características críticas de calidad.....	35
TABLA V. Voz del cliente interno	35
TABLA VI. Carta del proyecto.....	37
TABLA VII. Análisis de planes de producción diaria Pasta hilada de Queso.....	39
TABLA VIII Frecuencia de producción tina de volumen 1800 lt	40
TABLA IX Cálculo muestral	41
TABLA X Parámetros de grasa en estandarización de leche.....	42
TABLA XI Mediciones en el proceso de estandarización	42
TABLA XII Datos para cálculo de desviación estándar	43
TABLA XIII Problemas de Calidad del Producto	54
TABLA XIV. Propuesta de Soluciones	57
TABLA XV. Implementación de soluciones	59
TABLA XVI. Datos después de las mejoras generados por simulación	61
TABLA XVII. Acciones de control	66
TABLA XVIII. Análisis de costos antes de las mejoras.....	68
TABLA XIX. Implementación de Mejoras.....	69
TABLA XX. Análisis de Costos posteriores a las Mejoras	70
TABLA XXI. Análisis de costos de producción de Queso Mozzarella.....	70
TABLA XXII. Resumen de costos totales por período	70
TABLA XXIII. Recuperación de la inversión	70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración I. Gráfico de Control de Medias y Rangos (X-bar y R):	7
Ilustración II. Gráfico de Control de P (P-chart).....	7
Ilustración III. Histograma	8
Ilustración IV. Diagrama de dispersión.....	8
Ilustración V. Capacidad del proceso.....	9
Ilustración VI. Ciclo DMAIC.....	10
Ilustración VII. Diagrama de Pareto	11
Ilustración VIII. Control estadístico de procesos	11
Ilustración IX. Diagrama de Ishikawa.....	11
Ilustración X. Pirámide de Kelsen.....	15
Ilustración XI. Herramientas típicas fase Definir.....	24
Ilustración XII. Herramientas típicas fase Medir	24
Ilustración XIII. Herramientas típicas fase Analizar.....	24
Ilustración XIV. Herramientas típicas fase Mejorar.....	24
Ilustración XV. Herramientas típicas fase Controlar	24
Ilustración XVI. Ubicación geográfica de la empresa Floralp S.A.....	26
Ilustración XVII. Principios de Floralp.....	27
Ilustración XVIII. Valores de Floralp	27
Ilustración XIX. Estructura organizacional.....	28
Ilustración XX. Distribución en planta FLORALP S.A.....	28
Ilustración XXI. Análisis FODA.....	29
Ilustración XXII. Diagrama de flujo de Cuajada ácida para la producción de pasta hilada de queso de tipo K2.....	31
Ilustración XXIII. Diagrama de Pareto de cuajada ácida.....	36
Ilustración XXIV. Carta de control de datos de contenido graso en la estandarización de leche con parámetros especificados en programa	46
Ilustración XXV. Carta de control de datos de contenido graso en la estandarización de leche con parámetros especificados e la empresa	46
Ilustración XXVI. Diagrama de Ishikawa en la estandarización de leche en la producción de cuajada ácida	48
Ilustración XXVII. Gráficas de control en contenido graso de la estandarización de leche	50
Ilustración XXVIII. Distribución normal.....	52

Ilustración XXIX. Gráfica de probabilidad-Análisis de capacidad.....	53
Ilustración XXX. Gráfica de control de contenido graso en la estandarización de leche	63
Ilustración XXXI. Gráfica de control de contenido graso en la estandarización de leche después de las mejoras	63
Ilustración XXXII. Distribución normal datos mejorados	64
Ilustración XXXIII. Campana de Gauss con datos originales y datos nuevos después de las mejoras.....	65

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

A. Problema de investigación.

Cada día surgen numerosos proyectos de negocio en todo el mundo. Un sinnúmero de empresarios invierte su dinero, ideas y energía con la esperanza de crear un negocio exitoso que les proporcione independencia financiera. Sin embargo, no siempre se logra el éxito. Hay muchas razones para el fracaso en el crecimiento de las empresas; por ejemplo, más del 50% de los negocios fracasan en sus inicios debido a fallas de liderazgo y problemas internos, y un porcentaje similar desaparece tras la muerte de su fundador. Además, existen varios factores que contribuyen al fracaso de un negocio, entre ellos la falta de controles en áreas como personal, ventas, gastos, efectivo y producción de inventario, especialmente cuando la empresa está comenzando. [1].

La función principal de una empresa es transformar los elementos de producción en bienes y servicios adecuados para la inversión o el consumo. En las sociedades, la producción se lleva a cabo en empresas porque la eficiencia requiere producción a gran escala, adquisición de una gran cantidad de recursos externos y una administración y supervisión minuciosas de las actividades diarias. El empresario debe tomar decisiones importantes diariamente sobre su actividad productiva, sin importar el producto o servicio específico. Dos consideraciones son relevantes en este proceso: primero, asegurar que los métodos de producción sean técnicamente efectivos y decidir en qué proporciones deben utilizarse los distintos factores; y segundo, determinar la cantidad a producir.[2].

La economía de Ecuador cuenta con varios sectores clave, y uno de los más importantes es el sector lácteo. Este sector no solo produce bienes esenciales, sino que también genera empleo tanto directa como indirectamente a lo largo de toda su cadena agroalimentaria. Desde los ganaderos hasta los comerciantes que venden los productos finales, el sector lácteo es vital para el país. La producción de leche ha sido, desde sus inicios, una actividad fundamental para el desarrollo económico de Ecuador. [3].

La producción de leche en Ecuador es un componente vital de la economía nacional, contribuyendo significativamente tanto en términos económicos como sociales. Representa el 1% del Producto Interno Bruto (PIB) y el 4% del sector agropecuario, además de generar

alrededor de 1.2 millones de empleos directos e indirectos. Con un consumo per cápita de 105 litros al año y ventas diarias de leche que alcanzan los 1.5 millones de dólares, el sector lácteo es una fuente importante de ingresos y sustento para miles de familias. La presencia de 279,489 productores y 1,320 establecimientos dedicados a la elaboración de productos lácteos subraya la magnitud y relevancia de esta industria para el país. [4].

En una entrevista con PRIMICIAS, Rodrigo Gallegos, director Ejecutivo del Centro de la Industria Láctea, indicó que el sector lácteo está estancado debido a que el consumo diario de leche en Ecuador no supera los 5,2 millones de litros, a pesar de que el potencial real es de 10 millones de litros. El consumo per cápita anual es de 95 litros, aunque la industria busca alcanzar los 150 litros. Mientras en países como Colombia el litro de leche cuesta entre USD 0,28 y USD 0,30, en Ecuador el precio es de USD 0,42, influenciado por la dolarización y problemas inflacionarios históricos. Aunque algunos consumidores llegan a consumir hasta 200 litros anuales, entre seis y siete millones de personas con bajo poder adquisitivo apenas consumen menos de 30 litros al año [5].

La industria láctea enfrenta serios problemas debido a la falta de una metodología estructurada como Six Sigma. Esta ausencia se traduce en una alta variabilidad en los procesos de producción, lo que resulta en productos inconsistentes y defectuosos. La falta de estándares de calidad contribuye a elevados costos operativos, incluyendo desperdicios y retrabajos, y disminuye la satisfacción del cliente debido a la baja calidad y frecuencia de quejas. Además, la ineficiencia en los procesos operativos y la ausencia de un marco para la mejora continua han limitado la capacidad de la industria para innovar y adaptarse a las demandas del mercado. Sin una metodología efectiva para controlar y mejorar los procesos, la industria láctea corre el riesgo de perder competitividad en un entorno cada vez más exigente.[6].

Este estudio es esencial para evaluar cómo la implementación de Six Sigma puede abordar los problemas existentes en la industria láctea, al mejorar la calidad del producto, reducir costos y optimizar la eficiencia operativa. La investigación proporcionará información clave sobre cómo aplicar un enfoque sistemático puede transformar el sector, incrementar la satisfacción del cliente y fortalecer su posición competitiva en el mercado.[7].

B. Justificación

Six Sigma es una metodología que busca mejorar los procesos optimizando los sistemas para garantizar una mayor consistencia en los resultados y reducir las variaciones en el producto

final. Su principal objetivo es minimizar los defectos. Esta metodología se basa en datos medibles y en la retroalimentación de los clientes a través de encuestas. Los principios de Six Sigma sostienen que todos los procesos pueden ser definidos, medidos, analizados, mejorados y controlados mediante el ciclo DMAIC. En cada proceso, se identifican entradas y salidas: las entradas son las acciones que realiza el equipo y las salidas son los efectos de esas acciones. El enfoque central es que, al controlar eficazmente las entradas, también se pueden gestionar de manera efectiva las salidas. Six Sigma emplea datos y análisis estadísticos para identificar problemas, establecer metas de mejora y aplicar soluciones adecuadas. [8].

El problema relacionado con la producción de cuajada ácida se basa en la necesidad de optimizar la eficiencia operativa y elevar la calidad del producto dentro de la industria láctea. Actualmente los desafíos identificados como lo son; tiempos de producción prolongados, variabilidad significativa en la calidad de cuajada ácida, un uso ineficiente de los recursos, reprocesos, desperdicios, productos no conformes, así como también hay mucha variabilidad que afecta la calidad del producto y la satisfacción del cliente, tomando en consideración la reunión efectuada con el personal de la empresa, se dice que esta es una línea que no es tan rentable, ya que se identifican varios de los factores de ineficiencia anteriormente, por lo que esto significarían claramente obstáculos para la competitividad y rentabilidad de la empresa [9].

La aplicación de la metodología Six Sigma ofrece un enfoque estructurado y probado para identificar y abordar las causas raíz de estas ineficiencias permitiendo la implementación de soluciones específicas y la mejora continua de los procesos de producción. Al lograr una optimización efectiva, no solo se anticipa la resolución de los problemas actuales, sino también se establece un marco para la sostenibilidad y mejora continua a largo plazo, contribuyendo así al éxito prolongado de la industria láctea en un mercado competitivo. Con la propuesta de este trabajo, se espera lograr una reducción considerable en cuanto a la variabilidad de producción, así como una mejora general en la uniformidad y calidad del producto final. Al culminar con el estudio de la fase identificada con más concurrencia de problemas mediante la metodología Six Sigma se podrá realizar una réplica para las fases restantes en la producción de cuajada ácida [10].

C. Objetivos

1) Objetivo General

Aplicar la metodología Six Sigma en la línea de producción de cuajada ácida de una industria láctea para identificar, analizar y mejorar los procesos críticos con el fin de reducir la variabilidad en la calidad del producto.

2) Objetivos Específicos

- Investigar bases teóricas relacionadas con la metodología Six Sigma para el desarrollo de la presente investigación con el fin de definir y abordar el problema.
- Realizar un diagnóstico de la situación actual de los procesos de producción de cuajada ácida en una industria láctea, mediante la medición y análisis de procesos para identificar las fuentes de variabilidad que influyen en la calidad de producción.
- Establecer una propuesta de mejora mediante la aplicación de la metodología Six Sigma para establecer controles efectivos en los procesos productivos identificados con el propósito de reducir su variabilidad.

D. Alcance

El presente trabajo aplicará herramientas de optimización mediante la metodología Six Sigma, para abordar ineficiencias y mejorar la eficacia operativa en la línea de producción de cuajada ácida en una industria láctea localizada en Ecuador.

Se llevará a cabo una delimitación del problema, identificando desafíos específicos para que la línea de producción de cuajada ácida en el proceso de elaboración de pasta hilada de queso sea tan rentable como otras líneas de producción de la industria a estudiar. La investigación incluirá una exhaustiva revisión de los principios Six Sigma enfocado en DMAIC y su adaptación a los procesos de la industria láctea. Se realizará un diagnóstico de la situación actual de la línea de producción, seguido por el diseño de soluciones específicas para optimizar los procesos. La medición de resultados se llevará a cabo dentro de las instalaciones, asimismo mediante indicadores clave, se validarán las propuestas de mejora en un entorno controlado. Como entregable, se desarrollará una propuesta de implementación del estudio realizado con el presente trabajo.

El estudio se realizará durante un periodo de ocho meses debido a las restricciones temporales. Se trabajará únicamente en la línea de producción de cuajada ácida de la línea de producción de pasta hilada de queso de la industria de estudio, en la fase que se identifique con mayor concurrencia de problemas, excluyendo otras fases, líneas o procesos dentro de la planta. La disponibilidad de la información y datos históricos está sujeta a la cooperación de la industria y a las políticas de confidencialidad de la empresa.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

A. BASES TEÓRICAS

1) Calidad y productividad

La productividad y la calidad son conceptos fundamentales que están conectados. La habilidad de un producto o servicio para satisfacer las necesidades y expectativas del consumidor se denomina calidad, mientras que la productividad se refiere a la eficacia en el uso de los recursos para lograr resultados. Ambos elementos son esenciales para la competitividad y el éxito de una empresa. [18].

a) Calidad

La capacidad de un producto para cumplir con todas las características y requisitos requeridos según las expectativas de los consumidores se conoce como calidad. La calidad en las industrias se refiere a la supervisión constante de los recursos utilizados en la cadena de producción, que incluyen los elementos humanos, los materiales y el equipo o las herramientas utilizadas. [19].

b) Productividad

Es la habilidad de realizar tareas con una cantidad determinada de recursos asignados al negocio en un tiempo determinado. La productividad es una herramienta para medir la producción de una empresa en comparación con los recursos utilizados, con el propósito de maximizar el uso de esos recursos para obtener mejores resultados. [20].

2) Control estadístico por procesos

El control estadístico de procesos (CEP) es una técnica que emplea herramientas estadísticas para observar y regular un proceso de producción. Su objetivo principal es garantizar que el proceso funcione de manera efectiva y produzca productos consistentes de calidad disminuyendo los costos esto se da por dos razones principales: la reducción de los productos rechazados y la implementación de inspecciones basadas en muestreo.[21].

En un proceso industrial, una serie de factores aleatorios impiden la fabricación de dos productos idénticos. Esto implica que cada producto tiene características diferentes y la variabilidad es lo que se intenta evitar. El propósito es disminuir la variabilidad lo más posible o, por lo menos, mantenerla dentro de límites aceptables. La herramienta útil para alcanzar este

objetivo es el Control Estadístico de Procesos (CEP). El CEP no solo mejora la calidad del producto al aplicarse durante la fabricación, sino que también proporciona un mayor entendimiento del proceso, lo que en ocasiones puede conducir a mejoras adicionales en el proceso mismo [22].

A continuación, se presentan herramientas clave del CEP:

- **Gráficos de Control**

El comportamiento de un proceso a lo largo del tiempo se puede monitorear a través de los gráficos de control. Estos gráficos ayudan en la identificación de las variaciones en el proceso y en la determinación de si se corresponden con causas comunes (variaciones naturales) o con causas especiales (problemas específicos).

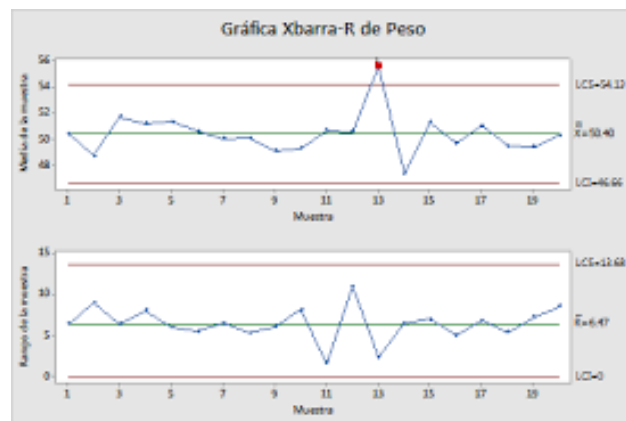


Ilustración I. Gráfico de Control de Medias y Rangos (X-bar y R):

Nota: fuente <http://surl.li/xbardf> esta gráfica muestra las medias (X-bar) y los rangos (R) de varias muestras a lo largo del tiempo. Las líneas horizontales representan los límites de control superior e inferior.

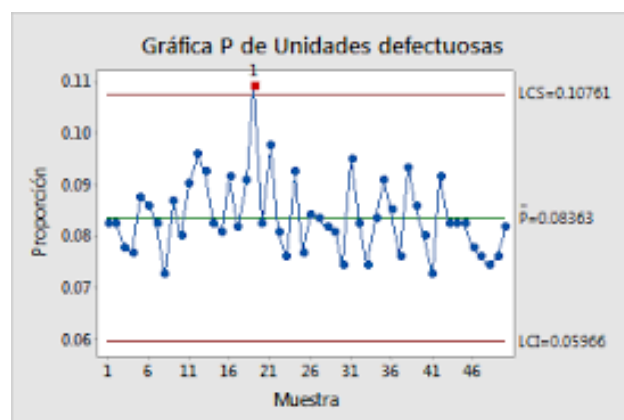


Ilustración II. Gráfico de Control de P (P-chart)

Nota: fuente <http://surl.li/engbxd> esta gráfica muestra la proporción de unidades defectuosas en diferentes muestras. Las líneas indican los límites de control para la proporción de defectos.

- **Histogramas**

Los histogramas ilustran la distribución de una variable continua, mostrando cómo los datos se agrupan en diferentes intervalos. Estos gráficos facilitan la visualización de la forma de la distribución de los datos.

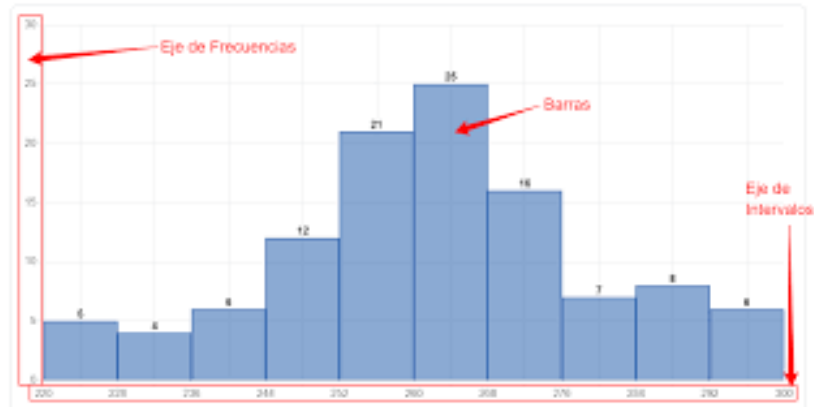


Ilustración III. Histograma

Nota: fuente <http://surl.li/rarzhq> esta gráfica representa la frecuencia de datos agrupados en intervalos, facilitando la identificación de patrones y anomalías.

- **Diagrama de dispersión**

Los diagramas de dispersión muestran la relación entre dos variables. Son útiles para identificar correlaciones y patrones.

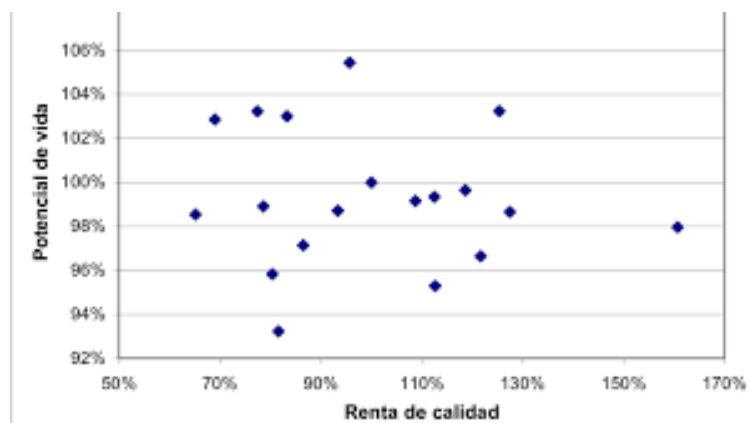


Ilustración IV. Diagrama de dispersión

Nota: fuente <http://surl.li/kixvjr> esta gráfica muestra la relación entre dos variables, ayudando a identificar posibles correlaciones.

- **Análisis de Capacidad del Proceso**

Analiza si el proceso cumple con las especificaciones y requisitos establecidos. Compara la variabilidad del proceso con los límites de especificación para determinar si el proceso puede operar dentro de esos límites.



Ilustración V. Capacidad del proceso

Nota: fuente <http://surl.li/ntkms> esta gráfica muestra la distribución del proceso y cómo se ajusta a los límites de especificación, proporcionando una visión de la capacidad del proceso.

3) **Modelo y metodología Six Sigma**

Six Sigma es una metodología de gestión orientada a incrementar la calidad y la eficiencia de los procesos empresariales. Emplea herramientas estadísticas para detectar y eliminar defectos y variaciones en los procesos, con el fin de lograr una calidad casi perfecta. La metodología sigue un enfoque sistemático y estructurado denominado DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar).[23].

4) **Componentes claves Six Sigma:**

a) **DMAIC:**



Ilustración VI. Ciclo DMAIC

Nota: fuente <http://surl.li/rbxson> Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar

- **Definir:** Identificar el problema, fijar objetivos y determinar el alcance del proyecto.
- **Medir:** Recopilar datos relevantes y evaluar cómo se desempeña actualmente el proceso.
- **Analizar:** Examinar los datos para identificar las causas raíz de los defectos y variaciones.
- **Mejorar:** Implementar soluciones para eliminar las causas raíz y optimizar el proceso.
- **Controlar:** Establecer mecanismos para mantener las mejoras y garantizar la estabilidad del proceso.

b) Nivel Sigma:

El término "Sigma" se refiere a la desviación estándar, una medida de variabilidad en un proceso. Un proceso Six Sigma tiene una tasa de defectos extremadamente baja, con solo 3.4 defectos por millón de oportunidades, lo que equivale a un nivel de calidad del 99.99966%.

c) Herramientas y técnicas:

TABLA I. Herramientas y técnicas Six Sigma

Diagramas de Pareto:	Control Estadístico de Procesos (CEP):	Diagramas de Ishikawa (Causa y Efecto):
----------------------	--	---

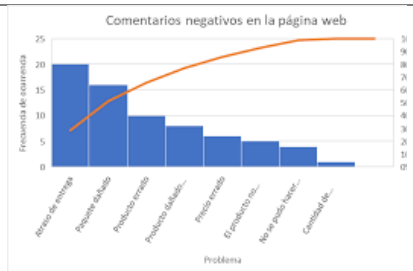


Ilustración VII. Diagrama de Pareto

Nota: fuente

<http://surl.li/ikpikj> Identifican y priorizan problemas basados en su impacto.



Ilustración VIII. Control estadístico de procesos

Nota: fuente

<http://surl.li/nkupmo> Monitorean y controlan la variabilidad del proceso.

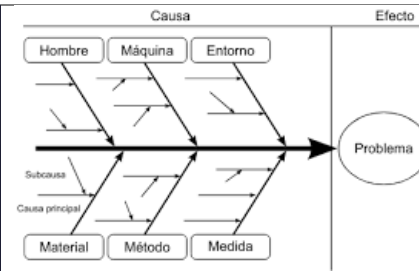


Ilustración IX. Diagrama de Ishikawa

Nota: Fuente

<http://surl.li/uhacwy> visualizan todas las posibles causas de un problema.

5) Importancia de la industria láctea en el Ecuador

La importancia de la industria láctea en Ecuador radica en su importante contribución económica, ya que genera alrededor de 1.400 millones de dólares anuales y representa el 1% del PIB del país. Además, genera aproximadamente 1.2 millones de empleos a lo largo de toda la cadena agroalimentaria, tanto directos como indirectos. Con un consumo anual de 105 litros por persona, se evidencia una gran necesidad de productos lácteos, ya que hay una venta diaria de 1.5 millones de dólares en leche y 870 mil dólares en queso. La diversificación de la producción en la región ayuda al crecimiento económico en provincias como Chimborazo, Manabí, Cotopaxi y Pichincha. [24].

a) Productos que forman parte de la industria láctea:

La industria láctea en Ecuador produce una amplia variedad de productos, que incluyen:

- **Leche:** La leche fresca y pasteurizada es uno de los productos principales, disponible en diferentes formatos como leche entera, semi-descremada y descremada.
- **Quesos:** Ecuador produce una variedad de quesos, incluyendo quesos frescos como el queso de mesa, quesos maduros, queso de hoja, queso mozzarella, queso fresco, queso cheddar y otros quesos artesanales.
- **Yogur:** Disponible en diversas presentaciones y sabores, incluyendo yogur natural, con frutas y yogur bebible.

- **Mantequilla:** Usada tanto para el consumo doméstico como para la industria alimentaria.
- **Crema de leche:** Utilizada en la cocina y la repostería, disponible en diferentes niveles de contenido graso.
- **Leche condensada y evaporada:** Empleadas en la preparación de postres y otros alimentos.
- **Leche en polvo:** Utilizada como ingrediente en diversas aplicaciones culinarias e industriales.
- **Helados y postres lácteos:** Incluyen una amplia variedad de helados, flanes, natillas y otros productos de postre.

Estos productos no solo satisfacen el consumo interno, sino que también son exportados a mercados internacionales, contribuyendo a la economía nacional.[25].

6) *El queso mozzarella*

El queso mozzarella es un queso fresco de origen italiano, ampliamente conocido por su textura suave y su capacidad para derretirse, lo que lo hace ideal para una variedad de platos, especialmente pizzas y lasañas[26].

7) *Características del Queso Mozzarella*

a) *Origen*

El queso mozzarella se originó en Italia, específicamente en la región de Campania, alrededor de Nápoles. Su nombre deriva del término italiano "mozzare", que significa "cortar", en referencia al proceso de corte de la cuajada. Tradicionalmente elaborado con leche de búfala, el queso se caracteriza por su textura elástica y cremosa. Con el tiempo, la mozzarella de leche de vaca se volvió más común debido a su costo y disponibilidad, y la producción del queso se industrializó y expandió globalmente, convirtiéndose en un ingrediente esencial en platos como la pizza[27].

b) *Tipos de Mozzarella:*

- **Mozzarella de Búfala:** Hecha con leche de búfala, tiene un sabor más rico y una textura más cremosa.
- **Mozzarella de Vaca:** Hecha con leche de vaca, es más común y se usa ampliamente en la cocina.

c) *Propiedades:*

- **Textura:** Suave, elástica y húmeda.
- **Sabor:** Suave y ligeramente ácido.

- **Aspecto:** Usualmente presentado en bolas o bloques, y a veces en forma rallada o en rodajas.

d) Usos Culinarios:

- **Pizzas:** Es el queso más popular para pizzas debido a su excelente capacidad de fundirse y su sabor.
- **Lasañas y Pastas:** Se utiliza en platos de pasta y lasañas por su capacidad para derretirse y combinarse bien con otros ingredientes.
- **Ensaladas y Aperitivos:** A menudo se sirve en ensaladas, como la ensalada Caprese, o en aperitivos.

e) Beneficios Nutricionales:

- **Proteínas:** Buena fuente de proteínas.
- **Calcio:** Rico en calcio, importante para la salud ósea.
- **Bajo en Carbohidratos:** Generalmente bajo en carbohidratos, lo que lo hace adecuado para dietas bajas en carbohidratos.

f) Desafíos en la Producción:

- **Calidad de la Leche:** La calidad de la mozzarella depende de la calidad de la leche utilizada.
- **Variabilidad:** Las condiciones de producción pueden afectar la consistencia y el sabor del queso.

g) Tendencias y Mercado:

- **Popularidad Global:** La mozzarella es popular en muchas cocinas internacionales, no solo en Italia.
- **Innovaciones:** Se han desarrollado versiones como mozzarella baja en grasa y mozzarella vegana para atender diferentes preferencias dietéticas.

Este panorama general del queso mozzarella ofrece una visión de su importancia, proceso de producción y aplicaciones en la cocina[26].

8) El queso mozzarella en Ecuador

En Ecuador, el queso mozzarella se ha convertido en un producto importante dentro de la industria láctea, tanto en términos de producción como de consumo. En cuanto a la situación de esta en el Ecuador se detalla a continuación:

a) Producción:

- **Origen:** La producción de mozzarella en Ecuador ha crecido con el tiempo, especialmente en respuesta a la demanda interna y al auge de la gastronomía

internacional. La leche para la producción de mozzarella proviene principalmente de ganaderías locales, que proporcionan leche de vaca, ya que la mozzarella tradicionalmente se elabora con leche de búfala, pero esta última es menos común en Ecuador.

- **Procesos Industriales:** La producción de mozzarella en Ecuador sigue técnicas modernas y adaptadas al mercado local. Se utilizan equipos y procesos industriales para asegurar la calidad y la consistencia del producto.

b) Demanda y Consumo:

- **Popularidad:** El queso mozzarella es popular en Ecuador, especialmente en platos como pizzas y pastas. Su creciente demanda ha impulsado a muchas empresas locales a incorporar mozzarella en su oferta de productos.
- **Mercado:** El queso mozzarella se encuentra tanto en supermercados como en tiendas especializadas. La demanda ha llevado a una mayor diversificación de productos, incluyendo versiones frescas y procesadas.

c) Desafíos y Oportunidades:

- **Calidad:** Mantener la calidad del queso mozzarella puede ser desafiante debido a la variabilidad en la leche cruda y los procesos de producción.
- **Costo:** Los costos de producción pueden ser altos debido a la necesidad de equipos especializados y control de calidad riguroso.
- **Crecimiento:** El mercado de queso mozzarella en Ecuador sigue en expansión, con oportunidades para mejorar la producción y satisfacer una demanda en aumento tanto a nivel local como potencialmente en exportaciones.

d) Regulaciones:

- **Normativas:** Los productores deben cumplir con normativas de seguridad alimentaria y estándares de calidad establecidos por instituciones locales como el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

En resumen, el queso mozzarella ha encontrado un lugar destacado en el mercado ecuatoriano, beneficiándose de la creciente demanda y de la adaptación de técnicas de producción modernas para asegurar su calidad y disponibilidad.

B. Marco Legal



Ilustración X. Pirámide de Kelsen

Nota: Esta pirámide de Kelsen tiene organizado el Marco legal de acuerdo a su jerarquía.

1) *Constitución de la República del Ecuador*

Artículo 32: Derecho a la Salud y Seguridad Alimentaria, establece que la salud es un derecho garantizado por el Estado, incluyendo el acceso a alimentos seguros y de calidad[28].

2) *Leyes Generales*

a) *Ley Orgánica de Salud, Título V: Control y Vigilancia Sanitaria (Artículos 132-139) Conforme a los artículos:*

Artículo 132: Define las responsabilidades del Estado en la regulación y control de la producción de alimentos para asegurar su inocuidad y calidad[29].

Artículo 133: Establece las obligaciones de los productores de alimentos, incluyendo la implementación de buenas prácticas de manufactura y sistemas de control de calidad[29].

b) *Ley Orgánica de Defensa del Consumidor*

Título III: Información y Publicidad (Artículos 28-34)

Artículo 28: Establece que los productos alimenticios deben contener información clara y veraz sobre su contenido, ingredientes, fecha de caducidad y otras características relevantes[30].

Artículo 29: Prohíbe la publicidad engañosa y garantiza que los consumidores reciban información precisa y confiable sobre los productos que compran[30].

c) Ley de Fomento Productivo

Capítulo I: Incentivos para la Inversión y la Producción (Artículos 1-15)

Artículo 2: Define incentivos fiscales y financieros para promover la inversión en la industria de alimentos y bebidas, incluyendo el sector lácteo[31].

Artículo 6: Establece beneficios para la importación de tecnología y maquinaria destinada a la producción de alimentos[31].

3) Reglamentos

a) Reglamento Sanitario de Alimentos (RSA)

Capítulo II: Productos Lácteos (Artículos 29-35), conforme a los artículos:

Artículo 29: Establece normas específicas para la producción de productos lácteos, incluyendo el queso mozzarella. Estas normas incluyen requisitos sobre la calidad de la leche utilizada, procesos de pasteurización y otros tratamientos térmicos[32].

Artículo 30: Detalla los controles de calidad necesarios en cada etapa de la producción para garantizar la inocuidad del producto final[32].

b) Sección II: Buenas Prácticas de Manufactura (Artículos 36-40)

Artículo 36: Define los requisitos de higiene y saneamiento que deben cumplir las instalaciones de producción, el equipo y el personal[32].

Artículo 37: Establece los procedimientos de control de procesos para asegurar la consistencia y seguridad del producto final[32].

c) Reglamento para la Trazabilidad de Productos Alimenticios

Capítulo III: Implementación de Sistemas de Trazabilidad (Artículos 12-19)

Artículo 12: Establece la obligatoriedad de implementar sistemas de trazabilidad en la producción de alimentos para asegurar el seguimiento de los productos desde la materia prima hasta el producto final[32].

Artículo 16: Define los requisitos de registro y documentación necesarios para mantener la trazabilidad[32].

4) Normas Técnicas

a) Norma INEN 82:2011 - Requisitos para Leche Cruda

Artículo 4: Establece los requisitos microbiológicos para la leche cruda, incluyendo los límites permitidos para bacterias patógenas y la carga total de microorganismos[33].

Artículo 5: Define los parámetros fisicoquímicos que la leche cruda debe cumplir, como el contenido de grasa, proteínas y sólidos totales[33].

Artículo 6: Proporciona los criterios organolépticos para la leche cruda, asegurando que el producto no presente olores ni sabores indeseables[33].

b) Norma INEN 9:2012 - Leche y Productos Lácteos - Determinación de la calidad de la leche cruda - Método de prueba

Artículo 3: Define las características generales que deben cumplir los productos lácteos, incluyendo criterios de sabor, olor y apariencia[34].

Artículo 4: Establece los requisitos microbiológicos para la leche y productos lácteos, tales como límites para bacterias patógenas y otros microorganismos[34].

Artículo 5: Detalla los parámetros fisicoquímicos como el contenido de grasa, proteínas y sólidos totales en la leche y productos lácteos[34].

Artículo 6: Proporciona especificaciones para el etiquetado de los productos lácteos, asegurando que la información proporcionada al consumidor sea clara y precisa[34].

c) Norma INEN 1528: Queso Mozzarella. Requisitos

Artículo 4: Especifica los requisitos microbiológicos que deben cumplir los productos lácteos, incluyendo límites para bacterias patógenas y otros microorganismos[35].

Artículo 5: Detalla los requisitos de composición de los productos lácteos, como el contenido de grasa, proteínas y otros componentes[35]

d) Norma INEN 1334-1: Etiquetado de Productos Alimenticios Preenvasados

Artículo 3: Describe la información obligatoria que debe aparecer en las etiquetas de los productos, incluyendo el nombre del producto, lista de ingredientes, contenido neto, e información nutricional[36].

Artículo 4: Establece las normas para el etiquetado nutricional, asegurando que los consumidores tengan acceso a información precisa sobre el valor nutricional de los productos[36].

5) *Directrices y Manuales*

a) *Manual de Buenas Prácticas de Manufactura*

Capítulo sobre Procesos de Producción de Quesos, proporciona procedimientos detallados para mantener la higiene y seguridad durante la producción de quesos, incluyendo la mozzarella. Incluye directrices sobre limpieza y desinfección, control de temperatura y manejo de materias primas[37].

b) *Guía de Trazabilidad*

Sección sobre Registro y Seguimiento, define los estándares para el seguimiento de la cadena de producción y distribución de los productos lácteos. Incluye requisitos para el registro de lotes, seguimiento de ingredientes y procedimientos para el retiro de productos en caso de detección de problemas de calidad[38].

6) *Estándares Internacionales*

a) *Codex Alimentarius*

Norma para Queso Mozzarella (CXS 262-2006), conforme a los artículos:

Artículo 4: Establece los estándares internacionales para la producción de queso mozzarella, incluyendo requisitos sobre el tipo de leche utilizada, procesos de producción y características del producto final[39].

Artículo 5: Detalla las especificaciones de composición y etiquetado del queso mozzarella, asegurando que los productos cumplan con estándares de calidad y seguridad aceptados internacionalmente[39].

b) *ISO 22000: Sistema de Gestión de la Seguridad Alimentaria*

Sección 8: Requisitos del Sistema de Gestión, define los requisitos para la implementación de un sistema de gestión de seguridad alimentaria. Incluye directrices para la identificación y control de riesgos, establecimiento de puntos críticos de control y mejora continua de los procesos de producción[40].

7) *Otras Regulaciones y Documentos Relacionados*

a) *Resoluciones de la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA)*

Resoluciones específicas sobre estándares y normativas para la producción y comercialización de productos lácteos[38].

b) *Guías y Manuales del Ministerio de Agricultura y Ganadería*

Manuales sobre buenas prácticas agrícolas y ganaderas que afectan la calidad de la leche utilizada en la producción de quesos[38].

c) *Normativas de la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA) sobre el uso de aditivos alimentarios*

Especificaciones sobre los tipos y cantidades de aditivos permitidos en la producción de queso mozzarella[38].

d) *Resolución ARCSA 023-2014-MAFG-GGG, conforme a los artículos:*

Artículo 3: Establece los requisitos para la autorización sanitaria de establecimientos productores de alimentos, incluyendo instalaciones para la producción de quesos[38].

Artículo 5: Define los requisitos de documentación y control de calidad que deben cumplir los establecimientos productores de alimentos[38].

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

A. Enfoque y tipos de investigación

1) Enfoque

La investigación se realizó de forma cuantitativa, comenzando con una fase exploratoria que permitió identificar los factores que influyen en la producción de cuajada ácida. A partir de esta identificación, se procedió a tabular e interpretar los datos recolectados, lo que facilitó la determinación de los factores más significativos en la variabilidad del proceso.

2) Tipo de investigación

Investigación Bibliográfico-Documental: Se revisó bases de datos académicas, bibliotecas digitales y recursos especializados para encontrar libros, artículos, informes y otros documentos relacionados con Six Sigma asimismo información relacionada con el proceso de producción de cuajada ácida.

Investigación de campo: Se recolectó información directamente en la empresa láctea, permitiendo identificar el proceso en tiempo y condiciones reales.

Investigación Exploratoria: Se exploró a detalle el proceso de producción de cuajada ácida para la producción de pasta hilada de queso para determinar así las fuentes de variabilidad y la etapa más crítica que se debía analizar con la metodología Six Sigma determinando problemas potenciales y factores de mejora, esto se realizó antes de realizar las propuestas de optimización.

3) Método de Investigación

Método Cuantitativo: Se utilizó un análisis estadístico para medir la variabilidad en la etapa crítica que afectaba la calidad del producto con la implementación de la metodología Six Sigma para cuantificar los análisis y cambios propuestos.

4) Técnica de Investigación.

Análisis de Datos Históricos: Se recopiló y analizó datos históricos de la producción de cuajada ácida para identificar patrones, tendencias y mejoras. Esto proporcionó una base cuantitativa para la aplicación de Six Sigma.

Entrevista: Se realizó entrevistas con gerentes, trabajadores y expertos en la industria para obtener información detallada sobre procesos, desafíos, errores y percepciones para

recopilar información cualitativa relevante y obtener perspectivas directas de los actores clave en la producción de cuajada ácida.

Observación Directa en el Sitio: Se observó directamente la línea de producción para identificar ineficiencias y problemas operativos que afectaban en el proceso y no se distinguía solamente en el análisis estadístico.

5) *Instrumentos*

Cronograma: Es una herramienta que organiza las actividades de un proyecto a lo largo del tiempo. Muestra qué tareas deben hacerse, cuándo deben completarse, cuánto durarán y quién es responsable de cada una. Su objetivo es planificar, coordinar y controlar el progreso del proyecto.[41].

Herramienta Six Sigma: Herramienta necesaria para mejorar los procesos en las organizaciones para reducir la cantidad de variaciones y evitar que el producto terminado tenga defectos [42]

Herramienta DMAIC: Es una metodología estructurada utilizada para mejorar procesos en la gestión de calidad y en la mejora continua, especialmente en el marco de Six Sigma. [43].

Documentos Internos y Registros de Producción: Revisar documentos internos, registros y planes de producción, datos históricos para obtener información sobre la variabilidad y calidad de la pasta hilada de queso antes de adoptar Six Sigma para obtener datos de línea de base y contexto histórico.

Celular de gama alta: Como medio de grabación de voz, video, fotografía y para ciertas anotaciones.

One Drive: Permitirá el desarrollo del trabajo de investigación, ya que ayudará con el almacenamiento de información.

Minitab: Es un software de análisis estadístico ampliamente utilizado en la industria y las escuelas para realizar análisis de datos, control de calidad y mejora de procesos. Es conocido por su facilidad de uso y por ofrecer herramientas avanzadas para realizar análisis de datos, gráficos, pruebas estadísticas y métodos de Six Sigma[44].

Python: es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado y de uso general, famoso por su simplicidad y claridad. Se emplea en diversas áreas, que van desde el desarrollo web hasta el análisis de datos y el aprendizaje automático.[45].

Flexsim: Es un software de simulación de eventos discretos diseñado para modelar, analizar y mejorar sistemas y procesos en diferentes áreas, como manufactura, logística y servicios. Ofrece la capacidad de crear modelos interactivos en 3D para visualizar el funcionamiento de los procesos.[46].

Excel: Es una hoja de cálculo incluida en el paquete de Microsoft Office, que se utiliza para realizar cálculos, analizar datos y presentar información mediante TABLAS, gráficos y reportes.[47].

Bizagi: Es una herramienta de gestión de procesos de negocio (BPM) que facilita el diseño, la automatización y la optimización de procesos empresariales. Permite crear diagramas de flujo, automatizar tareas, gestionar casos complejos y analizar el rendimiento mediante informes. Además, promueve la colaboración entre equipos y se integra con otros sistemas para mejorar la eficiencia operativa[48].

6) *Diseño de la investigación*

Definir: Se identificó el problema de variabilidad en la calidad de la cuajada ácida y establecer objetivos claros.

Medir: Se recolectó datos sobre pH, textura y defectos para evaluar la calidad del proceso.

Analizar: Se investigó las causas raíz de la variabilidad mediante análisis de datos y herramientas específicas.

Mejorar: Se propuso soluciones para estandarizar el proceso de producción.

Controlar: Se realizó una propuesta de controles y procedimientos para mantener y monitorear las mejoras en la calidad del producto.

7) Delimitación DMAIC

TABLA II
Metodología Seis Sigma (DMAIC)

Fases que componen el Método DMAIC				
Definir	Medir	Analizar	Mejorar	Controlar
Se delimitó el proyecto de tal manera que se tenga claro el objetivo, alcance, beneficios y personal que interviene en este.	Se midió el proceso a intervenir para cuantificar el problema o situación que se aborda con el proyecto.	Se analizó los datos tomados en la fase medir, mediante técnicas estadísticas para identificar la variación existente en el proceso.	Se propuso soluciones que aborden la causa raíz para asegurar que los problemas que se han identificado se corrijan o reduzcan.	Se analizó y revisó las propuestas planteadas de manera que al aplicarlas de paso a los resultados deseados y se los mantenga una vez los objetivos hayan sido alcanzados.

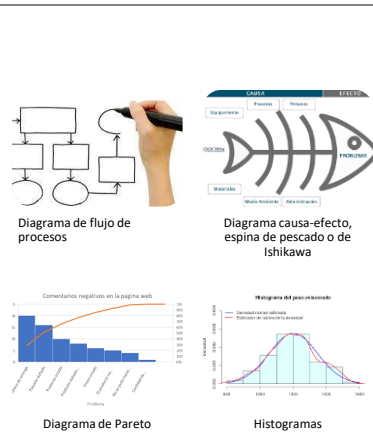


Ilustración XI. Herramientas típicas fase Definir



Ilustración XII. Herramientas típicas fase Medir

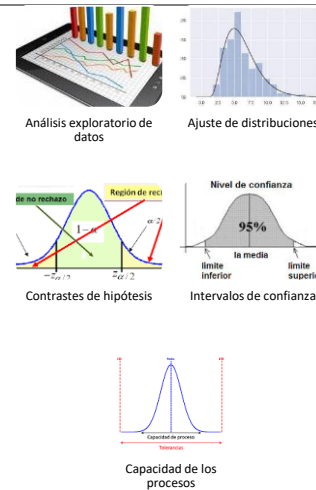


Ilustración XIII. Herramientas típicas fase Analizar



Ilustración XIV. Herramientas típicas fase Mejorar



Ilustración XV. Herramientas típicas fase Controlar

Resultados obtenidos mediante el uso de las herramientas DMAIC

Se obtuvo a detalle los procesos que componen la línea de producción, asimismo, los posibles proyectos o áreas que deben ser evaluados.

Se identificó las características clave del cliente interno, las características adecuadas para obtener un producto de calidad y los parámetros que afectan el correcto funcionamiento del proceso.

Se analizó cada una de las muestras tomadas, evaluando el comportamiento de los resultados e identificando las variables de entrada que afectan las variables de salida en el proceso.

Se tomó en consideración las causas efecto que se identificaron para de esta manera predecir y mejorar el funcionamiento del proceso.

Se diseño propuestas de control específicas para asegurar un producto con menos variabilidad y que satisfaga las necesidades del cliente.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

A. Diagnóstico

1) Descripción de la empresa

Floralp es una destacada empresa ecuatoriana fundada por Oskar Purcher en 1984. Desde sus inicios, la empresa se ha dedicado a la producción de productos lácteos de alta calidad, incluyendo leche pasteurizada, yogur, queso y mantequilla. Utilizando tecnología avanzada en sus instalaciones, Floralp ha asegurado el cumplimiento de los más altos estándares de calidad y seguridad alimentaria, siguiendo las normativas del Instituto Nacional de Normalización (INEN). A lo largo de los años, ha experimentado un notable crecimiento, ampliando su portafolio de productos y modernizando su planta de producción. Además, la empresa se compromete con la responsabilidad social y la sostenibilidad, apoyando a las comunidades locales y minimizando su impacto ambiental. Hoy en día, los productos de Floralp están disponibles en supermercados y tiendas en todo el país, destacándose como un líder en la industria láctea ecuatoriana. [49]

La planta principal de esta empresa en la cual se realiza todas las actividades de producción y control se encuentra en Ibarra. Aquí se produce diariamente las 24 horas del día los 365 días del año varios productos del mercado.

Floralp tiene una diversa base de clientes en Ecuador, que abarca grandes cadenas de supermercados, restaurantes, panaderías y pizzerías que incorporan sus productos lácteos en sus menús. Además, la empresa provee a distribuidores y mayoristas que, a su vez, abastecen diversos puntos de venta y servicios. Los consumidores finales adquieren los productos de Floralp en tiendas y supermercados, y también se utilizan como ingredientes en la producción de otros alimentos por parte de industrias alimentarias. Esta extensa red de clientes garantiza una sólida presencia de Floralp en el mercado ecuatoriano.

2) *Localización de la empresa*



La industria láctea se encuentra ubicada en Ecuador, Provincia de Imbabura, ciudad de Ibarra, en la calle Princesa Paccha 5-163 Duchicela, en el barrio Caranqui, a 7 minutos del centro de la ciudad.

Ilustración XVI. Ubicación geográfica de la empresa Floralp S.A.

3) *Misión*

“Nuestra razón de ser es producir y comercializar alimentos lácteos con estándares de calidad excepcionales, especializándonos en quesos maduros, para satisfacción de nuestros clientes, con arte y gusto por la vida” [50]

4) *Visión*

“Nuestra meta es ser el referente de la industria láctea a través de un modelo de gestión eficiente, promoviendo calidad y bienestar”[50]

5) *Política de Calidad e inocuidad*

“Garantizar la calidad e inocuidad de nuestros productos por medio de un sistema de gestión que promueva permanentemente la cultura de inocuidad, calidad y mejora continua que cumpla los requisitos legales y regulatorios establecidos por nuestros clientes, consumidores y entidades de control”. [50]

6) *Principios*

Floralp opera bajo varios principios que guían su enfoque empresarial y prácticas operativas.

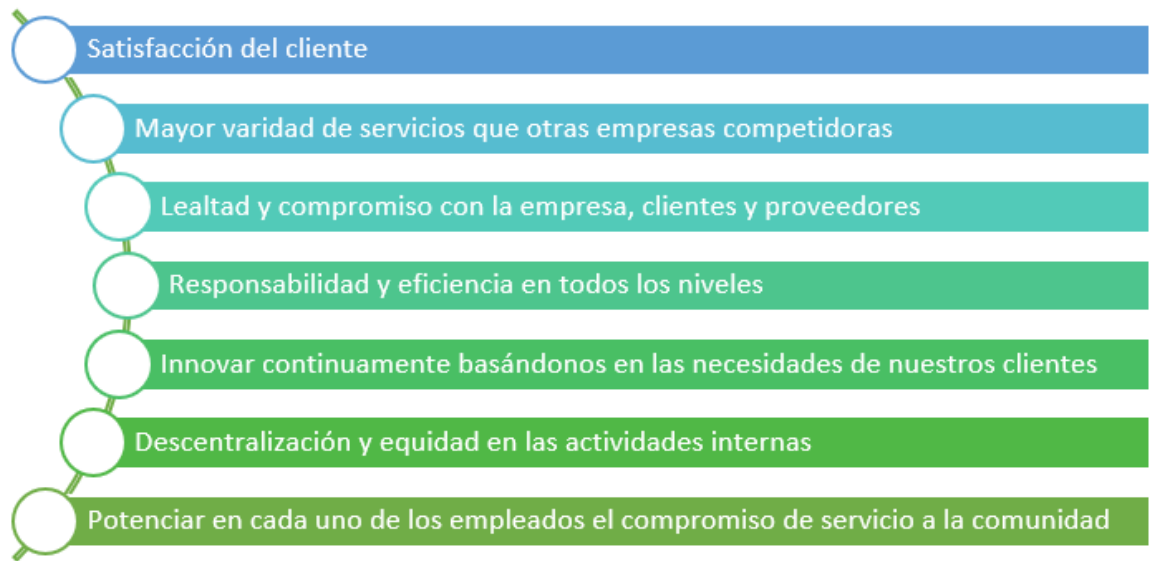


Ilustración XVII. Principios de Floralp

Nota: Información proporcionada por la empresa

7) **Valores**

Floralp se guía por varios valores fundamentales en su operación y relaciones con clientes, empleados y la comunidad. En la actualidad, Floralp cuenta con los siguientes valores:

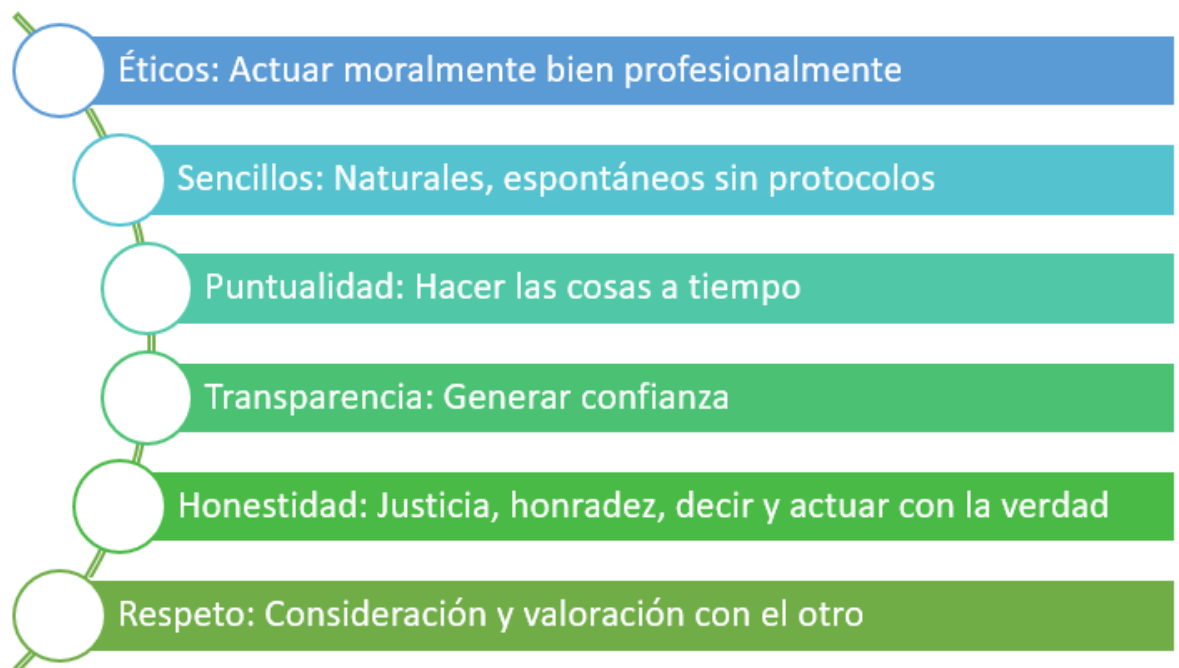


Ilustración XVIII. Valores de Floralp

Nota: Información proporcionada por la empresa

8) Estructura Organizacional

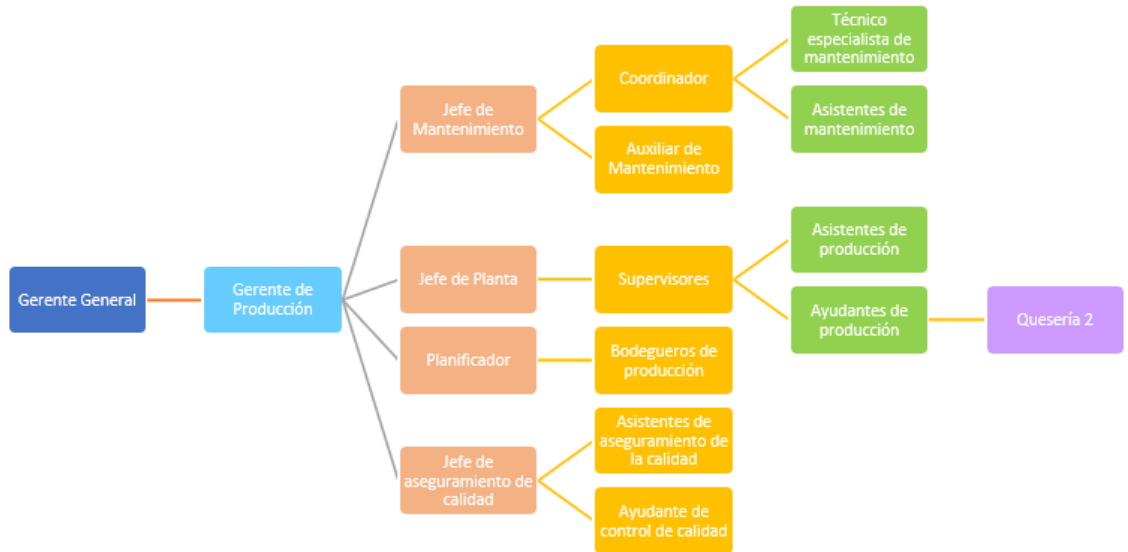


Ilustración XIX. Estructura organizacional

Nota: Información proporcionada por la empresa

9) Distribución en Planta

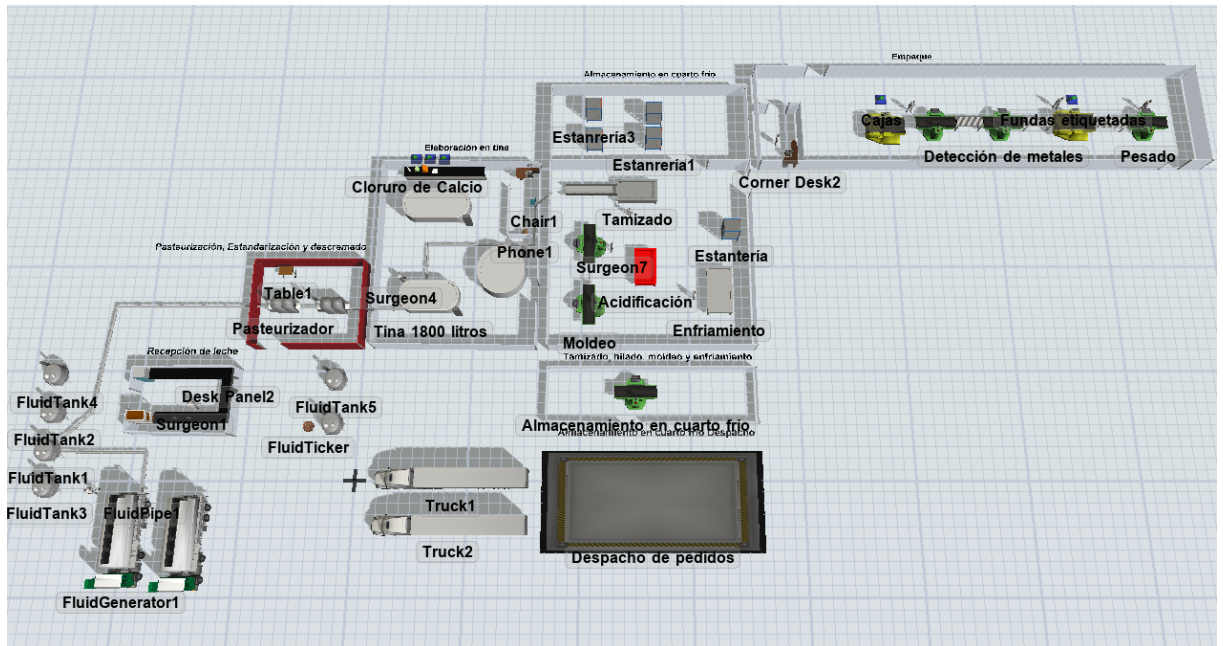


Ilustración XX. Distribución en planta FLORALP S.A.

10) Análisis FODA

Este análisis es de gran importancia ya que permitirá obtener un diagnóstico de cómo se desarrolla la empresa, brindando una orientación en el momento de plasmar objetivos y planes de acción referentes a la realidad de la empresa.

Este análisis consta de dos pasos.

Análisis externo: Oportunidad y Amenazas

Análisis interno: Fortalezas y Debilidades

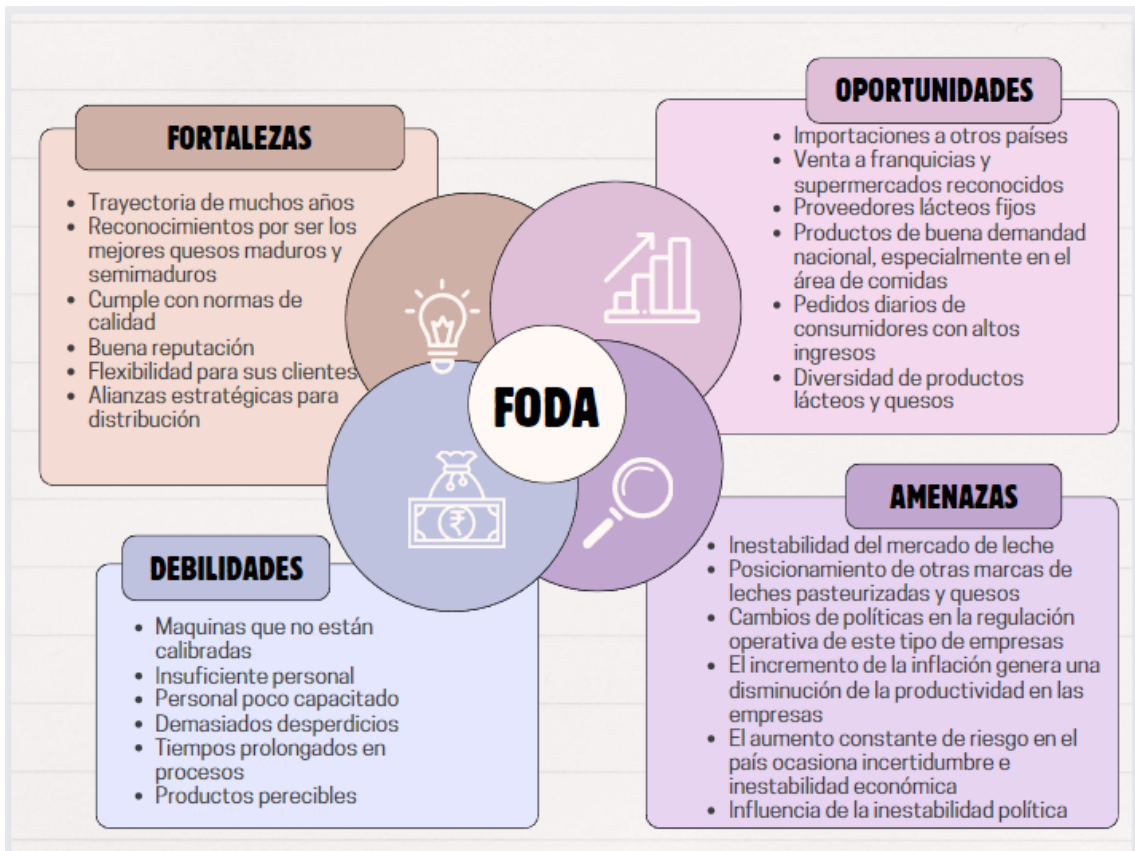


Ilustración XXI. Análisis FODA

Nota: Esta matriz se ha realizado de acuerdo a información proporcionada por la empresa.

11) Producción de pasta hilada de queso

La producción de queso mozzarella se elabora con leche pasteurizada, cultivos lácticos termófilos o ácidos orgánicos de grado alimentario.

e) Diagrama de Flujo de Procesos de la Producción de Pasta Hilada de Queso (Mozzarella Pizza K2)

Se puede observar en el **ANEXO 001. Diagrama de producción de Pasta Hilada de Queso**

B. Especificaciones del método DMAIC

Dentro del método DMAIC de la metodología Six Sigma se encuentran 5 etapas Define (Definir), Measure (Medir), Analyse (Analizar), Improve (Mejorar) y Control (Controlar) mismas que llevan a una mejora significativa en cada uno de los procesos.

1) Definir

Dando inicio al desarrollo de las etapas DMAIC de la metodología Six Sigma se ha comenzado por la etapa definir en la cual se analiza cómo se encuentra actualmente la empresa. Teniendo como objetivo de esta el definir cuáles son los problemas que se presentan dentro del proceso, para proceder con las propuestas de mejora y control en base a la causa raíz del problema.

a) Principales clientes

Es importante tomar en cuenta los requerimientos de cada uno de ellos ya que de acuerdo con esto se puede planificar y especificar los lineamientos en cuanto a la producción de pasta hilada de queso, entre sus principales clientes se encuentran las principales cadenas de pizzerías del país.

b) Proveedores

Los principales proveedores de esta empresa son aquellos que abastecen a la industria láctea para la producción de cada uno de esos productos en este caso en la producción de quesos mozzarella K2, entre ellos se encuentran:

- Proveedores de hacienda
- Proveedores de centros de acopio
- Pequeños proveedores
- Proveedor de cultivo
- Químicas
- Proveedor de sal

Teniendo en cuenta esto también es importante mencionar que en la empresa se maneja una política que es, siempre que haya leche disponible será recibida en la empresa, ya que siempre es necesaria para la producción de cada una de las líneas que forman parte de la Floralp S.A, siempre y cuando cumpla con especificaciones técnicas.

c) Proceso actual de producción de cuajada ácida

Al elaborar una pasta hilada de queso es importante lograr que se obtenga una cuajada la cual tenga un pH idóneo, es decir que cumpla con las condiciones o parámetros, que al momento de cortarla en trozos y se la hile, cumpla con las propiedades funcionales que se necesita, asimismo, se estire y pueda ser moldeada de acuerdo con la conveniencia o solicitud del cliente.

d) Diagrama de Cuajada ácida para la producción de pasta hilada de queso de tipo K2

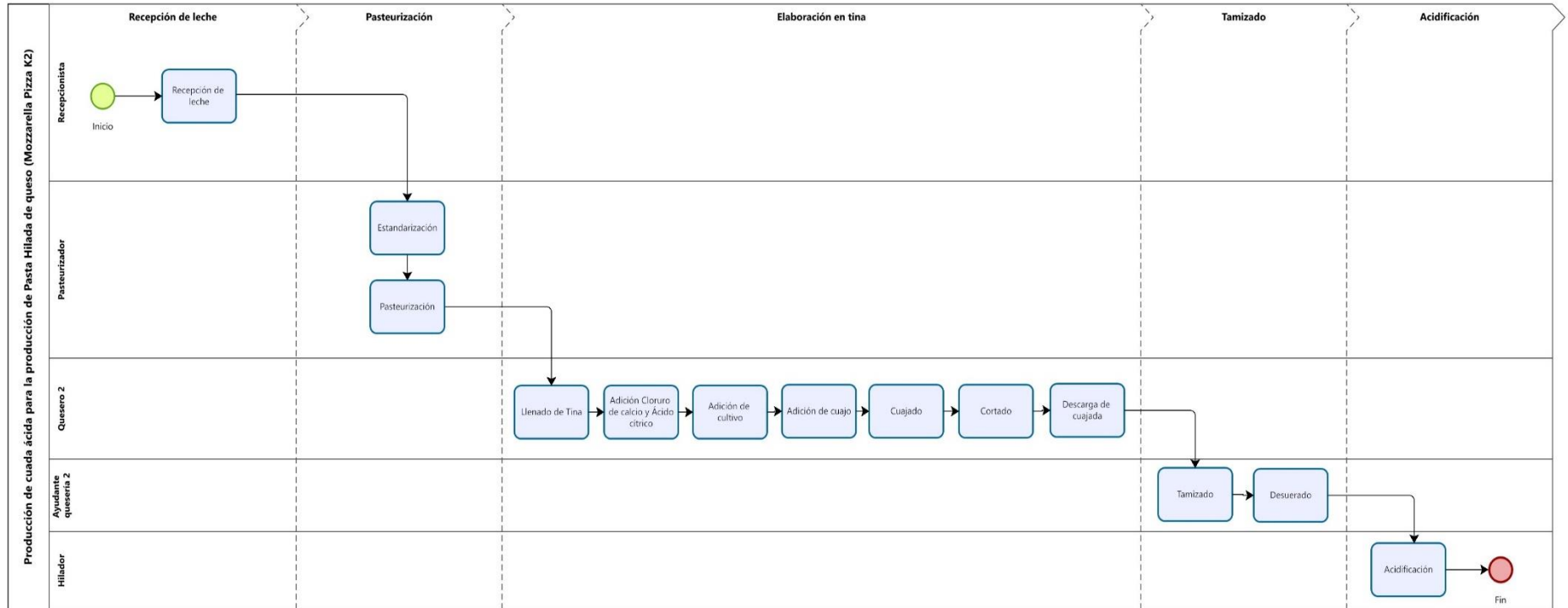
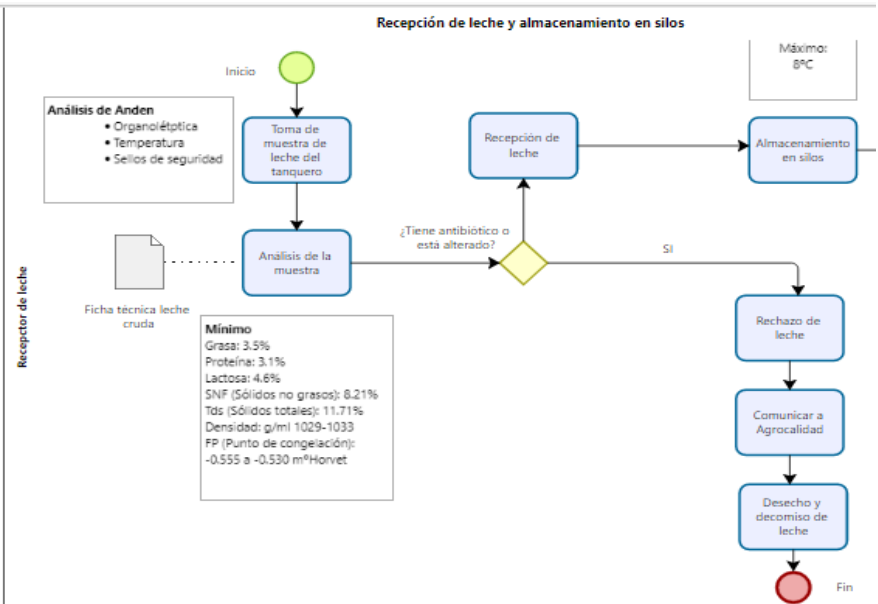


Ilustración XXII. Diagrama de flujo de Cuajada ácida para la producción de pasta hilada de queso de tipo K2

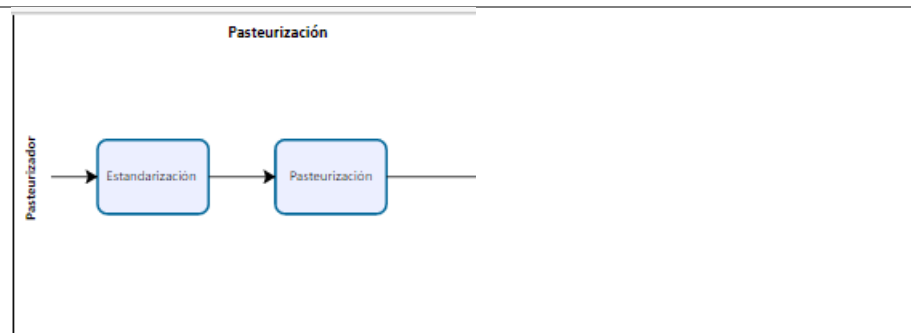
e) SIPOC Cuajada ácida para la producción de Pasta Hilada de Queso (Mozzarella K2)

TABLA III

Diagrama SIPOC de la producción de cuajada ácida

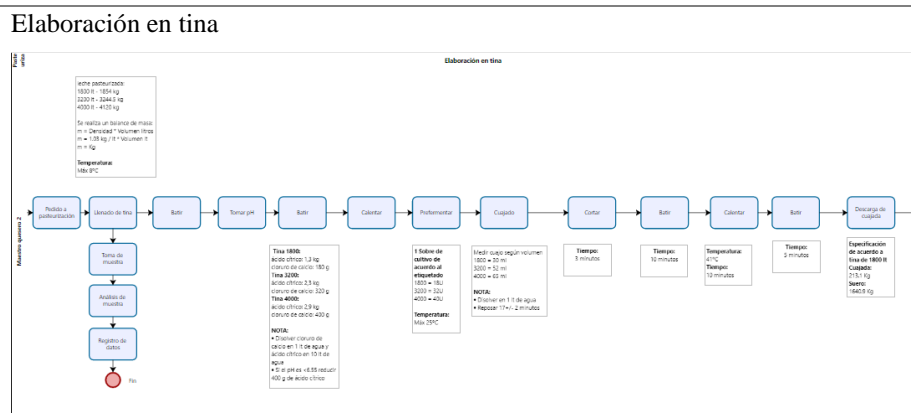
Suppliers (Proveedores)	Inputs (Entradas)	Process (Proceso)	Outputs (Salidas)	Customers (Clientes)
Centros de acopio Comunidades ganaderas Fincas Servicio de mantenimiento de máquinas Empresa de tanqueros	Guías de tanqueros Tanqueros Leche cruda Termómetro pHmetro Incubador Milkana Crioscopio Máquina análisis de antibióticos Silos a temperatura max 8°C	Recepción de leche 	Leche analizada por Agrocalidad Leche que cumple con las especificaciones almacenada en silos	Pasteurizador
Plan de producción	Plan de producción	Pasteurización	Leche pasteurizada y estandarizada	Maestro quesero
Recepción de leche	Leche cruda			
Agrocalidad				

Proveedores de materiales laboratorio de Químicos para análisis de leche de Milkana
Proveedores de Químicos de Utensilios de laboratorio



Crema de leche

Pasteurizador Leche cruda
Empresas químicas Tinajas
 Probeta
 Jarras
 Baldes
 Mandil
 Cloruro de Calcio
 Cuajo liquido
 Ácido cítrico
 Cultivo



Cuajada ácida
 Suero

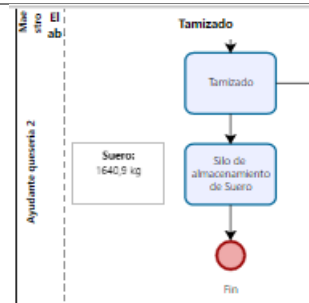
Ayudante
 quesería 2

Maestro quesero Suero
 pHmetro

Tamizado

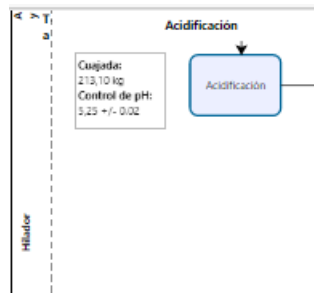
Cuajada ácida
 Suero

Hilador



Ayudante quesería 2 Cuajada ácida

Acidificación



Cuajada ácida con Hilador
pH 5,2 +/- 0.02

f) Características críticas de calidad (CTQ's)

Tomar en cuenta la calidad para la satisfacción de los clientes es un punto muy importante, dado que se cumple con cada una de las necesidades y requerimientos que solicita el cliente. El objetivo de este parámetro es evaluar las características de acuerdo con las quejas o reclamos por parte de los clientes en relación con el producto, seguidamente recopilada esta información se procede con la jerarquización de prioridades de acuerdo con la frecuencia de cada uno. La TABLA detallada a continuación indica cada una de las características de calidad que se tomaría en cuenta para recibir el producto (cuajada ácida).

TABLA IV
Características críticas de calidad

Característica crítica	Proceso
• Cuajada con pH fuera de especificación	• Acidificación
• Estandarización de materia prima no cumple con especificación para el proceso	• Pasteurización
• Insectos en cuajada	• Elaboración en tina
• Metales se encuentran en cuajada	• Elaboración en tina
• Cabellos en cuajada	• Elaboración en tina

g) Voz del cliente interno

TABLA V. Voz del cliente interno

No Conformidad	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa %	Frecuencia relativa acumulada	Frecuencia relativa acumulada %
Estandarización de materia prima no cumple con especificación	10	0,50	50%	0,50	50%
Cuajada con pH fuera de especificación	5	0,25	25%	0,75	75%
cabellos en la cuajada	2	0,10	10%	0,85	85%
Insectos en cuajada	2	0,10	10%	0,95	95%
Metales en cuajada llegan a tamizado	1	0,05	5%	1,00	100%

De acuerdo con las características críticas de calidad mencionadas anteriormente se procedió a solicitar las quejas por parte del cliente interno que recibe la leche es decir el maestro quesero y quien recibe la cuajada ácida es decir el hilador mismos que determinan según su criterio que el mayor problema en la producción de cuajada ácida es la estandarización de contenido graso en la leche.

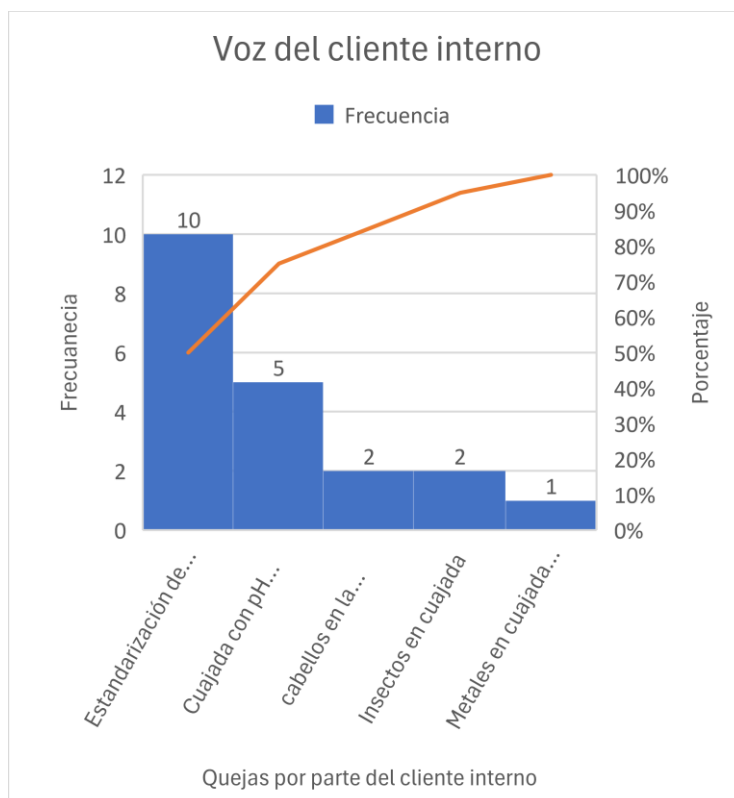


Ilustración XXIII. Diagrama de Pareto de cuajada ácida

Nota: Este diagrama se ha realizado de acuerdo con las características críticas de calidad

Se identifica mediante la ilustración presentada que el mayor problema es la estandarización de contenido graso en la leche misma que representa alrededor del 50% de los problemas en la producción de Pasta hilada de queso.

h) Carta del proyecto

TABLA VI.
Carta del proyecto

Información General del Proyecto	
<i>Nombre del proyecto</i>	Propuesta de optimización de la línea de producción de cuajada ácida en una industria láctea mediante la metodología six sigma
<i>Fecha esperada de inicio</i>	nov- 23 Fecha esperada de finalización jul- 24
<i>Descripción del Proyecto</i>	Mejorar la variabilidad del producto final en la línea de producción de cuajada ácida de tipo K2 en la empresa la FLORALP. S.A.
<i>Presupuesto del proyecto</i>	N/A
Usuarios del Proyecto	
<i>Investigadora del proyecto</i>	Tatiana Toro
<i>Gerente de producción</i>	Gonzalo Espinoza
<i>Jefe de Aseguramiento de la calidad</i>	Patricio Lozada
Descripción y detalles del Proyecto	
<i>Problema</i>	En Ecuador, el sector lácteo es esencial para la economía, representando el 1% del PIB y generando 1.2 millones de empleos. A pesar de su importancia, enfrenta desafíos como el bajo consumo de leche, precios elevados y una alta variabilidad en la producción. La falta de metodologías como Six Sigma contribuye a problemas de calidad y altos costos. Implementar Six Sigma podría mejorar la competitividad, calidad y eficiencia del sector lácteo.
<i>Objetivo</i>	Aplicar la metodología Six Sigma en la línea de producción de cuajada ácida de una industria láctea para identificar, analizar y mejorar los procesos críticos con el fin de

	reducir la variabilidad en la calidad del producto.
<i>Alcance</i>	Realizar una propuesta de optimización para el proceso más crítico de la línea de producción de cuajada ácida, reduciendo la variabilidad en el producto final.
<i>Métricas operacionales</i>	Porcentaje de productos inconformes por leche pasteurizada fuera de especificación
Plan del proyecto	
<i>Definir</i>	Se identifica el problema, los objetivos del proyecto y el alcance. Se establece qué es crítico para la calidad y se mapea el proceso actual.
<i>Medir</i>	Se recolecta datos para establecer la línea base del proceso. Define las métricas clave y valida la precisión de los datos.
<i>Analizar</i>	Se identifica las causas raíz del problema mediante el análisis de datos. Usa herramientas estadísticas para encontrar las variables críticas.
<i>Mejorar</i>	Se desarrolla e implementa soluciones para resolver las causas raíz. Se prueban y validan las soluciones antes de su implementación total.
<i>Controlar</i>	Se implementa planes de control para asegurar que las mejoras se mantengan. Monitorea el proceso y ajusta según sea necesario para evitar desviaciones.
<i>Entregable del Proyecto</i>	
Propuesta de optimización con las mejoras y controles para llevar a cabo una producción con menos variabilidad	
Elaborado por:	Fecha:
Revisado por:	Fecha:

Aprobado por:

Fecha:

2) *Medir*

El objetivo de esta etapa es entender y cuantificar mejor la magnitud del problema o situación que se aborda con el proyecto.

a) Unidad de análisis

Este estudio se realizó en la empresa la FLORALP S.A. el cual se delimita espacial y geográficamente en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura y temporalmente fue realizado en un periodo de 8 meses.

b) Población y muestra

Para obtener la población de pasta hilada de queso se procedió con la clasificación de los diferentes tipos el cual se detalla en la **TABLA VII. Análisis de planes de producción diaria Pasta hilada de Queso** misma que ha sido elaborada con los planes de producción diaria.

TABLA VII.
Análisis de planes de producción diaria Pasta hilada de Queso

Fecha	Mozz 450	Mozz 500	Mozz 700	Mozz 900	Mozz MBG 500	Mozz MBG 700	Mozz Bloque	Mozz Rallada	Mozz K1	Mozz K2	Total
28/12/2023	1	0	1	1	1	0	0	2	0	10	16
29/12/2023	0	1	1	1	0	1	1	1	2	7	15
30/12/2023	0	0	1	1	1	1	0	2	0	7	13
05/01/2024	1	2	2	3	1	1	1	2	2	0	15
13/01/2024	0	0	2	2	0	0	0	0	2	12	18
05/02/2024	0	1	2	2	0	1	0	0	0	8	14
06/02/2024	0	0	1	3	1	0	0	0	0	13	18
07/02/2024	0	0	1	1	0	1	0	0	0	12	15
08/02/2024	0	0	1	2	1	1	0	0	1	11	17
13/02/2024	0	0	1	2	1	1	0	1	0	11	17
14/02/2024	1	0	2	2	0	1	0	1	0	10	17
15/02/2024	0	0	1	0	1	0	0	2	2	10	16
19/02/2024	1	0	1	2	1	0	0	2	0	9	16

Nota: la presente TABLA se realizó con los planes de producción de pasta hilada de queso dentro de los meses de diciembre, enero y febrero

De acuerdo con la **TABLA VII. Análisis de planes de producción diaria Pasta hilada de Queso** presentada anteriormente, y los planes de producción proporcionados por la empresa láctea se logra identificar que el tipo de pasta hilada de queso con más frecuencia es el Mozzarella Pizza K2.

c) Población

Debido a la accesibilidad de mediciones en el proceso de elaboración de pasta hilada de queso se tomó como referencia la tina de volumen 1800 de tipo K2. Esto con el fin de solventar las inconformidades presentadas por los clientes debido a la variabilidad en el producto final.

Según lo mencionado con antelación se presenta la frecuencia de producción de volumen 1800 lt tipo K2 en los meses de diciembre del 2023, enero y febrero del 2024.

TABLA VIII
Frecuencia de producción tina de volumen 1800 lt

Fecha	Mozz K2 (1800)
28/12/2023	4
29/12/2023	3
30/12/2023	3
05/01/2024	0
13/01/2024	5
05/02/2024	4
06/02/2024	5
07/02/2024	4
08/02/2024	4
13/02/2024	3
14/02/2024	4
15/02/2024	3
19/02/2024	2
TOTAL	44

Los valores reflejados en la

TABLA

VIII

Frecuencia de producción tina de volumen 1800 lt son los lotes que han sido elaborados en la tina de 1800 pertenecientes al tipo K2, dado esto se identifica que de 120 lotes de tipo K2 elaborados en los días señalados 44 lotes son de la tina de 1800 el cual es equivalente a un

36.67% el restante son lotes de los volúmenes de 4000 y 3200 respectivamente, mismo que es equivalente al 63.33 % de pasta hilada de queso realizados en quesería 2.

$$\bar{x} = \frac{44}{13}$$

$$\bar{x} = 3.38 \approx 4 \text{ producciones diaria de Mozz K2}$$

Realizando un promedio de los 44 lotes de la tina de 1800 K2 salen 3.38 producciones diarias lo cual vendría a ser equivalente a 4, lo cual indica que durante un mes de 30 días se realizarían 120 lotes de K2.

d) Tamaño de la muestra

Ya habiendo indicado la población respecto a la tina de volumen de 1800 litros se procedió a realizar el cálculo muestral tomando en cuenta esta población antes mencionada de 120 lotes para la línea de producción de cuajada ácida en la producción de pasta hilada de queso de FLORALP S.A de la ciudad de Ibarra se determinó lo siguiente:

TABLA IX
Cálculo muestral

Variable	Descripción	Valor
N	Tamaño de la población	120
p	Desviación estándar de la población	0.5
z	Nivel de confianza del 85%	1.44
e	Límite aceptable del error muestral del 12%	0.12
n	Tamaño de la muestra	29

Ecuación 1. Fórmula del tamaño de muestra

$$n = \frac{\frac{z^2 * p(1 - p)}{e^2}}{1 + \frac{z^2 * p * (1 - p)}{e^2 * N}}$$

$$n = \frac{\frac{1.44^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{0.12^2}}{1 + \frac{1.44^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{0.12^2 * 120}}$$

$$n = \frac{\frac{2.07 * 0.5 * (0.5)}{0.014}}{1 + \frac{2.07 * 0.5 * (0.5)}{0.014 * 120}}$$

$$n = \frac{32.34}{1.27}$$

$$n = 28.259 \approx \mathbf{29 \text{ Muestras}}$$

Según lo indicado en las ecuaciones mostradas anteriormente, se identificó que con un 85% de confianza y un error muestral del 12% se realiza el estudio a 29 lotes de producción mismos que son necesarios para el desarrollo de la presente investigación.

e) Parámetros establecidos en el proceso crítico

Parámetros que se toman en cuenta para continuar con el proceso de estandarización de leche de elaboración de cuajada ácida para la producción de pasta hilada de queso de tipo K2

TABLA X
Parámetros de grasa en estandarización de leche

Mínimo	Media	Máximo
2.4	2.5	2.6

f) Mediciones recolectadas en el proceso de estandarización de leche

TABLA XI
Mediciones en el proceso de estandarización

Grasa real	SNF	Tds
2,38	9,02	11,40
3,10	9,13	12,23
2,72	8,90	11,62
2,51	8,32	10,83
2,73	8,53	11,26
2,85	9,20	12,05
2,41	8,53	10,94
2,72	8,84	11,56
2,21	8,71	10,92
2,34	9,07	11,41
2,41	8,98	11,39
2,63	8,55	11,18
2,29	8,63	10,92

2,59	8,57	11,16
2,68	8,73	11,41
2,59	8,97	11,56
2,49	8,91	11,40
2,59	8,84	11,43
2,70	8,65	11,35
2,39	9,00	11,39
2,34	8,48	10,82
2,56	8,85	11,41
2,77	9,00	11,77
2,79	8,66	11,45
2,24	8,81	11,05
2,73	8,86	11,59
2,69	8,58	11,27
2,43	8,62	11,05
2,50	8,72	11,22

Las tomas recolectadas se realizaron siguiendo un proceso en específico, siendo como inicio de este la recepción y almacenamiento de una leche de calidad que cumpla con los parámetros solicitados.

Para dar continuación con la etapa medir se procedió a analizar varios puntos para determinar la capacidad del proceso conforme al contenido graso de la estandarización de leche.

Promedio de contenido graso en la estandarización de leche

El promedio de las mediciones que han sido tomadas se desarrolló de la siguiente manera:

Ecuación 2. Promedio

$$\bar{x} = \frac{\Sigma \text{Grasa}}{N \text{ de datos}}$$

$$\bar{x} = \frac{74,38}{29}$$

$$\bar{x} = 2,56483$$

Dando como resultado de las tomas un promedio de 2.56% de grasa en la estandarización de leche.

Desviación estándar en estandarización de leche

TABLA XII
Datos para cálculo de desviación estándar

	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
	2,38	-0,18	0,03
	3,10	0,54	0,29
	2,72	0,16	0,02
	2,51	-0,05	0,00
	2,73	0,17	0,03
	2,85	0,29	0,08
	2,41	-0,15	0,02
	2,72	0,16	0,02
	2,21	-0,35	0,13
	2,34	-0,22	0,05
	2,41	-0,15	0,02
	2,63	0,07	0,00
	2,29	-0,27	0,08
	2,59	0,03	0,00
	2,68	0,12	0,01
	2,59	0,03	0,00
	2,49	-0,07	0,01
	2,59	0,03	0,00
	2,70	0,14	0,02
	2,39	-0,17	0,03
	2,34	-0,22	0,05
	2,56	0,00	0,00
	2,77	0,21	0,04
	2,79	0,23	0,05
	2,24	-0,32	0,11
	2,73	0,17	0,03
	2,69	0,13	0,02
	2,43	-0,13	0,02
	2,50	-0,06	0,00
\bar{x}	2,56		
Σ			1,17

Ecuación 3. Fórmula para calcular desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \Sigma(x_i - \bar{x})^2}$$

Donde:

x_i = % grasa

\bar{x} = Promedio de % grasa

n = Número de datos muestrales

Ecuación 4. Cálculo de desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{29-1} \times 1.17}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{28} \times 1.17}$$

$$\sigma = \sqrt{0.0357 \times 1.17}$$

$$\sigma = \sqrt{0.0417}$$

$$\sigma = 0.2042$$

Dando como resultado una desviación estándar de 0.2042 con un tamaño muestral de 29 datos correspondientes al % de grasa de la estandarización de leche.

Ecuación 5. Cálculo de límite superior de control (UCL):

$$UCL = \bar{x} + 3\sigma$$

$$UCL = 2,56 + 3(0.2042)$$

$$UCL = 3.1$$

Ecuación 6. Cálculo de límite inferior de control (LCL):

$$LCL = \bar{x} - 3\sigma$$

$$LCL = 2,56 - 3(0.2042)$$

$$LCL = 1.9$$

De la misma manera se procede a realizar con el rango móvil, dando como resultado:

Media del rango móvil (\overline{MR}): **0.239**

Límite superior de control (UCL): **0.779**

Límite inferior de control (LCL): **0 (por definición)**

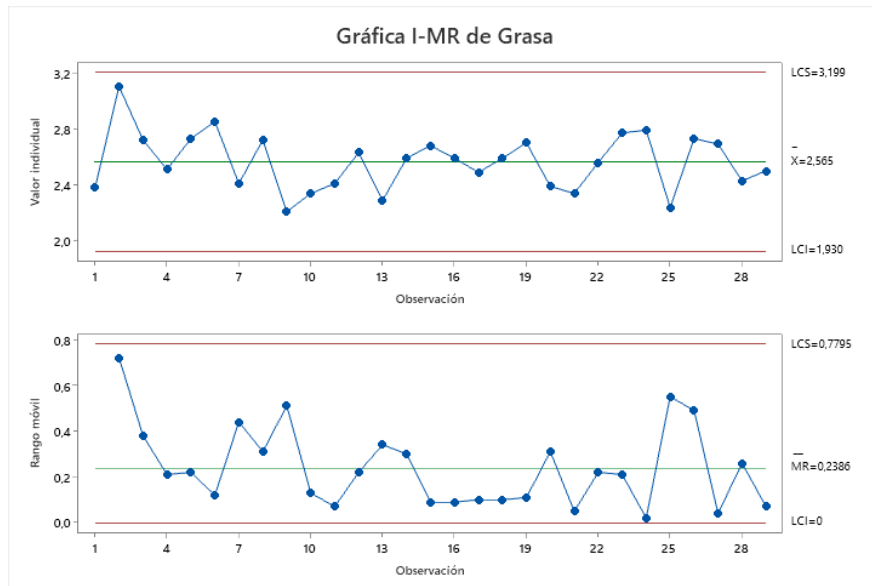


Ilustración XXIV. Carta de control de datos de contenido graso en la estandarización de leche con parámetros especificados en programa

Esta gráfica de control I-MR proporciona la herramienta Minitab con los datos anteriormente tomados misma que indica que, aunque estén dentro de los parámetros indicados por el programa, los datos no se encuentran estables ya que tienen subidas y bajadas, en cuanto a la gráfica de control de acuerdo con el Rango móvil también se encuentran dentro de los parámetros planteados por el programa sin embargo no están controlados.

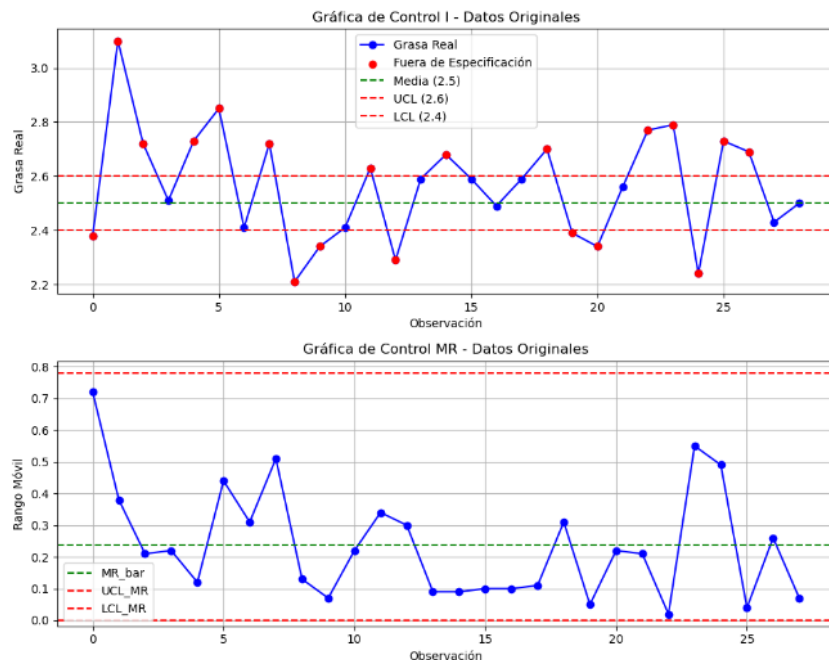


Ilustración XXV. Carta de control de datos de contenido graso en la estandarización de leche con parámetros especificados e la empresa

En la presente gráfica de control indica que el proceso actualmente está fuera de control con múltiples puntos fuera de los límites de control en el contenido de grasa de la

estandarización de leche. Esto sugiere la necesidad de una intervención inmediata para identificar y eliminar las causas especiales de variación, ya que estas afectan directamente en la calidad del producto final.

3) *Analizar*

Con el fin de indagar y conocer el problema raíz del proceso de producción, se realiza un diagrama de Ishikawa para de esta manera mediante una lluvia de ideas clasificar los problemas existentes dentro del proceso de producción de cuajada ácida y de esta manera llegar a la causa raíz del problema.

a) *Lluvia de ideas*

- Equipos de análisis no confiables
- Errores humanos en la medición de grasa
- Leche no cumple con los parámetros correspondientes para el proceso.
- Falta de capacitación
- Falta de control
- Adaptación del proceso a condiciones ambientales del lugar
- Falta de medición en los parámetros de producción
- Falta de controles en el desarrollo de la producción
- Falta de la estandarización de tiempo
- Maquinaria sin mantenimiento preventivo
- Daños frecuentes en equipos de pasteurización y estandarización de leche

b) *Diagrama de Ishikawa de la producción de cuajada ácida para mozzarella pizza K2*

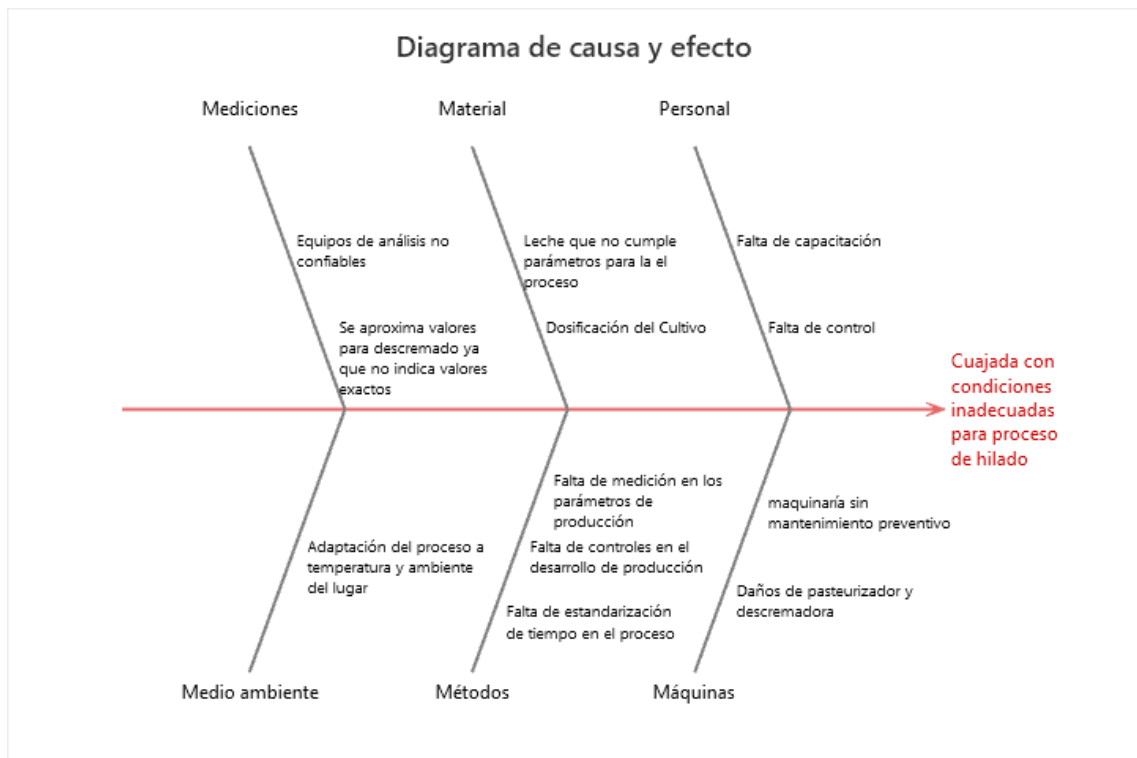


Ilustración XXVI. Diagrama de Ishikawa en la estandarización de leche en la producción de cuajada ácida

Mediante la ilustración mostrada se identifica cuáles son los problemas existentes dentro de las 6M, mismos que hay que tomar en cuenta para ver cómo está el proceso de producción.

Mediciones: El analizador de leche que es el cual determina como se lleva a cabo la producción no es el adecuado ya que no arroja resultados confiables, es decir es necesario aproximar valores ya que los valores que refleja el lactómetro no son 100% reales, mismo que se ha determinado con otros métodos de medición, sin embargo no se realiza el análisis a todos los lotes de leche que entran sino solo se toma en cuenta lo que refleja el equipo y se aproxima los valores, como se mencionó anteriormente.

Material: Al aproximar los valores de descremado en la leche que ingresa en el proceso, hay lotes en los que la grasa se mantiene en los parámetros indicados por la empresa, sin embargo hay lotes en los que es necesario agregar crema u otros que se maquillan los datos y se procesan con parámetros fuera de especificación, asimismo hay que tomar en cuenta que existen los sobres de cultivo para cada tina, mismos que solo disponen la etiqueta con la tina asignada, mas no disponen un gramaje, composición o concentración, en el proceso se pesó los sobres y en cuanto a las tinas, pese a que son de diferente volumen, no hay variación en el gramaje.

Mano de Obra: Los operadores que se encuentran dentro del proceso de producción realizan el proceso de diferente manera, es decir que si se ha empezado el proceso con un operador y se realiza el cambio, en ese lote puede existir variación ya que se realiza de diferente manera de uno a otro, asimismo el proceso no es controlado de manera adecuada, es decir que los operadores no registran los valores en tiempo real.

Medio Ambiente: Se adapta el proceso a cambios que se observan en otras industrias, sin embargo, no se realiza un análisis de las condiciones geográficas de la planta para su adaptabilidad.

Métodos: La medición varios procesos no se realiza de manera constante, mas o menos los operarios calculan un tiempo y realizan las siguientes operaciones, sin embargo, no se realiza la medición para continuar, además de esto la falta de control en el desarrollo de la producción trae consigo varios problemas en el proceso, por último, en el proceso no se maneja un tiempo estándar para llevar a cabo las actividades, es decir, hay un tiempo establecido, mas no siempre es respetado.

Máquinas: Las máquinas trabajan los 365 días del año las 24 horas del día por lo cual no hay un mantenimiento preventivo, es más generalmente se maneja un mantenimiento correctivo, es decir cuando los daños ya se encuentran en las máquinas, mismo que trae consigo paros en las máquinas y equipos los cuales traen paros en la producción mismo que trae pérdidas y fallas en la correcta producción, ya que en ocasiones ya se encuentra la materia prima en proceso, pero la maquinaria está dañada.

c) Análisis de proceso crítico de acuerdo con las mediciones tomadas

Para el análisis de estos datos se utilizó la herramienta Python en la cual se ingresan los datos tomados durante el proceso de estandarización de leche, estableciendo asimismo los límites que se utilizan dentro de la empresa para realizar el proceso de producción de pasta hilada de queso de tipo K2.

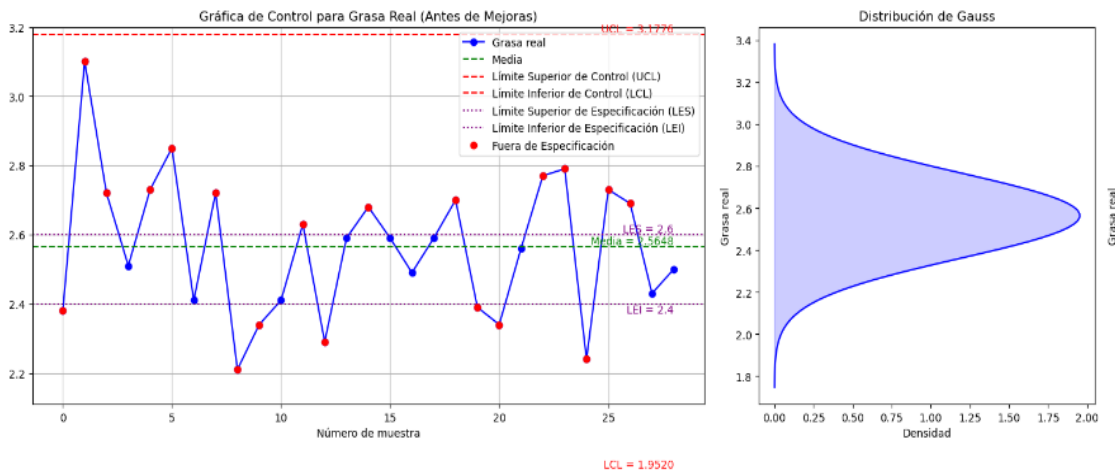


Ilustración XXVII. Gráficas de control en contenido graso de la estandarización de leche

De acuerdo con la **Ilustración XXVII. Gráficas de control en contenido graso de la estandarización de leche** se puede evidenciar que de los 29 datos tomados dentro del proceso de estandarización de leche en contenido graso para el proceso de producción cuajada ácida para la producción de pasta hilada de queso de tipo K2, 19 datos están fuera de especificación mismo que pueden ser causados por lo anteriormente planteado en el diagrama causa-efecto.

Capacidad del proceso

Para determinar qué tan capaz es el proceso se procedió a realizar el cálculo tomando en cuenta la desviación estándar antes mencionada:

$$C_P = \frac{\text{Variación tolerada}}{\text{Variación real}}$$

Ecuación 7. Capacidad del proceso

$$C_P = \frac{ES - EI}{6\sigma}$$

Donde:

ES= especificación superior

EI= especificación inferior

σ = desviación estándar

$$C_P = \frac{2.6 - 2.4}{6(0.2042)}$$

$$C_P = \frac{0.2}{1.2252}$$

$$C_P = \mathbf{0.1632}$$

Dando como resultante un Cp de 0.16 mismo que es menor a 0.67, encontrándose en la clase 4 de capacidad del proceso, según menciona el autor Humberto Gutiérrez, este proceso necesita tomar acciones inmediatas ya que no es adecuado para el trabajo[51].

Además, vamos a determinar el cumplimiento de la especificación inferior, el cumplimiento de la especificación superior y el Cpk mismo que nos indica el eje centro para observar las desviaciones que se producen.

Ecuación 8. Cumplimiento de la especificación inferior:

$$c_{pi} = \frac{u - EI}{3\sigma}$$

$$c_{pi} = \frac{2.56 - 2.4}{3(0.2042)}$$

$$c_{pi} = \frac{0.16}{0.6126}$$

$$c_{pi} = \mathbf{0.261}$$

Ecuación 9. Cumplimiento de la especificación superior:

$$c_{ps} = \frac{ES - u}{3\sigma}$$

$$c_{ps} = \frac{2.6 - 2.56}{3(0.2042)}$$

$$c_{ps} = \frac{0.04}{0.6126}$$

$$c_{ps} = \mathbf{0.0652}$$

Ecuación 10. Eje central para determinar variaciones existentes:

$$C_{pk} = \text{Minimo} \left[\frac{u - EI}{3\sigma}, \frac{ES - u}{3\sigma} \right]$$

$$C_{pk} = \text{Minimo} \left[\frac{0.16}{0.6126}, \frac{0.04}{0.6126} \right]$$

$$C_{pk} = \text{Minimo} [0.261 ; 0.0652]$$

$$C_{pk} = \mathbf{0.0652}$$

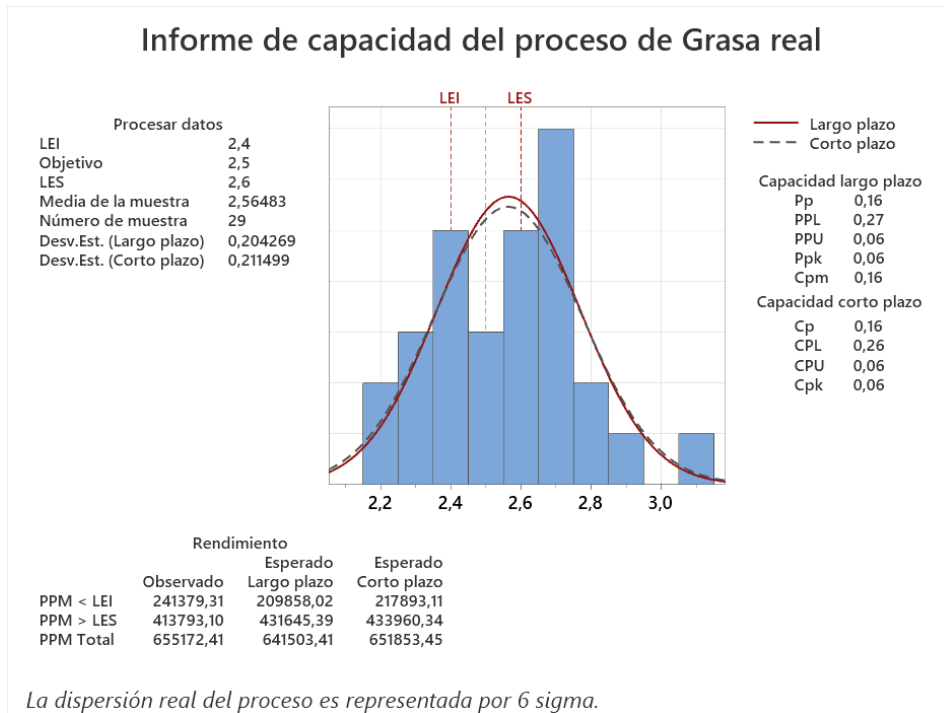
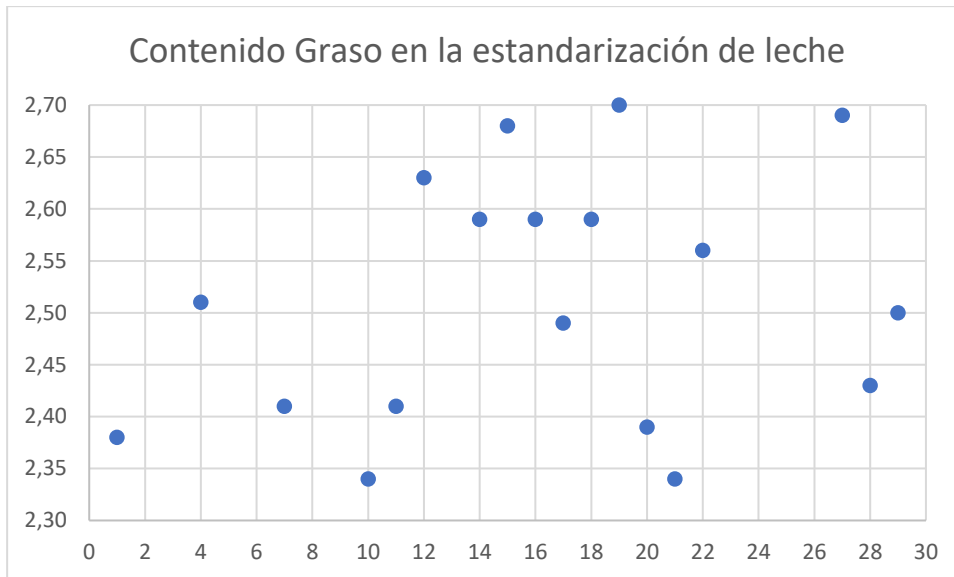


Ilustración XXVIII. Distribución normal

Nota: Esta gráfica ha sido elaborada en el programa Minitab con los datos recolectados durante la fase Medir

La **Ilustración XXVIII. Distribución normal** muestra un informe de capacidad del proceso para el contenido de grasa real, con un enfoque en la estabilidad y control del proceso. Los límites especificados (LEI y LES) son 2.4 y 2.6, respectivamente. La media de la muestra es 2.56483, con desviaciones estándar de 0.204269 (largo plazo) y 0.211499 (corto plazo). Los índices de capacidad del proceso (C_p y C_{pk}) son muy bajos, en torno a 0.16 y 0.06, indicando una baja capacidad del proceso para mantenerse dentro de los límites especificados. Esto se refleja en los altos valores de PPM (partes por millón) fuera de especificación, con 655172.41 productos fuera de límites, lo que sugiere una necesidad de mejoras significativas en el proceso para cumplir con los estándares de calidad. La diferencia entre las curvas de distribución de largo y corto plazo también indica variabilidad en el proceso.



De acuerdo con la gráfica muestra que en el proceso existe una variabilidad significativa en el contenido graso durante la estandarización de la leche, con valores que oscilan entre 2.2% y 3.10%. Aunque algunos puntos se encuentran dentro del rango objetivo de 2.4% a 2.6%, muchos se desvían considerablemente, lo que indica inconsistencias en el proceso. Esta fluctuación sin una tendencia clara hacia la estabilización sugiere la necesidad de mejorar el control del proceso para mantener el contenido graso dentro de los límites especificados y garantizar la uniformidad y calidad del producto final.

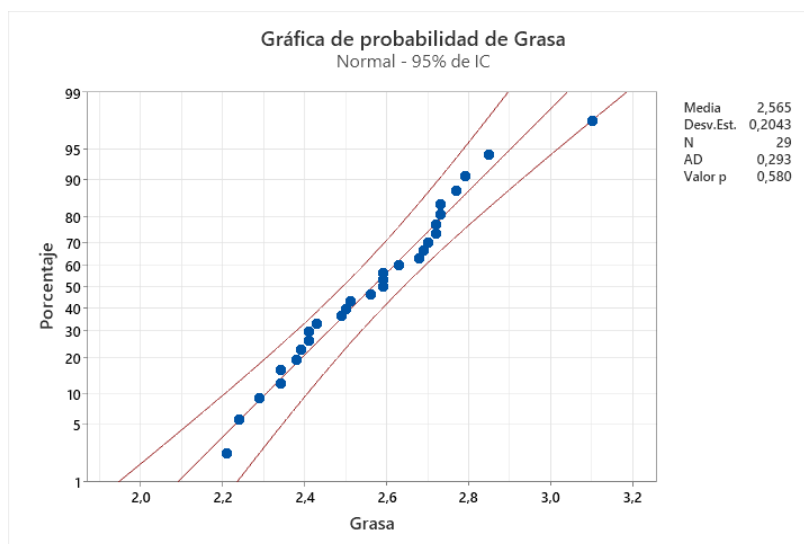


Ilustración XXIX. Gráfica de probabilidad-Análisis de capacidad

Asimismo, se realizó una gráfica de probabilidad de acuerdo con los datos tomados en el proceso indica que el proceso tiene una tendencia ascendente, por lo cual se identifica que se produce pasta hilada de queso de tipo K2 con un contenido de grasa superior al indicado, mismos que pueden causar varios problemas que afectan tanto la calidad del producto como la

eficiencia del proceso de producción. Aquí hay algunos problemas específicos que se podrían producir:

Problemas en la pasta hilada de queso

TABLA XIII
Problemas de Calidad del Producto

Textura inadecuada	Sabor desbalanceado	Fusión inadecuada	Vida útil reducida
			

1. Textura Inadecuada:

- Un exceso de grasa puede hacer que la pasta hilada de queso tenga una textura demasiado blanda o aceitosa, lo que no es agradable ya que debe tener una textura firme y elástica.

2. Sabor Desbalanceado:

- La grasa adicional puede hacer que el sabor de la pasta hilada de queso sea demasiado rico o pesado, lo que podría no ser del agrado de los consumidores que prefieren el perfil de sabor tradicional de la pasta hilada de queso.

3. Fusión Inadecuada:

- La pasta hilada de queso con exceso de grasa puede derretirse de manera desigual o excesivamente, produciendo una cantidad excesiva de aceite cuando se cocina, lo que no es adecuado para aplicaciones como pizza.

4. Vida Útil Reducida:

- La pasta hilada de queso con un contenido de grasa más alto puede tener una vida útil más corta debido a una mayor susceptibilidad al enranciamiento y a otros problemas de deterioro.

Problemas en el Proceso de Producción

1. Inconsistencia en la Producción:

- La variabilidad en el contenido de grasa puede resultar en lotes inconsistentes de pasta hilada de queso, lo que puede dificultar el control de calidad y la previsibilidad en la producción.

2. Problemas en la Cuajada:

- El exceso de grasa puede interferir con la formación adecuada de la cuajada, afectando la eficiencia del proceso de producción y la calidad del producto final.

3. Aumento de Costos:

- La producción de pasta hilada de queso con un contenido de grasa más alto puede incrementar los costos, ya que la grasa es una parte valiosa de la leche y su uso excesivo no es económico.

Problemas Regulatorios y de Normas

1. No Conformidad con Especificaciones:

- La pasta hilada de queso producido con un contenido de grasa más alto que el especificado puede no cumplir con las regulaciones o estándares de calidad establecidos por autoridades reguladoras o por los propios estándares de la empresa.

2. Problemas de Etiquetado:

- El etiquetado incorrecto en cuanto al contenido de grasa puede llevar a problemas de cumplimiento normativo y a la insatisfacción del cliente si el producto no cumple con las expectativas basadas en la etiqueta.

Tomando en cuenta lo analizado anteriormente se identifica que el no llevar a cabo una estandarización de leche adecuada en la producción de pasta hilada de queso a lo largo puede traer problemas económicos consigo, a continuación, un ejemplo práctico de lo mencionado:

Ejemplo práctico

Si una planta produce 10,000 kg de queso mozzarella al mes y la falta de estandarización adecuada reduce el rendimiento en un 5%, esto podría resultar en la necesidad de 500 kg adicionales de leche para alcanzar la producción deseada. Si el costo de la leche es \$0.50 por litro y se requieren 11 litros de leche para producir el kg de queso mozzarella, el costo adicional sería:

$$500kg * \frac{11 \text{ litros}}{kg} * \frac{\$0.50}{litro} = \$2.750 \text{ adicionales por mes}$$

4) Mejorar

La presente fase se enfoca en la identificación de Soluciones esto con el objetivo de reducir la variabilidad del contenido graso en la leche, asegurando que las muestras se mantengan dentro de los límites de especificación (2.4% - 2.6%).

a) Propuesta de soluciones

TABLA XIV. Propuesta de Soluciones

Propuesta	Acción Específica	Resultados Esperados	Pruebas	Validación
Automatización de Procesos	Instalación de sensores en línea para medir el contenido graso y ajuste automático de separadores centrífugos.	Precisión en Tiempo Real: Contenido graso mantenido dentro de 2.4% - 2.6% con alta exactitud. Reducción de Variabilidad: Menor variabilidad en el contenido graso, mayor consistencia del producto.	Verificar funcionamiento de sensores y sistemas en condiciones operativas normales y extremas.	Comparar datos de sensores con mediciones manuales para verificar precisión de ajustes automáticos.
Implementación de Protocolo de Recepción y Análisis de Calidad	Implementar análisis de contenido graso en cada lote antes de aceptación. Acciones Específicas: <ul style="list-style-type: none"> • Adquisición de kits de prueba rápidos. • Capacitación del personal. • Definición de criterios de aceptación/rechazo. 	Calidad Consistente desde el Inicio: Reducción de variabilidad inicial, solo leche que cumple con criterios aceptada. Mejora en Gestión de Proveedores: Proveedores cumplirán con estándares establecidos.	Ejecutar pruebas de contenido graso en muestras usando kits de prueba rápidos.	Revisar consistencia de resultados con lotes aceptados/rechazados.

Calibración y Mantenimiento Regular de Equipos de Separación de Grasa	<p>Realizar calibraciones y mantenimiento preventivo de equipos de separación.</p> <p>Acciones Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer calendario de mantenimiento. • Registro de calibraciones y ajustes. • Capacitación del personal técnico. 	<p>Operación Precisa de Equipos: Equipos operan con precisión constante, reduciendo errores y desviaciones.</p> <p>Menor Tiempo de Inactividad: Reducción de fallas inesperadas y tiempo de inactividad.</p>	<p>Verificar precisión de equipos después de calibraciones y mantenimiento.</p>	<p>Evaluar rendimiento de equipos a lo largo del tiempo para confirmar mejoras.</p>
Estandarización de Procedimientos Operativos y Control de Calidad	<p>Desarrollar y documentar POE para todas las etapas del proceso.</p> <p>Acciones Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar POE detallados. • Capacitación regular del personal. • Revisión y actualización de POE. 	<p>Procedimientos Claros y Documentados: Operación consistente y eficiente en todas las etapas.</p> <p>Capacitación Efectiva: Personal capacitado sigue procedimientos correctamente, mejorando calidad.</p>	<p>Implementar POE sen fase piloto, evaluar efectividad en control de calidad y eficiencia.</p>	<p>Auditar procedimientos y encuestas de satisfacción del personal</p>

Monitoreo Continuo del Proceso	Implementar sistema de monitoreo continuo del contenido graso con gráficos de control. Acción Específica: Establecer límites de control y acciones correctivas.	Detección Temprana de Problemas: Detección temprana de desviaciones, facilitando correcciones rápidas. Mejora Continua: Análisis estadístico impulsa mejora continua y estabilidad del proceso.	Configurar sistema y realizar simulaciones de desviaciones.	Revisar eficacia en la identificación y corrección de desviaciones reales durante operación.
---------------------------------------	--	--	---	--

b) Implementación de soluciones

TABLA XV. Implementación de soluciones

Propuesta	Acción Específica	Responsable	Plazo	Recursos Necesarios	Indicadores de Éxito
Automatización de Procesos	Instalación de Sensores en Línea	Equipo de Ingeniería	2 meses	Sensores, sistemas de control, separadores centrífugos	Reducción de variabilidad en el contenido graso, precisión en tiempo real
	Ajuste en Tiempo Real	Equipo de Ingeniería	1 mes después de la instalación	Software de control automático	Ajustes correctos automáticos, cumplimiento con los límites de especificación
Implementación de Protocolo de Recepción y Análisis de Calidad	Adquisición de Kits de Prueba Rápidos	Departamento de Compras	1 mes	Kits de prueba para contenido graso	Disponibilidad de kits para cada lote, tiempo de prueba eficiente
	Capacitación del Personal	Recursos Humanos	1 mes	Material de capacitación, formación del personal	Personal capacitado, pruebas realizadas correctamente
	Definición de Criterios de Aceptación/Rechazo	Equipo de Calidad	2 semanas	Documentación de criterios	Implementación de criterios, reducción en la variabilidad inicial

Calibración y Mantenimiento Regular de Equipos	Calendario de Mantenimiento	Mantenimiento Técnico	1 mes	Herramientas de calibración, equipo de mantenimiento	Cumplimiento del calendario, precisión en la operación de equipos
	Registro de Calibraciones	Mantenimiento Técnico	Continuo	Sistema de registro	Registros actualizados, auditorías exitosas
	Capacitación del Personal Técnico	Recursos Humanos	1 mes	Material de capacitación, formación técnica	Personal capacitado, mantenimiento preciso
Estandarización de Procedimientos Operativos y Control de Calidad	Desarrollo de POE	Equipo de Calidad	2 meses	Documentación, software de gestión de calidad	Implementación de POE, consistencia en el proceso
	Capacitación Regular	Recursos Humanos	Continuo	Material de capacitación, sesiones de formación	Personal capacitado, adherencia a los POE
	Revisión y Actualización de POE	Equipo de Calidad	6 meses	Documentación actualizada, revisión de procesos	Actualización de POE, alineación con mejores prácticas
Monitoreo Continuo del Proceso	Implementación del Sistema de Monitoreo	Equipo de IT y Calidad	3 meses	Software de monitoreo, gráficos de control	Monitoreo en tiempo real, detección temprana de desviaciones
	Uso de Gráficos de Control Estadístico	Equipo de Calidad	Continuo	Herramientas estadísticas, formación en análisis	Detección de desviaciones, acciones correctivas efectivas
	Establecimiento de Acciones Correctivas	Equipo de Calidad	1 mes después de la implementación	Procedimientos de acción correctiva, formación	Respuesta rápida a desviaciones, cumplimiento con límites de especificación

c) Simulación de análisis de proceso mejorado

El llevar a cabo las mejoras propuestas proporcionarán una base sólida para mejorar en el proceso de estandarización de leche, asegurando una mayor consistencia en el contenido de grasa y, en última instancia, una mejor calidad del queso mozzarella producido. Conforme a esto se presenta los siguientes datos los cuales han sido analizados con los mediciones y parámetros que actualmente maneja la empresa en la estandarización de leche (contenido graso) y los datos mejorados mismos que han sido generados como simulación con las mejoras para la correcta producción de pasta hilada de queso de tipo K2.

TABLA XVI. Datos después de las mejoras generados por simulación

Contenido graso después de las mejoras
2,45
2,55
2,52
2,49
2,54
2,51
2,50
2,53
2,47
2,51
2,50
2,53
2,48
2,52
2,50
2,51
2,49
2,52
2,50
2,48
2,51
2,50
2,53
2,54
2,49
2,52
2,50
2,51
2,50

Promedio contenido graso en estandarización de leche simulado con las mejoras

$$\bar{x} = \frac{\Sigma \text{Grasa mejorada}}{N \text{ de datos}}$$

$$\bar{x} = \frac{72.660}{29}$$

$$\bar{x} = \mathbf{2.5069}$$

Desviación estándar de contenido graso en estandarización de leche simulado con las mejoras

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \Sigma(x_i - \bar{x})^2}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{29-1} \times 0.01395172}$$

$$\sigma = \sqrt{0.00049828}$$

$$\sigma = \mathbf{0.0221}$$

Dando como resultado una desviación estándar de 0.0221 con un tamaño muestral de 29 datos correspondientes al contenido graso de la estandarización de leche.

Ecuación 11. Cálculo de límite superior de control (UCL):

$$UCL = \bar{x} + 3\sigma$$

$$UCL = 2,5069 + 3(0.0221)$$

$$UCL = \mathbf{2.5732}$$

Ecuación 12. Cálculo de límite inferior de control (LCL):

$$LCL = \bar{x} - 3\sigma$$

$$LCL = 2,5069 - 3(0.0221)$$

$$LCL = \mathbf{2.4406}$$



Ilustración XXX. Gráfica de control de contenido graso en la estandarización de leche

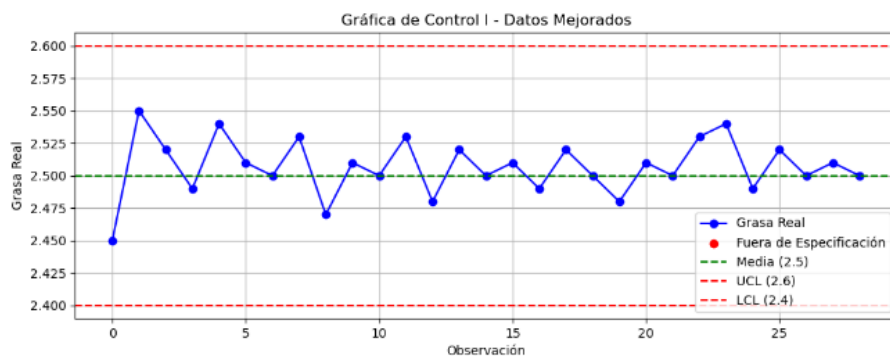


Ilustración XXXI. Gráfica de control de contenido graso en la estandarización de leche después de las mejoras

Con cada una de las mejoras propuestas se espera el proceso reduzca la variabilidad en cuanto a los parámetros de contenido graso idóneos para el proceso de producción de cuajada ácida de pasta hilada de queso de tipo K2, lo cual garantizará un producto de calidad y con propiedades funcionales adecuadas para el consumo.

Capacidad del proceso

Para determinar qué tan capaz es el proceso se procedió a realizar el cálculo tomando en cuenta la desviación estándar antes mencionada:

$$c_p = \frac{\text{Variación tolerada}}{\text{Variación real}}$$

Ecuación 13. Capacidad del proceso

$$c_p = \frac{ES - EI}{6\sigma}$$

Donde:

ES= especificación superior

EI= especificación inferior

σ = desviación estándar

$$C_p = \frac{2.6 - 2.4}{6(0.0221)}$$

$$C_p = \frac{0.2}{0.1326}$$

$$C_p = 1.5082$$

Dando como resultante un Cp de 1.50 mismo que es mayor a 1.33, por lo cual se encuentra en la clase 1 de capacidad del proceso, según menciona el autor Humberto Gutiérrez[51], con este valor el proceso es adecuado para la producción, sin embargo, seguirá el proceso en mejora continua hasta llegar al Six Sigma.

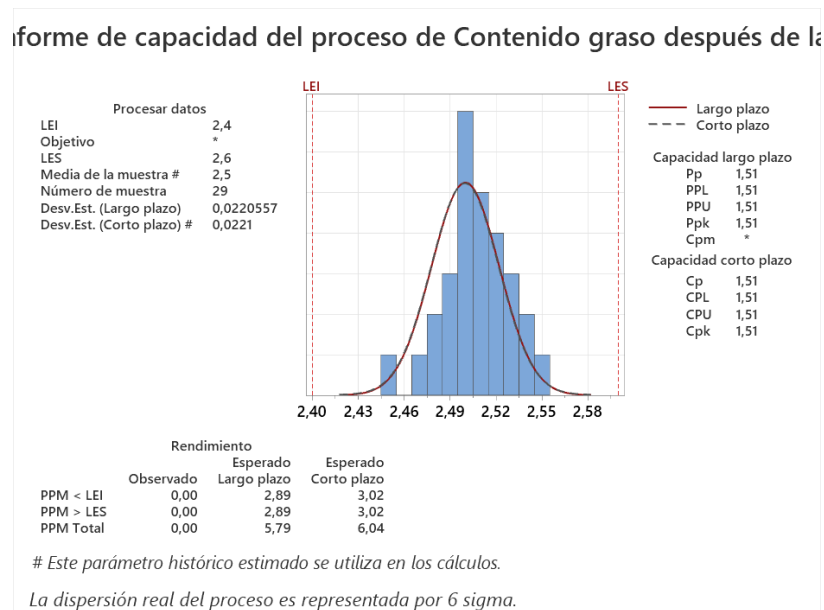


Ilustración XXXII. Distribución normal datos mejorados

Nota: Esta gráfica ha sido elaborada en el programa Minitab con los datos recolectados durante la fase Medir

La gráfica muestra la capacidad del proceso para el contenido graso después de las mejoras, destacando una distribución normal con un promedio de 2.5 y una desviación estándar de aproximadamente 0.022. Los límites especificados son de 2.4 (inferior) y 2.6 (superior). Con índices de capacidad Cp y Cpk de 1.51, el proceso es capaz y está bien centrado, lo que indica un alto grado de consistencia y control. Además, el rendimiento es excelente, con un número insignificante de productos fuera de especificación (5.79 PPM), lo que demuestra que el proceso cumple con los estándares de calidad establecidos, sin embargo, aún hace falta seguir realizando controles en el proceso para llegar al nivel Six Sigma.

Variación en proceso actual vs variación con la propuesta de mejora

Para observar la variación existente y la variación que se presentaría en el contenido graso de la estandarización de leche con las mejoras propuesta se ha procedido a realizar un análisis de los datos tomados y los datos simulados con las mejoras.

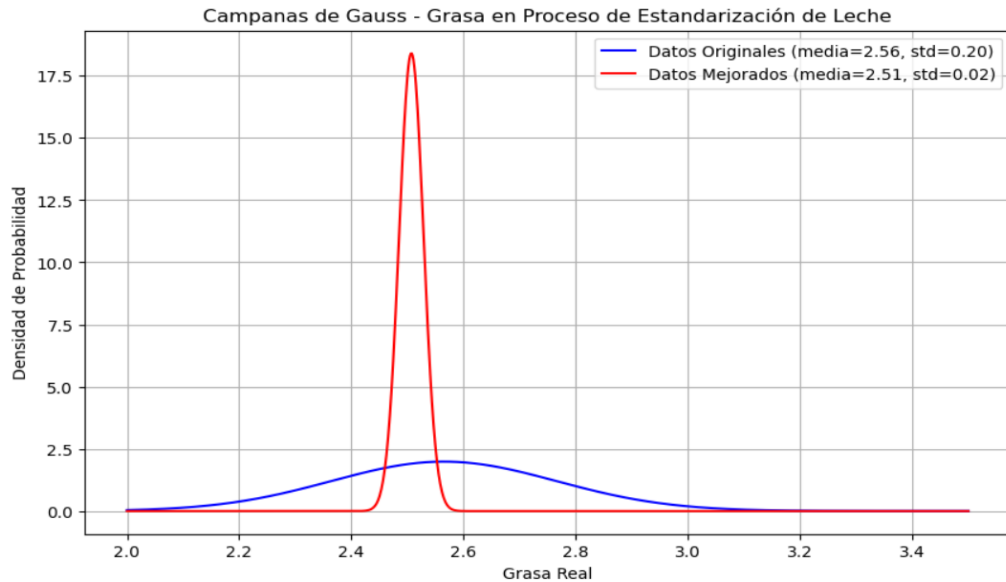


Ilustración XXXIII. Campana de Gauss con datos originales y datos nuevos después de las mejoras

Mediante la gráfica se identifica con la línea azul que las mediciones actuales en la estandarización de contenido graso de la leche tienen mucha variación de acuerdo con los parámetros mismo que indica que no se está realizando de manera adecuada la estandarización de leche, asimismo se presenta la línea roja con una curva de datos normales que se espera lograr con las mejoras propuestas dando paso a si a reducir la variabilidad en el contenido graso y mejorar así la calidad en el producto final de la pasta hilada de queso de tipo K2.

5) Controlar

a) Acciones de control:

TABLA XVII. Acciones de control

Área	Acciones Específicas	Responsable	Frecuencia	Indicadores de Éxito
Monitoreo Continuo	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer un Sistema de Monitoreo Permanente • Utilizar gráficos de control y herramientas estadísticas 	Equipo de Calidad y Tecnologías de la Información	<ul style="list-style-type: none"> • Semanal para gráficos de control • Trimestral para auditorías 	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento continuo del contenido graso • Identificación oportuna de desviaciones y rápida implementación de acciones correctivas
Mantenimiento de Equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Seguir el calendario establecido para mantenimiento y calibración • Mantener un registro detallado 	Departamento de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Según el calendario de mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de fallos y tiempos de inactividad • Precisión continua de los equipos de separación de grasa
Capacitación Continua	<ul style="list-style-type: none"> • Ofrecer sesiones de capacitación continua • Revisar y actualizar los procedimientos operativos 	Recursos Humanos y Equipo de Calidad	<ul style="list-style-type: none"> • Anual o según cambios en procedimientos 	<ul style="list-style-type: none"> • Competencia del personal en la implementación de POE • Adaptación efectiva a las actualizaciones de procedimientos
Control de Proveedores	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar revisiones periódicas de la calidad de la leche • Asegurarse de que los proveedores cumplan con los estándares 	Departamento de Compras y Calidad	<ul style="list-style-type: none"> • Trimestral 	<ul style="list-style-type: none"> • Consistencia en la calidad de la leche recibida • Cumplimiento de los criterios de aceptación/rechazo de lotes

Documentación y Reportes	<ul style="list-style-type: none">• Mantener registros detallados de datos de monitoreo, mantenimiento, capacitaciones y auditorías• Generar informes periódicos sobre el desempeño del proceso	Equipo de Calidad y Documentación	<ul style="list-style-type: none">• Mensual para informes• Continuo para registros	<ul style="list-style-type: none">• Complejidad y precisión de la documentación• Disponibilidad de informes para la toma de decisiones
---------------------------------	--	-----------------------------------	---	---

C. Análisis de costos

a) Análisis de Costos Antes de las Mejoras

TABLA XVIII. Análisis de costos antes de las mejoras

Concepto	Costo (USD/kg)
Costo de leche cruda	\$0.45
Cantidad de leche por kg de queso	11 litros
Costo de materia prima por kg de queso	\$4.95
Costos Directos:	
Energía y Recursos	\$0.50
Mano de obra	\$1.00
Costos Indirectos:	
Mantenimiento y Administración	\$0.30
Costos de Desperdicio:	
Pérdidas y defectos	\$0.2475
Costo Total Antes de Mejoras:	\$6.9975

b) Implementación de Mejoras (Con el Ciclo DMAIC de Seis Sigma

TABLA XIX. Implementación de Mejoras

Propuesta	Acción Específica	Recursos Necesarios	Costos Estimados	Costos estimados totales	Plazo
Automatización de Procesos	Instalación de Sensores en Línea	Sensores, sistemas de control, separadores centrífugos	USD 20,000	USD 25,000	2 meses
	Ajuste en Tiempo Real	Software de control automático	USD 5,000		1 mes
Implementación de Protocolo de Recepción	Adquisición de Kits de Prueba Rápidos	Kits de prueba para contenido graso	USD 3,000	USD5,500	1 mes
	Capacitación del Personal	Material de capacitación, formación del personal	USD 2,000		1 mes
	Definición de Criterios de Aceptación/Rechazo	Documentación de criterios	USD 500		2 semanas
	Calendario de Mantenimiento	Herramientas de calibración, equipo de mantenimiento	USD 1,500		1 mes
Calibración y Mantenimiento Regular de Equipos	Registro de Calibraciones	Sistema de registro	USD 1,000		Continuo
	Capacitación del Personal Técnico	Material de capacitación, formación técnica	USD 2,000		1 mes
	Desarrollo de POE	Documentación, software de gestión de calidad	USD 3,500		USD 7,000
Estandarización de Procedimientos Operativos	Capacitación Regular	Material de capacitación, sesiones de formación	USD 2,500		Continuo
	Revisión y Actualización de POE	Documentación actualizada, revisión de procesos	USD 1,000		6 meses
	Implementación del Sistema de Monitoreo	Software de monitoreo, gráficos de control	USD 7,000		USD 9,200
Monitoreo Continuo del Proceso	Uso de Gráficos de Control Estadístico	Herramientas estadísticas, formación en análisis	USD 1,200		Continuo
	Establecimiento de Acciones Correctivas	Procedimientos de acción correctiva, formación	USD 1,000		1 mes
TOTAL				51,200	

c) Análisis de Costos posteriores a las Mejoras

TABLA XX. Análisis de Costos posteriores a las Mejoras

Concepto	Costo (USD/kg)
Costo de leche cruda	\$0.45
Cantidad de leche por kg de queso	8 litros
Costo de materia prima por kg de queso	\$3.60
Costos Directos Mejorados:	
Energía y Recursos	\$0.40
Mano de obra	\$0.80
Costos Indirectos Mejorados:	
Mantenimiento y Administración	\$0.25
Costos de Desperdicio Mejorados:	
Pérdidas y defectos	\$0.072
Costo Total Después de Mejoras:	\$5.122

d) Análisis de costos de producción de Queso Mozzarella

TABLA XXI. Análisis de costos de producción de Queso Mozzarella

Categoría	Descripción	Costo (Antes de Mejoras)	Costo (Después de Mejoras)	Ahorro por kg
Materia Prima	Costo de leche cruda por kg de queso	\$4.95	\$3.60	\$1.35
Energía y Recursos	Costo por kg de queso	\$0.50	\$0.40	\$0.10
Mano de Obra	Costo por kg de queso	\$1.00	\$0.80	\$0.20
Mantenimiento y Administración	Costo por kg de queso	\$0.30	\$0.25	\$0.05
Desperdicio	Pérdidas y defectos (5% vs. 2%)	\$0.2475	\$0.072	\$0.1755
Costo Total por kg		\$6.9975	\$5.122	\$1.8755

e) Resumen de costos totales por período

TABLA XXII. Resumen de costos totales por período

Periodo	Costo Total (Antes de Mejoras) (USD)	Costo Total (Después de Mejoras) (USD)	Ahorro (USD)
Semanal	\$6,997.50	\$5,122	\$1,875.50
Mensual	\$27,990	\$20,488	\$7,502
Anual	\$335,880	\$245,856	\$90,024
Quinquenal	\$1,679,400	\$1,229,280	\$450,120

f) Recuperación de la inversión

TABLA XXIII. Recuperación de la inversión

Inversión Total	USD 51,200
Ahorro por Kilogramo de queso después de las mejoras	USD 1.8755
Producción mensual estimada	USD 7.502
Tiempo de recuperación de la inversión	6.82 meses \approx 7 meses

La propuesta de inversión de **51,200 USD** para la estandarización de la producción de leche para la elaboración de queso mozzarella presenta beneficios significativos tanto en términos de calidad del producto como en eficiencia económica. La implementación de mejoras en el proceso de producción, a través de herramientas como sensores en línea, protocolos de recepción de leche, y la estandarización de procedimientos operativos, contribuye a reducir la variabilidad en el contenido graso de la leche, asegurando un queso de mayor calidad.

Impacto Financiero:

- **Ahorro Mensual:** Se proyecta con una producción mensual de **4,000 kg**, se generará un ahorro mensual de **7,502 USD** con la implementación de las mejoras, lo que representa una optimización en el uso de recursos y una reducción en los costos operativos.
- **Ahorro Anual:** El ahorro total estimado para el primer año es de **90,024 USD**, lo que refuerza la viabilidad financiera de la inversión al disminuir los costos de producción y mejorar la rentabilidad.
- **Ahorro Quinquenal:** En un horizonte de cinco años, el ahorro total ascenderá a **450,120 USD**, lo que muestra el impacto positivo sostenido que las mejoras tendrán en la operación del negocio.

Tiempo de Recuperación de la Inversión:

El tiempo estimado para recuperar la inversión inicial es de aproximadamente **7 meses**, lo que indica una rápida recuperación y un retorno financiero atractivo. Este corto período de recuperación minimiza el riesgo asociado con la inversión y permite a la empresa reinvertir los ahorros en otras áreas o proyectos.

Conclusión de Análisis de costos:

En conclusión, la propuesta de estandarización no solo aborda la variabilidad en el contenido graso de la leche, asegurando una producción consistente de queso mozzarella, sino que también se presenta como una estrategia financieramente sólida, con un retorno de inversión favorable que potencia la competitividad y viabilidad a largo plazo del negocio. La implementación de esta mejora, por lo tanto, se justifica tanto por sus beneficios económicos como por su impacto en la calidad del producto final.

Conclusiones

- La metodología Six Sigma, con su enfoque estructurado DMAIC, es una herramienta poderosa para la mejora de procesos. Se centra en reducir la variabilidad y mejorar la calidad, siendo adecuada para la industria láctea donde la consistencia es crucial. La comprensión profunda de herramientas como el DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) y el uso de gráficos de control, permitió identificar con precisión las áreas problemáticas.
- El análisis de los procesos de producción de cuajada ácida en la estandarización de contenido graso en la leche reveló una significativa variabilidad en el contenido graso de la leche utilizada para la producción de queso mozzarella, con valores que varían entre 2.21 y 3.10, superando los límites aceptables de 2.4 a 2.6, mismos que dan paso a una inconsistencia en la calidad del producto final. Factores como la calidad variable de la leche cruda, procedimientos operativos no estandarizados y la calibración inadecuada de equipos fueron identificados como las principales causas de esta variabilidad.
- La propuesta de mejora basada en la metodología Six Sigma resultó en la implementación de controles más efectivos en los procesos productivos. Estas mejoras incluyeron la estandarización de procedimientos, la automatización del control del contenido graso y la implementación de un mantenimiento preventivo riguroso. Como resultado, se logró reducir la variabilidad en el contenido graso de la leche estandarizada. Esto mejorará la calidad y consistencia de la cuajada ácida y la pasta hilada de queso de tipo K2 y una reducción en los costos operativos.

Recomendaciones

- Adoptar la metodología Six Sigma en el proceso de elaboración de pasta hilada de queso, asegurando que el personal clave esté capacitado en sus principios y herramientas.
- Realizar un análisis detallado y continuo de los procesos de estandarización de la leche, enfocándose en la medición precisa con equipos calibrados para la producción adecuada de pasta hilada de queso.
- Implementar controles rigurosos en parámetros de calidad en la leche cruda y estandarizar los procedimientos operativos para reducir las fuentes de variabilidad identificadas.

- Implementar un programa de mejora continua utilizando la metodología Six Sigma, que incluya:
 - **Estandarización de Procedimientos:** Documentar y seguir procedimientos operativos estándar (POE) para todas las etapas del proceso de estandarización de la leche.
 - **Programa de Calibración y Mantenimiento:** Implementar un programa periódico para calibrar y mantener todos los equipos que miden el contenido de grasa.
 - **Vigilancia Continua:** Emplear cartas de control y otras herramientas para identificar y corregir desviaciones en tiempo real, garantizando la uniformidad del producto.
 - **Uso de Big Data con IA en tiempo real:** Esto permitirá ver cómo se comporta el proceso en tiempo real, asimismo brindará un control para la producción.

Referencias Bibliográficas

- [1] Julio Castro, “Principales causas del fracaso de las empresas en crecimiento y cómo elegir el mejor ERP para PyMEs,” Blog Corponet.
- [2] Francisco Mochon, *Principios de Economía*, 1st ed., vol. 1. 2010.
- [3] José Miguel Terán Flores, “Análisis del mercado de la leche en Ecuador: factores determinantes y desafíos,” UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA, Valencia, 2019.
- [4] Victor Alfredo Baquerizo Altamirano and Víctor Hugo Córdova Aldás, “Impacto económico del sector lácteo: un estudio de los gastos publicitarios y las ventas en tiempos de pandemia,” *Digital Publisher*, pp. 1–12, Nov. 2022, Accessed: Nov. 05, 2023. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9018742>
- [5] “Por pobreza y hábitos, las familias en Ecuador acceden a menos leche de la que deberían consumir.” Accessed: Jan. 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/familias-mitad-leche-consumo-pobreza/>
- [6] Sandy Raquel Vinueza Tituaña, ““INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE PASTEURIZACIÓN, COAGULACIÓN Y DE CLORURO DE CALCIO EN EL RENDIMIENTO DE QUESO FRESCO ELABORADO A PARTIR DE LECHE DE VACA,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, Ibarra, 2015.
- [7] UCSP, “¿Qué es la metodología six sigma?,” 2023.
- [8] Geo innova, “Seis Sigma en el sector geoespacial: Mejora de precisión y eficiencia,” Geo Innova. Accessed: Nov. 05, 2023. [Online]. Available: <https://geoinnova.org/blog-territorio/six-sigma-que-es-y-para-que-sirve/>
- [9] Diego Rodriguez, “Six Sigma and Quality Control in the Food Industry,” Invensis. Accessed: Nov. 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.invensislearning.com/blog/six-sigma-quality-control-food-industry/#:~:text=In%20the%20food%20industry%2C%20Six,and%20quality%20of%20their%20products>
- [10] Yuvinne Guerrero, Carlos Herrera, Rommel Trujillo, and Pablo Burneo, “Application of Lean Six Sigma in the Ecuadorian Dairy Industry: Variability Reduction of the Net Weight of Cheeses ,” Quito, Jun. 2022. Accessed: Nov. 05, 2023. [Online]. Available: <https://ieomsociety.org/proceedings/2022paraguay/35.pdf>
- [11] CIL Ecuador, “La innovación marca los procesos del sector lácteo ecuatoriano,” CIL Ecuador . Accessed: Nov. 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.cil->

ecuador.org/post/la-innovaci%C3%B3n-marca-los-procesos-del-sector-l%C3%A1cteo-ecuatoriano

- [12] L. T. Cervantes-Rodríguez, X. Espín-Betrán, and C. P. Avila, “Metodología lean six sigma para el proceso de fabricación de quesos frescos (Lean six sigma methodology for the fresh cheese manufacturing),” 2021.
- [13] A. Trubetskaya, A. Ryan, D. J. Powell, and C. Moore, “Utilising a hybrid DMAIC/TAM model to optimise annual maintenance shutdown performance in the dairy industry: a case study,” *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 15, no. 8, pp. 70–92, 2023, doi: 10.1108/IJLSS-05-2023-0083/FULL/PDF.
- [14] N. Atika, “IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Application of six sigma method to minimize risk of rejection product: A case in cheese industry of company X Application of six sigma method to minimize risk of rejection product: A case in cheese industry of company X”, doi: 10.1088/1755-1315/472/1/012058.
- [15] P. Reddy Gangidi, “Application of Six Sigma in Semiconductor Manufacturing: A Case Study in Yield Improvement,” *Applications of Design for Manufacturing and Assembly*, Jan. 2019, doi: 10.5772/INTECHOPEN.81058.
- [16] T. Shoji *et al.*, “Factors affecting the potential for posterior bony impingement after total hip arthroplasty,” *Bone and Joint Journal*, vol. 99B, no. 9, pp. 1140–1146, Sep. 2017, doi: 10.1302/0301-620X.99B9.BJJ-2016-1078.R2.
- [17] I. T. B. Widiwati, S. D. Liman, and F. Nurprihatin, “The implementation of Lean Six Sigma approach to minimize waste at a food manufacturing industry,” *Journal of Engineering Research*, Feb. 2024, doi: 10.1016/J.JER.2024.01.022.
- [18] “Conceptos básicos de calidad y productividad: todo lo que debes saber.” Accessed: Dec. 14, 2023. [Online]. Available: <https://mejoraproductividad.com/organizacion/conceptos-basicos-calidad-productividad/>
- [19] “¿Qué es la calidad en la industria? | Universidad UNADE.” Accessed: Dec. 14, 2023. [Online]. Available: <https://unade.edu.mx/que-es-la-calidad-en-la-industria/>
- [20] “¿Qué es la productividad?” Accessed: Dec. 14, 2023. [Online]. Available: <https://marketing.wearedrew.co/que-es-la-productividad>
- [21] C. I. Hernández-Pedraza, “Aceptado: enero,” vol. 130, no. 1, pp. 2224–6185, 2015.
- [22] A. Ruiz-Falcó and R. Madrid, “CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS 1. APUNTES DE CLASE,” 2006.

- [23] “El Modelo y las herramientas Six Sigma.” Accessed: Jan. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.actioglobal.com/es/herramientas-six-sigma/>
- [24] “Industria láctea apoya desarrollo social y económico a escala nacional.” Accessed: Jan. 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.cil-ecuador.org/post/industria-l%C3%A1ctea-apoya-desarrollo-social-y-econ%C3%B3mico-a-escala-nacional>
- [25] Pascual. Mastellone, “Ayudando a conocer el mundo de la leche,” 2000, Accessed: Jan. 10, 2024. [Online]. Available: <https://www.diarionorte.com/184623-la-industria-lactea-procesos-y-productos>
- [26] “Queso mozzarella: qué es, tipos y usos en la pizza.” Accessed: Jul. 22, 2024. [Online]. Available: <https://www.ditaly.es/queso-mozzarella/>
- [27] “¿Cuántos tipos de queso mozzarella hay y cuándo se usan?” Accessed: Jul. 22, 2024. [Online]. Available: <https://lamafia.es/cuantos-tipos-de-queso-mozzarella-hay-y-cuando-se-usan/>
- [28] “CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008 Decreto Legislativo 0 Registro Oficial.” [Online]. Available: www.lexis.com.ec
- [29] “LEY ORGANICA DE SALUD.” [Online]. Available: www.lexis.com.ec
- [30] “LEY ORGÁNICA DE DEFENSA DEL CONSUMIDOR (Ley No. 2000-21) Fuente: Ediciones Legales.”
- [31] Ley, “LEY PARA FOMENTO PRODUCTIVO, ATRACCION INVERSIONES GENERACION EMPLEO.” [Online]. Available: www.lexis.com.ec
- [32] “REGLAMENTO DE REGISTRO Y CONTROL SANITARIO DE ALIMENTOS,” 2013. [Online]. Available: www.lexis.com.ec
- [33] “NTE INEN 821R Queso Mozzarella | Descargar gratis PDF | Queso | Leche.” Accessed: Jul. 23, 2024. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/582317142/NTE-INEN-821R-Queso-Mozzarella>
- [34] Q. -Ecuador, “INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.”
- [35] “NTE INEN 1528 Norma general para quesos frescos no madurados. Requisitos - - Studocu.” Accessed: Jul. 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-de-machala/microbiologia-y-parasitologia/nte-inen-1528-norma-general-para-quesos-frescos-no-madurados-requisitos/93232142>
- [36] “NTE INEN 1334-1: Rotulado de productos alimenticios para consumo humano. Parte 1. Requisitos.”

- [37] Fao, “Buenas prácticas de manufactura en la elaboración de productos lácteos.” [Online]. Available: <http://www.fao.org.gt>
- [38] “LA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE LA AGENCIA NACIONAL DE REGULACIÓN, CONTROL Y VIGILANCIA SANITARIA.”
- [39] “Codex Alimentarius Commission Procedural Manual,” *Codex Alimentarius Commission Procedural Manual*, Mar. 2023, doi: 10.4060/CC5042EN.
- [40] “ISO 22000:2018 Sistemas de Gestión de la Inocuidad de los Alimentos. – C.I.C. Certificación Quito.” Accessed: Jan. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.cicert.com.ec/index.php/project/certificacion-iso-220002005-fccs-inocuidad-alimentaria/>
- [41] Raphael Pires, “Qué es un cronograma y su relación con el control del tiempo en las empresas,” rockcontent.
- [42] Sarah Laoyan, “Six Sigma: todo lo que necesitas saber sobre esta metodología de mejora de procesos,” asana. Accessed: Nov. 05, 2023. [Online]. Available: <https://asana.com/es/resources/six-sigma>
- [43] Safety Culture, “Cómo el método DMAIC puede ayudar a su empresa a mejorar su rendimiento,” Safety Culture.
- [44] “MINITAB – HERRAMIENTAS DE CALIDAD – Desarrollo Profesional SyS.” Accessed: Jul. 23, 2024. [Online]. Available: <https://academy.dpsys.com.mx/minitab-herramientas-de-calidad/>
- [45] “¿Qué es Python? - Explicación del lenguaje Python - AWS.” Accessed: Jul. 23, 2024. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/es/what-is/python/>
- [46] “Simulación de un proceso industrial mediante el software FlexSim.” [Online]. Available: <http://www.flexsim.com/community/forum/downloads.php>
- [47] “Detalles de aplicaciones de Office - Service Descriptions | Microsoft Learn.” Accessed: Jul. 23, 2024. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/es-es/office365/servicedescriptions/office-applications-service-description/office-applications>
- [48] “Bizagi es la solución líder de Business Process Management | Seys.” Accessed: Jul. 23, 2024. [Online]. Available: <https://seystic.com/distribucion/software/bizagi/>
- [49] “El productor de queso, Floralp, desarrolla relaciones ganadero ganadero con sus proveedores locales - BipiZ.” Accessed: Feb. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.bipiz.org/es/buenas-practicas-de-rse/el-productor-de-queso-floralp->

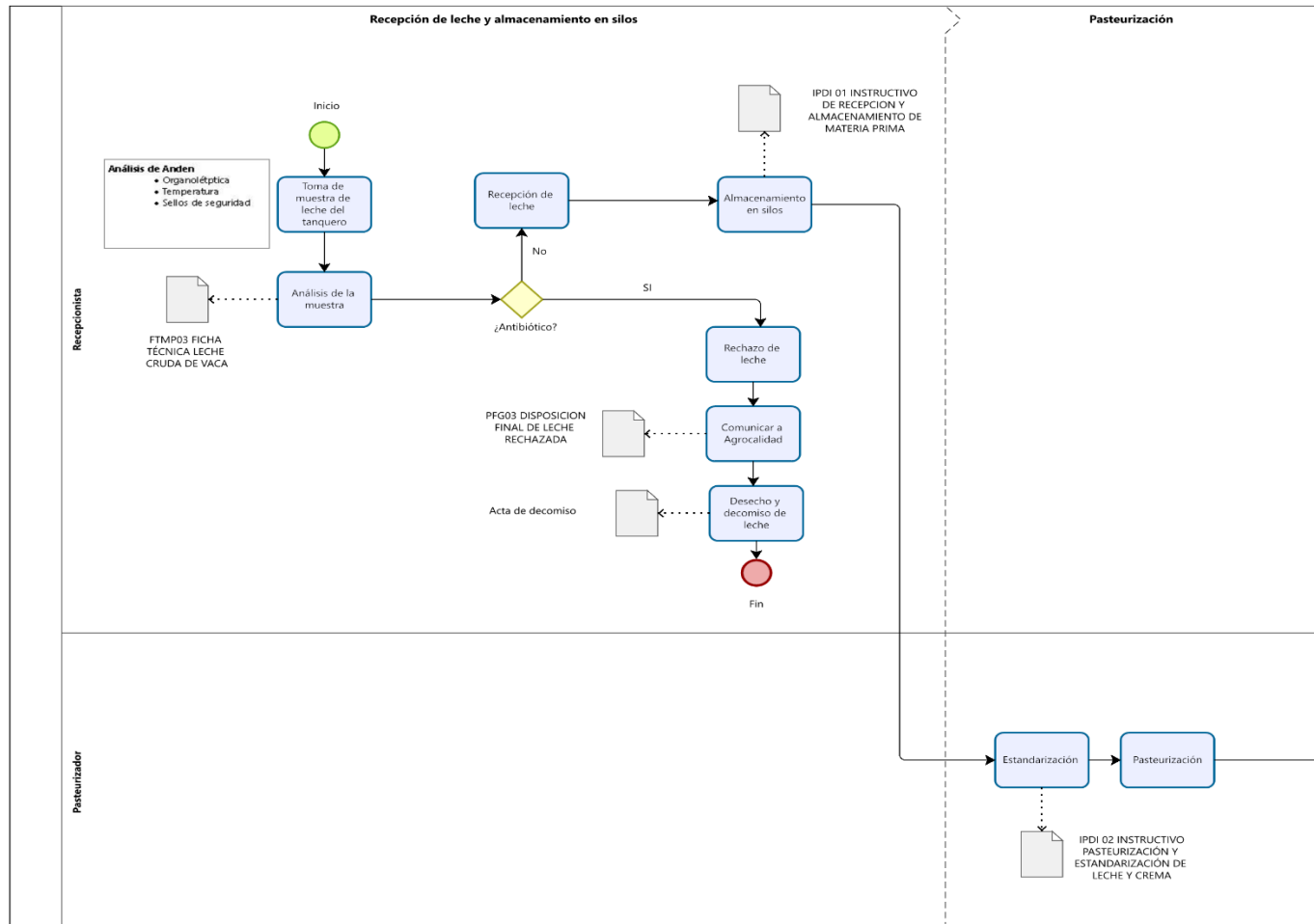
desarrolla-relaciones-ganadero-ganadero-con-sus-proveedores-
locales.html?tmpl=component&print=1

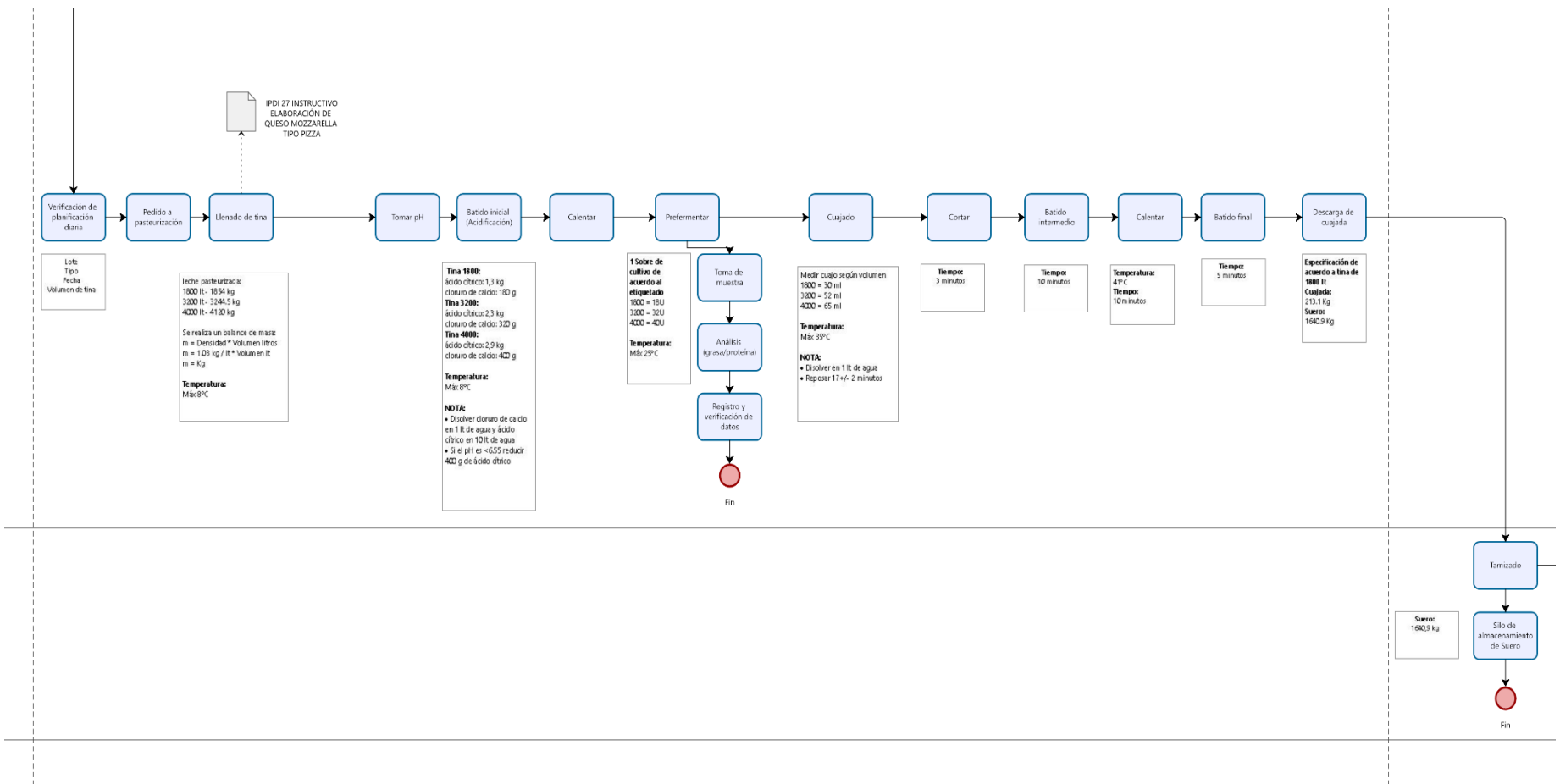
[50] Floralp S.A., “Entrevistas y revisión de documentos Floralp.”

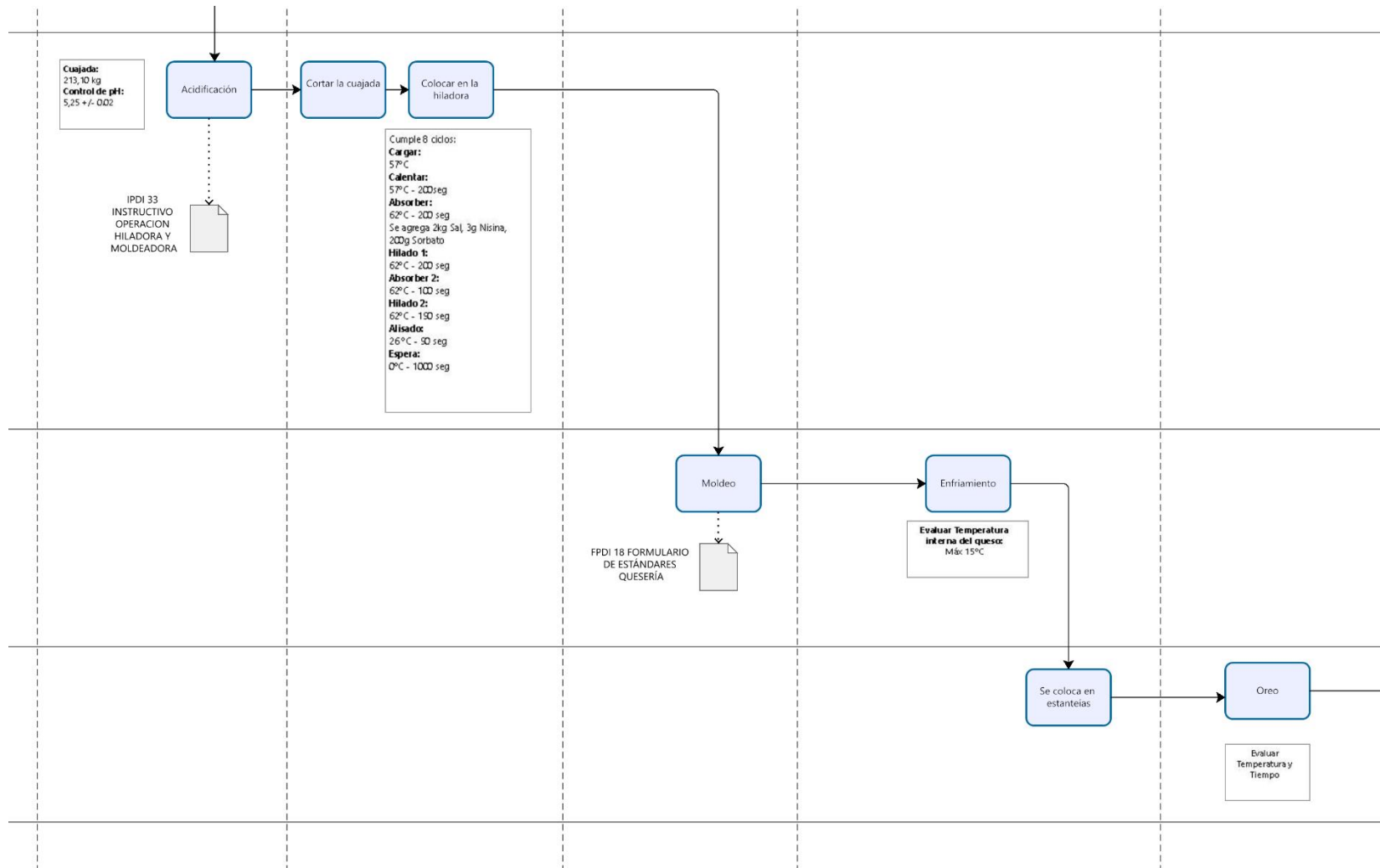
[51] “CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD Y SEIS SIGMA.”

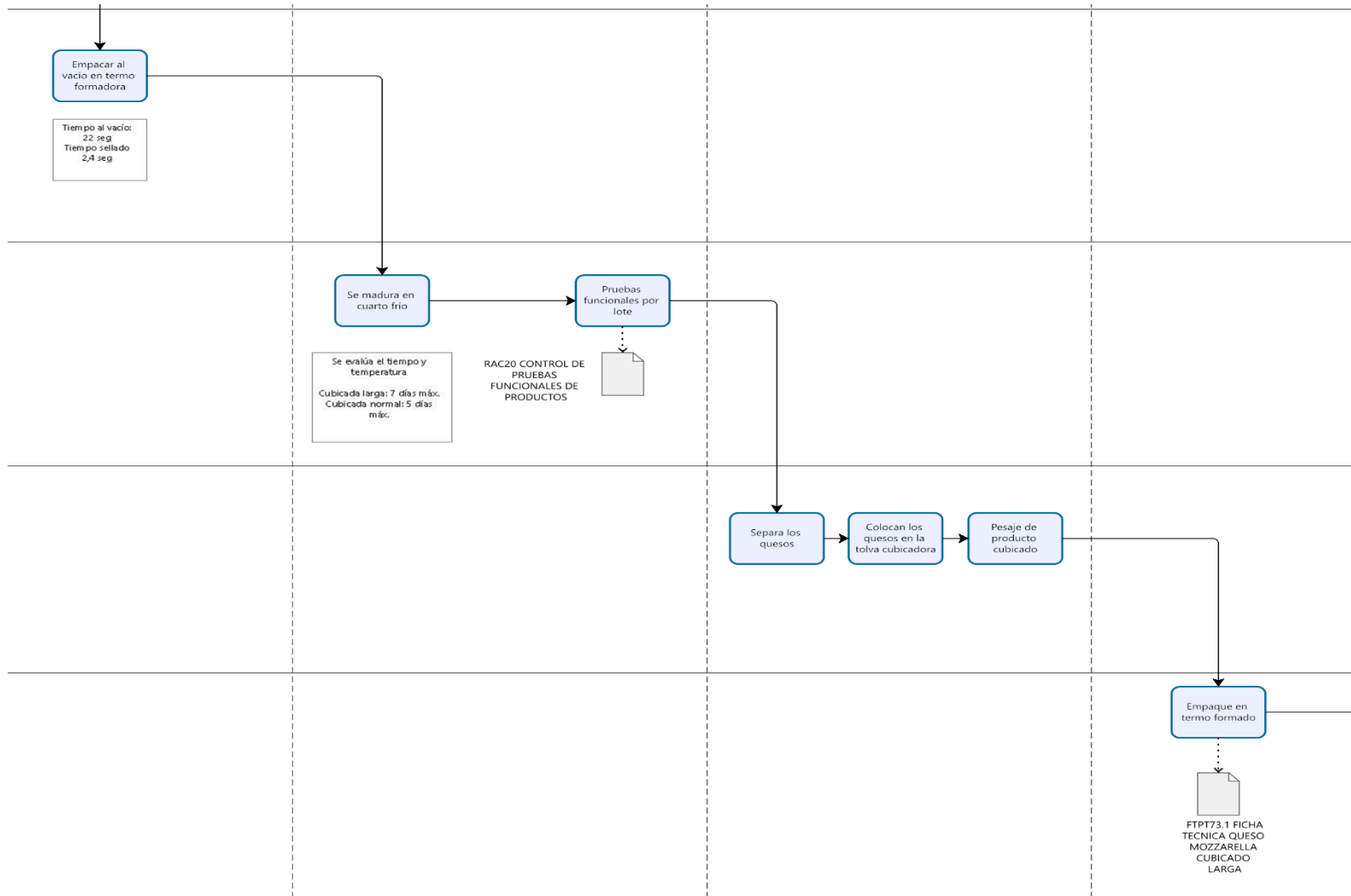
ANEXOS

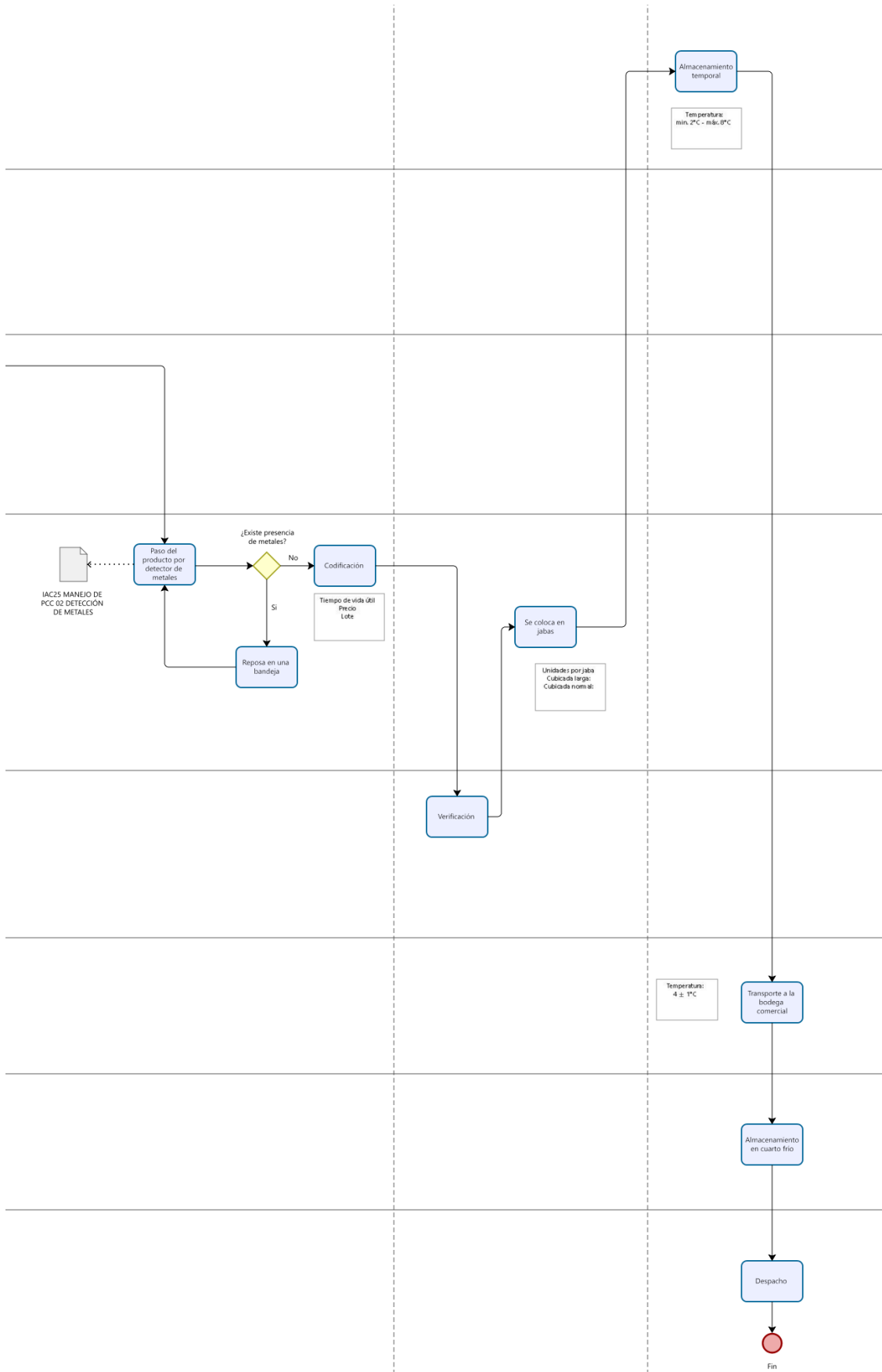
ANEXO 001. Diagrama de producción de Pasta Hilada de Queso











ANEXO 002. POE

a) POE 000: Estandarización de leche

Objetivo: Establecer un procedimiento estandarizado para la recepción, análisis, y estandarización de la leche utilizada en la producción de queso mozzarella en Ecuador, garantizando la calidad y consistencia del producto final.

Alcance: Este procedimiento se aplica a todo el personal involucrado en la recepción y estandarización de la leche en la planta de producción de queso mozzarella.

Responsables

- Jefe de Calidad
- Jefe de Producción
- Personal de Recepción y Control de Calidad
- Personal de Mantenimiento

Documentos Relacionados

- Manual de Calidad
- Procedimientos de Análisis de Laboratorio
- Registros de Calibración y Mantenimiento

Procedimiento

1. Automatización de Procesos

- **Evaluación de Procesos:**
 - Realizar un análisis de los procesos actuales de recepción y tratamiento de la leche.
 - Identificar áreas donde se puede implementar automatización (e.g., medición de parámetros, registros).
- **Implementación de Tecnología:**
 - Seleccionar y adquirir equipos automatizados para el control de calidad y medición de parámetros (p.ej., sensores de grasa, pH, temperatura).
 - Integrar los equipos en el sistema de gestión de producción.
- **Capacitación del Personal:**
 - Capacitar al personal en el uso de los equipos automatizados y en la interpretación de datos.

2. Implementación de Protocolo de Recepción y Análisis de Calidad

- **Criterios de Aceptación:**
 - Definir parámetros de calidad de la leche, incluyendo contenido graso (2.4% - 2.6%), pH, y carga microbiológica.
- **Protocolo de Muestreo:**
 - Establecer un procedimiento de muestreo aleatorio de cada lote de leche recibido.
 - Documentar el tamaño de muestra y método de muestreo.
- **Análisis de Calidad:**
 - Realizar análisis de laboratorio para verificar el cumplimiento de los criterios de aceptación.
 - Registrar los resultados en el sistema de gestión de calidad.
- **Acciones Correctivas:**
 - En caso de rechazo, notificar al proveedor y documentar las razones del rechazo.

3. Calibración y Mantenimiento Regular de Equipos de Separación de Grasa

- **Calendario de Calibración:**
 - Establecer un calendario para la calibración y mantenimiento de equipos de análisis (e.g., separadores de grasa).
- **Ejecutar Calibraciones:**
 - Realizar calibraciones mensuales y registrar los resultados en un documento específico.
- **Mantenimiento Preventivo:**
 - Programar el mantenimiento preventivo de los equipos según las recomendaciones del fabricante.

4. Estandarización de Procedimientos Operativos y Control de Calidad

- **Documentación de Procedimientos:**
 - Documentar todos los procedimientos operativos relacionados con la recepción y tratamiento de leche.
- **Manual de Procedimientos:**
 - Crear y distribuir un manual de procedimientos operativos estandarizados para el personal.
- **Capacitación:**
 - Capacitar al personal en los procedimientos estandarizados y realizar evaluaciones periódicas.

- **Control de Calidad:**
 - Implementar controles de calidad en todas las etapas del proceso, desde la recepción hasta la producción.

5. Monitoreo Continuo del Proceso

- **Definición de KPIs:**
 - Establecer indicadores clave de rendimiento (KPIs) como tiempo de respuesta en la recepción, tasa de rechazo, y variabilidad en el contenido graso.
- **Implementación de Sistemas de Monitoreo:**
 - Instalar sistemas de monitoreo para registrar datos en tiempo real de los procesos.
- **Análisis de Datos:**
 - Revisar los datos de producción mensualmente y documentar cualquier desviación de los parámetros establecidos.
- **Acciones Correctivas:**
 - Implementar acciones correctivas en caso de desviaciones y realizar seguimiento a su efectividad.

6. Documentación y Registros

- Mantener registros de todas las actividades realizadas, incluyendo:
 - Resultados de análisis de calidad.
 - Registros de calibración y mantenimiento.
 - Documentación de capacitaciones.

7. Auditorías y Revisiones

- Realizar auditorías internas trimestrales para verificar el cumplimiento del POE.
- Revisar y actualizar el procedimiento según sea necesario, basado en los resultados de las auditorías y cambios en la normativa.

b) POE 001: *Automatización de Procesos*

Objetivo: Optimizar la producción y reducir errores mediante la automatización de procesos.

Alcance: Este procedimiento se aplica a todos los procesos de producción de cuajada ácida.

Responsable: Jefe de Producción y personal de Tecnología de la Información (TI).

Procedimiento:

1. Evaluación de Procesos:

- Realizar un análisis detallado de cada etapa de producción.
- Identificar puntos críticos que puedan beneficiarse de la automatización.
- Involucrar al personal operativo en la identificación de problemas.

2. Selección de Tecnología:

- Investigar y seleccionar tecnologías que se alineen con los objetivos de automatización.
- Solicitar cotizaciones y evaluar proveedores.
- Realizar una evaluación de costo-beneficio.

3. Implementación:

- Planificar la instalación de sistemas automatizados, minimizando interrupciones en la producción.
- Instalar y configurar el software y hardware seleccionados.
- Probar el sistema en un entorno controlado antes de la implementación completa.

4. Capacitación del Personal:

- Desarrollar un plan de capacitación para todos los operadores y supervisores.
- Realizar sesiones de capacitación prácticas sobre el uso de la nueva tecnología.
- Proporcionar manuales de usuario y material de referencia.

5. Monitoreo y Evaluación:

- Establecer métricas de rendimiento para evaluar la efectividad de la automatización.
- Revisar el sistema regularmente para asegurarse de que funcione según lo previsto.
- Realizar ajustes según sea necesario y documentar cambios.

c) POE 002: *Implementación de Protocolo de Recepción y Análisis de Calidad*

Objetivo: Asegurar que las materias primas cumplan con los estándares de calidad.

Alcance: Este protocolo se aplica a todas las materias primas recibidas en la planta.

Responsable: Jefe de Calidad y personal de Recepción.

Procedimiento:

1. Criterios de Aceptación:

- Establecer especificaciones claras de calidad para cada tipo de materia prima.
- Documentar los criterios de aceptación/rechazo.

2. Protocolo de Muestreo:

- Definir el tamaño de la muestra y la frecuencia de muestreo.
- Desarrollar un procedimiento para el muestreo aleatorio de lotes.
- Documentar el método de muestreo utilizado.

3. Análisis de Calidad:

- Capacitar al personal en el uso de equipos de análisis.
- Realizar análisis físicos, químicos y microbiológicos según el tipo de materia prima.
- Registrar los resultados de cada análisis en un sistema centralizado.

4. Documentación y Acciones:

- Documentar todos los resultados y cualquier incidente de rechazo.
- Informar al proveedor en caso de que un lote no cumpla con los estándares.
- Implementar acciones correctivas y seguimiento de las mismas.

5. Auditorías y Revisiones:

- Realizar auditorías periódicas del protocolo de recepción.
- Revisar y actualizar el protocolo según los resultados de las auditorías.

d) POE 003: *Calibración y Mantenimiento Regular de Equipos de Separación de Grasa*

Objetivo: Mantener la precisión y eficacia de los equipos de separación de grasa.

Alcance: Este procedimiento se aplica a todos los equipos de separación de grasa en la planta.

Responsable: Personal de Mantenimiento y Jefe de Producción.

Procedimiento:

1. Calendario de Calibración:

- Establecer un calendario de calibración basado en las recomendaciones del fabricante.
- Incluir registros de calibración en el manual de operaciones del equipo.

2. Procedimientos de Calibración:

- Desarrollar procedimientos detallados para la calibración de cada tipo de equipo.
- Incluir los instrumentos necesarios y los estándares de referencia.

3. Ejecutar Calibraciones:

- Asignar personal responsable para realizar calibraciones según el calendario.
- Registrar cada calibración realizada, incluyendo resultados y cualquier ajuste realizado.

4. Mantenimiento Preventivo:

- Establecer un programa de mantenimiento preventivo basado en horas de operación.
- Documentar todas las actividades de mantenimiento y sus resultados.

5. Evaluación del Rendimiento:

- Evaluar periódicamente el rendimiento de los equipos para identificar posibles mejoras.
- Implementar acciones correctivas en caso de que se detecten problemas.

e) POE 004: Estandarización de Procedimientos Operativos y Control de Calidad

Objetivo: Crear un marco coherente para los procedimientos operativos y el control de calidad.

Alcance: Este procedimiento se aplica a todas las operaciones de producción y control de calidad.

Responsable: Jefe de Operaciones y Jefe de Calidad.

Procedimiento:

1. Documentación de Procedimientos:

- Identificar todos los procedimientos operativos actuales y documentarlos.
- Incluir diagramas de flujo y descripciones detalladas de cada paso.

2. Establecimiento de Mejores Prácticas:

- Investigar y documentar mejores prácticas en la industria.
- Involucrar al personal en la identificación de mejoras potenciales.

3. Manual de Procedimientos:

- Crear un manual que incluya todos los procedimientos estandarizados.
- Asegurar que el manual esté fácilmente accesible para todo el personal.

4. Capacitación del Personal:

- Desarrollar un programa de capacitación para todos los empleados sobre los procedimientos estandarizados.
- Realizar sesiones de capacitación prácticas y evaluar el conocimiento adquirido.

5. Control de Calidad:

- Implementar controles de calidad en cada etapa del proceso.
- Documentar resultados y realizar auditorías regulares para verificar el cumplimiento.

f) POE 005: *Monitoreo Continuo del Proceso*

Objetivo: Mantener la calidad y eficiencia de los procesos de producción.

Alcance: Este procedimiento se aplica a todos los procesos de producción.

Responsable: Jefe de Producción y personal de Control de Calidad.

Procedimiento:

1. Definición de KPIs:

- Establecer indicadores clave de rendimiento (KPIs) específicos para cada proceso.
- Incluir métricas de calidad, eficiencia y costos.

2. Implementación de Sistemas de Monitoreo:

- Instalar sistemas de monitoreo en tiempo real para capturar datos de producción.
- Asegurar que el personal esté capacitado en el uso de estos sistemas.

3. Análisis de Datos:

- Realizar análisis periódicos de los datos recopilados para identificar tendencias y desviaciones.
- Documentar los hallazgos y recomendaciones para mejoras.

4. Señales de Alerta:

- Establecer umbrales para cada KPI que desencadenen alertas cuando se superen.
- Definir procedimientos para la respuesta a estas alertas.

5. Revisión y Mejora Continua:

- Realizar reuniones periódicas para revisar el rendimiento y discutir posibles mejoras.
- Implementar acciones correctivas y registrar los resultados.

ANEXO 003. Cronograma de Implementación

Título: Cronograma de Implementación del Plan de Mejora

Mes 1			
Semana	Actividad	Descripción	Responsable
1	Adquisición de Equipos y Materiales	Compra de sensores en línea, kits de prueba rápidos, y materiales de capacitación.	Equipo de Compras
2-3	Capacitación Inicial del Personal	Capacitación en el uso de nuevos equipos y procedimientos operativos estándar (POEs).	Recursos Humanos
3-4	Instalación de Sensores en Línea	Instalación de sensores para monitoreo en tiempo real del contenido graso en la leche.	Equipo Técnico
4	Desarrollo de Procedimientos Operativos Estándar	Redacción y revisión de POE para asegurar consistencia en la producción y el uso de nuevos equipos.	Calidad y Producción

Mes 2			
Semana	Actividad	Descripción	Responsable
1-2	Pruebas Iniciales y Ajustes	Realización de pruebas iniciales con los sensores y ajustes en los parámetros de producción.	Equipo Técnico
2-3	Implementación del Sistema de Ajuste en Tiempo Real	Configuración del sistema para realizar ajustes automáticos basados en datos de los sensores.	IT y Producción
4	Definición de Criterios de Aceptación/Rechazo	Establecimiento de criterios claros para aceptación/rechazo de lotes basados en datos en tiempo real.	Calidad

Mes 3			
Semana	Actividad	Descripción	Responsable
1	Calibración de Equipos y Ajuste Final de Procesos	Realización de calibraciones periódicas y ajustes finales en los procesos.	Mantenimiento
2	Capacitación Continua del Personal	Sesiones de capacitación adicionales enfocadas en nuevas habilidades y actualización de POE.	Recursos Humanos
3-4	Inicio de Registro y Monitoreo Continuo de Parámetros de Producción	Implementación de gráficos de control estadístico para monitoreo en tiempo real.	Calidad y Producción

Mes 4			
Semana	Actividad	Descripción	Responsable
1-2	Revisión y Optimización del Proceso	Análisis de datos recolectados, revisión de resultados y optimización de procesos.	Calidad y Producción

3-4	Mantenimiento Preventivo y Revisión de Equipos	Realización de mantenimiento preventivo y verificación del estado de los equipos.	Mantenimiento
-----	---	---	---------------

Mes 5			
Semana	Actividad	Descripción	Responsable
1-2	Auditoría Interna y Evaluación de Resultados	Evaluación de los resultados obtenidos hasta la fecha mediante auditorías internas.	Auditoría Interna
3	Capacitación en Revisión y Actualización de POE	Capacitación adicional para asegurar que los POE se mantengan actualizados y efectivos.	Recursos Humanos

Mes 6			
Semana	Actividad	Descripción	Responsable
1-2	Implementación de Acciones Correctivas	Implementación de acciones correctivas basadas en los resultados de las auditorías y análisis previos.	Calidad y Producción
3-4	Reporte Final y Ajustes Futuros	Presentación de un informe final sobre el proceso de implementación, con recomendaciones para el futuro.	Dirección y Gerencia

ANEXO 004. Formatos para la Recolección de Datos

Título: Formato de Recolección de Datos de Grasa en Leche

Formato:

Fecha	Lote	Hora	Operador	Contenido de Grasa (%)	Observaciones	Firma
Revisado por:			Firma:			

ANEXO 005. Proceso para diagnóstico y evaluación inicial

1. **Evaluar la Situación Actual:** Realiza un diagnóstico detallado de la calidad de la leche y de las prácticas actuales de manejo.
2. **Identificar Problemas Clave:** Detecta las áreas críticas donde se necesita mejorar.

Desarrollo de Propuestas y Estrategias

1. **Definir Objetivos Claros:** Establece objetivos específicos y medibles para la mejora de la calidad de la leche.
2. **Elaborar un Plan de Acción:** Desarrolla un plan detallado que incluya las acciones a tomar, los recursos necesarios y los plazos.

Implementación de Medidas

1. **Capacitación y Educación:** Implementa programas de capacitación para todos los involucrados en la producción.
2. **Adquisición de Equipos:** Compra y utiliza equipos modernos para el control de calidad.
3. **Optimización de Prácticas:** Mejora las prácticas de manejo de animales y de la cadena de suministro.

Monitoreo y Evaluación Continua

1. **Indicadores de Rendimiento:** Define indicadores clave de rendimiento (KPIs) para evaluar el progreso.
2. **Revisiones Periódicas:** Realiza revisiones periódicas para asegurar que las mejoras se mantengan y para ajustar las estrategias según sea necesario.

Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) en la estandarización de leche para la producción de quesos mozzarella pueden ayudar a monitorear y mejorar la eficiencia y calidad del proceso.

1. Contenido de Grasa de la Leche Estandarizada:

- **Objetivo:** Asegurarse de que el contenido de grasa se mantenga dentro del rango específico (por ejemplo, 2.4% - 2.6%).
- **Métrica:** Porcentaje de muestras que cumplen con el rango de grasa establecido.

2. Rendimiento de Queso:

- **Objetivo:** Maximizar la cantidad de queso producido por unidad de leche.
- **Métrica:** Kilogramos de queso producido por cada 100 litros de leche.

3. Calidad del Queso Mozzarella:

- **Objetivo:** Garantizar que el queso cumpla con los estándares de calidad especificados.
- **Métrica:** Número de lotes que cumplen con las pruebas de textura, sabor y apariencia.

4. Tiempo de Proceso:

- **Objetivo:** Reducir el tiempo necesario para la estandarización de la leche.
- **Métrica:** Tiempo promedio desde la recepción de la leche hasta que se estandariza.

5. Índice de Rechazo:

- **Objetivo:** Reducir la cantidad de leche o queso rechazado por no cumplir con los estándares de calidad.
- **Métrica:** Porcentaje de leche o queso rechazado sobre el total producido.

6. Costo por Unidad Producida:

- **Objetivo:** Reducir los costos de producción.
- **Métrica:** Costo total dividido por la cantidad de queso mozzarella producido.

7. Cumplimiento de Normativas Sanitarias:

- **Objetivo:** Asegurar que todas las operaciones cumplan con las regulaciones sanitarias y de seguridad alimentaria.
- **Métrica:** Número de incidentes de incumplimiento normativo.

8. Satisfacción del Cliente:

- **Objetivo:** Asegurar que los productos cumplan con las expectativas del cliente.
- **Métrica:** Índice de satisfacción del cliente basado en encuestas y feedback.

9. Eficiencia de Uso de Ingredientes:

- **Objetivo:** Optimizar el uso de ingredientes adicionales (e.g., aditivos, sal) durante la estandarización y producción.
- **Métrica:** Cantidad de ingredientes adicionales utilizados por lote de leche estandarizada.

Implementar y monitorear estos KPIs puede ayudar a mejorar la eficiencia, calidad y sostenibilidad del proceso de estandarización de leche para la producción de pasta hilada de queso.

ANEXO 006: CALENDARIO DE MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN

1. Frecuencia del Mantenimiento y Calibración:

- **Diario:**
 - Inspección visual de equipos.
 - Limpieza de componentes externos.
 - Verificación de niveles de lubricantes.
- **Semanal:**
 - Revisión de componentes críticos (sellos, válvulas, sensores).
 - Verificación de alineación de piezas móviles.
 - Inspección de sistemas de seguridad.
- **Mensual:**
 - Calibración de sensores de contenido graso.
 - Ajuste de separadores centrífugos.
 - Revisión de conexiones eléctricas y de software.
 - Reemplazo de filtros y lubricantes según el manual del fabricante.
- **Trimestral:**
 - Mantenimiento completo del sistema de separación.
 - Prueba de rendimiento de los equipos en condiciones simuladas de operación.
 - Verificación del software de control y actualización si es necesario.
 - Inspección y ajuste de todos los componentes móviles.
- **Anual:**
 - Desmontaje completo de los equipos para limpieza y mantenimiento profundo.
 - Revisión y actualización de los registros de calibración y mantenimiento.
 - Evaluación de la vida útil de los componentes principales y planificación de reemplazos.
 - Auditoría del sistema de mantenimiento y ajuste de procedimientos.

2. Registro y Documentación:

- **Formato de Registro:**
 - Cada mantenimiento o calibración debe registrarse en un sistema de gestión de mantenimiento (GMAO) o en registros físicos.

- Los registros deben incluir la fecha, el tipo de mantenimiento, el personal responsable, las acciones realizadas, y cualquier observación o anomalía detectada.
- **Responsabilidad:**
 - Asignar responsables específicos para cada tarea de mantenimiento y calibración.
 - Recursos Humanos debe asegurarse de que el personal esté capacitado y certificado para realizar estas tareas.

3. Herramientas y Recursos:

- **Herramientas de Calibración:**
 - Uso de herramientas certificadas para la calibración de sensores y equipos de medición.
- **Recursos de Mantenimiento:**
 - Stock de repuestos críticos (sellos, filtros, lubricantes).
 - Acceso a manuales técnicos y software de diagnóstico.
- **Capacitación:**
 - Formación continua del personal en técnicas de mantenimiento y uso de nuevas tecnologías o actualizaciones de equipos.

4. Indicadores de Éxito:

- **Reducción de Falla:** Disminución en el número de fallos o paradas inesperadas de los equipos.
- **Mejora en Precisión:** Mantener la precisión en la medición del contenido de grasa dentro de los límites especificados.
- **Cumplimiento del Calendario:** Lograr un 100% de cumplimiento del calendario de mantenimiento sin retrasos.

Código en programa Python para realizar la Gráfica de Control de Contenido Graso de Estandarización de leche con datos tomados en la industria

July 31, 2024

```
[7]: import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.stats import norm

# Datos de grasa antes de las mejoras
grasa_antes_mejoras = [
    2.38, 3.10, 2.72, 2.51, 2.73, 2.85, 2.41, 2.72, 2.21, 2.34,
    2.41, 2.63, 2.29, 2.59, 2.68, 2.59, 2.49, 2.59, 2.70, 2.39,
    2.34, 2.56, 2.77, 2.79, 2.24, 2.73, 2.69, 2.43, 2.50
]

# Cálculo de la media y límites de control
media_antes = np.mean(grasa_antes_mejoras)
desviacion_estandar_antes = np.std(grasa_antes_mejoras, ddof=1)

# Límites de control
ucl_antes = media_antes + 3 * desviacion_estandar_antes # Upper Control Limit
↳(Límite Superior de Control)
lcl_antes = media_antes - 3 * desviacion_estandar_antes # Lower Control Limit
↳(Límite Inferior de Control)

# Límites de especificación
les = 2.6 # Límite Superior de Especificación
lei = 2.4 # Límite Inferior de Especificación

# Configuración de la figura con la campana de Gauss y la gráfica de control
fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(1, 2, figsize=(15, 6),
↳gridspec_kw={'width_ratios': [1, 2]})

# Gráfica de la campana de Gauss
x_antes = np.linspace(media_antes - 4 * desviacion_estandar_antes, media_antes +
↳4 * desviacion_estandar_antes, 100)
y_antes = norm.pdf(x_antes, media_antes, desviacion_estandar_antes)
ax1.plot(y_antes, x_antes, color='blue')
```

```

ax1.fill_between(x_antes, 0, y_antes, color='blue', alpha=0.2)
ax1.set_title('Distribución de Gauss')
ax1.set_xlabel('Densidad')
ax1.set_ylabel('Grasa real')

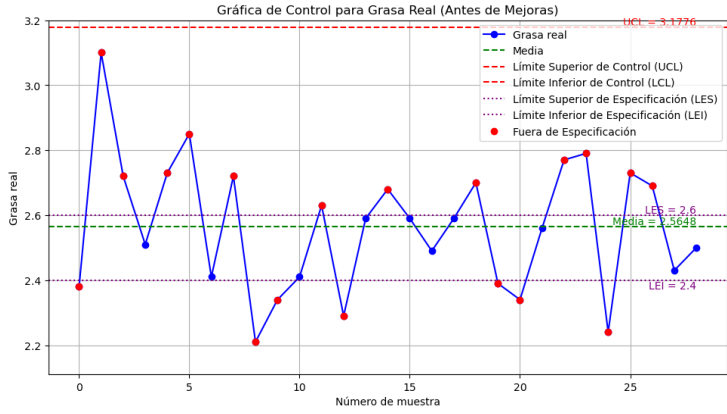
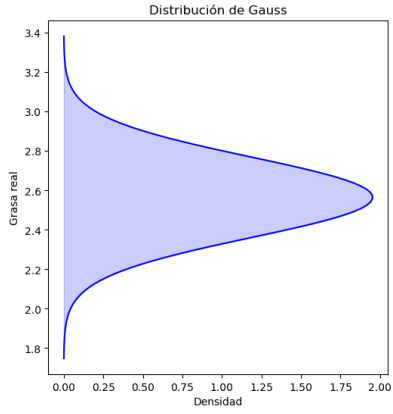
# Gráfica de control
ax2.plot(grasa_antes_mejoras, marker='o', linestyle='-', color='blue',
        ↪label='Grasa real')
ax2.axhline(media_antes, color='green', linestyle='--', label='Media')
ax2.axhline(ucl_antes, color='red', linestyle='--', label='Límite Superior de
        ↪Control (UCL)')
ax2.axhline(lcl_antes, color='red', linestyle='--', label='Límite Inferior de
        ↪Control (LCL)')
ax2.axhline(les, color='purple', linestyle=':', label='Límite Superior de
        ↪Especificación (LES)')
ax2.axhline(lei, color='purple', linestyle=':', label='Límite Inferior de
        ↪Especificación (LEI)')
ax2.text(len(grasa_antes_mejoras) - 1, ucl_antes, f'UCL = {ucl_antes:.4f}',
        ↪color='red', va='bottom', ha='right')
ax2.text(len(grasa_antes_mejoras) - 1, lcl_antes, f'LCL = {lcl_antes:.4f}',
        ↪color='red', va='top', ha='right')
ax2.text(len(grasa_antes_mejoras) - 1, media_antes, f'Media = {media_antes:.
        ↪4f}', color='green', va='bottom', ha='right')
ax2.text(len(grasa_antes_mejoras) - 1, les, f'LES = {les}', color='purple',
        ↪va='bottom', ha='right')
ax2.text(len(grasa_antes_mejoras) - 1, lei, f'LEI = {lei}', color='purple',
        ↪va='top', ha='right')

# Resaltar puntos fuera de los límites de especificación
out_of_spec_indices = [i for i, x in enumerate(grasa_antes_mejoras) if x > les
        ↪or x < lei]
out_of_spec_values = [grasa_antes_mejoras[i] for i in out_of_spec_indices]
ax2.plot(out_of_spec_indices, out_of_spec_values, 'ro', label='Fuera de
        ↪Especificación')

ax2.set_title('Gráfica de Control para Grasa Real (Antes de Mejoras)')
ax2.set_xlabel('Número de muestra')
ax2.set_ylabel('Grasa real')
ax2.legend()
ax2.grid(True)
ax2.set_ylim(min(grasa_antes_mejoras) - 0.1, max(grasa_antes_mejoras) + 0.1)

plt.tight_layout()
plt.show()

```



LCL = 1.9520

Código en programa Python para realizar la Gráfica de Control de Contenido Graso de Estandarización de leche con datos simulados con las mejoras

July 31, 2024

```
[1]: import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.stats import norm

# Datos de grasa después de las mejoras
grasa_despues_mejoras = [
    2.45, 2.55, 2.52, 2.49, 2.54, 2.51, 2.50, 2.53, 2.47, 2.51,
    2.50, 2.53, 2.48, 2.52, 2.50, 2.51, 2.49, 2.52, 2.50, 2.48,
    2.51, 2.50, 2.53, 2.54, 2.49, 2.52, 2.50, 2.51, 2.50
]

# Cálculo de la media y límites de control
media_despues = np.mean(grasa_despues_mejoras)
desviacion_estandar_despues = np.std(grasa_despues_mejoras, ddof=1)

# Límites de control
ucl_despues = media_despues + 3 * desviacion_estandar_despues # Upper Control
↳Limit (Límite Superior de Control)
lcl_despues = media_despues - 3 * desviacion_estandar_despues # Lower Control
↳Limit (Límite Inferior de Control)

# Límites de especificación
les = 2.6 # Límite Superior de Especificación
lei = 2.4 # Límite Inferior de Especificación

# Configuración de la figura con la campana de Gauss y la gráfica de control
fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(1, 2, figsize=(15, 6),
↳gridspec_kw={'width_ratios': [1, 2]})

# Gráfica de la campana de Gauss
x_despues = np.linspace(media_despues - 4 * desviacion_estandar_despues,
↳media_despues + 4 * desviacion_estandar_despues, 100)
y_despues = norm.pdf(x_despues, media_despues, desviacion_estandar_despues)
ax1.plot(y_despues, x_despues, color='blue')
```



```

ax1.fill_between(x_despues, 0, y_despues, color='blue', alpha=0.2)
ax1.set_title('Distribución de Gauss')
ax1.set_xlabel('Densidad')
ax1.set_ylabel('Grasa real')

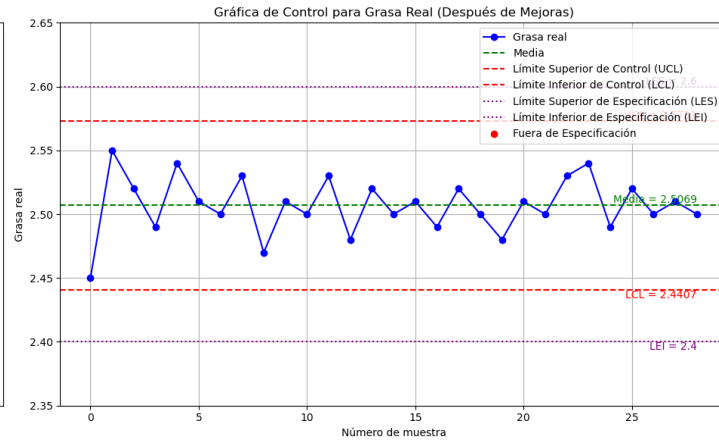
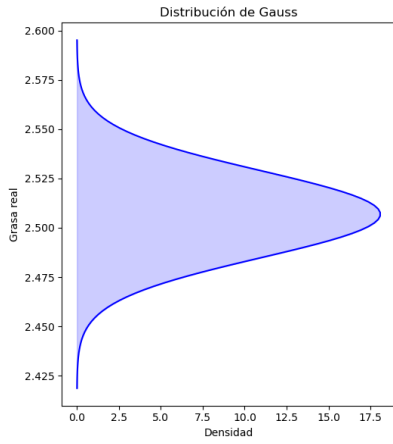
# Gráfica de control
ax2.plot(grasa_despues_mejoras, marker='o', linestyle='-', color='blue',
        ↪label='Grasa real')
ax2.axhline(media_despues, color='green', linestyle='--', label='Media')
ax2.axhline(ucl_despues, color='red', linestyle='--', label='Límite Superior de
        ↪Control (UCL)')
ax2.axhline(lcl_despues, color='red', linestyle='--', label='Límite Inferior de
        ↪Control (LCL)')
ax2.axhline(les, color='purple', linestyle=':', label='Límite Superior de
        ↪Especificación (LES)')
ax2.axhline(lei, color='purple', linestyle=':', label='Límite Inferior de
        ↪Especificación (LEI)')
ax2.text(len(grasa_despues_mejoras) - 1, ucl_despues, f'UCL = {ucl_despues:.
        ↪4f}', color='red', va='bottom', ha='right')
ax2.text(len(grasa_despues_mejoras) - 1, lcl_despues, f'LCL = {lcl_despues:.
        ↪4f}', color='red', va='top', ha='right')
ax2.text(len(grasa_despues_mejoras) - 1, media_despues, f'Media = {media_despues:
        ↪.4f}', color='green', va='bottom', ha='right')
ax2.text(len(grasa_despues_mejoras) - 1, les, f'LES = {les}', color='purple',
        ↪va='bottom', ha='right')
ax2.text(len(grasa_despues_mejoras) - 1, lei, f'LEI = {lei}', color='purple',
        ↪va='top', ha='right')

# Resaltar puntos fuera de los límites de especificación
out_of_spec_indices = [i for i, x in enumerate(grasa_despues_mejoras) if x > les
        ↪or x < lei]
out_of_spec_values = [grasa_despues_mejoras[i] for i in out_of_spec_indices]
ax2.plot(out_of_spec_indices, out_of_spec_values, 'ro', label='Fuera de
        ↪Especificación')

ax2.set_title('Gráfica de Control para Grasa Real (Después de Mejoras)')
ax2.set_xlabel('Número de muestra')
ax2.set_ylabel('Grasa real')
ax2.legend()
ax2.grid(True)
ax2.set_ylim(min(grasa_despues_mejoras) - 0.1, max(grasa_despues_mejoras) + 0.1)

plt.tight_layout()
plt.show()

```



[]:

Código en programa Python para realizar la Gráfica de Control y Campana de Gauss de Contenido Graso de Estandarización de leche con datos antes y después de las mejoras

July 31, 2024

```
[2]: import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy.stats as stats

# Datos originales y mejorados
grasa_real_original = [2.38, 3.10, 2.72, 2.51, 2.73, 2.85, 2.41, 2.72, 2.21, 2.
↪34, 2.41, 2.63, 2.29, 2.59, 2.68, 2.59, 2.49, 2.59, 2.70, 2.39, 2.34, 2.56, 2.
↪77, 2.79, 2.24, 2.73, 2.69, 2.43, 2.50]
grasa_real_mejorada = [2.45, 2.55, 2.52, 2.49, 2.54, 2.51, 2.50, 2.53, 2.47, 2.
↪51, 2.50, 2.53, 2.48, 2.52, 2.50, 2.51, 2.49, 2.52, 2.50, 2.48, 2.51, 2.50, 2.
↪53, 2.54, 2.49, 2.52, 2.50, 2.51, 2.50]

# Limites personalizados
UCL_custom = 2.6
LCL_custom = 2.4
mean_custom = 2.5

# Función para calcular MR y MR_bar
def calcular_MR(datos):
    MR = [abs(datos[i+1] - datos[i]) for i in range(len(datos) - 1)]
    MR_bar = np.mean(MR)
    return MR, MR_bar

# Calcular MR y MR_bar para datos originales y mejorados
MR_original, MR_bar_original = calcular_MR(grasa_real_original)
MR_mejorada, MR_bar_mejorada = calcular_MR(grasa_real_mejorada)

# Límites de control para MR
UCL_MR_original = MR_bar_original * 3.267
UCL_MR_mejorada = MR_bar_mejorada * 3.267
LCL_MR = 0

# Identificar puntos fuera de especificación para los datos originales
```

```

out_of_spec_original = [i for i, x in enumerate(grasa_real_original) if x >_
↳UCL_custom or x < LCL_custom]
out_of_spec_mejorada = [i for i, x in enumerate(grasa_real_mejorada) if x >_
↳UCL_custom or x < LCL_custom]

# Gráfica de control para datos originales
fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(2, 1, figsize=(10, 8))
ax1.plot(grasa_real_original, marker='o', linestyle='-', color='b', label='Grasa_
↳Real')
ax1.scatter(out_of_spec_original, [grasa_real_original[i] for i in_
↳out_of_spec_original], color='r', zorder=5, label='Fuera de Especificación')
ax1.axhline(mean_custom, color='g', linestyle='--', label='Media (2.5)')
ax1.axhline(UCL_custom, color='r', linestyle='--', label='UCL (2.6)')
ax1.axhline(LCL_custom, color='r', linestyle='--', label='LCL (2.4)')
ax1.set_title('Gráfica de Control I - Datos Originales')
ax1.set_xlabel('Observación')
ax1.set_ylabel('Grasa Real')
ax1.legend()
ax1.grid(True)

ax2.plot(MR_original, marker='o', linestyle='-', color='b')
ax2.axhline(MR_bar_original, color='g', linestyle='--', label='MR_bar')
ax2.axhline(UCL_MR_original, color='r', linestyle='--', label='UCL_MR')
ax2.axhline(LCL_MR, color='r', linestyle='--', label='LCL_MR')
ax2.set_title('Gráfica de Control MR - Datos Originales')
ax2.set_xlabel('Observación')
ax2.set_ylabel('Rango Móvil')
ax2.legend()
ax2.grid(True)

plt.tight_layout()
plt.show()

# Gráfica de control para datos mejorados
fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(2, 1, figsize=(10, 8))
ax1.plot(grasa_real_mejorada, marker='o', linestyle='-', color='b', label='Grasa_
↳Real')
ax1.scatter(out_of_spec_mejorada, [grasa_real_mejorada[i] for i in_
↳out_of_spec_mejorada], color='r', zorder=5, label='Fuera de Especificación')
ax1.axhline(mean_custom, color='g', linestyle='--', label='Media (2.5)')
ax1.axhline(UCL_custom, color='r', linestyle='--', label='UCL (2.6)')
ax1.axhline(LCL_custom, color='r', linestyle='--', label='LCL (2.4)')
ax1.set_title('Gráfica de Control I - Datos Mejorados')
ax1.set_xlabel('Observación')
ax1.set_ylabel('Grasa Real')
ax1.legend()

```

```

ax1.grid(True)

ax2.plot(MR_mejorada, marker='o', linestyle='-', color='b')
ax2.axhline(MR_bar_mejorada, color='g', linestyle='--', label='MR_bar')
ax2.axhline(UCL_MR_mejorada, color='r', linestyle='--', label='UCL_MR')
ax2.axhline(LCL_MR, color='r', linestyle='--', label='LCL_MR')
ax2.set_title('Gráfica de Control MR - Datos Mejorados')
ax2.set_xlabel('Observación')
ax2.set_ylabel('Rango Móvil')
ax2.legend()
ax2.grid(True)

plt.tight_layout()
plt.show()

# Crear un rango de valores para las distribuciones
x = np.linspace(2, 3.5, 1000)

# Distribución normal para los datos originales
pdf_original = stats.norm.pdf(x, mean_custom, np.std(grasa_real_original))

# Distribución normal para los datos mejorados
pdf_mejorada = stats.norm.pdf(x, mean_custom, np.std(grasa_real_mejorada))

# Graficar las distribuciones
plt.figure(figsize=(10, 6))

# Campana de Gauss para datos originales
plt.plot(x, pdf_original, 'b-', label=f'Datos Originales (media={mean_custom:.2f}, std={np.std(grasa_real_original):.2f})')

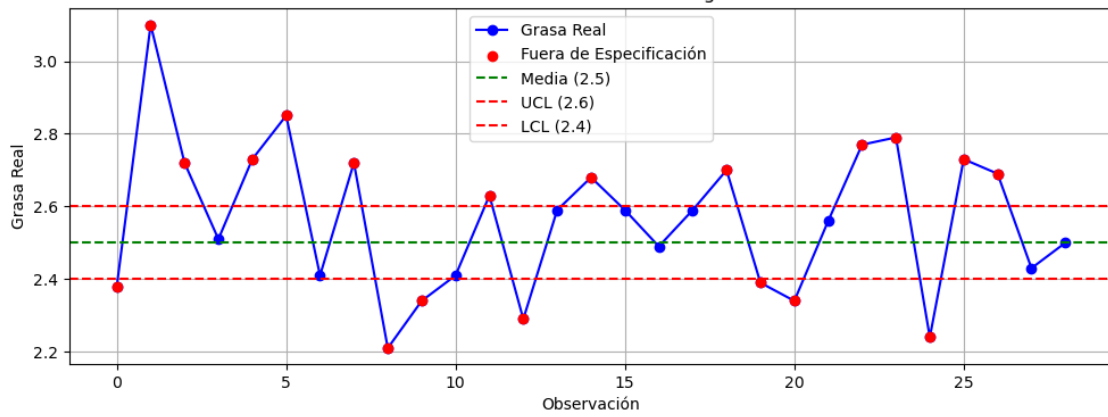
# Campana de Gauss para datos mejorados
plt.plot(x, pdf_mejorada, 'r-', label=f'Datos Mejorados (media={mean_custom:.2f}, std={np.std(grasa_real_mejorada):.2f})')

# Títulos y etiquetas
plt.title('Campanas de Gauss - Grasa en Proceso de Estandarización de Leche')
plt.xlabel('Grasa Real')
plt.ylabel('Densidad de Probabilidad')
plt.legend()

plt.grid(True)
plt.show()

```

Gráfica de Control I - Datos Originales



Gráfica de Control MR - Datos Originales

