

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA LEAN SIX SIGMA EN UNA EMPRESA DE LÁCTEOS

IMPLEMENTATION OF A LEAN SIX SIGMA SYSTEM IN A DAIRY COMPANY

E. Urias Ornelas¹
M. Bernabé Sánchez²
G. N. Ordoñez Cherris³
M. Mojarro Magaña⁴

RESUMEN

El proyecto busca la implementación de la metodología Lean Six Sigma en una empresa dedicada a la elaboración de productos lácteos, utilizando el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), con el objetivo de identificar los factores que afectan el pH de la leche. Se realizó un muestreo aleatorio durante 30 días para determinar la variación del pH a lo largo del proceso productivo. Se identificaron como factores subyacentes la temperatura de almacenamiento, el tiempo de pasteurización y el tipo de envase utilizado. Con estos factores se diseñó un experimento 3^3 obteniendo 27 corridas. Los resultados obtenidos indican que operar a una temperatura de 10°C en el almacenamiento, un tiempo de pasteurización de 20 minutos y el uso de envases de cartón, reduce la variabilidad del pH de la leche. Tras el análisis se realizó la evaluación de la capacidad del proceso, evidenciando mejoras en la variable de respuesta.

ABSTRACT

The project seeks to implement the Lean Six Sigma methodology in a company dedicated to the production of dairy products, using the DMAIC cycle (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) with the aim of identifying the factors that affect the pH of milk. A random sampling was conducted over 30 days to determine the variation of the pH throughout the production process. The underlying factors identified were storage temperature, pasteurization time, and the type of container used. Based on these factors, a 3^3 experiment was designed, resulting in 27 runs. The results obtained indicate that operating at a storage temperature of 10°C , a pasteurization time of 20 minutes, and using cardboard containers reduces the variability of the milk's pH. After the analysis, a process capability evaluation was performed, showing improvements in the response variable.

ANTECEDENTES

En la actualidad, la industria láctea enfrenta desafíos significativos en términos de eficiencia operativa, control de calidad y sostenibilidad. La implementación de diversas metodologías como Lean Six Sigma (LSS) se muestran como una estrategia efectiva para abordar estas problemáticas, desde una perspectiva de los principios de Lean Manufacturing (Manufactura Esbelta) y Six Sigma con el objetivo de eliminar desperdicios y reducir la variabilidad en los procesos productivos.

El método Lean para producción y fabricación es una colección de prácticas de negocio, estrategias y métodos que se enfocan en la eliminación de los desperdicios (o desechos) y la mejora continua dentro de la organización como menciona Mayoral y Socuéllamos (2022). Para Socconini (2019) el poder de Lean Manufacturing radica en descubrir continuamente

¹ Estudiante. TecNM / Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán. lc20290942@cdguzman.tecnm.mx

² Estudiante. TecNM / Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán. l21290642@cdguzman.tecnm.mx

³ Estudiante. TecNM / Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán. l21290950@cdguzman.tecnm.mx

⁴ Profesor. TecNM / Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán. maria.mm@cdguzman.tecnm.mx

las oportunidades de mejora que esconde toda empresa pues siempre existirán desperdicios que podrán ser eliminados.

Por su parte Acosta (2006) menciona que el Seis Sigma es una metodología de gestión de la calidad que busca mejorar la eficiencia y eficacia de los procesos mediante la reducción de la variabilidad y la eliminación de defectos, combinando herramientas estadísticas con principios de gestión de calidad para alcanzar niveles óptimos de desempeño. El propósito y la meta consiste en disminuir las variaciones en los productos, logrando 3.4 defectos por millón de oportunidades, Pascual (2021).

Para Socconini, y Escobedo (2021), la metodología Seis Sigma se basa en el ciclo DMAIC (por sus siglas en inglés): Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, consiste en la aplicación proyecto a proyecto de un proceso estructurado en cada una de estas etapas.

La convergencia entre Lean Manufacturing y Seis Sigma representa una evolución significativa en la optimización de procesos y la mejora continua en diversas industrias como menciona Navarro y Zahoul (2023). En la investigación de Vidal et. al (2018) se muestra que ambas metodologías pueden integrarse en pro de la solución de un problema aplicado en la industria láctea, lo que permite adoptar este tipo de enfoque híbrido para organizar y analizar la problemática, aumentar la capacidad del proceso y reducir los productos no conforme.

En los últimos años, diversas empresas del sector lácteo han implementado la metodología Lean Six Sigma con resultados positivos en la optimización de sus procesos productivos. Un estudio realizado por Montañez (2017) implementó el concepto de Seis Sigma con la metodología DMAIC y se determinó cuáles eran las áreas donde había mayor porcentaje de desperdicio (merma) y sus posibles causas. De esta forma se permitió recuperar el 75% del producto que estaba destinado a pérdida y se impactó positivamente el costo en la elaboración de otros productos.

De manera similar, Chu et. al (2018) destacaron cómo empresas estadounidenses del sector lácteo, como Dean Foods, utilizaron Six Sigma para reducir el desperdicio en la producción de leche y derivados. En particular, la metodología permitió estandarizar el contenido de grasa, lo que contribuyó a mejorar la eficiencia a lo largo de toda la cadena de suministro. En un contexto similar, Rodríguez et al. (2022) analizaron una planta procesadora de leche para la fabricación de quesos en la provincia de Cotopaxi, Ecuador, a través de la metodología Lean Seis Sigma se evidencia la mejora en la producción de quesos y el control de los parámetros de calidad con el consecuente incremento de sus ventas y ganancias.

Por otro lado, González y Vallejo (2023) documentaron la implementación de herramientas Lean Seis Sigma para determinar los criterios de calidad en la producción de yogurt, identificar la causa raíz de la pérdida de producto y la implementación de soluciones a las causas identificadas para disminuir la pérdida de producto terminado en la empresa Lácteos Orión en el barrio Plateado de Popayán.

En este contexto una empresa láctea busca aplicar Lean Six Sigma para lograr mejoras significativas en la eficiencia operativa y la calidad del producto. Este proyecto tiene como objetivo implementar dicha metodología en una empresa dedicada a la elaboración de

productos lácteos, con el propósito de optimizar sus procesos productivos, reducir desperdicios y asegurar la entrega de productos de alta calidad a los consumidores.

Actualmente el desempeño de la leche, en el área de producción no cumple con la meta de alcanzar un pH adecuado (índice que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una disolución según la RAE). Esta situación genera problemas de variación afectando directamente a la leche, ya que, al no alcanzar los niveles adecuados, el producto no se encuentra en condiciones óptimas para extender su caducidad.

La ausencia de un enfoque estructurado para identificar y analizar las causas raíz de esta variación ha impedido la implementación de soluciones efectivas dentro de la empresa. Por esta razón, el proyecto no solo busca mejorar los niveles de calidad del producto, sino también establecer un marco estructurado basado en la metodología Lean Six Sigma, que permita optimizar los procesos productivos, reducir variaciones y mejorar la eficiencia operativa, sentando las bases para una cultura de mejora continua dentro de la organización. La aplicación de este proyecto permite a los alumnos implementar esta metodología en un caso real, trascendiendo el conocimiento teórico y aplicando las etapas estructuradas del DMAIC, para fomentar la identificación de problemas y la propuesta de soluciones efectivas para la organización.

METODOLOGÍA

Para abordar el problema de la variación en el pH que afecta la calidad de los productos se implementó la metodología Lean Seis Sigma basada en el DMAIC, que se muestra en la Figura 1.

Figura 1. *Etapas de Lean Seis Sigma.*



Definir. Constituye la primera etapa de la metodología donde se identifica el problema relacionado con la variación del pH, lo que implica analizar su impacto en el proceso y en la calidad del producto. Asimismo, se establecen los objetivos específicos que orientarán el proyecto hacia soluciones efectivas, medibles y alineadas a las expectativas de los clientes.

Medir. En esta etapa, se recopilan los datos necesarios sobre las mediciones del pH a lo largo del proceso de producción. Se cuantifica la magnitud de la variación y se realiza un análisis estadístico de la distribución de los datos para determinar su frecuencia y las posibles tendencias, esto se realiza a través del análisis de la estadística descriptiva y el comportamiento de los gráficos de control.

Analizar. Se centra en la evaluación detallada de las causas raíz que provocan las variaciones del pH. Se realiza un análisis exhaustivo para identificar los factores que contribuyen a estas fluctuaciones, tales como el control de la temperatura, la calidad de las materias primas o el

calibrado de los equipos de medición, entre otras que se pueden observar en el diagrama de Ishikawa. El objetivo aquí es comprender los factores que están afectando el comportamiento del pH y, por ende, la calidad del producto.

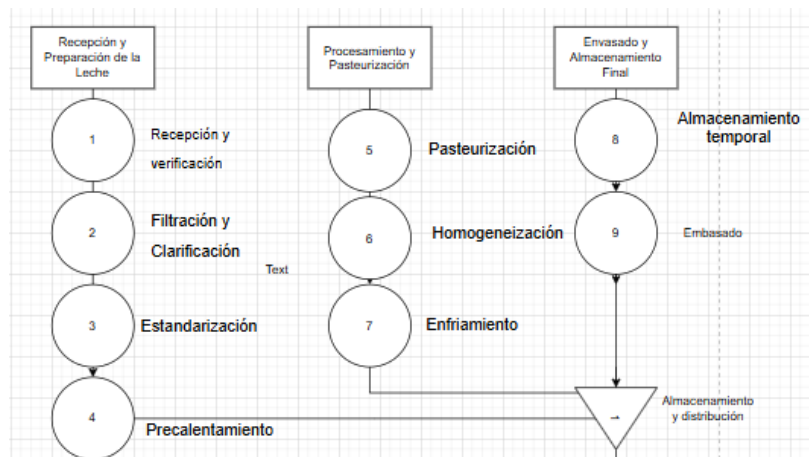
Mejorar. Se implementan las soluciones propuestas para corregir las variaciones del pH identificadas en la fase de análisis. Se ajustan los parámetros del proceso productivo, se optimizan las prácticas de control de calidad y se mejoran los equipos de medición, buscando estabilizar el pH dentro de los rangos óptimos. El objetivo es lograr mejoras sostenibles que garanticen un control efectivo del pH y, por ende, una mejor calidad del producto final. En esta etapa se realizó un diseño de experimentos con los factores más relevantes considerados en la etapa anterior.

Controlar. En esta última etapa, se asegura que las mejoras implementadas se mantengan a lo largo del tiempo. Se establecen controles periódicos para monitorear el pH y se verifican los resultados mediante auditorías continuas. Además, se establecen procedimientos para realizar ajustes cuando se detectan desviaciones fuera del rango esperado. El objetivo es asegurar la estabilidad del proceso a largo plazo, mantener los estándares de calidad y prevenir nuevas variaciones del pH.

RESULTADOS

Entre los productos lácteos que produce la empresa, destaca el de mayor demanda: la leche. Este producto esencial requiere cumplir estrictos estándares de calidad para garantizar tanto su seguridad como la satisfacción para sus consumidores. En la Figura 2 se puede observar el proceso de producción al que es sometida la leche para su distribución y comercialización.

Figura 2. Diagrama del proceso de la leche.



El control adecuado del pH resulta crucial, ya que influye directamente en las propiedades sensoriales y en la estabilidad del producto. En la leche, el pH aceptable se encuentra dentro de un rango más estrecho, de 6.5 a 6.9, lo que garantiza su frescura y estabilidad, además de prevenir la presencia de microorganismos indeseados. Mantener el pH y las condiciones de producción en un rango óptimo asegura la calidad y frescura de los productos lácteos, centrándose en el control de la temperatura de almacenamiento y el tiempo de pasteurización,

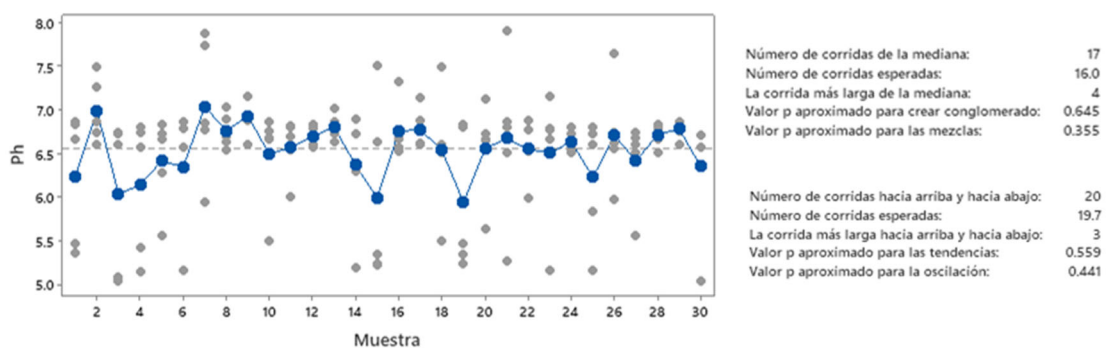
así como el envase utilizado, estos parámetros son el objetivo definido durante la etapa de Definir.

El monitoreo constante del pH se lleva a cabo mediante el uso de pH-metros, instrumentos precisos que permiten medir de manera rápida y efectiva los niveles de acidez durante las diferentes etapas de producción. Estos dispositivos aseguran que el pH se mantenga dentro de los rangos establecidos, lo que posibilita la detección inmediata de cualquier desviación que pueda comprometer la calidad del producto.

Para garantizar un control de calidad representativo y efectivo, se recolectan un promedio de 1 a 2 muestras por día, asegurando una distribución uniforme a lo largo del tiempo. En ciertos días clave, se tomaron 5 muestras cada 3 días, permitiendo capturar variaciones diarias en el control de la temperatura y el tiempo de almacenamiento. Los horarios de muestreo para analizar cómo cambia el pH a lo largo del día, se establecieron tres horarios de medición en días alternos, en la mañana (6:00 - 8:00 a.m.): se toma la muestra justo después de que la leche llega del ordeño o del inicio del procesamiento, en la tarde (12:00 - 2:00 p.m.) se toma una muestra del mismo lote para observar cambios en reposo o debido a temperatura y por la noche (6:00 - 8:00 p.m.): Se realiza una última medición del día para detectar posibles variaciones en almacenamiento.

En el análisis del comportamiento de las muestras, se obtuvo un 30% de resultados no satisfactorios, los cuales no cumplen con el rango de medición exitoso. Con base en estos resultados, se comprueba que algunos productos no cumplen con el estándar establecido para el pH, como se muestra en la Figura 3 por lo que resulta necesario identificar los factores que afectan la variación y calidad el pH.

Figura 3. Gráfico de Control de corridas de pH de la leche.



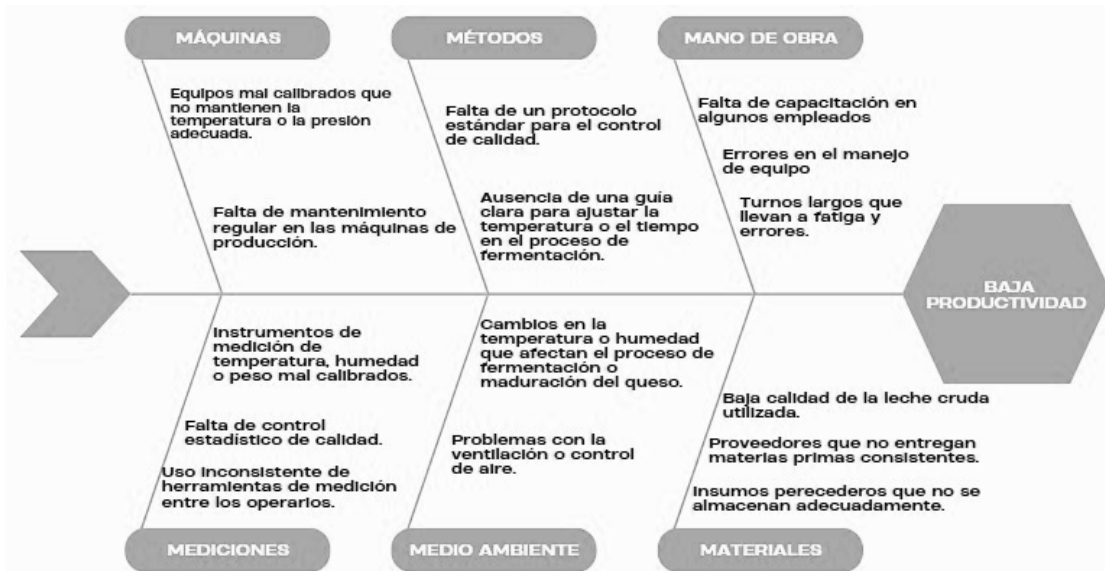
Con base en las estadísticas descriptivas presentadas en la Figura 4, se obtuvo una media de pH de 6.5336, con un valor mínimo de 5.0400 y un máximo de 7.9100, lo que indica una alta variabilidad en los valores medidos. Esta variabilidad se refleja en una desviación estándar de 0.6013, lo que evidencia una dispersión significativa de los datos en torno a la media. Dicha dispersión podría estar afectando la calidad del producto, al no garantizar la estabilidad necesaria dentro de los parámetros establecidos.

Figura 4. Estadísticas Descriptiva del pH de la leche.

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Ph	150	0	6.5336	0.0491	0.6013	5.0400	6.5300	6.6850	6.8225	7.9100

El análisis de las causas raíz de las variaciones del pH realizado en la etapa de Analizar tiene como objetivo identificar los factores subyacentes que están provocando fluctuaciones fuera de los parámetros establecidos. Durante este análisis, se observa en la Figura 5 que las variaciones en el pH podrían estar relacionadas con diversas causas, como la calidad inconsistente de los ingredientes utilizados, variaciones en la temperatura durante el proceso de producción, o fallos en el calibrado de los equipos de medición. Además, se plantea que la falta de un control adecuado en las etapas críticas del proceso, como la pasteurización o la homogeneización, puede estar contribuyendo a la fluctuación del pH.

Figura 5. Diagrama de Ishikawa.



Para la siguiente etapa que es la de Mejora, los factores considerados para analizar que pueden influir significativamente en el pH de la leche son: la temperatura de almacenamiento, el tiempo de pasteurización y el tipo de envase. Realizando un diseño de un experimento con 3 factores y 3 niveles para buscar la combinación que genere una mayor calidad en el Ph como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. *Diseño de experimentos.*

Factor	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Temperatura de almacenamiento	5°C	10°C	15°C
Tiempo de pasteurización en minutos	10	15	20
Tipo de envase	Plástico	Cartón	Vidrio

Con este diseño se realizaron 27 corridas de forma aleatoria en la producción de leche, para analizar estadísticamente la influencia de los factores en la variable de respuesta que es el pH de la leche, los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. *Resultado de las corridas del diseño de experimentos.*

Corrida	Temperatura de almacenamiento	Tiempo de pasteurización	Tipo de envases	pH
1	5°C	10	Plástico	6.508
2	5°C	10	Cartón	6.508
3	5°C	10	Vidrio	6.700
4	5°C	15	Plástico	6.650
5	5°C	15	Cartón	5.470
6	5°C	15	Vidrio	5.360
7	5°C	20	Plástico	6.600
8	5°C	20	Cartón	6.450
9	5°C	20	Vidrio	7.000
10	10°C	10	Plástico	6.900
11	10°C	10	Cartón	6.850
12	10°C	10	Vidrio	6.580
13	10°C	15	Plástico	6.650
14	10°C	15	Cartón	7.740
15	10°C	15	Vidrio	7.100
16	10°C	20	Plástico	6.680
17	10°C	20	Cartón	6.530
18	10°C	20	Vidrio	6.890
19	15°C	10	Plástico	6.480
20	15°C	10	Cartón	6.620
21	15°C	10	Vidrio	6.450
22	15°C	15	Plástico	7.050
23	15°C	15	Cartón	6.900
24	15°C	15	Vidrio	6.600
25	15°C	20	Plástico	6.800
26	15°C	20	Cartón	6.700
27	15°C	20	Vidrio	6.500

El análisis de varianza del diseño de experimento mostrado en la Figura 6 indica que la temperatura de almacenamiento y su interacción con el tiempo de pasteurización son los factores más relevantes y deben controlarse y optimizarse para mejorar la calidad del producto. El tipo de envase y sus interacciones no tienen un impacto significativo, por lo que no son factores prioritarios para el control del proceso.

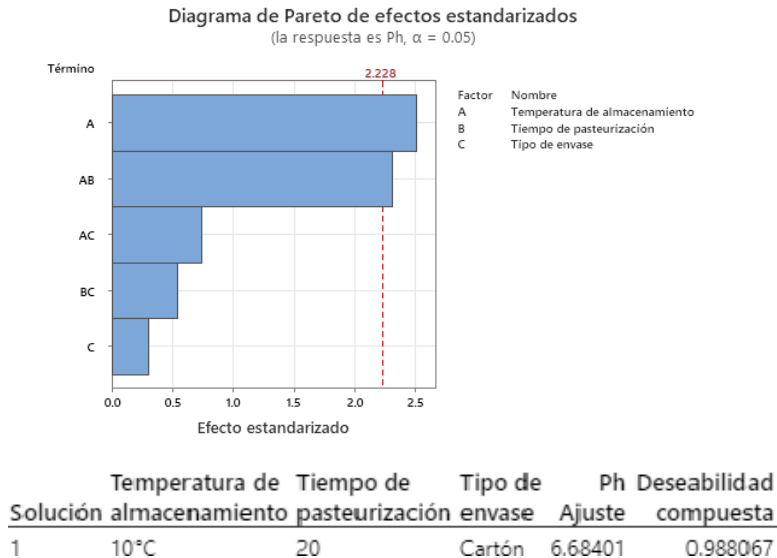
Figura 6. Análisis de Varianza del diseño de experimentos.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Modelo	16	3.93283	0.24580	2.00
Lineal	4	1.30305	0.32576	2.65
Temperatura de almacenamiento	2	1.23725	0.61863	5.03
Tipo de envase	2	0.06579	0.03290	0.27
Interacciones de 2 términos	12	2.62978	0.21915	1.78
Temperatura de almacenamiento*Tiempo de pasteurización	4	1.80788	0.45197	3.67
Temperatura de almacenamiento*Tipo de envase	4	0.46702	0.11675	0.95
Tiempo de pasteurización*Tipo de envase	4	0.35489	0.08872	0.72
Error	10	1.23006	0.12301	
Total	26	5.16288		

Fuente	Valor p
Modelo	0.134
Lineal	0.096
Temperatura de almacenamiento	0.031
Tipo de envase	0.771
Interacciones de 2 términos	0.184
Temperatura de almacenamiento*Tiempo de pasteurización	0.043
Temperatura de almacenamiento*Tipo de envase	0.475
Tiempo de pasteurización*Tipo de envase	0.597
Error	
Total	

En el Diagrama de Pareto de la Figura 7 se observa que los factores más importantes para considerar en el proceso son la temperatura de almacenamiento (Factor A) y su interacción con el tiempo de pasteurización (Interacción AB). Los demás factores e interacciones no son estadísticamente significativos, por lo que no son prioritarios en el control de la respuesta (pH).

Figura 7. Diagrama de Pareto del diseño de experimentos.

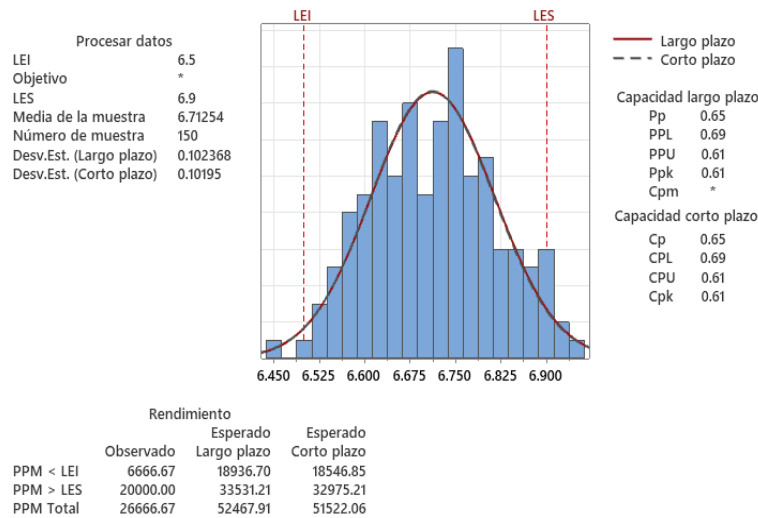


Como resultado del diseño de experimentos para una optimización de la variable de respuesta que permita mejorar el pH de la leche, se sugiere trabajar bajo una temperatura de 10°C en

el almacenamiento, un tiempo de pasteurización de 20 minutos y trabajar con un envase de cartón, esto para permitir que el pH está ajustado aproximadamente en 6.68401.

En la Figura 8 se muestra un análisis que evalúa la capacidad de un proceso optimizado para alcanzar un pH de la leche dentro de los límites de especificación de 6.5 a 6.9. Esta medición de capacidad de proceso resulta crucial para verificar si el proceso mejorado es consistente y cumple con los estándares de calidad requeridos. Proporciona métricas de rendimiento tanto a largo como a corto plazo permitiendo identificar posibles áreas de ajuste para mejorar la estabilidad del proceso.

Figura 8. *Análisis de la capacidad del proceso.*



Los límites de especificación y las desviaciones estándar a largo plazo y corto plazo son de 0.102368 y 0.10195 respectivamente lo que indica una variabilidad similar en ambas métricas. Tanto el índice de capacidad de proceso a largo plazo (Pp) como el índice de capacidad a corto plazo (Cp) son ambos de 0.65 lo que sugiere que el proceso, aunque está centrado tiene dificultades para mantenerse dentro de los límites de especificación de manera consistente.

Los índices de capacidad ajustada a largo y corto plazo (Ppk y Cpk) son de 0.61 lo que indica que el proceso tiene un sesgo y está más cerca del límite inferior. Estos valores sugieren que el proceso necesita un mayor control de variabilidad para asegurar que más productos queden dentro de los límites de especificación.

CONCLUSIONES

En conclusión, el proyecto de implementación de Lean Seis Sigma para la reducción de variabilidad en el pH de la leche fue llevado a cabo con éxito, logrando mantener los valores dentro de los límites de especificación propuestos (6.5 - 6.9) controlando los factores críticos: temperatura de almacenamiento y su interacción con el tiempo de pasteurización. Se propuso trabajar bajo una temperatura de 10°C en el almacenamiento, un tiempo de pasteurización de 20 minutos y con envases de cartón. Además de esta mejora, la organización ahora cuenta

con una metodología estructurada para identificar y analizar las causas raíz, lo que le permitirá enfocarse en estudiar cómo los cambios en la temperatura y el tiempo de pasteurización afectan la respuesta, con el fin de lograr mejores resultados en el producto final.

La implementación de Lean Seis Sigma en un entorno real permite mejorar la formación en ingeniería, ya que facilita el desarrollo de habilidades en análisis estadístico, toma de decisiones basada en datos y optimización de procesos mediante la aplicación de herramientas de mejora continua. Este enfoque no solo refuerza la vinculación entre la parte académica y el sector productivo, sino que también contribuye a la preparación de futuros profesionales para enfrentar los desafíos de la industria con una visión estratégica y orientada a la mejora continua.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, R. J. H. (2006). *Seis Sigma un modelo de gestión. Prospectiva*, 4(2), 47-50.
- Chu, D. R. C., Vásquez, J. A. Q., Bernal, L. A. B., Rossell, M. C. L., & Parra, O. A. G. (2018). *Buenas prácticas en gestión de manufactura utilizando la metodología Lean Manufacturing en las empresas de consumo masivo de alimentos en el Perú (Tesis de maestría)*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- González, M. C. T., & Vallejo, L. N. F. (s. f.). *Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para la reducción de pérdida de producto en la empresa Lácteos Orión ubicada en el barrio Plateado de Popayán*
- Mayoral, M. A. M., & Socuélamos, J. M. (2022). *Lean Seis Sigma para la mejora de procesos*. Universidad Miguel Hernández.
- Montañez Cáliz, J. E. (2017). *Desarrollo de un plan para la reducción de merma utilizando la metodología Seis Sigma en una planta de productos lácteos*. *Manufacturing Competitiveness*.
- Navarro, S. M., & Zahoul, J. E. G. (2023). *Aplicación de la metodología Six Sigma en la industria de alimentos*. *UCV-SCIENTIA*, 15(2), 52-61.
- Pascual Sulca, E. M. (2021). *Lean Six Sigma: Metodología para la implementación de procesos de mejora en las organizaciones. Caso práctico empresa privada*.
- Rodríguez, L. T. C., Beltrán, X. E., & Viera, R. G. (2022). *Metodología Lean Six Sigma para el proceso de fabricación de quesos frescos*. *Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas*, 6(1), 44-58.
- Socconini, L. (2019). *Lean manufacturing. Paso a paso*. Marge books.
- Socconini, L., & Escobedo, E. (2021). *Lean Six Sigma Green Belt, paso a paso*. Marge Books.
- Vidal, G. H., Aguas, Y. P., & Puello, E. V. (2017). *Enfoque seis sigma y proceso analítico jerárquico en empresa del sector lácteo*. *Revista Venezolana de gerencia*, 22(80), 610-636.