

Diseño para la Implementación de la Metodología Seis Sigma en una Línea de Producción de Queso Fresco

Annabel Moreano¹, Ing. Patricio Cáceres²

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador

anna2582@hotmail.com¹, pcaceres@espol.edu.ec²

Resumen

Este trabajo consiste en una guía para la implementación de la metodología Seis Sigma en un proceso de producción. Este caso se enfocó en una planta procesadora de queso fresco y se estableció como finalidad el mejoramiento de la calidad del producto, reducir los costos innecesarios provocados por fallas de proceso, incrementar los beneficios para la empresa y consolidar el trabajo en equipo de sus empleados.

En este proyecto se presenta información de la metodología, orígenes, etapas, herramientas involucradas, información del producto y su procesamiento. Se complementa además con el desarrollo de un proyecto basado en información recopilada de la procesadora de queso empleando herramientas de Calidad y Estadística Descriptiva, las primeras para generar y organizar ideas y las otras para medir variables del proceso industrial. Durante el desarrollo del trabajo se determinó la variabilidad del proceso, se investigó las causas que la ocasionan y se gestionaron soluciones.

La integración de un Programa de Mejoramiento de Calidad Seis Sigma en cualquier planta procesadora permitirá encontrar soluciones a los problemas tanto en procesos de producción como en el producto, de esta manera las empresas mejorarán su calidad y consecuentemente incrementarán sus ventas, ganancias y mercado.

Palabras Claves: *calidad, Seis Sigma, método DMAMC, distribución normal, reproducibilidad, repetibilidad.*

Abstract

This thesis project is a guide for the implementation of the Six Sigma Methodology within a manufacturing process. This case was focused on a fresh cheese processing plant. Cheese quality improvement, reduction on unnecessary costs attributable to failure in the process, company profits increase, and teamwork reinforcement among the employees were the different aspects to be enhanced.

The methodology, origins, stages, tools, information about the product as well as its manufacturing process are shown along this project. It is complemented with a project development based on gathered data from the cheese manufacturing plant. In order to collect the necessary information different quality and descriptive statistics tools were used; the first ones helped to generate and organize ideas, while the others served to measure variable within the industrial process. During the work progress the variability of the process was determined, and its causes were researched. In addition, diverse solutions were proposed.

Six Sigma is a disciplined, data-driven approach and methodology for eliminating defects in any process – from manufacturing to transactional and from product to service. The fundamental objective of the Six Sigma methodology is the implementation of a measurement-based strategy that focuses on process improvement so that companies have a higher quality and, therefore, they can increase their sales, profits and target market.

Key words: *quality, Six Sigma, DMAIC process, normal distribution, reproducibility, repeatability*

1. Seis Sigma

1.1. ¿Qué es Seis Sigma?

Es una filosofía que integra el control estadístico de procesos y las herramientas de calidad total para determinar que tan lejos un proceso se desvía de la perfección, medir cuantas fallas existen y luego eliminarlas con la finalidad de obtener un proceso con cero defectos. Para su ejecución emplea cinco pasos: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAMC).

1.2. ¿Cómo se originó esta filosofía?

Seis Sigma tuvo origen en Motorola cuando Mikel Harry sugirió el estudio de la variación en los procesos de esta organización, esto provocó que se fije como meta empresarial obtener 3,4 defectos por millón de oportunidades en los procesos; basándose en el análisis de la variación y la aplicación de un programa de mejoramiento continuo.

Motorola entre 1987 y 1994 al incorporar Seis Sigma redujo su nivel de defectos por un factor de 200 y de esta manera sus costos de manufactura disminuyeron en \$1,4 billones, la productividad de sus empleados incrementó en un 126 % y el valor de las ganancias de sus accionistas se cuadruplicó.

1.3. Estructura de seis sigma

Para llevar a cabo un programa Seis Sigma en una empresa se requiere de un equipo humano, cuyos integrantes reciben diferente formación de acuerdo a su responsabilidad y se los identifica recurriendo a una analogía con las artes marciales de la siguiente forma:

Champion

Líder de la alta gerencia que sugiere y apoya proyectos, ayuda a obtener recursos necesarios y elimina obstáculos que impiden el éxito del proyecto [1].

Master Black Belt (MBB)

Es el experto en Seis Sigma que capacita a los Black Belts, en la metodología, herramientas y aplicaciones [1].

Black Belts (BB)

Lideran los equipos de trabajo Seis Sigma que son responsables de medir, analizar, mejorar y controlar procesos que afectan la satisfacción del cliente, la productividad y calidad [1].

Green Belts (GB)

Son los ayudantes de los Black Belts y son empleados de la organización que dirigen proyectos de mejora a nivel departamental [1].

1.4. Herramientas empleadas en seis sigma

Seis Sigma emplea tanto modelos estadísticos como instrumentos específicos de calidad. Dentro de las

herramientas de calidad se encuentran casi todas las desarrolladas por Calidad Total, como son:

- Procesos de Mejora Continua
- Diseño/Rediseño de Procesos
- Análisis de Varianza
- La Voz del Cliente
- Pensamiento Creativo
- Diseño de Experimentos
- Gerencia de Procesos
- Control Estadístico de Procesos

1.5. Método DMAMC

La metodología DMAMC constituye la base para la implementación de Seis Sigma en la empresa, las siglas pertenecen a las iniciales de los 5 pasos a seguirse y son:

Definir: El primer paso consiste en definir los requerimientos del cliente y convertirlos en los objetivos del mejoramiento de los procesos, controlando los estándares, creando una plataforma de medidas del proceso e identificando las fases críticas.

Medir: Una vez que los subprocesos clave fueron identificados, en la fase de “medida” se recolecta información acerca de defectos envueltos en el proceso de estudio.

Analizar: El análisis de la información ayuda a identificar las causas raíz de las variaciones a través de tendencias y relaciones observadas, que permiten deducir los pasos correctivos, también determina la cantidad de mejoras requeridas.

Mejorar: En la etapa de mejoramiento se buscan soluciones, que serán implementadas para eliminar o reducir los problemas identificados durante la etapa de “Análisis.”

Controlar: El nuevo sistema implementado es monitoreado periódicamente y de presentarse cualquier variación, se realizarán las acciones correctivas para asegurar que la productividad del mejoramiento sea sostenida.

2. Proceso de elaboración de queso fresco

2.1 Materia prima

La materia prima para la elaboración de queso fresco en nuestro medio es la leche de vaca, la misma que es sometida al correspondiente control de calidad al igual que los demás insumos empleados como son: cuajo líquido y cloruro de sodio.

Se realizan pruebas que determinen las características físicas, químicas y microbiológicas de cada muestra y se controla que se encuentren dentro de los parámetros establecidos en la tabla 1 de requisitos físico – químicos de la norma INEN 9 para leche cruda. A continuación se presentan las características analizadas y los rangos de los valores obtenidos en los análisis:

Tabla 1. Características físicas, químicas y microbiológicas de la leche

Características	Límites
Densidad relativa a 15 °C g/cm ³	1,028 mín. 1,031 máx.
Materia Grasa %	3,9 – 4,2
Sólidos no grasos %	8,2 – 8,6
Proteínas %	3,0 – 3,2
Acidez °D	16 - 18
Ensayo de Reductasa	2 – 5 horas
Prueba de Alcohol	Sin grumos

2.2 Proceso de elaboración

El proceso de elaboración de queso fresco consta de varias etapas descritas a continuación:

Recepción de leche

La leche que llega a la planta es sometida a análisis físico-químicos, para comprobar que cumple con los parámetros establecidos. Luego la leche es filtrada, pesada y enfriada a 4°C.

Pasteurización

La pasteurización es un tratamiento diseñado para eliminar todos los microorganismos patógenos, que bajo ciertas circunstancias pueden proliferar rápidamente en la leche y el queso, causando enfermedades. La leche es sometida a un tratamiento térmico de pasteurización a una temperatura de 72°C durante 15 segundos.

Enfriamiento

La leche pasteurizada enfriada sale a una temperatura aproximada de 30°C y pasa a la sección de quesos. Para la fase de coagulación se requiere que la leche tenga una temperatura de 35°C a 36°C, debido a esto la leche es calentada hasta alcanzar dicho valor.

Coagulación

La coagulación de la caseína es un proceso fundamental en la elaboración de queso y tiene lugar luego de la adición de cuajo.

El principio activo del cuajo es una enzima llamada quimosina, que actúa directamente en un punto delimitado de la caseína con calcio y destruye el efecto de coloide protector de la micela de caseína, desarrollándose el coágulo que atrapa a la mayoría de los componentes sólidos de la leche. Parte de la lactosa se transforma en ácido láctico, provocando acidificación que ayuda a que el coágulo se vaya contrayendo y expulsando suero.

Reposo

La leche reposa durante un tiempo aproximado de 30 minutos a una temperatura de 36°C, mientras se forma la cuajada.

Corte de cuajada

La cuajada se corta con una lira de corte, formando coágulos de diámetro pequeño. El tamaño del grano es proporcional al contenido de humedad deseado y al tipo de queso. La sinéresis o expulsión de lactosuero se produce por la reestructuración de la red proteica

continua que forman las micelas de paracaseína y depende de la firmeza del coágulo al momento del corte.

Agitación de cuajada

Para facilitar la separación de la cuajada del lactosuero, la masa es removida suavemente con un agitador hasta obtener la consistencia granulosa, aproximadamente por 20 minutos. Luego se lavan los granos con la adición de agua con temperatura de 40°C.

Drenaje del suero

El suero es drenado con el objetivo de dejar la parte sólida que constituye el queso. El grado de retención de agua en las micelas de caseína depende en su mayor parte de la pérdida de fosfato de calcio y ésta a su vez del pH en el momento que se retira el lactosuero de la cuajada. El suero es retirado de la marmita empleando baldes y colocado en grandes recipientes.

Moldeo

La cuajada se vierte en moldes rectangulares de acero inoxidable, o redondos de PVC y se los cubre con mallas rectangulares o redondas de polipropileno o paños de acuerdo a la forma que requiera la presentación del queso que se esté elaborando. El tiempo empleado en esta operación es de 30 a 40 minutos aproximadamente.

Prensado

En el prensado la cuajada es sometida a presión con el fin de facilitar la separación del suero. Los moldes son colocados sobre tabloncillos de madera previamente cubiertos por plásticos y se forman pisos, intercalando filas de quesos y tabloncillos. Los quesos son sometidos a presión mecánica por un tiempo de 30 o 40 minutos, dependiendo de la consistencia de la cuajada.

El prensado tiene por finalidad endurecer la masa de cuajada y eliminar el suero sobrante [2].

Salado

El salado se efectúa por inmersión de los quesos en salmuera de concentración 20°Baume y que está a una temperatura de 10°C, por un tiempo aproximado de 30 minutos. La inmersión de queso en salmuera hace que pierda humedad mediante un proceso en el que sale suero y entra sal al queso [2]. También se produce un intercambio de calcio por sodio en el paracaseinato, que provoca que el queso tenga una consistencia más suave.



Figura 1. Inmersión de quesos en salmuera

Envasado

Las presentaciones de 600g y 2000g de queso fresco son envasadas al vacío para su mejor conservación. Y la presentación de 500 g es envasada sin vacío empleando una selladora manual.

Almacenamiento y distribución

El queso es almacenado a una temperatura entre 5°C y 8 °C, durante su distribución se mantiene la

cadena de frío para evitar el deterioro del producto.



Figura 2. Almacenamiento de quesos en cámara de refrigeración

2.3 Producto final

Se define al producto como un queso no sometido a un proceso de maduración y se obtiene por separación del suero, después de la coagulación de la leche. Su estructura consiste en una fase discreta o discontinua de materia grasa dentro de una matriz continua de proteína altamente hidratada, tiene un pH y humedad con valores altos, debido a estas características es un producto altamente perecedero.

La planta procesa quesos en presentaciones de 500g, 600g y 2000g. Su tiempo de vida útil es de 15 días almacenado a una temperatura entre 5°C y 8°C.

El queso fresco presenta las siguientes características propias de su tipo.

Parámetros Físicos:

Corteza.- apenas perceptible, lisa

Color.- Blanco marfil

Pasta.- cerrada, ausencia de ojos u orificios, relativamente firme, algo elástica, húmeda.

Sensación táctil.- Húmedo y algo elástico.

Olor.- A cuajada fresca

Sabor.- ácido entre suave y fuerte, algo proteolizado, algo salado, mantecoso al paladar.

Forma.- Se elaboran quesos de forma:

Rectangular y redonda

Parámetros Químicos:

Humedad 50% - 56%

PH 6,2

Contenido de Grasa 25% - 45%

Parámetros Biológicos:

Tipo de microorganismo	valor máximo
------------------------	--------------

Colonias/g de <i>Escherichia coli</i>	100
---------------------------------------	-----

Colonias/g de <i>Staphylococcus aureus</i>	0
--	---

Colonias/g de Mohos y Levaduras	0
---------------------------------	---

Colonias/g de Salmonella	0
--------------------------	---

3. Desarrollo de la metodología seis sigma

Para el desarrollo de Seis Sigma primero se selecciona el proyecto en el que se va a trabajar, el cual debe ser bien definido en su alcance y con metas concretas que satisfagan los objetivos de la empresa.

La planta procesadora de lácteos tiene una línea de producción de queso fresco, que ha venido presentando problemas de calidad en el producto manifestándose a través de la hinchazón temprana del mismo; esto provocó quejas y devoluciones de quesos

por parte de los clientes. En vista de esta situación se planteó un proyecto con el objetivo de eliminar el abombamiento en quesos frescos, esta propuesta fue analizada en base a los siguientes criterios:

- Areas de mejoramiento
- Beneficios para el cliente
- Beneficios económicos
- Obstáculos para su desarrollo

El proyecto presentado se denominó: “Eliminación de abombamiento o hinchazón en queso fresco”. Adicionalmente se forma el equipo de trabajo, que se encargará de la aplicación de cada una de las etapas de DMAMC en el proyecto elegido.

3.1 Definir

En esta primera etapa se define el problema a resolver, su situación actual y las razones que justifican su solución.

Declaración del problema a resolver y objetivos

Caso del Negocio: En los últimos 6 meses se presentaron devoluciones de queso fresco de 600g y de 500g, ocasionando pérdidas económicas para la empresa.

Definición de Oportunidad: Mejorando la calidad del producto se logrará lo siguiente:

- Reducir las devoluciones
- Disminuir los costos por retrabajo y transporte de quesos en mal estado.
- Recuperar la confianza del consumidor y la elección para la re-compra, de ésta manera se incrementarían las ventas.

Definición de la Meta: Reducir los defectos en el producto terminado en un 100%, con una duración de 4 meses para el desarrollo del proyecto.

Alcance del Proyecto: El proyecto “Eliminación de abombamiento o hinchazón en queso fresco” se centra en la sección de producción de queso fresco de la empresa.



Figura 3. Orificios en la cara lateral de un queso rectangular de 600g. hinchado



Figura 4. Queso redondo de 500g. hinchado

Identificación del proceso

Para identificar y documentar el proceso de producción de quesos se realizan: diagramas de flujo, su narración y un mapeo del proceso, los que permitieron poner en conocimiento de todos los integrantes del equipo las fases que implica la elaboración de queso fresco.

Determinación de Variables Críticas de la Calidad

Para determinar las variables críticas de la calidad se necesita conocer las sugerencias, expectativas e inconformidades del cliente para con el producto, debido a esto se organizaron los comentarios de clientes y se los transformó en requisitos técnicos, calificándolos en una escala de prioridad de 1 a 5, los que obtuvieron los valores más altos determinaron las variables de salida del producto que se necesitan mejorar.

Las variables de salida del queso fresco en base al análisis de requisitos del cliente son: apariencia, textura, olor, sabor, firmeza, humedad y empaque.

Tabla 2. Variables críticas de la calidad

VARIABLE DEL PRODUCTO	IMPORTANCIA PARA EL CLIENTE	SITUACIÓN ACTUAL	PRIORIDAD EN EL PROYECTO
Apariencia	Es lo que el cliente percibe visualmente e influye en la intención de compra porque permite apreciar varias características del producto como su color, peso y dimensiones.	regular	5
Olor	El queso fresco debe tener su olor característico de su tipo, es decir a leche fresca.	bueno	5
Sabor	El sabor es dulce y ligeramente salado.	bueno	5
Textura	Pasta compacta, blanca y cerrada, ojos pequeños de origen mecánico.	mal	5
Firmeza o dureza	Firme no muy blando	bueno	1
Humedad	Húmedo	bueno	1
Empaque	El cliente se parca que el envase está limpio, sin perforaciones, que tenga impreso su fecha de elaboración y expiración y su respectivo registro sanitario. El producto debe estar empaquetado al vacío.	regular	3

Con la información de la tabla anterior se determinan 4 variables críticas de la calidad: apariencia, sabor, olor, textura y se adiciona como otra variable a las devoluciones por producto hinchado, porque fue el indicador del problema de calidad en queso fresco. Luego se utilizan las variables críticas de calidad en matrices para relacionarlas con cada fase del proceso.

En las matrices de relación se colocan las variables críticas asignando un valor numérico de 1 a 5 según su prioridad para el proyecto de eliminación de abombamiento en quesos y los subprocesos reciben la calificación de acuerdo al criterio del evaluador. Se contó con la participación de tres evaluadores: el jefe de planta, un obrero de la sección de quesos y el encargado de implementar Seis Sigma.

Los subprocesos que obtuvieron mayor puntuación y que se establecen como las etapas críticas para el proyecto son: recepción de leche, pasteurización, moldeo y salado, de cada subproceso se analizan las variables de salida para establecer las que tengan más importancia y relación con la hinchazón de quesos.

Cada variable de salida es evaluada en base a su función en el producto, situación actual y prioridad para el proyecto, con una escala de calificación que va desde 1 como valor más bajo hasta 5. Las tablas que describen las variables de salida se realizaron tomando en cuenta los requisitos definidos en las normas INEN

9, 10 y 1528 para leche cruda, pasteurizada y queso fresco respectivamente. Las variables que obtuvieron mayor puntuación y que constituyen las Y's del proyecto son:

Y1= Contenido de microorganismos en leche cruda

Y2= Contenido de aerobios mesófilos,

Y3= Contenido de coliformes totales y

Y4= Contenido de *Escherichia coli* en leche pasteurizada mediante técnica de vertido en cajas petri

Y5= Contenido de coliformes totales y

Y6= Contenido de *Escherichia coli* en queso fresco mediante la técnica de vertido en cajas petri

Y7= Contenido de coliformes totales,

Y8= Contenido de *Escherichia coli* y

Y9= Contenido de *Staphylococcus aureus* en queso fresco mediante inoculación en placas petrífilm

Las devoluciones de queso hinchado (Y10) se consideran como variable crítica debido a que fueron el medio para conocer la existencia del problema.

Las diez variables presentadas se convierten en las variables críticas (Y's) para el proyecto y son el punto de partida en la búsqueda de causas a realizarse más adelante en la fase de análisis.

3.2 Medida del rendimiento del proceso

En todo proyecto de mejoramiento de la calidad se necesita conocer la situación actual del proceso, mediante la medición de su rendimiento y para esto se efectúan estudios de repetibilidad y reproducibilidad, así como análisis de estabilidad y capacidad a cada una de las variables de salida críticas [3].

En la tabla 3 se pueden apreciar los valores obtenidos de los ensayos de reproducibilidad y repetibilidad aplicados a cada variable.

Tabla 3. Resultados de estudios de reproducibilidad y repetibilidad de variables de salida

VARIABLE	CONTRIBUCION DE LA PARTE	CONTRIBUCION DEL OPERADOR	%CONTRIBUCION DEL ENSAYO DE REPRODUCIBILIDAD Y REPETIBILIDAD	%ESTUDIO DE VARIACION DEL ENSAYO DE REPRODUCIBILIDAD Y REPETIBILIDAD	%TOLERANCIA DEL ENSAYO DE REPRODUCIBILIDAD Y REPETIBILIDAD	NUMERO DE CATEGORIAS
Y1	98.64	0.06	1.36	11.65	25.77	12
Y2	99.35	0.43	0.65	8.03	0.01	17
Y3	96.77	0.00	3.23	17.96	42.43	7
Y5	96.89	0.00	3.11	17.63	5.11	7

Y1= Contenido de microorganismos en leche cruda

Para esta variable el proceso de medición es marginalmente aceptable, la variabilidad se debe al producto y a su falta de uniformidad en el parámetro medido.

Y2= Contenido de aerobios mesófilos en leche pasteurizada

El proceso de medición es excelente.

Y3= Contenido de coliformes totales en leche pasteurizada

El sistema de medición es inaceptable y la variabilidad existente se debe al laboratorista.

Y4= Contenido de *Escherichia coli* en leche pasteurizada

Los datos de este proceso de medición son nulos, es decir de ausencia del microorganismo. No se pudo realizar el ensayo R&R por los valores existentes.

Y5= Contenido de coliformes totales en queso fresco mediante técnica de vertido en placas petri

El proceso de medición de esta variable es excelente.

Y6= Contenido de *Escherichia coli* en queso fresco mediante la técnica de vertido en cajas petri

Los datos de los procesos de medición para las variables Y6, Y7, Y8 y Y9 son nulos y cumplen con la especificación establecida para estas variables. No se pudieron realizar los estudios R&R.

Y10= Devoluciones de quesos hinchados

Durante un período de tiempo se presentaron devoluciones de producto por defectos de calidad, siendo el más representativo la hinchazón en el queso.

Los distribuidores se acercaron al departamento de ventas para presentar su queja y efectuar la devolución, quedando registrado en informes presentados a gerencia para tomar las medidas adecuadas. Este método de medición de devoluciones es adecuada por que se da constancia de lo que está ocurriendo.

Para determinar la estabilidad de las variables se emplearon cartas de control, a continuación se analizan los resultados obtenidos del estudio de estabilidad y capacidad de las variables de salida.

Y1= Contenido de microorganismos en leche cruda

Tabla 4. Índices de inestabilidad y capacidad de la variable de salida Y1

VARIABLE	ÍNDICE DE INESTABILIDAD	MEDIA	CAPACIDAD A CORTO PLAZO					CAPACIDAD A LARGO PLAZO							
			Cp	Cps	Cpk	Z	PPM	S	Pp	Pps	Ppk	Z	PPM	S	
Y1	0%	1,815	0,46	0,28	-0,08	-0,08	-0,17	588,373	1,088	0,49	1,02	-0,08	-0,18	571,817	1,041

Los valores obtenidos indican que el proceso de determinación de microorganismos en leche cruda tiene variabilidad bajo control y es estable.

Los índices de capacidad son bajos. Este proceso de determinación de microorganismos en leche cruda mediante la prueba de reductasa no es apto y requiere cambios exigentes.

En la tabla 5 se muestran los índices de inestabilidad y de capacidad obtenidos para las demás variables de salida.

Tabla 5. Índices de inestabilidad y capacidad de las variables de salida

VARIABLE	ÍNDICE DE INESTABILIDAD	MEDIA	CAPACIDAD A CORTO PLAZO					CAPACIDAD A LARGO PLAZO				
			Cps	Cpk	Z	PPM	S	Pps	Ppk	Z	PPM	S
Y2	0%	54,75	3,77	3,77	11,32	0	21,67	3,93	3,93	11,48	0	21,37
Y3	6,6%	8,77	-0,07	-0,07	-0,2	578,718	19,97	-0,06	-0,18	572,370	20,85	
Y5	3,3%	125,2	-0,14	-0,14	-0,43	865,951	58,7	-0,10	-0,28	815,749	85,50	
Y6	3,3%	5,20	2,70	2,70	8,08	0	11,72	1,08	1,08	3,23	623,70	28,38
Y7	3,3%	112,67	-0,23	-0,23	-0,68	753205	18,50	-0,22	-0,68	774,274	19,29	
Y8	3,3%	3,70	12,33	12,33	37,00	0	2,60	1,80	1,80	4,80	0,81	20,08

Contenido de microorganismos en leche pasteurizada

Y2= Contenido de aerobios mesófilos en leche pasteurizada

De acuerdo a la gráfica de control obtenida, no

existen causas especiales de variación. La determinación de aerobios es un proceso estable. Los índices de capacidad a corto y largo plazo califican a este análisis microbiológico como satisfactorio.

Y3= Contenido de coliformes totales en leche pasteurizada

En la carta de medias el centrado del proceso de determinación de coliformes totales en leche pasteurizada tuvo cambios y la carta S muestra que la variabilidad se incrementó debido a que presenta dos puntos fuera del límite real superior, el índice de inestabilidad es muy elevado. Los índices Cpk y Ppk son muy bajos e indican que el proceso es inadecuado.

Y4= Contenido de *Escherichia coli* en leche pasteurizada

Todas las muestras presentaron ausencia de *Escherichia coli*. Para analizar la capacidad no existen datos, debido a que los valores son nulos.

Contenido de microorganismos en queso fresco

Y5= Contenido de coliformes totales en queso fresco mediante técnica de vertido en placas petri

Las gráficas de control indican que existen cambios en el nivel del proceso de determinación de coliformes totales en queso fresco. El índice de inestabilidad del proceso es de 3,3%, es decir tiene una estabilidad regular. Los índices de capacidad son muy bajos y determinan que el proceso es incapaz.

Y6= Contenido de *Escherichia coli* en queso fresco mediante la técnica de vertido en cajas petri

La carta de control X-S para esta variable indica que existen cambios en el nivel del análisis de *Escherichia coli* en queso fresco. De acuerdo al índice de calidad, el proceso de determinación de *Escherichia coli* en queso fresco es muy bueno.

Y7= Contenido de coliformes totales en queso fresco mediante inoculación en placas petrifilm

Las gráficas de control para esta variable muestran un comportamiento con una variabilidad normal de proceso. El proceso tiene una estabilidad regular. El índice Cpk califica al proceso como inadecuado.

Y8= Contenido de *Escherichia coli* en queso fresco mediante inoculación en placas petrifilm

Las cartas de control para esta variable muestran que hay cambio en el nivel del proceso debido a que un punto se halla fuera de control. El índice de inestabilidad de 3,3% indica que el proceso de determinación de *Escherichia coli* en queso fresco tiene una estabilidad regular. Los índices de capacidad a corto y largo plazo son buenos y se estima que el proceso es adecuado.

Y9= Contenido de *Staphylococcus aureus* en queso fresco mediante inoculación en placas petrifilm

La carta de control X-S para esta variable tiene una media igual a 0 y todos sus valores se ubican en la media, no existe variabilidad y el proceso de determinación de *Staphylococcus aureus* es estable. El análisis de capacidad no puede ser realizado con valores nulos.

Y10= Devoluciones de quesos hinchados

A través de una carta de corridas se determinó que las devoluciones de queso se incrementan ligeramente en el tercer y cuarto mes e igualan a la media de 76, pero durante el séptimo mes las cifras sufren un aumento de grandes proporciones y en el octavo tienden a decrecer hasta llegar a un valor inferior pero cercano a la media.

Metas para las variables críticas de calidad

Se fijaron metas para aquellas variables inestables y con capacidad insatisfactoria.

3.3 Análisis e investigación de causas

En esta fase se determinan las X's vitales que corresponden a las causas de hinchazón en queso fresco, para lo cual primeramente se establecerán las X's potenciales a través de matrices que medirán la relación entre las variables de entrada de cada subproceso crítico con las variables de salida y las Y's críticas. Se determinaron como X's potenciales a las siguientes:

- Temperatura de leche cruda
- Temperatura de pasteurización
- Tiempo de pasteurización
- Presencia de microorganismos en la cuajada
- Tiempo de moldeo
- Calidad microbiológica de salmuera

Para confirmar que las causas encontradas son la fuente de inestabilidad de los subprocesos, se analiza cada una a través de cartas de control determinando la variabilidad de éstas. En función de las X's potenciales procedemos a buscar las verdaderas causas del problema de calidad en quesos y para esto se realizaron diagramas de causa y efecto de cada variable, y se empleó la herramienta "los cinco porqués" que consiste en preguntar y responder por cinco veces el porqué del suceso hasta encontrar la verdadera causa y se determinaron las siguientes:

X vital 1: Falta de higiene durante el ordeño

X vital 2: Recipientes y condiciones de transporte inadecuadas

X vital 3: Falta de capacitación del personal y desconocimiento de la importancia del cumplimiento de POES Y BPM.

X vital 4: Falta de control y desorganización en la recepción de leche.

X vital 5: Falta de monitoreo microbiológico de la salmuera y del producto.

X vital 6: Falta de conocimiento de la importancia del control de la calidad e inocuidad alimentaria.

3.4 Medidas y plan de acción para el mejoramiento de la calidad

Formulación de soluciones para causas encontradas

- Repartir a los proveedores información sobre el control de limpieza durante el ordeño para que capaciten a sus operarios.

- Controlar la higiene de los recipientes de leche.
- Elaborar reportes sobre las condiciones de recepción de leche.
- Aplicar sanciones en caso de no cumplir con la asepsia adecuada en la recepción de leche.
- Dar charlas sobre inocuidad alimentaria, ETA'S y calidad en alimentos a los obreros de la sección.
- Renovar la capacitación en POES Y BPM de los obreros y exigir su aplicación diaria.
- Dar a conocer el sistema de aseguramiento de la calidad HACCP y capacitar al personal.
- Fijar horario para recepción de leche.
- Control de higiene en el subproceso de salado y en los insumos empleados.
- Controlar los demás subprocesos críticos para asegurar que se cumpla los parámetros establecidos.

Se realiza una prueba piloto aplicando las mejoras exigidas y se toma como punto de partida para la determinación de puntos críticos a las X's potenciales.

La prueba piloto fue aplicada durante un mes y de acuerdo a los resultados se decidirá su implementación a gran escala.

Evaluación de resultados de prueba piloto

Con la realización de la prueba piloto se obtuvo mayor control del proceso de producción, se mejoró el sistema de limpieza y desinfección, y se incrementó el trabajo en equipo.

Los resultados del monitoreo microbiológico fueron satisfactorios luego de aplicar un sistema de limpieza y desinfección más intenso, se logró reducir el nivel de contaminación en materiales y consecuentemente en el producto final. En base a los resultados obtenidos se decidió aplicar las soluciones y medidas de control a gran escala.

3.5 Control del proceso

Para controlar el proceso mejorado de producción de queso fresco en primer lugar se describe su evolución realizando la descripción del proceso anterior, enumerando las fallas encontradas y las mejoras, luego se compara con el proceso mejorado.

El control del proceso queda integrado al proceso productivo a través de cartas o gráficos que registran su comportamiento y variabilidad. Los gráficos de control son renovados y ajustados a los nuevos límites establecidos por la mejora aplicada, y constituyen el sistema de alerta de la variabilidad del proceso permitiendo corregirlo a tiempo.

3.6 Evaluación de costos de implementación de seis sigma

A continuación se realiza un análisis de los costos de la ausencia de calidad en comparación con los gastos que ocasiona la implementación de Seis Sigma en una planta procesadora de queso fresco.

Costos de no calidad:

Las devoluciones de queso fresco que se presentaron el año pasado procedieron de las ciudades que tenían más demanda del producto y esto ocasionó a la empresa pérdidas de dinero, imagen y mercado.

Se perdieron \$ 100 mensuales por devoluciones de quesos hinchados y en el mes de abril se perdió \$900, se trató de reprocesar el producto o de ocuparlo en el desarrollo de un queso fundido pero no se obtuvo nada por falta de materia prima. En cuanto a mercado las pérdidas de ventas en Guayaquil y Quevedo ascienden a \$3.000 mensuales aproximadamente.

Gastos de implementación de seis sigma:

Durante el desarrollo del proyecto se emplearon materiales, equipos y reactivos del laboratorio de la planta procesadora para el monitoreo del proceso y se adquirió placas petrifilm y discos reveladores.

Para la implementación de Seis Sigma con las mejoras sugeridas y con el control de los puntos críticos se requiere lo siguiente:

Tabla 6. Costos de implementación de seis sigma

RECURSOS EMPLEADOS	UNIDADES REQUERIDAS	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL/MES
Recursos Humanos:			
Supervisor	1	350	350
Materiales para control de calidad:			
Placas petrifilm E.coli	144	1,79	257,76
Placas petrifilm Staphylococcus aureus	144	2,34	336,67
Discos reveladores para Staphylococcus aureus	144	1,48	213,55
Papel indicador para determinación de Fosfatasa Alcalina	72	2,53	182,16
Sanitizante extra (galón)	32	2	64
Materiales didácticos para capacitación:			
Videos (Seis sigma, HACCP, Calidad alimentaria)	5	5	25
Folleto (BPM, POES)	8	3	24
INVERSION MENSUAL			1206,98

El gasto de la implementación es de aproximadamente \$1.207 al mes.

4. Conclusiones y recomendaciones

- ✓ El presente trabajo constituye un manual para la integración de un Programa de Mejoramiento de Calidad Seis Sigma en cualquier planta procesadora de queso.
- ✓ La integración de la estadística al proceso de producción mediante estudios de reproducibilidad, repetibilidad, estabilidad y capacidad, permitió tener un control más estricto de la calidad.
- ✓ Se determinaron como posibles causas de hinchazón en queso fresco a seis X's vitales como son: temperatura de leche cruda, tiempo y temperatura de pasteurización, tiempo de moldeo y calidad microbiológica de la salmuera.
- ✓ En base a las X's vitales se encontraron las causas que provocan el abombamiento o hinchazón en quesos y a partir de éstas se sugirió la aplicación de un sistema de aseguramiento de calidad, que permite controlar los subprocessos críticos y de ésta forma mejorar integralmente el proceso de producción de queso fresco.
- ✓ Con la ejecución de la prueba piloto se mejoró la calidad microbiológica del producto y la limpieza de las instalaciones de procesamiento; y con la

aplicación permanente del sistema HACCP al proceso de producción de queso fresco se logrará reducir aún más la contaminación y se mejorará la calidad a un nivel de excelencia.

- ✓ El costo de la calidad que en este caso supone los gastos de implementación de Seis Sigma es de aproximadamente \$1.207 al mes y no se compara con \$3.100 en perjuicios que tuvo la empresa en los últimos meses por devoluciones de quesos defectuosos y pérdida de parte del mercado de la costa por desconfianza de los clientes en el producto.

5. Referencias

- [1] Cavanagh R., Neuman, R., Pande, P., Las claves prácticas de Seis Sigma, 1^{ra} edición, 2002, pp. 23 -30.
- [2] Sawen, C., Fundamento de Elaboración del Queso, Editorial Zaragoza, 1984, España, pp. 71 -79.
- [3] Gutiérrez, H., De la vara Román, Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma, Editorial Mc. Graw Hill, 2004, México, pp. 572 -577.

Ing. Patricio Cáceres
Director de Tesis

Guayaquil, 28 de enero del 2010