

Universidad de Matanzas
Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de Química



Trabajo de Diploma

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico

**Metodología Seis Sigma para la evaluación de la
eficiencia y calidad del proceso de producción de queso
del Combinado Lácteo “Germán Hernández Salas”**

Autor:

Javier Alejandro Rubí Corría

Tutores:

Ing. Saul Dueñas Casas, MSc.

Consultante:

Ing. Adonys Rojas Pérez

Matanzas, 2021

*“Nunca consideres el estudio como una obligación,
sino como una oportunidad para penetrar en el
bello y maravilloso mundo del saber”*

Albert Einstein

Declaración de Autoridad

Yo, Javier Alejandro Rubí Corría, declaro ser la única autora de este Trabajo de Diploma y lo pongo a disposición de la Universidad de Matanzas, para hacer uso del mismo con el objetivo y finalidad que se estime conveniente.

Javier Alejandro Rubí Corría

Agradecimientos

A mí mamá por el apoyo incondicional que siempre me brindó y por confiar plenamente en mi capacidad intelectual.

A mí tío Andrésito que a pesar de estar lejos siempre fue mi compañero de mis batallas con quien podía contar para lo que fuese.

A mis abuelos Yoa y Andrés por ser mi mayor motivo para seguir adelante ante cualquier circunstancia y por siempre hacerme creer que puedo lograr lo que me proponga.

A Saul Dueñas por ser más que mi tutor, ser mi amigo a lo largo de toda mi etapa universitaria con el que podía contar para cualquier problema.

A mí tío Dánel por su amistad y por ser ese hermano varón que nunca tuve.

A mi hermana Lianet por aguantar todas mis malcriadeces.

A mi padrastro Javier, desde que lo conozco ha sido más que un padre para mí, apoyándome en las buenas y en las malas.

A mi novia Melissa por tolerarme tanto, por siempre estar ahí cuando necesitaba un consejo o una mano fuerte que me guiara a tomar buenas decisiones.

A mis amigos por estar a mi disposición cada vez que lo necesite.

A todos que de una forma u otra han puesto su granito de arena para que este sueño se haya hecho realidad.

A todos muchas gracias...

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo proponer la metodología Seis Sigma para la evaluación de la calidad en el proceso de producción de queso del Combinado Lácteo "Germán Hernández Salas" de Cárdenas, Matanzas. Para ello en un primer momento, se identifican y localizan los elementos que causan desviaciones en la calidad y eficiencia del proceso. Se examinan sus causas bases y confirman las mismas con datos, para luego implementar acciones planeadas y probadas para eliminar o reducir el impacto de las mismas. Una vez implementadas las mejoras se procede a asegurar que se mantengan y estén actualizadas en el tiempo. Entre las herramientas estadísticas que se emplean en esta metodología se encuentran: pruebas de hipótesis, análisis de regresión, análisis de varianza, diagramas de Pareto, matriz causa-efecto, diagrama causa-efecto, estadística descriptiva, lluvia de ideas, distribución normal, entre otros. La implementación de dicha propuesta permitirá a la empresa aumentar la eficiencia y calidad del proceso de producción, de forma rápida, segura y al menor costo posible, y lograr la plena satisfacción del cliente.

Abstract

The objective of this research is to propose the Six Sigma methodology for the evaluation of quality in the cheese production process of the UEB "Germán Hernández Salas" from Cárdenas, Matanzas. To do this, at first, the elements that cause deviations in the quality and efficiency of the process are identified and located. Its root causes are examined and confirmed with data, and then planned and proven actions are implemented to eliminate or reduce their impact. Once the improvements have been implemented, we proceed to ensure that they are maintained and updated over time. Among the statistical tools used in this methodology are hypothesis tests, regression analysis, analysis of variance, Pareto diagrams, cause-effect matrix, cause-effect diagram, descriptive statistics, brainstorming, normal distribution, among others. The implementation of this proposal will allow the company to increase the efficiency and quality of the production process, quickly, safely and at the lowest possible cost, and achieve full customer satisfaction.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo I. Análisis bibliográfico.....	5
1.1. Queso definiciones y conceptos básicos	5
1.1.1. Aditivos utilizados en la elaboración de quesos	6
1.1.2. Clasificación del queso.....	7
1.1.3. Análisis sensorial de queso	8
1.2. Proceso de elaboración de queso	10
1.2.1. Fallas en la elaboración de quesos	14
1.4. Calidad y sus dimensiones	15
1.4.1. Ingeniería de la calidad.....	16
1.5. Métodos estadísticos en la calidad	18
1.5.1. Filosofía Seis Sigma.....	19
1.5.2. Principios de Seis Sigma.....	22
1.5.3. Herramientas del Seis sigma	24
1.6. Conclusiones Parciales del Capitulo.....	24
Capítulo II. Propuesta de Metodología Seis Sigma	26
2.1. Descripción del proceso tecnológico de producción	26
2.1.1. Estandarización.....	26
2.1.2. Preparación del cultivo industrial.....	26
2.1.3. Preparación de la salmuera	29
2.2. Etapas del Seis Sigma.....	31
2.2.1. Fase de definición.....	31
2.2.2. Fase de medición	34

2.2.3. Fase de análisis	39
2.2.4. Fase de mejora.....	49
2.2.5. Fase de control.....	52
Conclusiones.....	57
Recomendaciones.....	58
Bibliografía	59
Anexos	66

Introducción

El mundo contemporáneo, golpeado por los desastres naturales causados por la degradación ambiental y el cambio climático, así como por las crisis políticas y económicas, atraviesa hoy por una crisis alimentaria que afecta a todos los países del mundo y en especial a los subdesarrollados o en vías de desarrollo (Santos, 2011). La situación económica que atraviesa actualmente Cuba, agravada por la coyuntura mundial de crisis, precisa ante todo garantizar la alimentación del pueblo y satisfacer sus necesidades básicas elementales, siempre manteniendo la calidad, la eficiencia productiva y optimización de los costos de estas producciones.

Según el Real Decreto 1679/1994, los productos lácteos son productos "derivados exclusivamente de la leche, teniendo en cuenta que se pueden añadir sustancias necesarias para su elaboración, siempre y cuando estas sustancias no se utilicen para sustituir total o parcialmente, alguno de los componentes de la leche. La industria láctea es un sector que genera importantes recursos económicos en numerosas partes del mundo (Cabrera, 2016; Mena, 2009). Las cualidades nutritivas y la imagen de salubridad han convertido a los productos lácteos en el segundo de los alimentos más adquiridos por los consumidores, después de la carne (AINIA, 2000).

El queso es, en esencia una forma concentrada de leche que se obtiene por coagulación de las caseínas. Es un producto alimenticio de gran consumo a nivel mundial, cuyas propiedades nutritivas, funcionales, texturales y sensoriales son diferentes entre cada tipo. Se estiman más de 2000 variedades de queso entre madurados, semi-madurados y frescos (Sánchez, 2016). La práctica en torno a la elaboración del queso ha sufrido importantes cambios, transformándola de un arte empírico, a una tecnología industrial con fuertes bases científicas. Razón por la cual, la comprensión de los aspectos científico- técnicos en torno a la elaboración del queso es de suma importancia para un adecuado control de las condiciones

que pudieran afectar dichas propiedades en el queso y en consecuencia su calidad y aceptación por parte del consumidor.

Desde el punto de vista de los clientes, las empresas y/u organizaciones existen para proveer un producto material o inmaterial, un bien o un servicio, ya que ellos necesitan productos con características que satisfagan sus necesidades y expectativas.

Una exigencia fundamental de los clientes es que los productos sean de calidad. Con respecto a esta característica existen varias definiciones; por ejemplo, Juran sostiene que: "Calidad es que un producto sea adecuado para su uso. Así, la calidad consiste en la ausencia de deficiencias en aquellas características que satisfacen al cliente" (Juran, 1995); mientras que de acuerdo con la definición de la *American Society for Quality (ASQ)*, "calidad es la totalidad de detalles y características de un producto o servicio que influye en su capacidad para satisfacer necesidades dadas"; en términos menos formales, la calidad, definida por el cliente, es el juicio que éste tiene acerca de un producto o servicio. Un cliente queda satisfecho cuando se le ofrece todo lo que él esperaba encontrar y más. Por lo tanto, calidad es ante todo la satisfacción del cliente, que está ligada a las expectativas que éste tiene con respecto al producto o servicio.

En el ámbito empresarial, las organizaciones han utilizado diferentes enfoques de la calidad para satisfacer las necesidades de los clientes y garantizar que los productos cumplan con especificaciones técnicas. Dentro de los enfoques, se consideran: el control estadístico de calidad, el sistema de gestión ISO, el Seis Sigma, entre otros.

El Seis Sigma es una técnica que utiliza herramientas de gestión de calidad y estadística para reducir la variación en los procesos y productos, y busca aumentar la satisfacción de las necesidades de los clientes y disminuir los costos de operación. Conseguir de manera eficaz el control y mejoras durante las etapas

de los procesos de producción, la resolución de problemas y la participación del personal, es el resultado de la implementación de la filosofía Six Sigma.

La Pasteurizadora de Productos Lácteos de Cárdenas donde se realiza la investigación, pertenece a la Empresa de Productos Lácteos de Matanzas del Ministerio de la Industria Alimenticia (MINAL). La misión de la empresa es abastecer la demanda de productos lácteos de manera eficiente, con un adecuado control del proceso productivo, para lograr un producto final que cumpla con la calidad que exige el cliente. Sin embargo, el control sobre las variables del proceso productivo es deficiente, lo que ocasiona pérdidas en la eficiencia y calidad del proceso, así como descontento de la población con respecto a producto. Estos problemas han sido señalados a la empresa por varias inspecciones ministeriales, provinciales y municipales se han realizado.

Teniendo en cuenta esta problemática se ofrece como **problema científico** el siguiente:

¿Cómo detectar y solucionar los problemas que afectan la calidad y eficiencia del proceso de producción de queso del Combinado Lácteo “Germán Hernández Salas”?

Como posible solución a dicho problema se plantea la siguiente **hipótesis** de trabajo:

Si se evalúa la metodología Seis Sigma en el proceso de producción de queso del Combinado Lácteo “Germán Hernández Salas”, se podrá establecer un control eficaz del proceso y una mejora en la calidad del mismo.

Para dar cumplimiento a la hipótesis planteada anteriormente se ha trazado el siguiente **objetivo general**:

Proponer la metodología Seis Sigma para la evaluación de la eficiencia y calidad del proceso de producción de queso del Combinado Lácteo “Germán Hernández Salas” de Matanzas.

Para el cumplimiento del objetivo general se proponen los **Objetivos Específicos** siguientes:

1. Realizar una revisión crítica del estado del arte referido a la metodología Seis Sigma.
2. Caracterizar el proceso de producción de queso del Combinado Lácteo "Germán Hernández Salas".
3. Proponer el procedimiento correspondiente para la aplicación de la metodología en el proceso de producción de queso.

Capítulo I. Análisis bibliográfico

En este capítulo se realiza una revisión bibliográfica, en diferentes bases de datos disponibles en internet mediante el uso de buscadores existentes (Google, AltaVista, Scirus, entre otros), en bases de datos remotas (ELSEVIER, EBSCO, Sciencedirect, entre otros), y en bibliotecas virtuales de química e ingeniería química. En un primer momento de la investigación se profundiza en aspectos que resultan útiles para la comprensión del tema que se investiga. Los tópicos desarrollados en este capítulo son: queso definiciones y conceptos básicos, el proceso de elaboración del mismo, calidad y sus dimensiones, filosofía Seis sigma y metodología de mejora continua.

1.1. Queso definiciones y conceptos básicos

El ser humano ha logrado conseguir una amplia gama de derivados a base de leche mediante el sometimiento de la misma a diversos procedimientos tecnológicos. Los cuales modifican las características sensoriales de la leche y en algunos casos le confieren aportes nutricionales (Guerrero *et al.*, 2016; Randelli & Rocchi, 2017). Los derivados lácteos más consumidos son: la crema, la mantequilla, cuajada, queso, yogurt y los helados (Demartini *et al.*, 2017; Sandoval, 2018).

La palabra queso deriva del latín “caseus”. Este es un producto fresco o madurado obtenido por drenaje del suero, tras la coagulación de la leche, nata, leche desnatada o parcialmente, grasa láctea o una combinación de estos componentes (Cervantes *et al.*, 2016; Espejel *et al.*, 2017; García, 2006). El queso se considera uno de los alimentos más antiguos de conservar los principales elementos nutricionales (proteínas, grasa, calcio, fósforo y vitaminas) de la leche (Ledesma, 2007; Sandoval, 2018).

Desde el punto de vista fisicoquímico, el queso se define como un sistema tridimensional tipo gel, formado básicamente por la caseína integrada en un complejo caseinato fosfato cálcico, el cual por coagulación, engloba glóbulos de

grasa, agua, lactosa, albúminas, globulinas, minerales, vitaminas y otras sustancias menores de la leche, las cuales permanecen adsorbidas en el sistema o se mantienen en la fase acuosa retenida (Vélez, 2009; Sandoval, 2018).

El queso se compone de un 35-55 % de agua en la que hay disueltas un 10-40 % de proteínas y 4-5 % de sales. Es un sólido que aporta principalmente proteínas (caseína) (Yildiz, 2016). Es un alimento importante en la dieta de casi todas las personas porque es nutritivo y natural, fácil de producir en cualquier entorno, desde el desierto hasta el polo, y permite el consumo de la leche en momentos en los que no se puede obtener este producto, el queso es una conserva obtenida por la coagulación de la leche y por la acidificación y deshidratación de la cuajada (Erazo y Trujillo, 2014; Rodríguez, 2017).

Todos los tipos de queso empiezan su proceso con la formación de cuajada, la cual se puede transformar en queso fresco mediante el corte, desuerado y prensado o un queso maduro mediante el calentamiento de la cuajada que ayudará a un mayor desuerado de la misma lo cual dejará lista esta cuajada para ser posteriormente moldeada, prensada, salada y almacenada por un tiempo prudencial que proporcione las características organolépticas necesarias para su comercialización dependiendo del tipo de que a fabricarse (Mena, 2016; Sandoval, 2018).

1.1.1. Aditivos utilizados en la elaboración de quesos

El queso es una concentración de los sólidos de la leche con la adición de: cuajo, fermentos bacterianos, sal y cloruro de calcio. Erazo y Trujillo (2014), definen al cuajo como el extracto del cuarto estómago (abomaso) de terneros lactantes (entre 10 y 30 días de edad), que contiene la enzima proteolítica llamada renina o quimosina, capaz de coagular la caseína de la leche. El cuajo también puede provenir de microorganismos (bacterias y mohos) y también de vegetales. Comercialmente el cuajo se expende en polvo, pastilla o líquido y debe

preservarse de la luz, del aire, y de la humedad para conservar su poder cuajante. Existen dos tipos de cuajo:

- ✓ Cuajo natural que se lo extrae de uno de los cuatro estómagos de los rumiantes llamado cuajar, especialmente de los terneros que están en época de lactancia.
- ✓ Cuajo artificial que se lo obtiene en un laboratorio a partir de un moho, y tiene la particularidad de ser más económico.

El cloruro cálcico o cloruro de calcio es un compuesto químico, inorgánico, mineral utilizado en la industria alimenticia para corregir los problemas de coagulación que se presentan en la leche debido al desbalance o alteración del calcio a causa de tratamientos térmicos excesivos, ya sean por el almacenamiento por largo tiempo en refrigeración o por el proceso de pasteurización. La dosis máxima a utilizar es del 0,02 % (20 gramos por cada 1000 litros de leche). Una dosis excesiva puede ocasionar una cuajada dura, seca y quebradiza y con sabor amargo, así como también puede dificultar la salida del suero y originar una cuajada porosa.

El cloruro de sodio conocido comúnmente como sal, se adiciona con el objetivo principal de darle sabor al queso, el porcentaje ideal depende del tipo de queso y del gusto del consumidor, aunque se puede decir que está entre el 2 y el 3 % (Erazo y Trujillo, 2014; Fiol, 2016). Normalmente los quesos que tienen un sabor fuerte (picante), necesitan una cantidad mayor de sal que los quesos con sabor más suave.

Además el cloruro de sodio sirve para alargar la vida útil de los quesos, al inhibir el crecimiento de las bacterias contaminantes y disminuir la actividad del agua.

1.1.2. Clasificación del queso

De acuerdo con su dureza, los quesos se clasifican y designan de la manera siguiente (Erazo y Trujillo, 2014; Kongo, 2016; Mena, 2016):

Tabla 1.1. Clasificación en función del contenido de humedad sin materia grasa.

Clasificación	Humedad sin materia grasa [%]
Duros	≤ 55
Semiduros	entre 55 y 65
Blandos	≥ 65

De acuerdo con su contenido de materia grasa, los quesos se clasifican y designan de la siguiente manera (Erazo y Trujillo, 2014; Mena, 2016):

Tabla 1.2. Clasificación en función del contenido de grasa en el extracto seco.

Clasificación	Contenido de grasa en el extracto seco [%]
Ricos en grasa	≥ 60
Extragrasos	entre 45 y 60
Semigrasos	entre 25 y 45
Pobres en grasa	entre 10 y 25
Desnatados	≤ 10

De acuerdo con sus características de maduración, los quesos se clasifican y designan de la manera siguiente (Erazo y Trujillo, 2014; Mena, 2016):

- ✓ Maduros. Aquellos que no están listos para el consumo poco después de su fabricación, y que deben mantenerse durante un tiempo determinado en condiciones tales que se originen los necesarios cambios característicos físicos y químicos por todo su interior y/o sobre su superficie.
- ✓ Sin madurar. Aquellos que están para el consumo poco después de su fabricación y que no requieren de cambios físicos o químicos adicionales.

1.1.3. Análisis sensorial de queso

Morales (1994) y Erazo y Trujillo (2014), señalan que la calidad organoléptica del queso se refiere a los atributos que posee. El análisis sensorial o cata es el examen de las propiedades organolépticas de un producto, realizable con los

sentidos, utilizando al hombre como instrumento de medida. Puede darse el caso de que dos quesos totalmente diferentes organolépticamente presenten datos analíticos, químicos, y microbiológicos iguales (Chamorro, 2002). De aquí se deduce la importancia del análisis sensorial, para lo siguientes fines: desollar, modificar y mejorar el queso; identificar diferencias entre quesos; asegurar la calidad de los quesos elaborados; proporcionar datos sensoriales; poder seguir la evolución del producto durante su almacenamiento; juzgar la tipicidad del producto; y seleccionar y preparar catadores (Erazo y Trujillo, 2014).

✓ Apariencia

Es el conjunto de atributos que se aprecian con la vista. Tienen en cuenta las propiedades visuales, tanto externas (forma, corteza) como internas del queso (aberturas, color) (Chamorro, 2002; Coste, 2005).

✓ Color

El matiz o tono y la intensidad varía mucho de unos quesos a otros y a veces incluso en la superficie del corte del mismo queso. El brillo de la pasta va a estar influenciando por el contenido de agua o de grasa del queso por tipo de leche y la zona de producción. Entre los matices más frecuentes en la pasta, tenemos: blanco, blanco marfil, amarillo pálido, amarillo beige, verde azulado y naranja (Losada y Serrano, 1996).

✓ Consistencia textura

La textura es la propiedad sensorial de los alimentos que es detectada por los sentidos del tacto, la vista y el oído, y que se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación (Coste, 2005). Está se encuentra influenciada por el tamaño de partícula, la higroscopicidad del producto, el molturado, la plasticidad, entre otros. En los líquidos, su “aparencia” varia fundamentalmente en función de sus propiedades y su homogeneidad.

✓ Olor

Propiedad organoléptica por vía indirecta por el órgano olfativo durante la degustación, es la fuerza del estímulo global percibido en el bulbo olfativo. Se recibe este estímulo por la nube gaseosa aromática, liberada por la

masticación y por la respiración, que lo guía hacia el interior de la nariz (Barcina, 1994).

✓ Sabor

El sabor es la sensación percibida por el órgano del gusto (lengua) cuando se lo estimula con ciertas sustancias solubles. Las sensaciones gustativas permiten captar la cantidad de sal, dulzor, acidez y amargor de queso.

1.2. Proceso de elaboración de queso

Desde el momento en que se recibe la leche por parte del productor se realizan una serie de pasos ordenados y específicos que determinan la calidad del producto final. Cada una de estas etapas está bien definida y el cuidado de las mismas garantizará un resultado exitoso en la obtención del producto.

Las operaciones básicas para la elaboración de quesos son las siguientes: pretratamiento: pasteurización y estandarización de la leche; incorporación de aditivos: cuajo, cloruro de calcio, colorantes y agregados de cultivos iniciadores; coagulación de la leche; tratamiento de la cuajada; moldeado y prensado; salado; oreo; y maduración.

1. Acondicionamiento de la leche

La composición de la leche varía durante el transcurso del ciclo de lactancia. La diferencia entre las leches puede estar dada por la influencia de la raza, el clima, la edad del animal, momento del ordeño, período de celo, gestación, y el ejercicio del animal. Se dice que existen diferencias en la composición de la leche de ordeño a otro e incluso en la leche de un pezón a otro (Lantero, 1990). A pesar de la diferencia de composición, el producto final siempre debe tener la misma composición. Esto se logra a fijando algunos parámetros mediante la normalización o estandarización. La leche para el queso se normaliza según el contenido de grasa extracto seco (Fortunato, 2019).

La estandarización no es un paso imprescindible pero si necesario, pues contribuye a disminuir pérdidas de grasa en suero, disminuyendo la contaminación

ambiental, utilizándola en la elaboración de mantequillas y helado, haciendo el proceso más rentable para la industria (Inda, 2000).

2. Pasteurización de la leche

Un principio fundamental en la industria alimentaria es lograr que los productos lleguen a los consumidores con la calidad e inocuidad necesaria para evitar daños a la salud. En el caso de la industria de la leche y los productos lácteos, esto se logra mediante un tratamiento térmico específico llamado pasteurización, en honor de Louis Pasteur, el gran científico francés que sentó algunas de las bases más importantes en el campo de la microbiología industrial (Fortunato, 2019).

La pasteurización es un tratamiento diseñado para disminuir la carga microbiana de la leche, principalmente la eliminación de microorganismos patógenos, que bajo ciertas circunstancias pueden proliferar rápidamente en la leche y en el queso y causar enfermedades o, inclusive, en casos extremos, la muerte. Existen dos métodos para pasteurizar la leche. El primero consiste en calentar la leche a 65 °C entre 25 y 30 min, o por otro lado de 15 a 17 s, a 72 °C (Inda, 2000).

3. Incorporación de aditivos

La leche es la materia prima principal y además se le agregan: cultivos de bacterias lácticas específicas, cuajo y/u otras enzimas coagulantes apropiadas, cloruro de sodio y cloruro de calcio.

Algunos quesos requieren del desarrollo de acidez para su fabricación y, en esos casos, la mejor manera de hacer esto consiste en añadir a la leche pasteurizada cultivos lácticos que contienen solamente las bacterias específicas que el queso requiere. La inoculación oscila entre 1 y 2 %, pero puede ser superior en algunos tipos de quesos. Además de prevenir riesgos contra la salud pública y de evitar pérdidas innecesarias de rendimiento, el uso de cultivos lácticos para generar acidez en la leche le permite al quesero producir un queso de calidad constante, día tras día (Fortunato, 2019).

En la fabricación de quesos en ocasiones se utilizan colorantes, esto se hace con el objetivo de intensificar el color amarillo en algunos quesos. La sustancia colorante más utilizada es las semillas de la planta de bija a razón de 0,7 mL por cada 100 L de leche.

4. Coagulación de la leche

En la industria quesera se utilizan dos métodos para la coagulación de la leche: se habla de quesos elaborados por coagulación enzimática o ácida. En la coagulación ácida la acidificación de la leche se logra por dos vías: biológica y química (Fortunato, 2019). En la biológica, la acidificación puede ocurrir de forma natural debido a la proliferación de microorganismos contaminantes o por la adición de cultivos iniciadores.

5. Tratamiento de la cuajada

Después que el coágulo queso ha alcanzado la firmeza deseada, es cuidadosamente cortado en pedazos pequeños con las liras. El tamaño del corte y la división de la cuajada (en granos) determinará el tipo de queso a elaborar. Como consecuencia de dicho corte los pedazos de cuajada comienzan inmediatamente a encogerse y expeler el suero (Fortunato, 2019).

La división de la cuajada debe efectuarse lenta y cuidadosamente, sin precipitaciones ni brusquedades; se procederá a la fragmentación con suavidad. Los cortes tienen que ser netos y completos; la masa debe seccionarse, y no desgarrarse, y mucho menos deshacerse, pues los trozos de cuajada han de conservar la forma que el operador desee darle: cúbica, esférica, entre otros (Quiminet, 2010). El tiempo necesario para que la cuajada se forme y posea las características adecuadas para su corte, depende de factores tales como el pH, la concentración de calcio, la concentración de enzima y la temperatura (Fortunato, 2019).

6. Moldeado y prensado

El moldeado tiene como objetivo dar al queso una forma y tamaño de acuerdo con las exigencias del mercado y en cierto modo a la tradición. La forma de los quesos puede ser esférica, cúbica, prismática, en forma de cono o pirámide truncada, entre otras. El prensado es el proceso en el cual la cuajada es sometida a presión con el fin de facilitar la separación del suero y darle la consistencia necesaria (Fortunato, 2019).

En la operación de prensado se debe tener en cuenta que la presión debe ser aplicada gradualmente evitando el cierre de los poros y la duración del prensado depende del tipo de queso y el tamaño. La temperatura de la cuajada antes de prensar debe estar por debajo de la temperatura de la grasa líquida (23,9 °C) para evitar pérdidas de grasa en el suero, si fuera superior se usa el enfriamiento mediante paños frío o duchado con agua fría.

7. Salado y oreo

La incorporación de la sal no solo interviene potenciando el sabor del queso, sino que también ejerce un control sobre los microorganismos presentes, participa en la formación de la corteza que protege al producto y continúa con el proceso de desuerado del queso (Fortunato, 2019). La forma más habitual del salado del queso es la introducción de estos en salmueras refrigeradas que tienen corregido su pH a valores cercanos al pH del queso y que presentan concentraciones de cloruro de sodio cercanas a la saturación.

Otra forma de salado de los quesos es el salado en masa, que consiste en la adición de la sal a la leche o a la cuajada. Sin embargo, esta modalidad a pesar de conseguir una buena distribución de la sal, generalmente no se emplea, pues es elevada la pérdida de sal en el suero y disminuye el valor del suero en el mercado por estar salado. Otra de las formas de salado es utilizando sal seca, se emplea por lo general en la fabricación de los quesos azules.

Una vez concluido el salado, se procede al oreo del queso. Este paso se lleva a cabo a temperaturas de 10 a 12 °C y con una humedad relativa de 86 a 88 %, tiene como objetivo secar la corteza del queso (Suárez *et al.*, 2001).

8. Maduración

La maduración es la etapa final en la elaboración del queso. Es una etapa de gran importancia, pues en ella se producen todos los fenómenos proteolíticos y lipolíticos, que conducen a la transformación de la cuajada en queso. Además, se produce un aumento en el extracto seco y la formación de compuestos de bajo peso molecular, a partir de las proteínas y los lípidos que son los principales responsables de las características organolépticas del queso.

En esta etapa, los quesos son mantenidos en cámaras o cuevas de maduración donde se controla la temperatura, la humedad y la aireación. Se le realizan procesos mecánicos frecuentes como son el volteo de los quesos para conseguir una la maduración uniforme y evitar deformaciones. Se realiza además, cepillado de las cortezas y en algunos casos se la corteza con salmuera (Fortunato, 2019).

La maduración comprende una serie de cambios de las propiedades físicas y químicas adquiriendo el queso su aspecto, textura y consistencia, su aroma y sabor característicos.

1.2.1. Fallas en la elaboración de quesos

La mayoría de los defectos de los quesos se pueden atribuir a alguna de las siguientes situaciones (Erazo y Trujillo, 2014):

- ✓ Malas condiciones de higiene durante todo el proceso que sufre la leche desde el momento del ordeño.
- ✓ Errores que se cometen durante el proceso de la fabricación.
- ✓ Problemas en el proceso de conservación posterior de producto.

Según (Sánchez, 2000), las fallas comunes en el producto final son:

- ✓ Quesos que saben muy amargos: debido a pobre higiene al manejar la leche y/o utensilios de los quesos, uso de cantidad excesiva de cuajo, excesiva acidez, posiblemente desarrollada durante el proceso de elaboración del queso o se le añadió muy poca sal.
- ✓ Sabor amargo: causado por la acción de microorganismos indeseables, la mala calidad o insuficiente cantidad de sal, utilización de excesiva cantidad de cloruro de calcio.
- ✓ Quesos muy amargos y ácidos: ocurre cuando el queso contiene mucha humedad o acidez.
- ✓ Quesos con poco o ningún sabor: el queso no se ha madurado suficientemente o se produjo insuficiente acidez durante la elaboración.
- ✓ Coloración irregular: debido a la contaminación de microorganismos, mala distribución de la sal o al corte de la cuajada en trozos de diferentes tamaños, conservando más suero los pedazos más grandes, en los cuales se desarrolla una acidez mayor que en los pequeños, por lo que disminuye la intensidad del efecto producido por el colorante artificial; empleo de colorantes de mala calidad, infectados por hogos.
- ✓ El queso terminado es excesivamente seco: puede ser ocasionado por cuajo insuficiente, corte de la cuajada en partículas muy pequeñas que produce mucha pérdida de suero, alta acidez en la cuajada, las cuajadas han sido cocinadas a una temperatura excesiva o éstas han estado demasiado agitadas.
- ✓ El queso terminado es excesivamente harinoso: Hay humedad en exceso o la acidez es muy alta.

1.4. Calidad y sus dimensiones

La calidad se ha convertido en uno de los factores de decisión más importantes de los consumidores para elegir entre productos y servicios que compiten. Las características de calidad o variables de respuesta son precisamente las variables

que reflejan los resultados que se han obtenido a lo largo de un proceso (Pineda, 2019). La calidad depende de la exigencia del consumidor a cierta organización industrial o una tienda minorista. Con base en lo anterior, entender y mejorar la calidad es un factor clave que lleva al éxito de los negocios, que, sin importar su tamaño, ayuda a su crecimiento y a alcanzar una posición competitiva (Mitra, 2016).

1.4.1. Ingeniería de la calidad

La Ingeniería de la Calidad es el conjunto de actividades operativas, administrativas y de ingeniería que emplea una compañía u organización con el fin de asegurar que las características de la calidad de un producto se encuentran en los niveles requeridos o especificados (Pineda, 2019). Las características de la calidad pueden ser de varios tipos, según lo especifica Montgomery (2009): físicas: longitud, peso, voltaje, viscosidad; sensoriales: sabor, apariencia, color; orientadas al tiempo: confiabilidad, durabilidad, facilidad de servicio.

La mayoría de las organizaciones encuentran difícil y costoso ofrecer al cliente productos con características de la calidad que sean siempre idénticas de una unidad a otra o que estén en niveles que cumplan con las expectativas del consumidor, sin diferencias en su resultado final (Pineda, 2019). En cualquier producto hay cierta variabilidad lo que genera que existan disconformidades, haciendo que los productos o servicios que se brindan sean diferentes unos con otros; por consiguiente, dos productos no siempre son idénticos, por naturaleza.

Las fuentes de esta variabilidad incluyen las diferencias en los materiales, en el desempeño y operación del equipo de manufactura o hasta en las diferencias en la manera en que los operadores realizan sus trabajos. Esta línea de pensamiento llevó a la definición de mejoramiento de la calidad, pues a través del empleo de distintas herramientas estadísticas que son la base para el desarrollo de una calidad favorable y así, se logre reducir la variabilidad en procesos y productos.

Debido a que la variabilidad sólo puede describirse en términos estadísticos, los métodos estadísticos juegan un papel central en los esfuerzos de mejoramiento de la calidad como se mencionó anteriormente (Mitra, 2016). Frecuentemente las características de la calidad se evalúan con relación a ciertas especificaciones, señaladas por la misma organización, y que se desea alcanzar con éxito. Para un producto manufacturado, las especificaciones son las mediciones deseadas de las características de la calidad en los componentes que constituyen el producto, así como los valores deseados para las características de la calidad en el producto terminado.

En una planta de obtención de queso los elementos fundamentales que se siguen para el manejo de la calidad son los siguientes:

1 Contenido de humedad

Dependiendo del tipo de queso y de su maduración la humedad se controla de acuerdo con la temperatura de la cámara. Con humedades muy bajas hay una excesiva evaporación que cuarteo la superficie del queso y provoca pérdidas grandes del peso. Las humedades altas favorecen el crecimiento de hongos y consumen mucha agua del queso.

2 Temperatura

En una maduración a temperaturas bajas, existe un mejor control, aunque el proceso sea lento. Los quesos blandos se deben madurar a temperaturas menores y los duros a mayores temperaturas, así de 8 a 10 °C, para quesos blandos, de 10 a 12 °C, semiduros y de 13 a 20 °C, para los duros.

3 Cámara de maduración

Una cámara de maduración debe contar con ciertas características ambientales específicas de temperatura, humedad relativa y ventilación adecuada, dependiendo del tipo de queso.

Las especificaciones son generalmente el resultado del proceso de diseño de ingeniería del producto. Tradicionalmente, los ingenieros de diseño llegan a una

configuración del diseño del producto mediante el uso de los principios científicos de la ingeniería, en donde suele resultar en la especificación por parte del diseñador de los valores objetivo de los parámetros críticos del diseño, por lo tanto, las especificaciones serán delimitadas por los mismos ingenieros de diseño que laboran en la compañía y que suponen, estar dentro de los límites especificados o dentro de especificación (Mitra, 2016).

1.5. Métodos estadísticos en la calidad

Desde sus orígenes el hombre se ha preocupado por la calidad, puesto que el productor y el consumidor se conocían (negociaban cara a cara), y no había especificaciones y garantía, ya que existía un estrecho contacto. El auge industrial en los años veinte hizo posible una gran expansión en los procesos de manufactura y los bienes de consumo, por lo que se empezaron a crear compañías dejando atrás los talleres. Como consecuencia de la alta demanda y con el espíritu de mejorar la calidad de los procesos, la función de inspección llega a formar parte vital del proceso productivo, la cual se volvió reactiva, es decir, reaccionaba contra los productos defectuosos, convirtiéndolos en desechos o reprocesándolos (Cantú, 2006).

Esta etapa se enfocó en el control de los procesos y se caracterizó por la aparición de métodos estadísticos para este fin, así como en la reducción de los niveles de inspección, dejando de ser masiva para convertirse en inspección por muestreo, lo cual sería menos costoso y cansado. Los métodos estadísticos se diseñan para contribuir al proceso de realizar juicios científicos frente a la incertidumbre y la variación, así como para analizar datos de procesos para tener una mejor orientación respecto de dónde efectuar mejoras a la calidad del mismo proceso (Walpole *et al.*, 2007).

Muchos de los fenómenos que presenciamos solo son parcialmente predecibles, es decir, tienen cierto grado de incertidumbre, tales como los casos del tiempo, el comportamiento de las Bolsas de Valores, las medidas de eficiencia de un

producto, el volumen de ventas, etcétera; al medir esos fenómenos e introducir métodos estadísticos para analizarlos, se puede comprender su variabilidad, además de controlar, mejorar y predecir el comportamiento de tales modelos en el futuro, reduciendo su incertidumbre (Kenett y Zacks, 2000).

La estadística ha irrumpido con fuerza en nuestra vida cotidiana y, cada vez más, juega un papel fundamental en la sociedad. Así, el doctor Ishikawa afirma que: “Las herramientas estadísticas básicas deben ser conocidas por todo el mundo en una empresa, desde la alta gerencia a los operarios en las líneas” (Carot, 2001). Por otra parte, el doctor Deming afirma que: “No hay conocimiento que pueda contribuir tanto a mejorar la calidad, productividad y competitividad de las empresas como el de los métodos estadísticos. Los juicios que no están respaldados por datos corren el riesgo de incluir opiniones, exageraciones e impresiones desacertadas” (Carot, 2001).

El gran aumento de precisión que se exige a los productos y partes que se manufacturan, va acompañado de las necesidades de mejores métodos para la medición, las especificaciones y el registro. Por años, las técnicas estadísticas y la metodología estadística han sido mayormente utilizadas y aceptadas, por lo general, en toda la industria (Feigenbaum, 1994). Los métodos estadísticos se aplican en el control total de la calidad y su carácter está fuertemente influenciado por factores de relaciones humanas, condiciones tecnológicas y consideraciones sobre costos.

1.5.1. Filosofía Seis Sigma

La filosofía de seis sigma se inicia en los años 80's como una estrategia de negocios y de mejoramiento de la calidad, introducida por Motorola cuando el ingeniero Mikel Harry comenzó a influenciar a la organización para que se estudiara la variación en los procesos (enfocado en los conceptos de Deming), como una manera de mejorar los mismos (Cuevas, 2008). Estas variaciones son

lo que estadísticamente se conoce como desviación estándar, la cual se representa por la letra griega sigma (σ).

La idea central detrás de esta metodología es que si se puede medir cuantos defectos se tiene en el proceso se puede estimar sistemáticamente como eliminarlos y llevarlos lo más cercano posible a cero defectos (Marco Vinicio, 2016). En definitiva, se trata de una metodología de mejora en la calidad de nuestro producto que incluye desde la satisfacción del cliente a la minimización de costes, rentabilidad y eficiencia de los recursos utilizados (Bohigues, 2015; Zuluaga, 2016). Ayuda a tomar decisiones basadas en datos (información) y ofrece una inventiva estructurada para alcanzar rápidamente mejoras mediante el uso ordenado de herramientas estadísticas, que identifican causas de raíz y llevan a la reducción de la variabilidad de los productos y procesos (Marco Vinicio, 2016). Esta filosofía requiere que se optimicen las salidas del proceso mediante un enfoque en las entradas y procesos involucrados (Zuluaga, 2016).

Seis Sigma estudia un problema real apoyándose en métodos estadísticos, donde se realizan análisis estadísticos para identificar las fuentes de variabilidad, se monitorean las variables críticas y se mantiene el proceso en control estadístico (Reyes, 2002). Las herramientas estadísticas están orientadas a objetivos muy concretos como detectar las causas de los errores y los motivos de las desviaciones, así como calcular el número de defectos, entre otros.

Como bien dijo Valderrey (2010) "Seis Sigma representa una métrica, una filosofía de trabajo y una meta" lo que nos aclara que se trata de una metodología para satisfacer al cliente orientándose además a un proceso de mejora continua como filosofía corporativa y finalmente eliminar la totalidad de errores. Para iniciar las actividades en un proyecto Seis Sigma se deben de considerar las características siguientes: el proyecto debe ser ligado a las prioridades del negocio y relacionado con algún parámetro importante para el cliente, debe ser entendible y alcanzable para la organización, contar con el apoyo de la administración y la alta gerencia,

y tener un impacto financiero y el establecimiento de la métrica que puedan ser utilizadas para fijar metas al proyecto (Zuluaga, 2016).

Cuando se tratan de mejorar procesos o productos, la metodología Seis sigma se encuentra conformada por las siguientes fases (Cuevas, 2008):

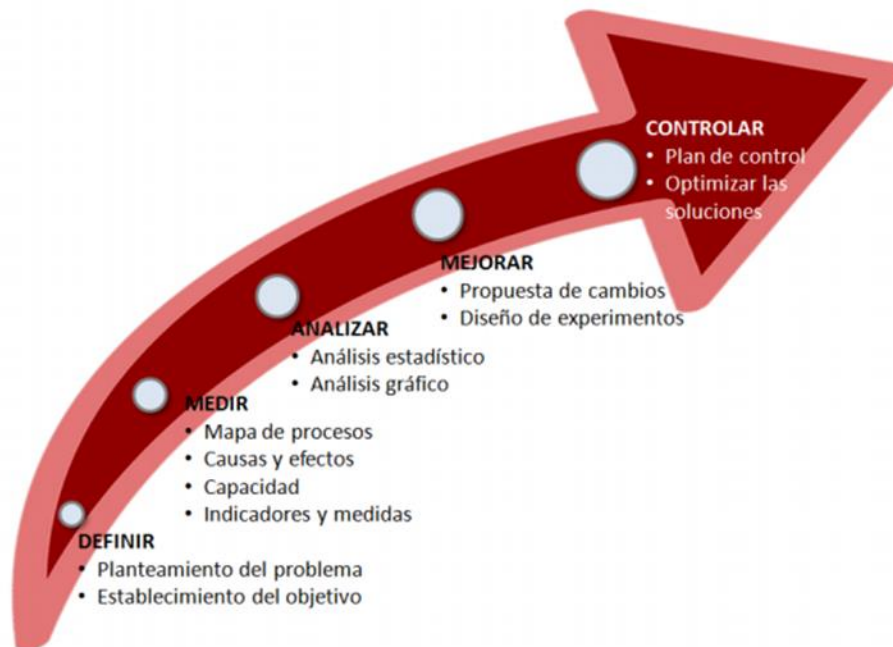


Figura 1. Fases de metodología Seis Sigma. Fuente: (Cuevas, 2008):

- ✓ Definir: el producto resultante de esta fase deberá ser una clara descripción de la mejora que se propone, un mapeo del proceso, y una lista de lo que es importante para el cliente.
- ✓ Medir: evaluar el sistema de medición actual, establecer medidas confiables para monitorear el progreso del objetivo previamente definido. El producto resultante de esta fase deberá ser datos del actual funcionamiento, datos que proporcionen la localización actual del problema o la ocurrencia y una descripción más enfocada del problema.
- ✓ Analizar: diagnosticar el sistema para identificar causas raíces y confirmarlas con datos. El producto resultante de esta fase deberá ser una teoría que ha

sido probada y confirmada, la causa o causas deberán formar la base para las soluciones de la fase de mejora.

- ✓ Mejorar: implementar soluciones que estén dirigidas a las posibles causas raíz, los productos resultantes de esta fase deberán ser acciones planeadas y probadas para eliminar o reducir el impacto de las causas raíz identificadas.
- ✓ Controlar: evaluar las soluciones y el plan para mantener las acciones implementadas, estandarizando el proceso. Los productos resultantes serán análisis de antes y después, un sistema de monitoreo y completar la documentación de resultados, aprendizajes y recomendaciones.

1.5.2. Principios de Seis Sigma

Seis Sigma se basa en unos principios claros que ayudan a ver lo que se espera de una empresa mediante este sistema, se presentan en 6 principios importantes (Bohigues, 2015; Zuluaga, 2016):

1. Auténtica orientación al cliente.

En Seis Sigma, la orientación al cliente se convierte en prioridad número uno. Por ejemplo, las medidas de rendimiento Seis Sigma empiezan con el cliente. Las mejoras Seis Sigma se definen por su impacto en la satisfacción del cliente y por su valor. Veremos por qué y cómo su empresa puede definir las necesidades del cliente, medir el rendimiento frente a ellas y mantenerse en la cumbre de los nuevos desarrollos y de la atención de necesidades insatisfechas.

2. Gestión orientada a datos y hechos

Seis Sigma lleva el concepto de “dirección por hechos” a un nivel nuevo y más potente. A pesar de la atención prestada en los últimos años a las medidas, a los sistemas mejorados de información, a la gestión del conocimiento, etc., no debe sorprenderle saber que muchas decisiones empresariales todavía se basan en opiniones y suposiciones. La disciplina Seis Sigma empieza por esclarecer qué medidas son las fundamentales para valorar el rendimiento del negocio; luego

aplica los datos y el análisis para comprender las variables clave y optimizar los resultados.

3. Orientación a procesos, gestión por procesos y mejora de procesos

Uno de los logros más notables de los esfuerzos Seis Sigma hasta la fecha ha sido convencer a los líderes y a los directivos, especialmente en las actividades y mercados basados en servicios, de que dominar los procesos no es un mal necesario, sino realmente una forma de construir ventajas competitivas en la entrega de valor a los clientes.

Concentrar las energías y métodos de análisis en los procesos implica mejorar estos con el fin de aumentar la satisfacción a los clientes internos y externos, con la mayor eficiencia en el uso de los recursos y con la mayor velocidad.

4. Gestión proactiva

Por decirlo de una forma sencilla, ser “proactivo” significa anticiparse a los acontecimientos, lo opuesto a ser “reactivo”. En la vida real, la gestión proactiva significa hacer un hábito de una serie de prácticas empresariales que, muy a menudo, son ignoradas: definir objetivos ambiciosos y revisarlos frecuentemente; establecer las prioridades de forma clara; centrarse en la prevención de problemas en vez de en apagar fuegos; plantearse por qué hacemos cosas en vez de defenderlas ciegamente con un “aquí las cosas se hacen así”.

5. Colaboración sin fronteras

Destruir y eliminar las barreras que dan lugar a los silos organizacionales, los cuales impiden el trabajo en equipo de la organización como un todo, haciendo difícil el logro de las mejoras en los procesos y en consecuencia el incremento en los niveles de calidad.

6. Búsqueda de la perfección; tolerancia a los errores

Las empresas no podrán alcanzar el nivel Seis sigma sin generar nuevas e innovadoras ideas. Para que la gente quiera probar nuevas ideas, conceptos, sistemas y metodologías de trabajo es menester que sepan con total claridad que

los posibles fallos han de ser tolerados, de lo contrario nadie se arriesgará a producir ideas destinadas a la mejora de los procesos.

1.5.3. Herramientas del Seis sigma

Entre las herramientas que se emplean en esta metodología podemos encontrar (Zuluaga, 2016):

- ✓ Herramientas destinadas a la generación de ideas y organización de la información. Entre ellas se pueden mencionar: la tormenta de ideas, diagrama de afinidad, estructura en árbol, mapa de proceso a primer nivel, diagrama de flujo de proceso y diagramas de causa-efecto (espina de pez).
- ✓ Herramientas para la obtención de datos se tienen: el muestreo estadístico, VDC (métodos para obtener la voz del cliente), hojas y gráficos de control, análisis del sistema de medida.
- ✓ Herramientas para el análisis del proceso y de los datos se trata, se pueden mencionar entre las más utilizadas: el análisis del flujo del proceso, análisis del valor añadido, diagrama y gráficos, diagrama de Pareto, histogramas, gráfico de tendencias y diagrama de dispersión.
- ✓ Herramientas para la implementación y gestión de los procesos. Entre éstas últimas herramientas se encuentran: los Métodos de Gestión de Proyectos, el Análisis de Problemas Potenciales , el Análisis del Modo de Fallo y sus Efectos (AMEF), Análisis de los grupos afectados, Diagramas de Campo de Fuerzas, Documentación del proceso, Cuadro de Mando Integral e indicadores del proceso.

1.6. Conclusiones Parciales del Capitulo

- 1 Los quesos se clasifican en función de: el contenido de humedad sin materia grasa, el contenido de grasa en el extracto seco y sus características de maduración.

- 2 Las tecnologías para la producción de quesos son similares en las etapas que deben realizarse, las variaciones están en dependencia del tipo de queso que se desea elaborar.
- 3 En la actualidad la calidad se ha convertido en uno de los factores de decisión más importantes de los consumidores para elegir entre productos y servicios que compiten.
- 4 En una planta de obtención de queso los elementos fundamentales que se siguen para el manejo de la calidad son el contenido de humedad, la temperatura y la cámara de maduración.
- 5 Seis sigma se trata de una metodología de mejora de la calidad del producto, que incluye la satisfacción del cliente, además de la minimización de costes, rentabilidad y eficiencia de los recursos utilizados

Capítulo II. Propuesta de Metodología Seis Sigma

En el presente capítulo se describe la metodología empleada para la evaluación de la disciplina tecnológica en el proceso de producción de queso del Combinado Lácteo “Germán Hernández Salas”.

2.1. Descripción del proceso tecnológico de producción

El queso se elabora a partir de una mezcla compuesta por los ingredientes:

- ✓ Leche fresca: se recibe y es almacenada en el tanque de guarda isotérmico con capacidad 10 200 L, aunque solo se están almacenando ≈ 7000 L.
- ✓ Leche descremada en polvo (LDP) o Leche entera en polvo (LEP).

2.1.1. Estandarización

El objetivo de esta operación es normalizar los componentes de la leche. Para ella se utiliza LDP o LEP y grasa vegetal. La grasa debe llevarse hasta 10,28 % y los sólidos no grasos se llevan hasta 7,63 %. Es importante resaltar la importancia que tienen los sólidos no grasos (SNG) en esta, porque dentro de ellos se encuentra la caseína que permite la coagulación de la leche para obtener queso.

2.1.2. Preparación del cultivo industrial

Inicialmente se prepara el cultivo industrial hasta obtener una densidad de $1,037 \text{ g/cm}^3$ para lograr que la masa estandarizada sea inoculada con microorganismos lácticos (puede durar hasta 6 días) presente en cultivos puros. Las bacterias producen fermentación láctea en la que transforman los azúcares de la leche en ácidos lácticos, efectuando la coagulación de la mezcla. Por lo general 500 L de leche son vertidos en un tanque isotérmico y se estandariza con LDP (o se disuelve LDP y agua). Este tanque está provisto de un serpentín a través del cual se hace circular vapor de agua, la mezcla alcanza $92 \text{ }^\circ\text{C}$, permaneciendo en ese valor por media hora aproximadamente. Posteriormente circula agua a temperatura ambiente con el objetivo de disminuir la temperatura de la leche para cultivo industrial hasta la temperatura de inoculación del cultivo técnico ($T = 25 -$

27 °C). Se inocula el cultivo técnico (que viene del laboratorio) de 1 a 1,5% y se agita de 5 a 10 min. Luego se pasa agua helada hasta alcanzar una temperatura de 23 °C. Se deja reposar 24 horas para poder comenzar a utilizarlo. La acidez debe oscilar entre 0,85 – 0,94 %, y evitarse los bombeos a alta velocidad y espuma porque la tensión superficial destruye las bacterias y entonces no se garantiza la completa homogenización del inóculo para que se produzca la coagulación homogénea.

El queso es producido de una mezcla láctea enriquecida en grasa (masa estandarizada). La caseína es una proteína presente en la leche que precipita cuando se acidifica la leche ayudando a la formación del coágulo consistente. Además, su hidrólisis enzimática genera una nueva proteína, denominada para-caseína que en el proceso de maduración forman unos macropéptidos denominados γ -caseínas, responsables de las características reológicas y organolépticas de los quesos. Dicha mezcla es estandarizada con el objetivo de normalizar la grasa (≈ 10 %, por encima de este valor puede provocar inhibición) y los sólidos no grasos (≈ 7 %) para obtener un producto terminado que cumpla con las especificaciones establecidas. Entre 600 y 700 L de leche fluida pasan al tanque disolutor de grasa, donde se agrega aceite vegetal a una temperatura de 65 a 70 °C aproximadamente (previamente fundida en dos tanques con agua caliente) y es agitada por medio de bomba recirculadora. Una vez disuelta, comienza el proceso de homogenización con el objetivo de distribuir uniformemente los glóbulos de grasa en la mezcla normalizada (homogeneizador de 5000 L/h y Presión de homogenización = 150 – 200 kgf/cm²). Después pasa nuevamente al tanque de guarda para estandarizar el resto de la leche que quedó allí.

Cuando la masa está estandarizada pasa al pasteurizador (un pasteurizador a placas de 5000 L/h, termómetro de 0 – 100 °C) que consta de 3 secciones: una de pasteurización, una de intercambio y una de frío. Se pasteuriza con la intención de disminuir las poblaciones patógenas de microorganismos y desactivar las enzimas

que modifican el sabor (se emplean generalmente temperaturas por debajo del punto de ebullición ya que a temperatura superior a este valor las micelas de la caseína se “coagulan” irreversiblemente, se "cuajan"). En la leche los microorganismos activan sus poblaciones creciendo de forma óptima en el intervalo de temperatura de 25 a 37 °C con la pasteurización se reducen las colonias y se eliminan también los microorganismos más termosensibles, como los coliformes, inactivándose la fosfatasa alcalina. A pesar de aplicar la pasteurización, la leche tratada sigue conteniendo actividad microbiana, por regla general bacterias lácticas (no patógenas, aunque sí capaces de hacer fermentar la leche) y es necesaria la refrigeración.

El proceso de calentamiento de la pasteurización, si se hace a bajas temperaturas, tiene además la función de detener los procesos enzimáticos. Primeramente pasa por la zona de intercambio donde se eleva la temperatura de la mezcla normalizada hasta el calor apropiado para su homogenización, posteriormente va al homogeneizador y a su regreso comienza la primera pasteurización donde la masa homogenizada se somete a un tratamiento térmico a una temperatura entre 74 y 80 °C (entre 1 y 1,5 kgf/cm²) con un tiempo de retención de 16 – 20 segundos. Seguidamente va a la zona de intercambio para disminuir su temperatura a partir del intercambio térmico con la mezcla proveniente del tanque de guarda. La masa homogenizada se enfría hasta la temperatura de 57 °C aproximadamente y la mezcla normalizada incrementa su temperatura hasta el calor apropiado para su homogenización. Posteriormente pasa a la sección de frío (Temperatura del agua fría = 4 °C máximo) hasta alcanzar la temperatura de inoculación (23 °C). La masa estandarizada y pasterizada pasa al tanque de maduración para ser inoculada con el cultivo industrial (2 tanques guardas de 10 000 L y 2 agitadores). Cuando, a aproximadamente, la mitad de la masa estandarizada se le ha hecho la primera pasteurización se le adiciona el cultivo (primeramente, se rompe el coágulo para proceder a la inoculación de la mezcla normalizada y pasterizada) y se continúa

haciendo la primera pasteurización al resto de la masa estandarizada. La cuajada se deja en completo reposo por un período de 18 horas.

En dicho proceso son eliminados los organismos mesófilos (tienen una temperatura óptima de crecimiento comprendida entre 20 y 45 °C) y los termófilos que pueden soportar condiciones extremas de temperatura (mínimo de 20 °C y un máximo de 75 °C y las hipertermófilas soportan temperaturas superiores a 75 °C, llegando incluso a superar a veces los 100 °C).

2.1.3. Preparación de la salmuera

Se prepara la salmuera con una densidad de 21 °Be (1,17 g/cm³) que pueda ser utilizada posteriormente en el salado de la masa. La salmuera se pasa por un filtro horizontal que retiene cuerpos extraños. Cuando la salmuera está lista se mantiene en reposo hasta que la cuajada tenga el porcentaje de acidez requerido, se agrega a la cuajada y se agita por 30 min (segundo día). La sal además de aportar un sabor salado, se emplea para mejorar la conservación, y para afirmar la textura con su interacción con las proteínas.

En el segundo día la cuajada sufre un proceso de calentamiento, pasa a la sección de pasteurización donde es sometida a tratamiento térmico utilizando agua caliente. La cuajada aumenta la temperatura a 74 – 80 °C con una retención de 10 a 20 segundos. Después pasa a la sección de enfriamiento, intercambiando calor con agua helada hasta alcanzar una temperatura entre 8 y 10°C. Con esta etapa se evita el desarrollo de microorganismos psicrófilos ya que sus temperaturas óptimas de desarrollo se encuentran entre 12-15 °C. Si la acidez es alta (>0,68%) se le incorpora agua a la cuajada para disminuir el porcentaje de acidez. La cuajada pasterizada y enfriada pasa al tanque balance, se mantiene funcionando el agitador. La diferencia de porcentaje entre la acidez de la cuajada con sal (CCS) y la acidez de la CCS normada, se multiplica por el volumen de CCS, y se obtiene entonces el volumen de agua necesario para disminuir el porcentaje de acidez hasta lo que plantea la norma (Ejemplo: Para 10000 L de

cuajada con sal (CCS) que posee una acidez de 0,71 %; se realiza el siguiente cálculo: $0,71 - 0,68 = 0,03$ % por lo tanto $V_{CCS} \cdot 3 \% = V_{agua}$ necesario para bajar acidez).

Se disuelve la cantidad de sorbato calculada en agua y se agita durante 30 min. El ácido sórbico es un compuesto orgánico natural empleado como conservante alimentario en su forma de sales minerales (sorbatos sódicos, potásicos y cálcicos). El sorbato es un agente antimicrobiano, es decir reducen el desarrollo de las levaduras y de mohos en salmueras, mejorando así la vida de mercado del alimento y la flora bacteriana se afecta solo ligeramente. Tiene reducida influencia sobre las características organolépticas.

El proceso continúa con el autodescreme. Del tanque balance, por medio de una bomba de desplazamiento positivo (para que no se rompa el coagulo) pasa a los volteadores donde se llenan los sacos con cuajada para extraerle el suero por los orificios del volteador. Se mantiene alrededor de 40 min en los volteadores para eliminar parte del suero que contiene la cuajada por autoprensado (los volteadores se llenan con 200 sacos). Se le da media vuelta cada 5 ó 10 min hasta que la humedad alcance entre un 60 – 62 %.

El proceso de prensado consta de 4 prensas, cada una con una capa inicial de hielo frappé en donde los sacos de los volteadores son vertidos y se coloca otra capa para mantenerlos fríos y evitar aumento de acidez. Con este proceso se acaba de extraer el suero por medio de la prensa. Ahí está hasta el día siguiente en que se toman muestras para analizar que esté dentro de los parámetros establecidos (acidez, humedad, grasa). Durante el añejamiento, nuevos microbios se introducen en el queso, intensificando su sabor. Lentamente la caseína y la grasa se convierten en una compleja red interna de aminoácidos, aminos y ácido graso. De ahí pasa el salón de envase. En el anexo 1, se muestran los principales equipos del proceso.

2.2. Etapas del Seis Sigma

La metodología Seis Sigma se basa en cinco fases bien diferenciadas, Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, lo que se conoce por DMAIC, a continuación se desarrolla cada uno de estos pasos y como se relacionan entre sí.



Figura 2. Etapas del Seis Sigma.

2.2.1. Fase de definición

Esta primera fase, se centra en definir las CTQ'S (Críticas para la calidad) con base en la voz del cliente (VOC), el impacto que tiene para el negocio la realización del proyecto, las metas y el alcance que se pretenden lograr. Para ello se estratifica el problema tanto como sea posible, se identifica el producto la línea el servicio de forma específica, indicando cualitativamente de ser posible en cifras o porcentajes que demuestren la necesidad de modificar su estado actual (Morales, 2007).

2.2.1.1. Etapas de la fase de definición

Las etapas de la fase de definición son las siguientes:

1. Identificación de clientes internos y externos

El primer paso en la definición de un proyecto es identificar cuáles son los clientes a los que el proceso impacta, se define como cliente interno al personal interno afectado por el producto o servicio generado. Los clientes externos son todos aquellos a los que la empresa provee un producto o servicio, estos se dividen en usuarios finales, clientes intermediarios y otros que son impactados pero que no usan ni compran el producto (Bohigues, 2015; Morales, 2007).

- ✓ Usuarios finales: compran o usan el producto para su uso.
- ✓ Intermediarios: compran el producto para su reventa, reempaque, modificación o ensamble final para venta al usuario final. Ejemplo: detallistas, distribuidores, mayoristas, etc.
- ✓ Grupos impactados: no compran ni usan el producto pero son impactados por él. Por ejemplo la comunidad, gobierno, padres, grupos civiles, etc.

2. Determinar las CTQ's del proyecto

CTQ (*Critical to Quality*), es un atributo o característica de calidad de un producto o servicio que es importante bajo la expectativa del cliente. Existen otros conceptos como CTD (*Critical to Delivery*) y CTC (*Critical to Cost*), con el objetivo de reducir el tiempo de respuesta y los costos respectivamente. Los tres conceptos anteriores tienen en común que buscan reducir los costos, aumentar la satisfacción del cliente y mejorar el margen de la empresa.

Para determinar los CTQ, se tiene que conocer la voz del cliente interno o externo (VOC), o sea ¿qué es lo que espera nuestro cliente acerca del servicio o producto que le proporcionamos? La recolección de las percepciones u opiniones de los clientes hacia el producto o servicio pueden darse por dos vías (Bohigues, 2015):

✓ Reactivas

La información o feedback del producto la ejecuta el cliente, iniciada (posiblemente) por descontento o malfuncionamiento del producto o servicio. Algunas fuentes son: quejas del comprador (ya sean escritas o verbales);

devolución del producto (lo que equivale a mercancía defectuosa); asistencia técnica y/o general para atender reclamos o problemas técnicos del producto.

✓ Proactiva

En el afán por conocer y entender lo que necesita y espera el cliente, el proveedor o fuente principal del servicio o producto realiza esfuerzos anticipados para recolectar información previa al desarrollo o creación del producto. En el mejor de los casos el cliente puede estar involucrado en el diseño, desarrollo y pruebas de dicho producto o servicio.

3. Selección del problema

El problema se selecciona con base a las políticas de la organización, al grupo de trabajo, jefe inmediato y a los resultados organizacionales. Entre los criterios para selección se encuentran: seguridad, calidad, entrega, costo y nivel de servicio (Morales, 2007). En función de estos criterios se expresan los antecedentes, la importancia y prioridad de los problemas. Además de enunciarse como impacta la mejora del proceso al negocio, deben estudiarse las consecuencias de no realizar el proyecto, la situación actual debido al proceso real y los efectos que ha ocasionado.

El problema del proceso, del producto o del servicio debe quedar bien definido, e indicado de forma cuantitativa, para evidenciar la necesidad de modificar su estado actual. En base al mismo se definen los objetivos, en función de que es lo que vamos a obtener con la realización del proyecto.

4. Mapa del proceso

El mapeo de cualquier proceso permite identificar mejor las actividades o tareas elementales que lo conforman y que sirvan para describir cómo funciona actualmente, para posteriormente, durante la etapa medir, concretar indicadores y mediciones que permitan describir en detalle su funcionamiento (Bohigues, 2015).

Un mapa del proceso o diagrama de flujo es una herramienta gráfica muy útil para mostrar la secuencia de actividades en un proceso. “Consiste en una

representación gráfica de las distintas etapas de un proceso de fabricación, gestión, administrativo o de servicios, consideradas en orden secuencial” (Chowdury, 2005; Pérez, 2010). En este ubicaremos los inputs y outputs de cada parte del proceso, con indicación de las actuaciones o toma de decisiones que le sean aplicables. Se usa para entender globalmente el proceso y tenerlo confinado.

2.2.2. Fase de medición

En cualquier producto hay cierta variabilidad lo que genera que existan disconformidades, haciendo que los productos o servicios que se brindan sean diferentes unos con otros; por consiguiente, dos productos no siempre son idénticos, por naturaleza (Morales, 2007). El propósito de esta fase es medir dicha variabilidad, para saber si existen datos que se encuentren fuera de las especificaciones, que estén causando problemas en nuestros procesos.

En ocasiones dispondremos de datos medidos sistemáticamente e incluso de forma automatizada en una empresa. En otras ocasiones habremos de diseñar el modo de medir un determinado proceso, para capturar la información que precisemos (Bohigues, 2015).

Para realizar esta actividad es de suma importancia conocer: ¿qué es lo que necesitamos medir? y ¿cómo lo vamos a medir? En función de las condiciones o necesidades que se tengan se utilizan herramientas que ayudan a responder las preguntas anteriores, con la información más objetiva y precisa posible.

2.2.2.1. Etapas de la fase de medición

Esta fase consta de las siguientes etapas:

1. Seleccionar los CTQ's del proceso (Crítico para la calidad)

En todo proceso tendremos una serie de requisitos o necesidades del cliente que durante la etapa definir, reformulamos en términos de requisitos, atributos o prestaciones del producto o servicio producido (Morales, 2007). Los que realmente son críticos para la calidad, CTQ, nos ayudan a definir y concretar el proyecto.

El siguiente paso es el de relacionar estos CTQ con variables o características cuantificables numéricamente y que nos permitan evaluar los logros del proyecto, o sea, la capacidad del proceso para satisfacer las necesidades “críticas” de los clientes o el grado de cumplimiento de estas necesidades. A estas variables las denominaremos variables Y, serán las variables o características sobre las que recabamos información (numérica) para poder evaluar el cumplimiento o grado de cumplimiento del CTQ.

A su vez, el proceso dependerá de una serie de condiciones controlables de puesta en marcha y funcionamiento (entradas, métodos, recursos), que habremos de cuantificar en variables X para a continuación encontrar el modo en que se relacionan con las salidas Y y predecir cómo las condicionan. El control sobre estas variables X permitirá modificar las salidas Y para cumplir con los requisitos del cliente. Conseguir unas salidas adecuadas será consecuencia pues, de regular y controlar las condiciones de funcionamiento del proceso que influyen sobre éstas. Expresado matemáticamente, los resultados Y serán función de las entradas X, $Y=f(X)$. En ocasiones los CTQ y las Y's coincidirán, pero no siempre será así.

Tabla 2.1. Variables dependiente e independiente.

Y	X_1, X_2, \dots, X_n
Variable dependiente	Variable independiente
Salida (respuesta)	Entrada-Proceso
Efecto	Causa
Síntoma	Problema
Monitoreable	Controlable.

Los CTQ's del cliente (interno o externo) corresponden a la “Y”, y los CTQ's del proceso corresponden a las “X's”. En esta etapa se tratarán de determinar las X's, ya que son las variables que podemos medir y controlar. Para la selección de los

efectos más importantes podemos emplear diversas herramientas como (Ver Anexo 2):

Diagrama de Pareto

Según Ruiz-Falcó, (2009) el principio de Pareto se enuncia diciendo que el 80 % de los problemas están producidos por un 20 % de las causas. Por lo tanto lo lógico es concentrar los esfuerzos en localizar y eliminar esas pocas causas que producen la mayor parte de los problemas. El diagrama de Pareto no es más que un histograma en el que se ordenan cada una de las "clases" o elementos por orden de mayor a menor frecuencia de aparición. A veces sobre este diagrama se superpone un diagrama de frecuencias acumuladas.

Diagrama de Causa Efecto

También conocido como diagrama de Ishikawa o “Espina de Pescado”).

Una vez que un defecto, error o problema se identifica, es necesario empezar a analizar las causas potenciales de este efecto indeseable (Vinasco, 2017). En distintas ocasiones las causas no son obvias en otras sí lo son; de lo anterior se obtiene que el diagrama de causa y efecto (Ishikawa) es una herramienta que con frecuencia es de gran utilidad para ilustrar las causas que generaron cierta problemática (Pineda, 2019). Es la representación gráfica, “espina de pescado” que muestra con claridad la relación entre los problemas y sus causas y sirve para que conozcamos con mayor profundidad el proceso (Cabezón, 2014). Podemos decir que las características principales de esta herramienta son:

- ✓ Impacto visual, al mostrarnos de forma ordenada, clara, precisa y de un solo golpe de vista la relación entre un efecto y sus posibles causas.
- ✓ Capacidad de comunicación, al permitirnos una mejor comprensión de la relación causa-efecto en estudio, incluso en situaciones complejas.

Las “causas primarias” se presentaran agrupadas y jerarquizadas en grupos de cuatro o seis, que son las conocidas como las seis M; mano de obra, maquinaria, materiales, método, medio ambiente y mantenimiento.

Es necesario tener en cuenta que en el diagrama anotamos las causas potenciales, por lo tanto, tendremos que confirmar que la relación causa-efecto realmente existe. A medida que se van adquiriendo más conocimientos sobre el problema analizado y se van plasmando en el diagrama, este va cambiando con lo que podemos decir que es un diagrama vivo (Cabezón, 2014). En el transcurso del análisis pueden aparecer nuevas causas que inicialmente no se habían tenido en cuenta. También, algunas causas se han eliminado o se ha detectado que no influyen en el proceso, entonces no debemos borrarlas del gráfico, sino tacharlas, para tener en cuenta que estas causas ya han sido estudiadas.

Es vital para este paso y los posteriores, conocer en detalle el funcionamiento del proceso, para la recopilación de los datos del proceso y poder determinar su capacidad para cumplir con los requisitos de los clientes.

2. Establecer y validar el plan de recolección de datos

Una vez que se definido claramente que es lo que se desea medir, al igual que el origen del que se extraerán los mismos, se debe proceder a armar el plan de recolección de datos. El plan de recolección de datos consiste en especificar exactamente quiénes son los responsables de realizar cada registro y cuántos datos deben medirse o por cuánto tiempo deben realizarse las mediciones. Además deben realizarse todas las aclaraciones que sean necesarias sobre los medios para obtener los datos (Kurka, 2011).

El objetivo de la etapa medir es conseguir datos que reflejen de modo preciso el comportamiento de un proceso. Si hay errores de medición, este objetivo no se consigue, y las variaciones reales quedan camufladas con los errores de medición. Los tipos de error de medición a evitar son:

- ✓ Errores de exactitud, esto es, se generan diferencias entre el valor registrado y el real. Se refieren a errores por sesgos, linealidad, estabilidad, discriminación.
- ✓ Errores de precisión, relacionados con la fiabilidad del sistema de medida, es decir, con su capacidad para producir siempre las mismas mediciones bajo idénticas condiciones, y aluden a problemas de repetitividad y reproducibilidad.

3. Definición de estándares de desempeño

Una vez que se ha realizado la recolección de los datos, es necesario el determinar las medidas básicas del proceso, a partir de los mismos. Cabe destacar que lo que se busca en esta etapa es tener la idea más precisa posible sobre la situación actual del proceso sobre el que se está trabajando, no el hallar las causas de los problemas existentes.

a) Definición Operacional

Es una descripción precisa acerca del proceso que aclara cualquier ambigüedad del mismo. Es un paso clave para el CTQ que está siendo medido.

b) Meta de desempeño

Estamos interesados en alcanzar la meta de desempeño de la característica de un producto o proceso. La meta es reducir la variación al máximo.

c) Límite de especificación

La cantidad de variación que el cliente está dispuesto a aceptar en un producto o proceso. La especificación puede ser determinada internamente por ingeniería, siempre y cuando no afecte al consumidor, sino al contrario lo beneficie.

d) Defecto

Cualquier característica del producto que sale de los límites de especificación o de los estándares de apariencia, color, duración, etc.

2.2.3. Fase de análisis

En esta fase se efectúa el análisis de los datos obtenidos en la etapa de medición, con el propósito de conocer las relaciones causales o causas raíz del problema (Morales, 2007). Además de permitir establecer una capacidad básica de desempeño del proceso, que servirá como punto de comparación una vez que se hayan aplicado las mejoras al proceso. La información de este análisis nos proporcionará evidencias de las fuentes de variación y desempeño insatisfactorio, el cual es de gran utilidad para la mejora del proceso.

Una vez identificadas las causas potenciales por análisis de datos o de procesos, se realiza una validación estadística de las mismas apoyándose en herramientas como: Análisis de modalidades de falla y sus efectos (FMEA), pruebas de hipótesis, análisis multivariable, análisis de varianza (ANOVA), y análisis de regresión.

2.2.3.1. Etapas de la fase de análisis

La fase de análisis consta de las siguientes etapas:

1. Definir el objetivo de desempeño

En esta etapa se define la meta que perseguimos, es decir el nivel de sigma esperado. Una opción común es realizar un *Benchmarking*, para identificar quien tiene el mejor desempeño.

Según la definición de David T. Kearns, Director General de Xerox Corporation "el benchmarking es un proceso sistemático y continuo para evaluar los productos, servicios y procesos de trabajo de las organizaciones reconocidas como las mejores práctica, aquellos competidores más duros". En resumen, el benchmarking consiste en tomar como referencia a los mejores y adaptar sus métodos, sus estrategias, dentro de la legalidad (Bohigues, 2015).

2. Identificar las fuentes de variación

La variabilidad es un indicador clave de la capacidad que tiene un proceso para cumplir con la calidad requerida. Los resultados de los procesos varían debido a dos tipos de variabilidad: por causas comunes y por causas especiales (Bohigues, 2015). La primera depende de la forma en que se realiza el proceso (materiales, método, herramientas, personal, entorno, etc.). La segunda ocurre por causas especiales o asignables, producida por fuentes externas al proceso, aparecen en forma esporádica, afectando al patrón aleatorio de las causas comunes y sacando al proceso de control.

Una herramienta muy útil en este punto es el *Brainstorming* o Lluvia de Ideas. Esta herramienta se basa en reunir al equipo y permitir que todos los miembros aporten posibles ideas sobre las causas del problema. Es fundamental aquí la regla de “aplazar el juicio”, ya que en un principio toda idea es válida y ninguna debe ser rechazada. En el *Brainstorming* se prioriza la cantidad por sobre la calidad, y se valora la originalidad (Kurka, 2011). Otra herramienta muy difundida, que puede aplicarse es el diagrama de Causa-Efecto.

Una vez determinadas las causas de variación, mediante un diagrama de Pareto se pueden determinar las X vitales que afectan la variable de respuesta. Posteriormente se procede a la validación estadística de los datos, mediante las herramientas siguientes:

Regresión lineal

El análisis de regresión tiene como objetivo modelar en forma matemática el comportamiento de una variable de respuesta en función de una o más variables independientes (factores). Si mediante un modelo matemático es posible describir tal relación, entonces este modelo puede aplicarse con propósitos de predicción, optimización o control (Gutiérrez y de la Vara, 2008). Para estimar los parámetros de un modelo de regresión son necesarios los datos, los cuales pueden obtenerse

de experimentos planeados, de observaciones de fenómenos no controlados o de registros históricos.

Si se quiere explicar el comportamiento de una variable Y en función de los valores que toma X, el análisis de regresión lineal simple permite determinar el modelo que mejor se ajusta a los datos, a partir de una relación funcional de forma lineal (Gutiérrez y de la Vara, 2008). Para confirmar la validez del modelo obtenido y hasta qué punto este modelo representa fielmente el fenómeno que se estudia, es necesario verificar la calidad de ajuste del modelo y el grado de correlación entre las variables.

El coeficiente de correlación expresa el grado de alineación entre las variables x, y; este puede tomar valores desde -1 hasta +1; donde los valores extremos señalan que existe dependencia lineal perfecta entre las variables, en tanto el valor cero señala que no hay dependencia lineal alguna.

La calidad de la regresión puede determinarse mediante la realización de un análisis de varianza, prueba ANOVA. El *P-value* (valor de la probabilidad) indica la probabilidad de que la relación entre las variables sea significativa, este debe ser menor de un nivel de significación igual a 0,05.

Otro indicador de la calidad de ajuste es el error relativo de predicción del modelo, este se estima por la diferencia entre los resultados obtenidos por el modelo con respecto a los datos de referencia que se utilizan para su determinación, y define la calidad de predicción del modelo. Según Sargent (2009), el cálculo del error relativo permite validar el modelo si este es menor que 10 % y se determina por la ecuación 2.1.

$$E_{rel} = \frac{x_{ref} - x_{cal}}{x_{ref}} * 100 \quad \text{Ec. 2.1}$$

Dónde, E_{rel} : error relativo; x_{ref} : valor de variable de referencia; x_{cal} : valor de variable calculada por el modelo.

Cartas Multi-Variantes

Técnica de pre-experimentación diseñada para aislar y cuantificar los mayores componentes de variabilidad en procesos de producción. El objetivo general de las cartas Multi-Variantes es, descubrir los componentes de variación en el proceso, por ejemplo: de lote a lote, dentro del lote, de turno a turno, entre turnos, dentro del turno, de máquina a máquina, dentro de la máquina, etc. Según Morales (2007), estas identifican tres principales familias de variación que pueden influenciar en la variabilidad del proceso, éstas son: variación posicional, cíclica y temporal.

- ✓ Variación posicional

Se refiere a variaciones dentro de una misma pieza, variaciones producidas de un troquel a otro, dentro de un lote de piezas, de una máquina a otra, de un operador a otro, o de una planta a otra.

- ✓ Variación cíclica

Es la variación entre unidades de un mismo proceso, o variación entre grupos de unidades (lotes).

- ✓ Variación temporal.

Variación de diferencia de tiempo (por ejemplo: de hora a hora, de día a día, de semana a semana, etc.), variación de una corrida de producción a otra, o variación de turno a turno.

Una vez identificados las fuentes de variación, el análisis Multi-Variante está diseñado para identificar la variable independiente de mayor influencia dentro de las familias de variación descritas anteriormente.

Pruebas de hipótesis

La calidad del producto terminado se evalúa realizando pruebas de hipótesis a los parámetros característicos del producto terminado y a las principales variables de las etapas del proceso que inciden directamente sobre este; que son comparados con la norma establecida para la industria.

Una hipótesis estadística es un enunciado o afirmación ya sea acerca de los parámetros de una distribución de probabilidad o de los parámetros de un modelo. La hipótesis refleja alguna conjetura acerca de la situación del problema. Para la realización de una prueba de hipótesis se selecciona un tamaño de muestra (n), se plantea una hipótesis nula (H_0) y una alternativa (H_1) que es contraria a la nula, además se conoce la desviación estándar de la muestra (sX), la *t-student* ($t_{1-\alpha}$) para un 95 % de confiabilidad o lo que es lo mismo con un error (α) del 5 %, se calculan los grados de libertad (GL) por la ecuación 2.3, para después poder estar en posición o no de rechazar H_0 .

$$\text{Nivel de Confianza} = 100 - \alpha \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$GL = n - 1 \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$(x - U_0) > (t_{1-\alpha} / \frac{sX}{\sqrt{n}}) \quad \text{Ec. 2.4}$$

Si se cumple lo planteado en la ecuación 2.4, entonces se acepta la hipótesis nula, si no se cumple se acepta la hipótesis alternativa (Gutiérrez, 1997).

Análisis de varianza

La información del análisis de varianza se brinda en la tabla ANOVA, el objetivo del análisis es comparar una población con otra (Guerra y Sevilla, 1986). La varianza existe entre cada grupo individual y también existe la varianza entre los grupos, la relación entre ambas varianzas debe ser aproximadamente igual a uno para que las varianzas se acerquen a una misma población (Guerra *et al.*, 2004). Esta relación es conocida como F de Fisher, generalmente el valor de dicha relación se compara con un valor de F tabulado (Guerra y Sevilla, 1986); la F de Fisher está relacionada con el *P-value* que indica la probabilidad de si existen o no diferencias entre las poblaciones. Si el valor del *P-value* es menor que el nivel de significación 0,05 % existen diferencias significativas entre las poblaciones con un nivel de confianza del 95 %.

Además con la realización de la prueba de múltiples rangos, se pueden identificar cuáles son los grupos homogéneos y los que presentan diferencias significativas.

Para aplicar los procedimientos anteriores es necesario realizar las pruebas de normalidad, y verificar que los datos experimentales tengan una distribución normal. Por lo tanto, se requiere del análisis de tres pruebas a desarrollar, de las cuales dos como mínimo deben realizarse para justificar el resultado. En la demostración de la distribución normal se establecen las siguientes pruebas a realizar:

Capacidad del proceso

Medir la capacidad del proceso consiste en cuantificar cuánto concuerdan los resultados con las especificaciones del proceso (dadas por los requisitos del cliente) en términos del número de defectos y/o la producción observada y esperada. Explicado de otro modo, la capacidad del proceso es una medida del grado en que el rendimiento real de un proceso (sus resultados) está dentro de las especificaciones. Un proceso será capaz si todos los posibles resultados caen dentro de los límites de especificación (Morales, 2007).

El estudio de capacidad del proceso se realiza en distintas fases de un proyecto de mejora, y en cada una de ellas con una finalidad concreta:

- ✓ en la fase medir, para determinar el rendimiento real y potencial del sistema,
- ✓ en la fase MEJORAR, cuando se optimiza el proceso, para confirmar la solución como una solución de mejora que satisface las especificaciones,
- ✓ en la fase CONTROL, cuando se compara la mejora actual con el objetivo de mejora.

La baja capacidad de un proceso puede proceder de dos fenómenos, o de la combinación entre ambos: precisión y centrado. Un proceso puede estar centrado, de forma que el valor medio de su resultado esté próximo al centro del intervalo de la especificación, pero ser impreciso (disperso), por lo que algunos valores estarán fuera de dicho intervalo, en cualquier extremo. Por otra parte, un proceso puede

ser preciso, tener poca dispersión, pero estar descentrado, de forma que el valor medio de su resultado estará próximo a uno de los extremos del intervalo de especificación y, a pesar de su pequeña dispersión, alguno de los valores estará fuera del intervalo (Bohigues, 2015).

La medición de la capacidad se realiza de uno u otro modo (con distintas herramientas) en función de si los datos que medimos son de tipo numérico o consisten exclusivamente en conteos (defectos/no defectos).

Gráficamente podemos explorar la capacidad del proceso representando en un gráfico los datos numéricos superpuestos sobre los límites de especificación del proceso, o mediante gráficos de barras si se trata de datos de tipo categórico (defectos/no-defectos). Si hay muchos datos fuera de los límites de especificación, o el porcentaje de defectos es demasiado grande, el proceso será poco capaz (Morales, 2007).

Numéricamente evaluaremos la capacidad del proceso en función de “índices de capacidad”, que se calcularán de uno u otro modo en función de la naturaleza de los resultados Y medidos en el proceso. Así, en datos discretos (defectos/no-defectos) se calcularán a través del número de defectos y de oportunidades, y en datos continuos se calcularán en función de medias, desviaciones típicas y de los propios límites de especificación del proceso.

Cuando los datos Y disponibles conciernen al número de defectos encontrados, será preciso medir la capacidad basada exclusivamente en dichos defectos. Esta aproximación es:

- ✓ simple: se comprende bien la diferencia entre bueno y defectuoso;
- ✓ consistente: siempre que hay requisitos del cliente, aparecen defectos;
- ✓ comparable entre procesos, compañías, ...

Los principales índices de capacidad cuando sólo tenemos información sobre el número de defectos, son:

- ✓ Rendimiento (YIELD). Es el volumen de buenos resultados sobre el total de resultados (unidades por oportunidades)

$$YIELD = \frac{total-defectos}{total} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Siendo defecto, es cualquier fallo que impide alcanzar el estándar o los requisitos del cliente.

- ✓ Rendimiento de primera mano (FTY). Es el volumen de buenos resultados obtenidos sin necesidad de retrabajo.

$$FTY = \frac{total-retrabajo-defectos}{total} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde retrabajo, es el producto defectuoso devuelto a la cadena de producción para reprocesarlo y rectificar los defectos. Multiplica los costes de producción

- ✓ Rendimiento acumulado de primera mano (RTY). Es el volumen de primeros buenos resultados acumulados en el proceso completo, cuando un proceso está compuesto de varios subprocesos.

$$RTY = \prod_{i=1}^n FTY_i \quad \text{Ec. 2.7}$$

- ✓ Defectos por unidad (DPU). Es el ratio de defectos entre el número total de unidades inspeccionadas.

$$DPU = \frac{defectos}{unidades} \quad \text{Ec. 2.8}$$

Siendo unidad, el producto que se procesa o el producto/servicio final que se entrega.

- ✓ Defectos por oportunidad (DPO). Es el ratio de defectos por el total de oportunidades.

$$DPO = \frac{defectos}{unidades*oportunidades} = 1 - YIELD \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde oportunidad, representa cuántos defectos se podrían encontrar en una sola unidad.

- ✓ Defectos por millón de oportunidades (DPMO). Es el número de defectos por oportunidad multiplicado por un millón.

$$DPMO = DPO * 10^6 \quad \text{Ec. 2.10}$$

Una vez tenemos calculadas estas medidas en términos de defectos, podemos utilizar las tablas de conversión (ver Anexo 3) para concluir sobre el nivel Sigma del proceso.

AMEF (FMEA)

El FMEA es considerado un método analítico para detectar y proponer medidas para eliminar problemas, cuyos objetivos principales son: reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto; determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema; identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial; analizar la confiabilidad del sistema; y documentar el proceso.

Para realizar un análisis de modos y efectos de fallos se utiliza la siguiente metodología (Cabrera, 2016; Hernández, 2020):

1- Definir el sistema, sus características, y establecer sus límites.

Si el estudio se realiza al nivel de toda una planta el análisis se debe enfocar sobre los sistemas individuales (ej: sistema de generación de vapor, sistema de enfriamiento, sistema de almacenamiento, etc.) Si se realiza a nivel de sistema o subsistema, debe enfocarse sobre los equipos individuales (ej: pasteurizador, tanque de recepción, intercambiadores de calor, bombas, etc.).

2- Identificar los modos de fallos relevantes y sus efectos.

El modo de fallo se define como la manera en que una parte puede potencialmente fallar en cumplir con los requerimientos específicos del proceso. Para su análisis se hace una lista de cada modo de fallo potencial para la operación en particular, considerando que cada falla debe estar dentro de la

siguiente clasificación: falla total; falla parcial; falla intermitente; falla gradual y sobre funcionamiento.

Estos se pueden considerar como las no conformidades potenciales del proceso. Para evaluar la seriedad de las consecuencias se puede utilizar el índice de gravedad o calcular el número de prioridad del riesgo (NPR) (Cabrera, 2016; Hernández, 2020). Para registrar los resultados por uno o ambos casos se propone la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Registro de los resultados de la aplicación del FMEA.

Elemento	Descripción del equipo	Modo de fallo	Forma de detección del fallo	Efecto de fallo	O	S	D	NPR	Acciones correctivas

El índice de gravedad, permite clasificar los diferentes escenarios, de acuerdo a la seriedad de sus consecuencias. En dicho caso, se utiliza un índice de gravedad entre 1 y 4: 1- sin efectos adversos; 2- efectos menores que no requieren detención de la operación; 3- efectos importantes que requieren detención normal; 4- peligro inmediato para el personal e instalaciones, parada de emergencia.

El número de prioridad del riesgo (NPR), da una medida del Nivel de Riesgo del suceso que se está analizando, siendo el indicador para tomar decisiones sobre el proceso. Este se calcula mediante la ecuación 2.11.

$$NPR = O * S * D \quad \text{Ec. 2.11}$$

La incidencia (O) determina con qué frecuencia puede ocurrir el suceso, asignándose un valor entre 1 y 10, siendo el 1 improbable y el 10 altamente probable. La severidad (S) permite evaluar cada efecto de fallo entre 1 (sin peligro) a 10 (crítico). Permite priorizar los modos de fallo y sus efectos. Mientras mayor sea la severidad de un efecto, mayor atención se debe tener en la actividad del

proceso. El nivel de detección (D) es necesario conocer si existe un mecanismo de detección y como funciona este. Se asigna un valor entre 1 y 10, siendo el 1 que el mecanismo de detección existe y funciona de forma eficaz y 10 que el mecanismo de detección no existe o no funciona.

2.2.4. Fase de mejora

En el paso anterior se identifican las causas de variación. En esta fase se utiliza el diseño de experimentos (DOE), para seleccionar las causas que más afectan nuestro CTQ e investigarlas para conocer el comportamiento del proceso.

2.2.4.1. Etapas de la fase de mejora

Las etapas de la fase mejora son las siguientes:

1. Mostrar las causas potenciales y caracterización de X's

En la fase de análisis encontramos los pocos vitales X's, en esta fase vamos a determinar aquellos que realmente afectan nuestro proceso. Estos son elementos críticos o factores, nombrados en tipo, clase, o en cantidad. Esto se lleva a cabo a través de datos históricos, conocimiento y discusiones. Otra herramienta que nos permite realizar esta actividad es el diagrama Causa-Efecto.

Los cambios en los parámetros de operación referentes a las X's pueden ser puestos en niveles múltiples, para estudiar cómo afectan la respuesta en el proceso "Y". El DOE es un método para probar la significancia, con que afectan cada uno de los factores a la variable de respuesta, y para determinar la interacción entre dichos factores (Montgomery, 2017).

El DOE permite identificar los CTQ fundamentales, sirve para comparar el resultado experimental con el real del proceso, además de determinar los niveles más apropiados de los mismos, o sea optimizar (Morales, 2007).

2. Descubrir las relaciones entre variables

El diseño de experimentos consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras (Gutiérrez y de la Vara, 2008).

Los modelos de “Diseño de experimentos” son modelos estadísticos clásicos cuyo objetivo es averiguar si unos determinados factores influyen en la variable de interés y, si existe influencia de algún factor, cuantificarla (Bohigues, 2015). La metodología del diseño de experimentos se basa en la experimentación. Es conocido que si se repite un experimento, en condiciones indistinguibles, los resultados presentan variabilidad que puede ser grande o pequeña.

Un proceso de manufactura es una combinación de personas, métodos y máquinas que transforman materias primas en productos terminados. Algunas de las variables del proceso X_1, X_2, \dots, X_n son controlables, mientras que otras no son controlables. Los objetivos del diseño de experimentos pueden incluir (Morales, 2007):

1. Encontrar cuáles factores influyen más a la variable, Y.
2. Determinar en donde ajustar las variables de influencia X's, de tal forma que Y se acerque al requerimiento nominal.
3. Determinar donde ajustar las variables de influencia X's de tal forma que la variabilidad en Y sea pequeña.

Por lo anterior, los métodos de diseño de experimentos pueden utilizarse ya sea para el desarrollo o la mejora de los procesos, para mejorar el desempeño o para obtener un proceso que sea robusto o insensible a fuentes externas de variabilidad (Morales, 2007).

Según Morales (2007), el control estadístico de procesos (CEP) y el diseño de experimentos están muy relacionados. Si un proceso está en control estadístico

pero no tiene la suficiente capacidad, para reducir su variabilidad será necesario optimizarlo a través del diseño de experimentos. El CEP es un método estadístico pasivo, donde se observa el proceso y se espera que ocurra una señal que nos oriente hacia un cambio útil, sin embargo, si el proceso está en control, la observación pasiva no producirá mucha información útil. Por otra parte, el diseño de experimentos es un método estadístico activo, donde, se realizan una serie de pruebas en el proceso haciendo cambios en las entradas y observando los cambios correspondientes en las salidas, esto genera información que puede guiar hacia la mejora del proceso. La aplicación de estas técnicas durante el desarrollo de los procesos puede resultar en: rendimiento mejorado, variabilidad reducida y comportamiento cercano al valor nominal, tiempo de desarrollo reducido y costos totales reducidos.

Se han creado y propuesto muchos diseños experimentales para poder solucionar la gran diversidad de situaciones que existen en la práctica, entre los que se encuentra la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR). La MSR es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas en el modelado y análisis de problemas y en los que una respuesta de interés recibe la influencia de diversas variables, con las cuales el objetivo es optimizar esa respuesta (Montgomery, 2017).

3. Soluciones

La información de los experimentos se usa para identificar los factores críticos del proceso y determinar la dirección de ajuste de estos factores críticos para reducir el número de defectos por unidad. El diseño de experimentos también se usa para obtener información sobre los factores que deben ser controlados más de cerca con cartas de control (CEP), durante la fabricación para prevenir un comportamiento errático del proceso. Con el tiempo si el proceso se mejora lo suficiente, es posible controlar el proceso a través de sus variables críticas de entrada en vez de usar cartas de control para controlar las salidas o el producto terminado.

2.2.5. Fase de control

Una vez implementadas las mejoras en nuestro proceso, el último paso es verificar que estas se sigan y estén bajo control, e identificar las actividades o procesos que están fuera de control para corregirlos inmediatamente.

Los proyectos Six-Sigma se van actualizando constantemente. En la figura 3, se observa que la técnica es cíclica, también se puede regresar de una fase a otra, en caso de no haber obtenido la información necesaria, pero lo que no está permitido es saltar fases (Morales, 2007).

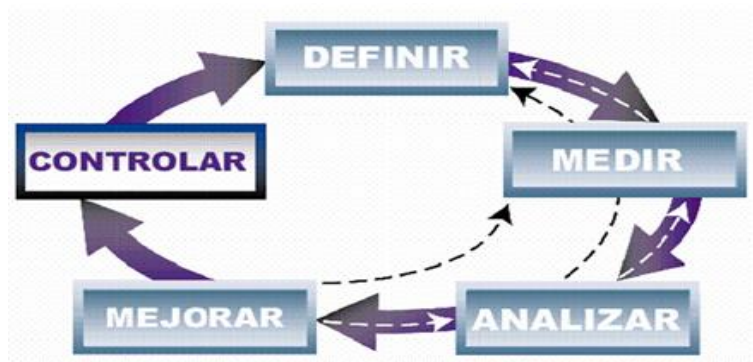


Figura 3. Seis Sigma una técnica Cíclica (Morales, 2007).

2.2.5.1. Etapas de la fase de control

Las etapas de esta fase son las siguientes:

1. Determinar la capacidad del proceso

Implantadas las mejoras se procede a calcular el nivel sigma del proceso, para saber en qué nivel nos encontramos actualmente.

2. Implementar el sistema de control

Los procesos tienden a degradarse con el tiempo, por lo que es muy importante el implementar un plan de control para cada X's, para esto es necesario tener procesos y procedimientos documentados y entrenar al personal que llevará a cabo esta actividad. En la figura 4, se observan los elementos para un adecuado plan de control:

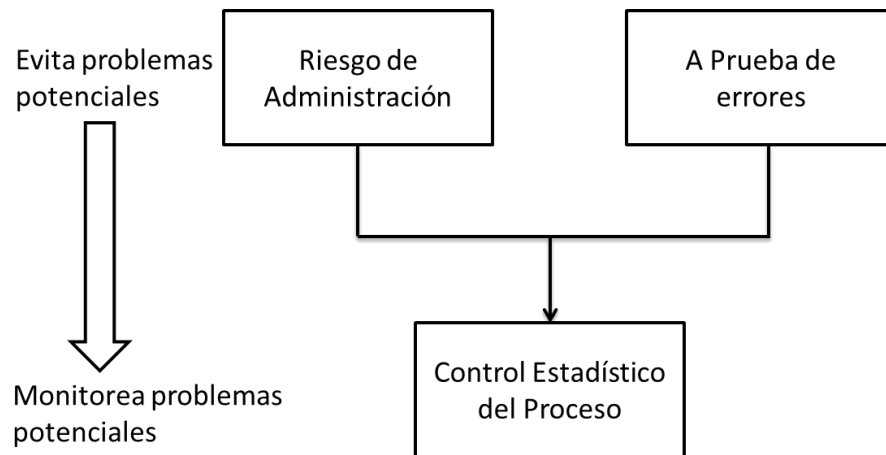


Figura 4. Elementos del Plan de Control.

Riesgo de la administración

Según Brassard (2002), es una metodología similar a un FMEA, que permite identificar y cuantificar los riesgos, y establece un plan de disminución de riesgos.

A prueba de errores

Un Poka-Yoke es una herramienta procedente de Japón que significa “a prueba de errores”. Lo que se busca con esta forma de diseñar los procesos es eliminar o evitar equivocaciones ya sean de ámbito humano o automatizado. Este sistema se puede implantar también para facilitar la detección de errores (Hernández *et al.*, 2018). Shigeo Shingo hizo una clara distinción entre error y defecto, los errores son inevitables; las personas son humanos y no se pueden esperar que estén concentrados todo el tiempo, o siempre entender completamente las instrucciones que se les ha dado (Fisher, 1999). Si se centran en las operaciones que se realizan durante la fabricación de un producto, éstas pueden tener actividades intermedias y el producto final puede estar formado por un gran número de piezas. Durante estas actividades, puede haber ensamblajes y otras operaciones que suelen ser simples pero muy repetitivas. En estos casos, el riesgo de cometer algún error es muy alto, independientemente de la complejidad de las operaciones (Hernández *et al.*, 2018).

Los sistemas Poka-Yoke implican el llevar una inspección al 100%, así como, una retroalimentación hacia el operador y auditores. También incluye llevar a cabo acciones inmediatas cuando los defectos o errores ocurren. La práctica de este sistema se realiza más frecuentemente en la comunidad manufacturera, para enriquecer la calidad del producto previniendo errores en la línea de producción. Busca tener un control en el origen y establecer mecanismos de control que ataquen diferentes problemas. Existen dos sistemas de Poka-Yoke, método de control y métodos de advertencia (Fisher, 1999).

Existen dos tipos de procesos que se deben distinguir: los procesos ya existentes que se han ejecutado durante algún tiempo, y nuevos procesos que se están desarrollando (George, 2002). La principal diferencia en la aplicación de dispositivos poka-yokes en procesos existentes es que ya se conocen el tipo de defectos que ocurren y la frecuencia de aparición. En nuevos procesos el diseñador de procesos debe tratar de visualizar que defectos son más probable en función de las dimensionales críticas de la parte, piezas claves en el ensamble, y diseñar dispositivos poka-yokes para prevenir estos posibles defectos que pueden surgir (Cabrera, 2015).

Control estadístico del proceso

Los gráficos de control son métodos para monitorear y realizar el diagnóstico del desempeño de un proceso en el tiempo, detectando posibles corrimientos de magnitud en los valores nominales de sus principales parámetros; por ejemplo, en la media o desviación estándar de una variable descriptiva de su desempeño (Pineda, 2019; Quintana *et al.*, 2015). Representan la evolución de una característica de calidad cuya variabilidad se requiere controlar, en función de las unidades de producto controladas (León, 2017).

Según León (2017), sin importar lo perfectamente que pueda estar elaborado un proceso, siempre va a existir cierto grado de variabilidad natural en las características. Si el proceso sólo presenta variaciones naturales se sabrá que se encuentra en estado de control estadístico. Por lo general no todos los procesos

se encuentran en un estado de control estadístico, debido a las causas fortuitas se origina una variabilidad asignable. El objetivo de la herramienta de control es identificar justamente esas variaciones asignables y sus causas fortuitas, ayudando para la toma de acciones correctoras llevando al proceso otra vez a un estado de control estadístico donde las variaciones restantes se deben a causas comunes.

Para su confección se requiere de recolección de datos reales del proceso en un tiempo determinado. Ambos parámetros se grafican, el tiempo en el eje "X" y la variable de interés en el "Y" y se observa el comportamiento de esta. Se establecen límites para la variable de acuerdo a su norma. Si alguno de los puntos de la carta (gráfico) está fuera de los límites, se observa inestabilidad (alejamiento entre un punto y el siguiente) o una tendencia, ya sea descendente, ascendente o a seguir un comportamiento definido, se puede decir que está fuera de control esta variable del proceso y así tomar medidas; si no sucediera ninguno de los comportamientos antes mencionados entonces se está en presencia de una variable que durante el tiempo de estudio estaba en control (Woodall, 2006).

Las cartas de control son la herramienta más poderosa para analizar la variación en la mayoría de los procesos, son gráficas poligonales que muestran en el tiempo el estado de un proceso. Las cartas de control utilizadas son la de medias (\bar{X}) y la de rangos (R). La carta de control \bar{X} se utiliza cuando la variabilidad del proceso es mucho menor que extensión de los límites, esta controla la tendencia central de este tipo de características de calidad y permite conocer cuando el proceso está fuera de control. La carta R se utiliza en aquellos casos en los que la variabilidad en el proceso cambia y los límites de control no son adecuados, esta anticipa el cambio de la media representando una alarma para ella (Sotolongo, 2017).

Plan de control:

El plan de control consiste en una descripción somatizada y escrita del sistema para controlar todas las características relevantes de un producto específico. En el mismo se describen las acciones que se requieren en cada fase de proceso para

asegurar que todas las salidas de este estarán bajo control estadístico. En las corridas regulares de producción, el plan de control proporciona los métodos estadísticos y monitores del proceso, que se utilizaran para controlar las características relevantes. En la tabla 2.3 puede observarse un ejemplo sencillo de plan de control para aplicar.

Tabla 2.3. Plan para el control de características críticas

<p style="text-align: center;">PLAN DE CONTROL <i>(Información general de la organización)</i></p>					
Proceso	Variable	Especificaciones	Controles	Muestreo (Tamaño/ Frecuencia)	Plan de reacción con producto fuera de especificación y/o parámetros de proceso

Conclusiones

Como resultado final del trabajo desarrollado, se ha podido arribar a las siguientes conclusiones:

1. Con la propuesta metodológica para la evaluación de la eficiencia y calidad del proceso de producción de queso, se pueden detectar y solucionar los problemas presentes en el mismo, por lo que se valida la hipótesis planteada.
2. Se describen los métodos y herramientas estadísticas fundamentales en cada etapa, para la obtención de los datos o información necesaria para la investigación.
3. Se plantearon los procedimientos y técnicas necesarios para definir, medir, analizar, mejorar y controlar las variables fundamentales del proceso objeto de estudio.
4. La metodología Seis Sigma es un proceso cíclico, se puede regresar de una fase a otra, en caso de no contar con la información necesaria.

Recomendaciones

Basadas en las conclusiones obtenidas y para la extensión futura del presente trabajo, se realizan las siguientes recomendaciones:

1. Evaluar la metodología planteada en el Combinado Lácteo “Germán Hernández Salas”, para evaluar la eficiencia y calidad del proceso de producción de queso. .

Bibliografía

1. AINIA (Instituto Tecnológico Agroalimentario). (2000). *Mejores Técnicas Disponibles en la Industria Láctea*.
2. Barcina, A. (1994). El análisis y sus aplicaciones en el control de calidad de quesos tradicionales y los desarrollos por nuevas tecnologías. *Revista española de lechería*.
3. Basu, R. (2011). Fit Sigma: A Lean Approach to Building Sustainable Quality Beyond Six Sigma. In. Wiley. https://www.oreilly.com/library/view/fit-sigma-a/9780470666210/OEBPS/9780470666210_epub_a_3.htm.
4. Bohigues Ortiz, A. (2015). *Desarrollo e implementación de un Modelo Seis Sigma para la mejora de la Calidad y de la productividad en Pymes industriales* [Tesis de Maestría]. Universitat Politècnica de València, España.
5. Brassard, M. (2002). Six Sigma Memory Jogger II, USA. Editorial Goal/QPC.
6. Cabezón Gutiérrez, S. (2014). *Control de Calidad en la Producción Industrial*. Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid.
7. Cabrera Gutiérrez, L. (2016). *Evaluación del comportamiento de la disciplina tecnológica en el proceso de obtención de queso de la Pasterizadora "Germán Hernández Salas" de Cárdenas* [Tesis de Pregrado]. Universidad de Matanzas, Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Química e Ingeniería Química.
8. Cabrera, R. C. 2015. Lean Six Sigma TOC Simplificado. México.
9. Cantú, H. (2006). *Desarrollo de una cultura de calidad*. México: Mc-Graw-Hill Interamericana Editores, S. A. de C. V.
10. Carot, A. (2001). *Control estadístico de la calidad*. México: Alfa Omega Grupo Editor.
11. Cervantes, F., Villegas, A., y Cesín, A. (2016). Caracterización de la cadena agroindustrial del queso adobera de los Altos de Jalisco, México. *En, Red*

- del Queso Artesanal, 1er Simposio de los quesos mexicanos genuinos.*
Chapingo, México.
12. Chamorro, M. (2002). *El análisis sensorial de los quesos*. Madrid, España: Mundi Prensa, ISBN: 84-89922-64-0 84-8476-025-1.
 13. Chowdury, B. (2005). *El Poder Six Sigma*. Madrid: Pearson Educación.
 14. Coste, E. (2005). *Análisis sensorial del queso*. 1ra ed. Editorial Universidad Nacional de Lomas de Zamora, España.
 15. Cuevas Aguilar, V.H. (2008). *Implementación de la metodología six sigma, en los procesos de producción y propuesta de un programa de mantenimiento autónomo, en la empresa Niasa* [Tesis de pregrado]. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica Industrial.
 16. Demartini, E., Gaviglio, A., & Pirani, A. (2017). Farmers' motivation and perceived effects of participating in short food supply chains: evidence from a North Italian survey. *Agricultural Economics*, 63(5), 204-216.
 17. Erazo Bolaños, M.C., y Trujillo Chunes. S.V. (2014). *Optimización de parámetros técnicos en el proceso de elaboración de queso doble crema* [Tesis de pregrado]. Facultad de ingeniería en ciencias agropecuarias y ambientales, Universidad Técnica del Norte, Ecuador.
 18. Espejel, A., Ramírez, G. y Mora, E. (2017). Empleo e innovación en la producción de queso añejo en el municipio de Zacazonapan. *En, Corposucre, Universidad, Ciencia, Innovación y Sociedad: desde la perspectiva laboral*. (205-232). Colombia: Univesidad Simón Bolívar.
 19. Espejel, A., Ilescas, C., Hernández, A., Santos, A. y Ramírez, A. (2018). Innovación y competitividad en la agroindustria artesanal del queso crema de Chiapas. *Económicas CUC*, 39(2). 25-38. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/econcuc.39.2.2018.02>.
 20. Feigenbaum, A. (1994). *Control total de la calidad*. México: McGraw-Hill Interamericana Editores, S. A. de C. V.

21. Fiol, C. P. (2016). Nettle cheese: Using nettle leaves (*Urtica dioica*) to coagulate milk in the fresh cheese making process. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 19-24.
22. Fisher, M. (1999). Process improvement by poka-yoke. *Emerald insight*, 264-266.
23. Fortunato, J.C. (2019). *Evaluación del comportamiento de las variables de control del proceso de producción de queso crema en la Pasteurizadora "Germán Hernández Salas" de Cárdenas* [Tesis de Pregrado]. Universidad de Matanzas, Cuba.
24. García, B. (2006). *Caracterización fisicoquímica de diversos tipos de quesos elaborados en el valle de Tulancingo Hidalgo con el fin de proponer normas de calidad* [Tesis de Pregrado]. Universidad del Estado de Hidalgo, México.
25. George, M. L. (2002). *Lean six sigma: combining six sigma Quality with lean speed*. USA: The McGraw- Hill.
26. Guerra, C., Menéndez, E., Barrera, R., y Egaña, E., (2004). *Estadística*. La Habana, Cuba, ISBN 959-258-621-7.
27. Guerra, J. y Sevilla, E., 1986. *Introducción al análisis estadístico de procesos*. Cuba.
28. Guerrero, L., Claret, A., Verbeke, W., Sulmont-Rossé, C., & Hersleth, M. (2016) Chapter 5 - Innovation in Traditional Food Products: Does It Make Sense? In Ch galanakis, *Innovation Strategies in th Food Industry*. (77-89). *Chania: AcademiPress*. <https://doi.org/10.1016/C2015-0 00303-3>
29. Gutiérrez Pulido, H. (1997). *Calidad Total y Productividad*. México: Editorial McGraw-Hill.
30. Gutiérrez Pulido, H., y de la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. Segunda edición. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V. ISBN-10: 970-10-6526-3.

31. Hernández Ochoa, T.A. *et al.* (2018). Implementación de poka-yoke en herramienta para disminución de ppm's en estación de ensamble. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez-CU.
32. Hernández Pellán, L. (2020). *Evaluación del comportamiento de la disciplina tecnológica en el proceso de obtención de leche fluida pasteurizada en el Combinado Lácteo "Mártires del 29 de abril" de Matanzas* [Tesis de Pregrado]. Universidad de Matanzas, Cuba.
33. Inda, A. (2000). *Optimización de Rendimientos y Aseguramiento de Inocuidad en la Industria Quesera*. 1^{era} edición. México: cooperación alemana para el Desarrollo, 2000.
34. Juran, J.M. (1995). *Análisis y planeación de la calidad*, México, McGraw-Hill.
35. Kenett, R., & Zacks, S. (2000). *Estadística industrial moderna*. International Thomson Editores, S. A. de C. V.
36. Kongo, J. (2016). Cheese: Types of Cheeses. *Module in Food Science Encyclopedia of Food and Helath*.
37. Kurka Macchi, F. (2011). *Aplicación de metodología six sigma en una empresa de servicios de salud para la optimización de la ocupación de camas en un hospital* [Tesis de Pregrado]. Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Argentina.
38. Lantero, M., y Colominas, M. (1990) *Bioquímica de la carne y la leche*. La Habana, Cuba: Universidad de la Habana, Instituto de Farmacia y Alimentos.
39. Ledesma, L. F. (2007). Cambios de la composición mineral de quesos de cabra en función de la dieta y el cuajo usado. *Archivos de Zootecnia*; 568(1); 719-723.
40. León Lezcano, K.V. (2017). *Control estadístico de procesos para mejorar la calidad en la línea de polos industriales, área de producción* [Tesis de pregrado]. Facultad de Ingeniería, Universidad César Vallejo, Perú.

41. Losada, M., y Serrano, J. (1996). *Manual de cata*. Madrid: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola, España, ISBN: 84-920935-2-8.
42. Marco Vinicio, P.N. (2016). *Control estadístico de calidad de los procesos productivos mediante la metodología Six sigma en la empresa carrocera patricio cepeda* [Tesis de Pregrado]. Facultad de ingeniería en sistemas electrónica e industrial, Universidad técnica de Ambato, Ecuador.
43. Mena Loor, M.A. (2016). *Diseño de proceso de queso doble crema para la empresa "lácteos amanecer" del cantón huaca provincia del Carchi* [Tesis de Pregado]. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador.
44. Mena Zurita, Estela.P. (2009). *Diseño de un sistema de administración ambiental (SIAA) en la industria procesadora de leche "FLORALP" ubicada en el Cantón Ibarra* [Tesis de Pregrado]. Escuela Politécnica Nacional.
45. Mitra, A. (2016). *Fundamentals of Quality Control and Improvement*. 4th Edition. Auburn, Alabama. Editorial: Wiley, ISBN: 978-1-118-70514-8.
46. Montgomery, D. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*. Arizona, E.U.A. Editorial: Limusa Wiley.
47. Montgomery, C. (2017). *Design and Analysis of Experiments*. Novena Edición. Arizona State University. p. 1-21.
48. Morales, A. (1994). *La evaluación sensorial de los alimentos en teoría y en práctica*. Madrid, España: Acribia, ISBN: 84-200-0767-6.
49. Morales, J.A. (2007). *Aplicación de la metodología seis sigma, en la mejora del desempeño en el consumo de combustible de un vehículo en las condiciones de uso del mismo* [Tesis de Maestría]. Universidad Iberoamericana, México D.F.
50. Pérez Marqués, M. (2010). *Metodología Seis Sigma a través de Excel*. San Fernandode Henares, Madrid: RCLibros.
51. Pineda Acosta, C.A. (2019). *Propuestas de reducción de variabilidad identificada en el proceso de fabricación de helados garceos por control*

- estadístico* [Tesis de Maestría]. Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, México.
52. Quiminet (2010). *El proceso de elaboración del queso*. Disponible en: <http://www.quiminet.com.mx>
53. Quintana, A., Pisani, M., y Casal, R. (2015). Desempeño de cartas de control estadístico con límites bilaterales de probabilidad para monitorear procesos Weibull en mantenimiento. *Ingeniería, Investigación y tecnología*.
54. Randelli, F., & Rocchi, B. (2017). Analyzing the role of consumers within technological in-novation systems: The case of alternative food networks. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 25, 94-106. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.01.001>
55. Real Decreto 1679/1994, de 24 de Julio (BOE de 24 de septiembre).
56. Reyes, A. (2002). Manufactura delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas; experiencias y reflexiones. *Contaduría y Administración*, 205, 51-69.
57. Rodríguez, D. (2017). *Análisis de la red de valor y de innovación de la agroindustria del quesillo de Reyes, Etna, Oaxaca como una estrategia de fortalecimiento de la cadena*. [Licenciatura]. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
58. Ruiz-Falcó, A. (2009). *Herramientas de Calidad Módulo 7*. Universidad Pontificia Comillas Madrid.
59. Sánchez, C. (2000). *Elaboración de quesos: fallas y posibles soluciones*.
60. Sánchez, J. (2016). Diagnóstico de la calidad sanitaria en las queserías artesanales del municipio de Zacazonapan, Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México, *Salud pública de México / vol. 58*,
61. Sandoval, J.H. (2018). *Evaluación de los riesgos físico-químicos y microbiológicos en la producción de quesos saborizados en la Cooperativa de producción Agropecuaria Chone Ltda* [Tesis de Pregrado]. Escola Superior de Turismo e Tecnologia do Mar, Instituto Politécnico de Leiria, Ecuador.

62. Santos Abreu, I. *et al.* (2011). *La Educación Agropecuaria en la escuela cubana actual*. 1^{era} Edición, Editorial GAIA, ISBN: 959-287-029-2.
63. Sargent, R.G. (2009). Verification and validation of simulation models. Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference. Syracuse University, USA Estados Unidos, vol., pp.
64. Sotolongo, Y. (2017). *Evaluación de la etapa de purificación en la producción de azúcar crudo en la UEB Central Azucarero Jesús Rabí* [Tesis de Pregrado]. Universidad de Matanzas, Cuba.
65. Suárez, V., Cardoso, F., Duquesne, F., Alonso, I., y Carrillo, E. (2001) *Fundamentos de la Tecnología de Quesos*. Ciudad de la Habana: Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia.
66. Valderrey Sanz, P. (2010). *Seis Sigma*. Paracuellos Jarama, Madrid: StarBook Editorial.
67. Vélez, J. (2009). Rheology and texture of cheese. *Nova Science Publishers.*, 87-122.
68. Vinasco Isaza, L.E. (2017). *Guía de Laboratorios Control Estadístico de Procesos*. Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.
69. Walpole, R., Myers, R., Myers, S., y Ye, K. (2007). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: Pearson Educación.
70. Woodall, W.H. (2006). The Use of Control Charts in Health-Care and Public-Health Surveillance. [on line]. Disponible en Internet en <http://www.npaihb.org>.
71. Yildiz, G.R. (2016). Ultrasound-assisted cutting of cheddar ,mozzarella and Swiss cheeses – Effects on quality attributes during storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies.*, 1-9.
72. Zuluaga Arcila, P. (2016). *Aplicación de la metodología six sigma para solucionar problemas de calidad en una empresa metalmecánica* [Tesis de Maestría]. Universidad de Medellín, Facultad de ciencias económicas y administrativas.

Anexos

Anexo 1. Equipos fundamentales del proceso.

Equipo	Cantidad	Material	Capacidad (Flujo o Volumen)	Función
Tanques de cultivo	2	Acero inoxidable	1400L	Preparación del cultivo industrial
Tanque de guarda	1	Acero inoxidable	10000L	Almacenamiento de leche
Homogeneizador	1	Acero inoxidable	Flujo de 5000L/h	Homogenización de los glóbulos de grasa en la leche
Tanque de maduración	2	Acero inoxidable	10000L	Obtención de la cuajada
Tanque estabilizador de flujo	1	Acero inoxidable	100L	Estabilización del flujo que entra al pasteurizador (flujo laminar)
Pasteurizador	1	Acero inoxidable	5000L/h	Pasteurización
Tanque disolutor de grasa	1	Acero inoxidable	1200L	Disolución de la grasa vegetal en la leche
Tanques de balance	3	Acero inoxidable	10000L	Disolución del sorbato
Volteadores	2	Acero inoxidable	200 bolsas para desuerado	Autodesuere
Prensas	4	Acero inoxidable	120 sacos	Prensado y desuerado
Tanque de suero	1	Acero inoxidable	15000L	Almacenamiento del suero
Bombas centrifugas	7	Acero inoxidable	5 de 5000L/h, 1 de 10000L/h y 1 de 3000L/h.	Bombeo de leche, cuajada y agua
Bomba de desplazamiento positivo	1	Acero inoxidable	No se conoce actualmente.	Bombeo de la cuajada con sal a la salida del tanque de balance que evita que se rompa el coágulo

Anexo 2. Herramientas para análisis.

Herramienta	¿Para qué es utilizada?
Estadística Descriptiva	Definiciones básicas con ejemplos de Estadística
Probabilidad	Definiciones básicas con ejemplos de Probabilidad
Distribución Normal	Propiedades de la distribución Normal
Lluvia de ideas	Cada miembro del equipo propone posibles soluciones a un problema, se determinan las mejores soluciones por consenso.
Técnica de grupos nominales.	Permite al equipo rápidamente realizar un consenso de la importancia de problemas o soluciones posibles. Las causas más importantes son atacadas y se priorizan para encontrar la mejor solución
Análisis de Campo de Fuerzas.	Analizar cuáles son las fuerzas dentro de una organización o proceso que están dando empuje a las soluciones y cuales están frenando el progreso.
Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa o Fishbone)	Representa de forma ordenada todas las causas que pueden originar un problema (efecto) es una herramienta muy efectiva para encontrar las causas más importantes de un problema.
Why-Why-Why	Se usa después de haber determinado las causas importantes de un problema, se pregunta 3 veces porqué, podremos llegar a la solución del problema
5W/1H	Técnica en la cual se responde a las siguientes preguntas: que, quién, porque, cuando, donde, como, para la solución de problemas.

Diagrama de Pareto	Priorizar los problemas que tienen el potencial más grande de mejora. Muestra la frecuencia relativa en una gráfica de barras descendiente.
Diagramas Matriz	Método utilizado para mostrar las relaciones que existen entre métodos, causas, actividades, etc. determinando la fuerza que existe entre estas.
Matriz Causa y efecto	Relaciona las entradas CTQ's y el diagrama de flujo del proceso como su principal fuente. Sirve para priorizar las entradas clave a usar en AMEF's, planes de control y estudios de capacidad.
Diagrama de Relaciones	Permite al equipo identificar, analizar y clasificar sistemáticamente las relaciones causa y efecto que existen entre todos los elementos críticos, para lograr una solución efectiva.
Diagrama de Afinidad	Agrupar en categorías afines las posibles causas que ocasionan un problema, permitiendo obtener fácilmente la causa que lo origina.
Hoja de Verificación	Recolectar datos basados en la observación del comportamiento de un proceso con el fin de detectar tendencias, por medio de la captura, análisis y control de información relativa al proceso.
Carta de tendencias	Conocer el comportamiento de un proceso gráficamente para poder tomar las acciones correctivas a tiempo cuando es necesario.
Diagrama de Dispersión	Técnica usada para estudiar la relación entre dos variables, facilita la comprensión del problema.

Mapa de procesos	Proveen una secuencia gráfica de cada uno de los pasos o actividades que componen una operación desde el inicio hasta el final. Permitiendo una mejor visualización y comprensión del proceso. Sirve para identificar pasos innecesarios, compara el proceso actual contra el ideal.
QFD	Método gráfico en el que se identifican los deseos del cliente (CTQ'S) y las características de diseño del producto, procesos o servicios. Permite traducir de un lenguaje ambiguo a los requerimientos específicos del diseño del producto, proceso o servicio. En otras palabras relacionas los ¿qué's? del cliente con los ¿cómo's? del proceso.
<i>Benchmarking</i>	Estudio que ayuda a realizar un comparativo de productos, procesos o servicios contra el "mejor en la clase" puede ser dentro de la empresa o, para identificar oportunidades de mejora.
Análisis sistema de medición (Análisis R & R)	Sirve para determinar qué tan grandes son las variaciones en base a ciertos parámetros de los sistemas de medición, incluyendo equipo y gente.

Anexo 3. Tabla de conversión a nivel 6 Sigma. Fuente: (Basu, 2011).

Sigma	DPMO	Yield %	Sigma	DPMO	Yield %
6.0	3.4	99.99966	3.0	66897	93.3
5.9	5.4	99.99946	2.9	80757	91.9
5.8	8.5	99.99915	2.6	90801	90.3
5.7	13	99.99866	2.7	155070	88.5
5.6	21	99.9979	2.6	135666	86.4
5.5	32	99.9968	2.5	158655	84.1
5.4	48	99.9952	2.4	184060	81.6
5.3	72	99.9928	2.3	211855	78.8
5.2	108	99.9892	2.2	241964	75.8
5.2	159	99.984	2.1	374253	72.6
5.0	233	99.977	2.0	308538	69.1
4.9	337	99.966	1.9	344578	65.5
4.8	483	99.952	1.8	382089	61.8
4.7	687	99.931	1.7	420740	57.9
4.6	968	99.90	1.6	460172	54.0
4.5	1350	99.87	1.5	500000	50.0
4.4	1866	99.81	1.4	539828	46.0
4.3	2555	99.74	1.3	579260	42.1
4.2	3467	99.65	1.2	617911	38.2
4.1	661	99.53	1.1	665422	34.5
4.0	6210	99.38	1.0	691482	30.9
3.9	198	99.18	0.9	725747	27.4
3.8	10724	98.9	0.8	758036	24.2
3.7	13903	98.6	0.7	788145	21.2
3.6	17864	98.2	0.6	815940	18.4
3.5	22750	97.7	0.5	841345	15.9
3.4	28716	97.1	0.4	864334	13.6
3.3	35930	96.4	0.3	884930	11.5
3.2	44565	95.5	0.2	903199	9.7
3.1	54799	94.5	0.1	919243	8.1