



Revista Venezolana de Gerencia
ISSN: 1315-9984
rvgluz@fces.luz.edu.ve
Universidad del Zulia
Venezuela

Enfoque seis sigma y proceso analítico jerárquico en empresa del sector lácteo ¹

Herrera Vidal, German; Pérez Aguas, Yisel; Venecia Puello, Elizabeth

Enfoque seis sigma y proceso analítico jerárquico en empresa del sector lácteo ¹

Revista Venezolana de Gerencia, vol. 22, núm. 80, 2017

Universidad del Zulia, Venezuela

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29055967005>

Enfoque seis sigma y proceso analítico jerárquico en empresa del sector lácteo ¹

Six Sigma approach and hierarchical analytical process in the dairy sector company

*German Herrera Vidal **

*Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco.,
Colombia
herreravg@tecnocomfenalco.edu.co*

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29055967005>

*Yisel Pérez Aguas ***

*Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco.,
Colombia
yiselperez10@hotmail.com*

*Elizabeth Venecia Puello ****

*Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco.,
Colombia
evenecia0211@gmail.com*

Recepción: 15/02/17
Aprobación: 13/09/17

RESUMEN:

En mercados inteligentes y competitivos como los actuales, las compañías deben incursionar en la búsqueda de nuevas metodologías que permitan mejorar sus procesos e incrementar la satisfacción de los clientes, el objetivo del presente artículo es proporcionar una metodología adaptada a una empresa del sector lácteo bajo el análisis del Seis Sigma y el Proceso Analítico Jerárquico encaminado a la toma de decisiones. La investigación es de tipo descriptiva, aplicada a una empresa caso de estudio, dedicada a la fabricación y distribución de productos lácteos. La metodología se basa en el análisis de cinco procesos básicos como definición, medición, análisis, mejora y control. Para ello fue necesario una revisión de literatura, donde no se encontraron evidencias de integración de estos dos enfoques, luego se exponen las generalidades del caso estudiado y partir de esto se llevan a cabo herramientas cuantitativas necesarias en cada fase. Los hallazgos encontrados muestran que ambas metodologías pueden integrarse en pro de la solución de un problema. A partir de esto se concluye que adoptar este tipo de enfoque híbrido permite organizar y analizar la problemática, aumentar la capacidad del proceso y reducir los productos no conforme.

PALABRAS CLAVE: seis sigma, proceso analítico jerárquico, mejora de procesos.

ABSTRACT:

In intelligent and competitive markets like the present ones, companies must venture into the search of new methodologies that allow to improve their processes and increase the satisfaction of the clients. The objective of this article is to provide a methodology adapted to a company of the dairy sector under the Six Sigma analysis and the Hierarchical Analytical Process aimed at decision making. The research is descriptive, applied to company that was a case of study, dedicated to the manufacture and distribution of dairy products. The methodology is based on the analysis of five basic processes such as definition, measurement, analysis, improvement and control. For this, a literature review was necessary, where no evidence of integration of these two approaches was found, then the generalities of the studied case are exposed and from this, necessary quantitative tools in each phase are carried out. The findings found show that both methodologies can be integrated in order to solve a problem. From this it is concluded that adopting this type of hybrid approach allows to organize and analyze the problem, increase the capacity of the process and reduce non-conforming products.

NOTAS DE AUTOR

* PhD (c) Ingeniería Mención en Industrial. M.Sc. en Ingeniería con Énfasis en Industrial. Docente investigador de la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco. Grupo de Investigación CIPTec. Cartagena-Colombia. E-mail: herreravg@tecnocomfenalco.edu.co

** Ingeniera Industrial. Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco. Cartagena. Colombia. E-mail: yiselperez10@hotmail.com

*** Ingeniera Industrial. Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco. Cartagena. Colombia. E-mail: evenecia0211@gmail.com

KEYWORDS: six sigma, analytical hierarchical process, process improvement.

1. INTRODUCCIÓN

En un mundo dinámico y competitivo, las empresas constantemente se encuentran presionadas por mantenerse en el mercado, y el éxito depende en gran parte de la gestión en torno a la calidad, la productividad, la innovación y la eficiencia de sus procesos. Los procesos de gestión en cada uno de estos factores deben ser constantes por lo que el mundo día a día viene evolucionando de una forma rápida y continua, y es aquí donde toma fuerza el termino de mejora de procesos, el cual se ha convertido en un concepto de gran importancia para que las empresas logren hacer cambios efectivos, de manera que puedan cumplir finalmente con los requisitos del cliente y del mercado.

Los procesos de mejora buscan eliminar todo aquello que no contribuye al valor agregado de los productos y a la satisfacción de los clientes, para esto se realiza un detallado análisis de todo el ambiente laboral buscando procesos redundantes, inconvenientes en el flujo de material, cuellos de botella, exceso de suciedad, acumulación material de proceso, es decir todo aquello que podría afectar los procesos disminuyendo la capacidad de estos lo que resulta en problemas de calidad y afecta los tiempos de ciclo (Hayler y Nichols, 2005 ; Caicedo, 2011).

Para poder realizar mejoras significativas de manera consistente dentro de una organización, es importante tener una metodología estandarizada a seguir. Para esto, Seis Sigma es una estrategia de mejora continua del negocio, que tiene diferentes significados para diferentes grupos dentro de una organización (Harry et al, 2010). En las empresas manufactureras y servicios se ha utilizado en las últimas tres décadas el seis sigma para mejorar y diseñar productos y procesos buscando satisfacer la necesidad de los clientes a través del cumplimiento de especificaciones, reducción de variabilidad y costos de la operación (Caulcutt, 2001; Freiesleben, 2006; McAdam y Hazlett 2010).

A nivel empresarial es una iniciativa estratégica que busca alcanzar una mejora significativa en el crecimiento del negocio, su capacidad y en la satisfacción de los clientes. En el nivel operacional, Seis Sigma tiene una naturaleza táctica que se enfoca a mejorar métricas de eficiencia operacional, como tiempos de entrega, costos de no calidad y defectos por unidad. Mientras que a nivel de proceso Seis Sigma es utilizado para reducir la variabilidad, y con ello es posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, así como disminuir los costos directos (Salvador, 2014).

La metodología Seis Sigma es un modelo que sigue un formato estructurado y disciplinado (McCarty et al, 2004). Consiste de 5 fases conectadas de manera lógica entre sí (i) Definir, (ii) Medir, (iii) Analizar, (iv) Mejorar y (v) Controlar. Cada una de estas fases utiliza diferentes herramientas que son usadas para dar respuesta a ciertas preguntas específicas que dirigen el proceso de mejora. De igual forma Yepes y Pellicer (2004) establecen que la metodología Seis Sigma utiliza casi todo un arsenal de herramientas conocidas en el mundo de la calidad, sin embargo, no son los instrumentos los que fundamentan por si solos el éxito, se recomienda el uso complementario de otras metodologías y de la formación de una infraestructura humana.

De acuerdo con Moreano y Cáceres (2010), dentro de las herramientas más comunes se encuentran casi todas las desarrolladas por calidad total, como son: (i) Procesos de mejora continua, (ii) Diseño de procesos, (iii) Análisis de varianza, (iv) La voz del cliente, (vi) Pensamiento creativo, (vii) Diseño de experimentos, (viii) Gerencia de procesos, (ix) Control estadístico de procesos.

Dado que en la revisión de literatura no se encontraron casos de estudios que muestren la integración de metodologías como es el caso de proceso analítico jerárquico (AHP) se tomó la iniciativa de incursionar en el desarrollo de un ambiente híbrido en búsqueda de poder mejorar los procesos. El Proceso de Análisis Jerárquico (Analytic Hierarchy Process) desarrollado por Saaty (1980), está diseñado para resolver problemas de criterios múltiples.

El proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y que, después, especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio. El AHP, mediante la construcción de un modelo jerárquico, permite de una manera eficiente y gráfica organizar la información respecto de un problema, descomponerla y analizarla por partes, visualizar los efectos de cambios en los niveles y sintetizar.

Dado lo anterior, se tomó como referente solamente la fase de medición de la metodología Seis Sigma, para poder integrar la técnica AHP, por lo que es en donde se presenta un escenario habilitador, que de acuerdo con Brue (2002), en esta etapa se hace necesario identificar cuál es la característica que determina el comportamiento del proceso. Incorporando dentro de esta la técnica AHP, se hace posible poder tomar la mejor decisión ante un abanico de criterios y de alternativas.

A partir de estas ideas, el propósito de la presente investigación proporcionar Enfoque seis sigma y proceso analítico jerárquico en empresa del sector lácteo Herrera Vidal, German; Pérez Aguas, Yisel y Venecia Puello, Elizabeth una metodología bajo el análisis del Seis Sigma y el Proceso Analítico Jerárquico aplicable en cualquier sector del área productiva. Basándose en la combinación de diferentes métodos, que por hoy es la tendencia del desarrollo científico. Para esto se tomó como caso de estudio una empresa del sector lácteo, teniendo como referentes dos vectores, uno que la revisión de la literatura logró evidenciar que unos de los sectores de poca aplicabilidad han sido en el sector industrial de alimentos de productos lácteos y dos la alta variabilidad en las especificaciones de sus productos terminados, lo que ocasiona una disminución del rendimiento de la producción y pérdidas en los beneficios de la empresa.

Hoy en día para los directivos la empresa es importante presentarles metodologías de cambio en sus procesos críticos, por lo que les brindará una mejor posición en el mercado competitivo a mediano y largo plazo. Esta síntesis se ve soportada en el planteamiento de Gamarra (2012) el cual establece que “las empresas se enfrentan a mercados, cada vez más agresivos y competitivos: por lo cual, en el caso de las empresas manufactureras, el hecho de no poseer procesos productivos eficientes, no solo pone en riesgo su participación en el mercado, sino también su permanencia en el mismo. Ante esto surge la necesidad de enfocar esfuerzos a la búsqueda de soluciones efectivas para los problemas que se presentan, y opciones de fortalecimiento y mejoramiento en el uso de los recursos y factores de producción”.

2. METODOLOGÍA SEIS SIGMA

El concepto de Seis Sigma aparece a mediados de los años 80 en Motorola gracias a los estudios realizados por Mikel Harry quien comienza a analizar la forma de reducir la variación de los procesos para mejorarlos, para tal fin utilizó bases fuertes de estadística que le permitieran poder alcanzar unos niveles de calidad en los procesos y en los productos de la organización próximos a los cero defectos (Harry y Schroeder, 2000).

El Seis Sigma puede ser definido como una estrategia enfocada al cliente que basada en hechos y datos intenta alcanzar un nivel de la calidad en los procesos reduciendo la cantidad de defectos y minimizando su variabilidad permitiendo de esta manera realizar mejoras de desempeño planificadas y aumentar la eficiencia (Van et al, 2008; Chen et al, 2008; Haikonen et al, 2004).

De igual forma Bañuelas (2005), define el Seis Sigma como un conjunto de técnicas y conceptos de carácter administrativo y estadístico que se enfocan en reducir la variabilidad en los procesos, entre menos variabilidad se tienen procesos relativamente estables los cuales se pueden llegar a predecir con mayor facilidad por lo menos en el corto plazo, además si se tienen procesos controlados estadísticamente se asegura con un cierto nivel de confianza que no se generara producto no conforme y se puede realizar análisis que permitan identificar de manera certera las causas principales que afectan el rendimiento de los procesos.

Seis Sigma también se define como un manejo disciplinado de datos, enfocado hacia un proceso de mejora continua de la calidad y la productividad con resultados en la rentabilidad de la organización (Harris 2002). Por su parte, Fontalvo (2009), describe que el seis sigma es una herramienta que articula el uso de diferentes

técnicas de la gestión de la calidad, el control estadístico y el diseño de experimentos; que combinadas con la medición del desempeño de procesos permite centrarse en mejoras focalizadas o de toda la organización; lo cual puede impactar en la reducción de costos de operación y aumento de la rentabilidad.

Entre las ventajas del Seis Sigma está su enfoque en análisis y toma de decisiones basada en datos, mejorando la capacidad de análisis de las alternativas de mejora de las operaciones y productos (Pepper y Spedding, 2010; Zeydan, 2010 y Thevnin, 2004).

En cuanto a sus desventajas, se consideran las inversiones y la complejidad en su implementación, ya que se requiere coordinar los diseños o mejoras con la estrategia de la organización, entrenamiento del personal, cambio cultural en la empresa, diseño de una estructura organizacional paralela, entre otros aspectos que pueden ser de difícil gestión para empresas pequeñas y medianas (Dedhia, 2005; Shanmugam, 2007). La aplicabilidad de la metodología Seis Sigma ha sido objeto de múltiples trabajos, buscando siempre la solución de diversos problemas en distintas áreas o sectores (Cuadro 1).

CUADRO 1
Tipo de sector de aplicación de la metodología Seis Sigma

Sector	Autores
Energético	Merchan y Levi (2016); Vallejo y Guerrón (2016); Srinivasan et al, (2014); Muthu et al, (2014).
Eléctrico y Electrónico	Báez et al, (2010); Valles et al, (2009); Morato (2009).
Automotriz	Pugna et al, (2016); Michcol et al, (2011).
Minería	Tinoco (2013); Arango et al, (2011).
Salud y Servicios	Naranjo et al, (2016); Barragán (2015).
Bebidas y alimentos	Pérez y García (2014); Varas (2010).
Telecomunicaciones	Pérez y Coronel (2012).
Textil	Caicedo (2011).
Metalmecánico	Flores (2015).
Maderero	Felizzola y Luna (2014).

Elaboración propia

De los artículos revisados en los cuales se ha aplicado esta metodología (Cuadro 1). Es evidente que unos de los sectores de poca aplicabilidad han sido en el sector industrial de alimentos de productos lácteos, por lo que sería un escenario habilitador e interesante para poder llevar a cabo dicha investigación como caso de estudio.

Seis Sigma se apoya en una metodología robusta. Los datos por sí solos no resuelven los problemas del cliente y del negocio, por ello es necesaria una metodología que se desarrollen en forma rigurosa cinco fases: (i) Definir, (ii) Medir, (iii) Analizar, (iv) Mejorar y (v) Controlar.

Salvador (2014) describe cada una de las fases, la primera etapa de definición se enfoca el proyecto, se delimita y se sientan las bases para su éxito. La segunda etapa consiste en medir la situación actual, con el fin de cuantificar la magnitud del problema.

En la fase analizar se tiene como meta identificar la(s) causa(s) raíz del problema. La cuarta fase, mejorar tiene por objetivo proponer e implementar soluciones que atiendan las causas raíz. Finalmente, se tiene que controlar para mantener la mejora. En el cuadro 2, se pueden evidenciar las herramientas que han sido utilizadas en la fase de medición para el desarrollo de la metodología Seis Sigma. Lo que muestra un escenario favorable para incursionar en el desarrollo de un ambiente híbrido por medio de la integración de metodologías como es el caso de proceso analítico jerárquico (AHP). Cabe resaltar que en la actualidad el complemento entre una metodología y otra ayuda a obtener mejores resultados. Y es por esto que hoy por hoy

la tendencia sea hacia la integración de métodos de investigación cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio.

CUADRO 2
Herramientas de la fase de medición en la metodología Seis Sigma

Herramienta	Autores
Capacidad de Procesos	Naranjo et al, (2016); Merchan y Levi (2016); Felizzola y Luna (2014); Muthu et al, (2014); Michcol et al, (2011); Arango et al, (2011); Caicedo (2011); Varas (2010).
Gráfico de Pareto	Pugna et al, (2016); Merchan y Levi (2016); Flores (2015); Barragán (2015); Srinivasan et al, (2014); Muthu et al, (2014); Felizzola y Luna (2014); Michcol et al, (2011); Báez et al, (2010); Varas (2010); Morato (2009);
Gráfico de Control	Vallejo y Guerrón (2016); Merchan y Levi (2016); Pugna et al, (2016); Caicedo (2011); Báez et al, (2010); Varas (2010).
Mapa de Valor	Naranjo et al, (2016); Flores (2015); Barragán (2015) Pérez y García (2014).
Matriz de Modo y Efecto Falla	Merchan y Levi (2016); Morato (2009).
Anova	Valles et al, (2009).
Indicadores de Desempeño	Pérez y Coronel (2012).

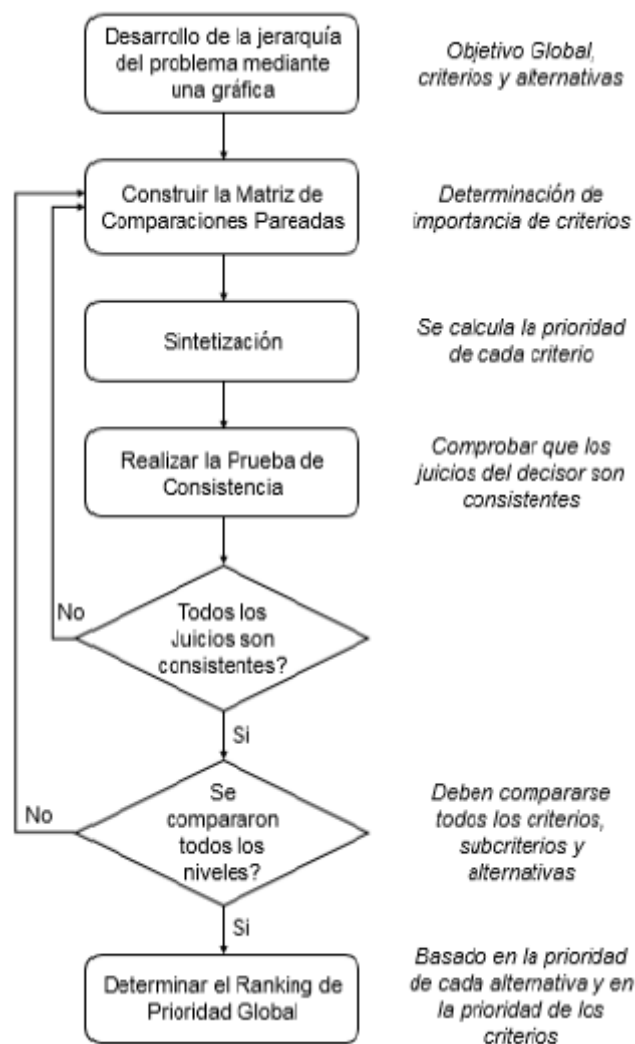
Elaboración propia

3. TÉCNICA PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP)

De acuerdo con Simón (1947) y Thaler (1986), cuando las alternativas para la solución de un problema son de características finitas, se denominan decisiones multicriterios de tipo discretos. Y cuando las alternativas son de características infinitas, se denominan decisiones multiobjetivo. Dentro de los principales métodos de decisión multicriterio discretos son: (i) ponderación lineal (Scoring), (ii) utilidad multiatributo (MAUT), (iii) relaciones de sobreclasificación y (iv) proceso analítico jerárquico (AHP).

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés) fue desarrollado por el matemático Thomas L. Saaty a fines de los años 70's y consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un modelo jerárquico (Toskano, 2005). En síntesis por medio de la técnica AHP, se puede organizar la información del problema descomponerla, analizarlas por partes, y como complemento poder hacer un análisis de sensibilidad a partir de cambios en cada nivel de jerarquía.

Esta técnica permite obtener una opción entre diferentes alternativas analizadas en base a criterios, variables y términos que normalmente se encuentran en conflicto (Saaty, 1980), el método consiste en los siguientes pasos: (i) Obtener las diferentes y posibles alternativas para realizar la decisión, (ii) Especificar los criterios utilizado para hacer la selección, (iii) Hacer las comparaciones pareadas mediante una matriz para determinar las prioridades, (iv) Comprobar por medio de pruebas la consistencia de los juicios del decisor y (v) Establecer las prioridades totales asociadas a cada alternativa. De igual forma Ho et al, (2006), en su investigación estructuran en forma de diagrama de flujo, las etapas generales se pueden concretar en una serie de pasos, para poder llevar a cabo dicha metodología (Gráfica 1).



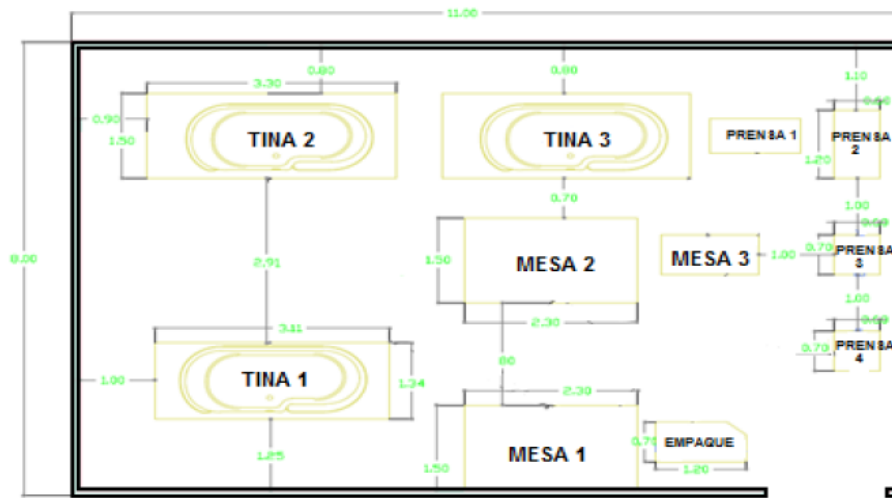
GRÁFICA 1
Diagrama de flujo de la metodología AHP
Ho et al, (2006)

4. GENERALIDADES DEL CASO DE ESTUDIO

Para la aplicación teórica se tomó como referente una empresa dedicada a la fabricación y distribución de productos lácteos en la ciudad de Cartagena. La empresa pertenece a un organismo cooperativo de primer grado, de derecho privado y sin ánimo de lucro, constituida hace 76 años por un grupo de ganaderos del departamento. Logró la integración de la Cooperativa de Ganaderos de Cartagena en el año 2007 con la adhesión de 178 socios ganaderos, poniendo en marcha estrategias de comercialización y penetración de mercados a partir de las características propias de cada producto, en el ámbito regional que maneja cada marca.

Dentro de sus productos se encuentran: (i) Queso costeño, (ii) Queso especial, (iii) Leche entera, (iv) Leche deslactosada, (v) Leche descremada, (vi) Leche en polvo, (vii) Yogurt, (viii) Suero costeño, (ix) Arequipe y (x) Mantequilla. Cabe resaltar que de esta gama de productos la investigación se centrará en la línea de producción de queso, dado que en esta se han identificado fallas en el proceso que impactan directamente en los beneficios de la empresa.

La organización interna de la planta cuenta con unas dimensiones de 11 metros de largo por 8 metros de ancho y dentro de estas se encuentran tres tinas en formas ovaladas, tres mesas de trabajo, cuatro prensas y un área de empaque (Gráfica 2).



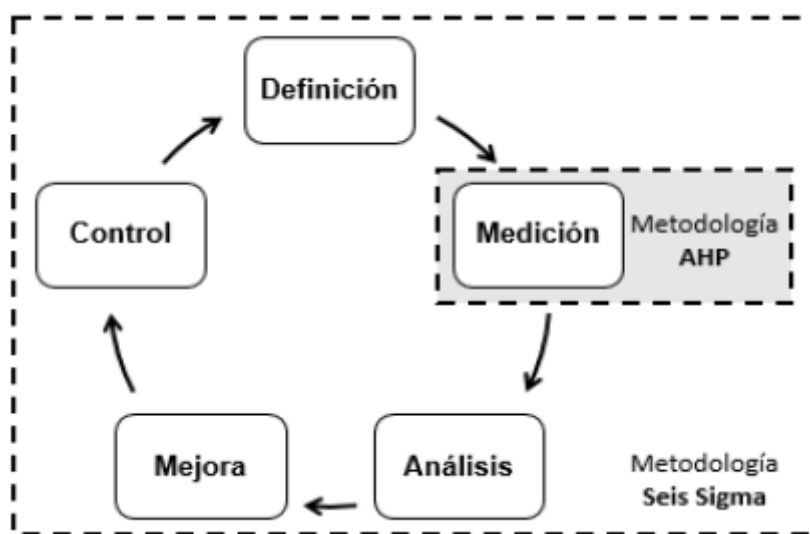
GRÁFICA 2
Distribución del área de producción de queso en la empresa
elaboración propia

Al describir de manera concreta el proceso de elaboración de queso costeño y especial, se resalta que ambos inician con el llenado del silo el cual contiene la materia prima necesaria para la elaboración del queso, luego pasa al área de pasteurización para así mantener la temperatura indicada para dicho proceso, al salir del pasteurizador, llegan al área de producción (tinas), donde se realiza el proceso de agregación de aditivos, luego se dirige a una segunda área de producción (mesas), en el cual se realiza el proceso de moldeado del queso. Posteriormente pasa a la tercera área de producción (prensas), donde se realiza el proceso de prensado y de formado del queso, nuevamente se dirige a la segunda área de producción (mesas), donde se realiza el proceso de desmoldado del queso, por ultimo pasan al área de producción (empacado), para ser inspeccionado e iniciar el proceso de empaquetamiento del producto, una vez cumplido este proceso el producto es llevado al cuarto frio, donde son almacenados, para después ser despachados según el plan de despacho.

5. INTEGRACIÓN METODOLOGÍA SEIS SIGMA Y AHP EN LA EMPRESA ESTUDIADA

Actualmente la empresa estudiada presenta alta variabilidad en las especificaciones de sus productos terminados, siendo esta afectada por diversas variables como el sobre peso, la humedad y la consistencia, ocasionando pérdidas en la confianza de los clientes, pérdidas económicas, altos costos operacionales y baja calidad del producto.

Al aplicar la metodología seis sigma antes de llevar a cabo la etapa de medición era importante para la empresa seleccionar la variable problema con más alta prioridad y es por esto que se recurrió a una técnica cuantitativa que apoyara el proceso de toma de decisiones. En la gráfica 3 se muestra representativamente el enfoque híbrido de la metodología Seis Sigma junto con la del Proceso Analítico Jerárquico.



GRÁFICA 3

Diagrama de integración de las metodologías en la empresa estudiada
elaboración propia

5.1 Proceso de definición

En esta fase se define el alcance y los objetivos del proyecto de mejora con el propósito de tener un mejor control en el proceso de fabricación de queso. Teniendo presente que las empresas deben estar a la vanguardia y es necesario tener estrategias que demuestren esos cambios en sus procesos.

La empresa caso de estudio, para garantizar la calidad de sus productos debe mantener los requisitos exigidos y así cumplir con la satisfacción de sus clientes (internos y externos), y evaluar oportunidades de mejora que ayuden a la compañía a salvaguardar su permanencia en el mercado.

La empresa cuenta con diversas líneas de producción, de las cuales se ha escogido la líneas de fabricación de quesos (costeño y especial de 1000 gramos), con el propósito de plantear una propuesta de mejora que permitan disminuir los problemas que se están presentando en dicha área y que han sido detectadas por el líder de producción y los analistas de calidad. Las fallas encontradas revelan que los productos terminados en su mayoría son entregados a los clientes con especificaciones diferentes a los que están especificados en el empaque, lo que ocasiona una disminución del rendimiento de la producción y pérdidas en los beneficios de la empresa.

Para obtener información de las diferentes problemáticas que se presentan se realizó una entrevista al área de producción del queso donde se escogieron 3 operarios y al líder de proceso, el cual es el encargado de todo el proceso productivo del queso. Por consiguiente se llegaron a identificar:

(i) **Sobre peso en el producto terminado:** el sobre peso es la cantidad de producto que se excede en el proceso de fabricación, ocasionando que el producto final no cumpla con las especificaciones.

(ii) **Humedad en el producto terminado:** La humedad en el producto terminado ocasiona que la consistencia no sea totalmente la adecuada según las especificaciones dada por la empresa. Esta variable de igual forma afecta las especificaciones finales del producto.

(iii) **Consistencia en el producto terminado:** La consistencia en el producto terminado se ve afectada debido a que mediante esta se realiza el proceso de clasificación de los diferentes tipos de quesos.

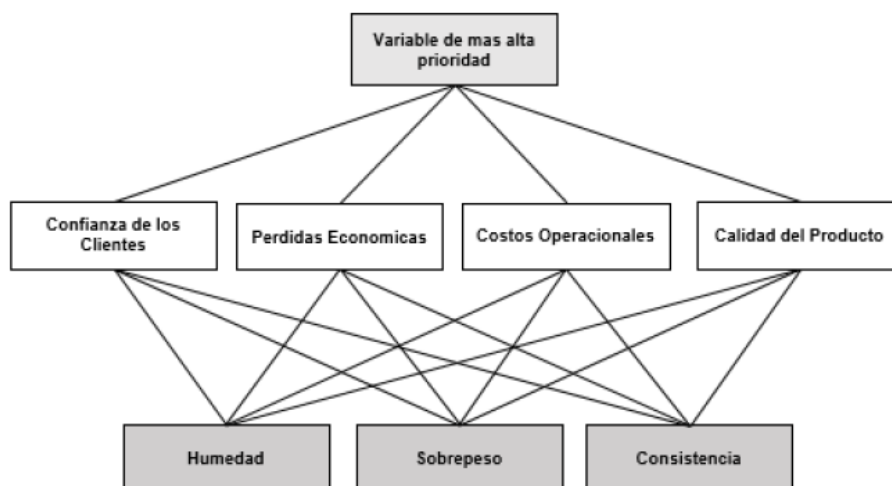
5.2 Proceso de medición

Para el desarrollo de esta etapa, se hace necesario tener claridad en la caracterización del proceso productivo, por lo que a partir de este se puede tener una clara visión de las diferentes variables relevantes que pueden estar afectado el proceso y por consiguiente el producto. Es aquí donde toma importancia la aplicación de la metodología AHP, la cual se desarrolla de acuerdo a la gráfica 1.

5.2.1 Desarrollo de la jerarquía del problema

El primer paso del método AHP consiste en modelar el problema de decisión que se pretende resolver como una jerarquía. Para esto inicialmente se debe identificar:

- (i) **Objetivo:** Seleccionar la variable problema con más alta prioridad
- (ii) **Criterios:** La confianza de los clientes, las pérdidas económicas, los costos operacionales y la calidad del producto.
- (iii) **Alternativas:** El sobrepeso, la humedad y la consistencia. Una vez identificados estos tres elementos, se procede a desarrollar gráficamente la jerarquización, tal como se muestra en la gráfica 4.



GRÁFICA 4
Representación de la Jerarquización del problema
elaboración propia

5.2.2 Construcción de la matriz de comparaciones pareadas

En esta etapa se realiza la evaluación del modelo jerárquico, donde se toman cada uno de los criterios y se confrontan uno con otros, de acuerdo con Saaty (1980), cuando se realizan comparaciones relativas, se debe considerar un rango de valores entre 1 y 9 (Cuadro 3).

CUADRO 3
Escala fundamental de juicios

Valoración	Escala	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
5	Fuertemente más importante un elemento que en otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro.	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible

Saaty (1980)

Por consiguiente la matriz de comparaciones pareadas, definida como una matriz cuadrada, donde el número de filas es igual al número de columnas, en este caso como los criterios equivalen a cuatro (4), la matriz formada es de 4 (filas) por 4 (columnas). Hay que tener en cuenta que cuando se comparan criterios iguales el resultado siempre es igual a uno (1). Y que se debe cumplir la condición de juicios recíprocos donde la multiplicación entre estos también debe ser igual a uno (1).

La matriz de comparaciones pareadas, quedaría representada tal como se estable en la tabla 1.

TABLA 1
Matriz de comparaciones pareadas para los criterios

	Confianza de los clientes	Perdidas económicas	Costos operacionales	Calidad producto
Confianza de los clientes	1	1/9	1/3	1/3
Perdidas económicas	9	1	5	7
Costos operacionales	3	1/5	1	1
Calidad del producto	3	1/7	1	1
TOTAL	16,00	1,45	7,33	9,33

Elaboración propia

Considerando que la metodología establece que para su desarrollo se necesitan como mínimo la participación dos personas y de esta forma llegar a un acuerdo o consenso. Las valoraciones fueron realizadas por el jefe de planta y los analistas de calidad siendo los entes principales que conocen detalladamente el proceso y las características del producto.

Una vez diligenciada la matriz, se realiza la sumatoria de todas las puntuaciones de forma vertical de cada criterio.

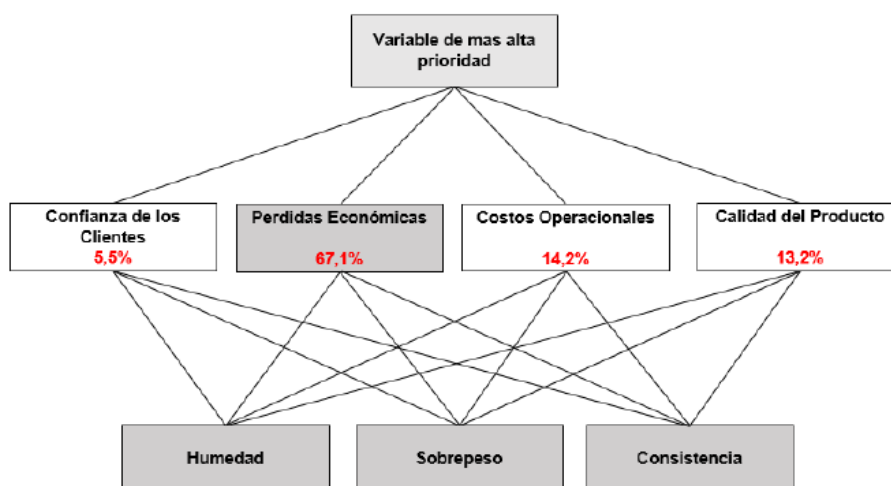
5.2.3 Sintetización

Ya calificados los criterios, en la tabla 2 se procede a calcular los pesos o ponderaciones de cada uno de los criterios, a esta parte del método AHP se le conoce como “síntesis”. Para determinar estas prioridades sintetizadas se desarrollaron los siguientes pasos: (i) Sumar los valores en cada columna de la matriz de comparaciones pareadas. (ii) Dividir cada elemento de tal matriz entre el total de su columna; a la matriz resultante se le denomina matriz de comparaciones pareadas normalizada. (iii) Calcular el promedio de los elementos de cada renglón de las prioridades relativas de los elementos que se comparan (Gráfica 5).

TABLA 2
Matriz de ponderaciones de cada criterio

	Confianza de los clientes	Perdidas Económica	Costos operacional	Calidad producto	Total	Promedio	Peso %
Confianza de los clientes	0,0625	0,0764	0,0454	0,0357	0,22	0,055	5,5%
Perdidas económica	0,5625	0,6877	0,6818	0,7500	2,68	0,671	67,1%
Costos operacional	0,1875	0,1375	0,1363	0,1071	0,57	0,142	14,2%
Calidad del producto	0,1875	0,0982	0,1363	0,1071	0,53	0,132	13,2%
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,00	4,00	1,00	100,0%

Elaboración propia



GRÁFICA 5
Ponderación de cada criterio en la jerarquización

Elaboración propia

5.2.4 Prueba de consistencia

De acuerdo con Saaty (1980), para asegurar que la toma de decisión sea lo más objetiva posible, las preferencias hechas por el grupo decisor en el transcurso de las comparaciones pareadas, deben ser lo más consistentes posibles, es decir, que las variaciones entre ellas sean las mínimas. Sin embargo, la consistencia

perfecta es muy difícil de lograr, por lo que, existirá un cierto grado de inconsistencia en cualquier conjunto de comparaciones pareadas.

La metodología AHP ofrece un método para medir el grado de consistencia entre las prioridades dadas por el grupo decisor. Si el grado de consistencia es aceptable, se continúa con el proceso de decisión. Si el grado de consistencia es inaceptable, quien toma las decisiones debe reconsiderar y modificar sus preferencias sobre las comparaciones pareadas antes de continuar con el análisis.

De acuerdo a lo anterior si existe una matriz cuadrada de comparaciones pareadas, se considera consistente si el valor calculado de la razón de consistencia (RC) es menor a igual a 0,10; si este excede los juicios se consideran como inconsistentes. Su fórmula está dada por la siguiente ecuación:

$$Rc = \frac{CI}{RI} = \frac{\text{Indice de consistencia}}{\text{Indice aleatorio}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

El valor del índice de consistencia (CI) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Ci = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde $\lambda_{\max}$ se determina de una forma sencilla si se conocen los valores totales normalizados y los pesos o ponderaciones de cada criterio.

El índice de consistencia aleatorio (RI) se define como el índice de consistencia aleatorio medio obtenido mediante la simulación de 100.000 matrices recíprocas generadas aleatoriamente utilizando la escala de Saaty. En la tabla 3 se puede evidenciar que RI depende del número de elementos que se comparan.

TABLA 3
Valores de los índices aleatorio de consistencia (RI)

Número elementos comparados	Índice Aleatorio de Consistencia
1	0,000
2	0,000
3	0,525
4	0,882
5	1,115
6	1,252
7	1,341
8	1,404
9	1,452
10	1,484
11	1,513
12	1,535
13	1,555
14	1,570
15	1,583

Elaboración propia

Dado lo anterior y teniendo en cuenta el caso de estudio, para poder determinar la relación de consistencia (RC), se hicieron los siguientes cálculos:

Landa máximo ($\lambda_{\max}$): consiste en multiplicar le vector resultante de normalización por el vector promedio:

$$\lambda_{\max} = [16,0 \quad 1,45 \quad 7,33 \quad 9,33] * \begin{bmatrix} 0,055 \\ 0,671 \\ 0,142 \\ 0,132 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = 4,13$$

(Ecuación 3)

Índice de consistencia (CI): Consiste en la formula anteriormente planteada teniendo en cuenta que el valor de n equivale a cuatro (4) criterios:

$$Ci = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4,13 - 4}{4 - 1} = 0,04$$

(Ecuación 4)

Índice de consistencia aleatorio (RI): de acuerdo al cuadro 7, dado que son cuatro (4) criterios, este equivale a 0,882.

Relación de consistencia (RC): por lo que reemplazando se obtiene un valor igual a:

$$Rc = \frac{CI}{RI} = \frac{0,04}{0,882} = 0,05$$

(Ecuación 5)

Con respecto a los cálculos se puede evidenciar que la relación de consistencia es menor que 0,10, por lo tanto los juicios otorgados por los decisores fueron consistentes y no es necesario reevaluar la información expresada en la matriz de comparaciones pareadas.

De igual forma teniendo en cuenta los pasos anteriores, se realizan las comparaciones pareadas, con respecto a las diferentes alternativas en cada uno de los criterios, para así calcular los pesos o ponderaciones y posterior a esto verificar la consistencia en cada una de las matrices.

En la tabla 4 se puede apreciar la comparación del criterio de confianza de los clientes con respecto a las alternativas de humedad, sobrepeso y consistencia, para esto se realiza la sumatoria de todas las puntuaciones de forma vertical, cabe resaltar que esta matriz sirve de insumo para la toma de decisiones del siguiente proceso.

TABLA 4
Matrices de comparaciones para el criterio confianza de los clientes

Confianza de los clientes	Humedad	Sobrepeso	Consistencia
Humedad	1	1/5	1/5
Sobrepeso	5	1	1/3
Consistencia	5	3	1
TOTAL	11,00	4,20	1,53

elaboración propia

En la tabla 5 se puede hacer evidente la comparación del criterio de pérdidas económicas con respecto a las alternativas.

TABLA 5
Matrices de comparaciones para el criterio pérdidas económicas

Perdidas económica	Humedad	Sobrepeso	Consistencia
Humedad	1	1/5	9
Sobrepeso	5	1	7
Consistencia	1/9	1/7	1
TOTAL	6,11	1,34	17,00

elaboración propia

En la tabla 6 y tabla 7 se desarrolla el mismo procedimiento a diferencia que se trabajan con los criterios de costo operacional y calidad del producto

TABLA 6
Matrices de comparaciones para el criterio costo operacional

Costos operacional	Humedad	Sobrepeso	Consistencia
Humedad	1	3	7
Sobrepeso	1/3	1	7
Consistencia	1/7	1/7	1
TOTAL	1,48	4,14	15,00

elaboración propia

TABLA 7
Matrices de comparaciones para el criterio calidad del producto

Calidad del producto	Humedad	Sobrepeso	Consistencia
Humedad	1	7	7
Sobrepeso	1/7	1	9
Consistencia	1/7	1/9	1
TOTAL	1,29	8,11	17,00

elaboración propia

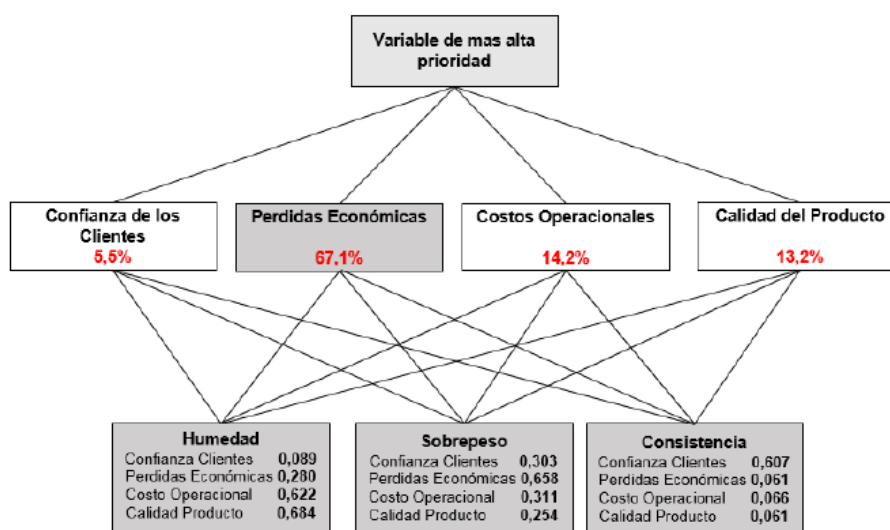
A partir de eso se calculan los pesos o ponderaciones de cada una de las alternativas respecto a cada criterio. A continuación se muestra un ejemplo de como se hizo con el criterio de confianza con el cliente teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la tabla 4. Para esto se deben seguir los siguientes pasos: (i) Sumar los valores en cada columna de la matriz. (ii) Dividir cada elemento de tal matriz entre el total de su columna. (iii) Calcular el promedio de los elementos de cada renglón de las prioridades relativas de los elementos que se comparan (Tabla 8).

TABLA 8
Matriz de ponderaciones de cada alternativa para criterio confianza de los clientes

	Humedad	Sobrepeso	Consistencia	Total	Promedio	Peso %
Humedad	0,09	0,05	0,13	0,27	0,09	8,9%
Sobrepeso	0,45	0,24	0,22	0,91	0,30	30,3%
Consistencia	0,45	0,71	0,65	1,82	0,61	60,7%
TOTAL	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00	100,0%

elaboración propia

En la gráfica 6, se muestran los resultados finales representados jerárquicamente de cada uno de los pesos o ponderaciones para cada una de las alternativas y criterios faltantes siguiendo los pasos anteriores.



GRÁFICA 6
Ponderación de cada alternativa en la jerarquización para todos los criterios
elaboración propia

5.2.5 Ranking de prioridad global

Como última fase de la metodología, a manera de resumen se diseña una tabla donde se busca el objetivo o meta planteada haciendo posible poder tomar la mejor decisión ante un abanico de criterios y de alternativas. La mejor variable problema resulta ser el caso del sobrepeso, dado que presenta el más alto valor y que relaciona un alto impacto con respecto al criterio principal como son las pérdidas económicas (Tabla 9).

TABLA 9
Ranking de prioridad global

	W	Humedad		Sobrepeso		Consistencia	
		Score	Value	Score	Value	Score	Value
Confianza de clientes	0,055	0,089	0,005	0,303	0,017	0,607	0,033
Perdidas económicas	0,671	0,280	0,188	0,658	0,441	0,061	0,041
Costos operacionales	0,142	0,622	0,089	0,311	0,044	0,066	0,009
Calidad del producto	0,132	0,684	0,091	0,254	0,034	0,061	0,008
TOTAL			0,372		0,536		0,092

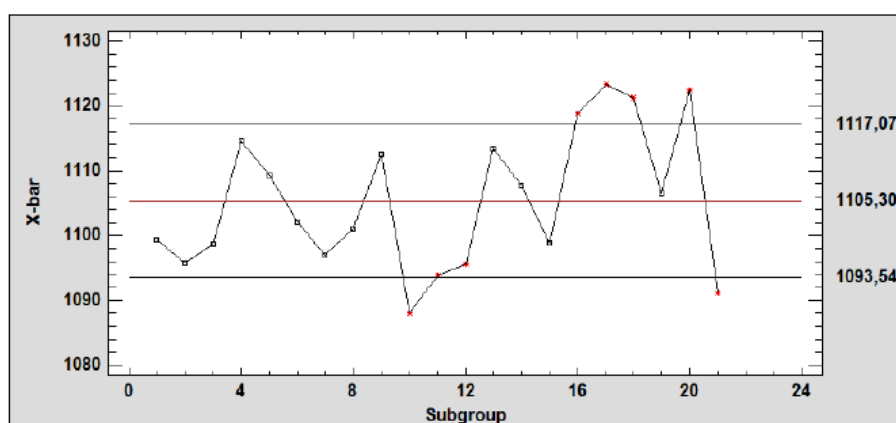
elaboración propia

Una vez identificado por medio de la metodología AHP la variable problema que se va abordar como es el caso del sobrepeso en los productos terminados se procede a realizarla medición de esta variable en las representaciones de queso costeño y especial, para esto se determina el número de muestras necesarias que se requieren medir, teniendo en cuenta que se conoce el tamaño del lote (N) que es de 750 unidades, la probabilidad de acierto (p) de 90%, el nivel de significancia (E) de 5%, y un nivel de confianza del 95%, a su vez un estadístico (Z) de 1,96. Para un total de 117 muestras diarias.

Luego entonces, mediante un trabajo de campo, haciendo mediciones durante 7 días, en todos los turnos de trabajo se obtuvieron las cantidades de datos necesarios para el análisis del control de proceso.

Dado lo anterior, se utiliza la carta de control xbarra-s debido a que el número de muestra por turno es mayor de diez (10), Partiendo del supuesto de que los datos provienen de una distribución normal con una media igual a 1105,3 y una desviación estándar igual a 42,33 se calculan los límites de control para ambas cartas y se construyen los gráficos.

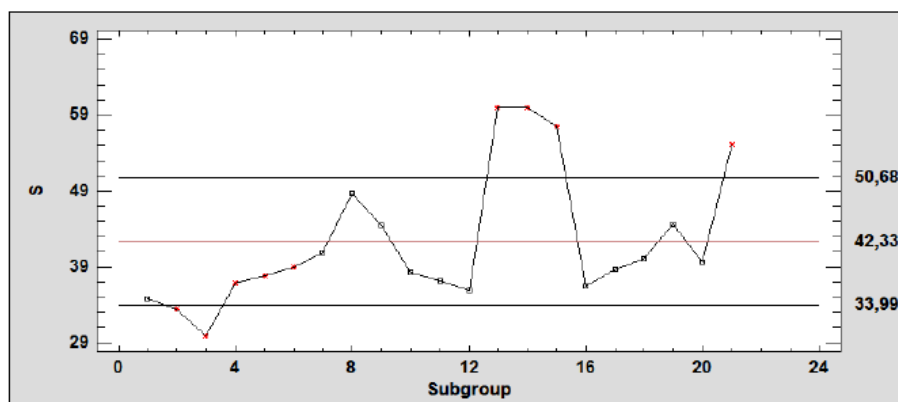
En la gráfica 7, teniendo en cuenta la carta x-barra, se puede observar que de los 21 puntos 6 se encuentran fuera de los límites de control.



GRÁFICA 7
Gráfica de control para la carta x-barra
elaboración propia

A su vez en la carta S, de igual forma existen 6 puntos de 21 totales están fuera de los límites de control (Gráfica 8). Complementariamente a esta situación en ambos casos se pueden observar que existen puntos

o rachas que generan violaciones que a menudo son útiles para detectar procesos que se están alejando lentamente del valor meta, aun cuando ningún punto caiga fuera de los límites de control. De acuerdo al análisis anterior se puede declarar que el proceso está fuera de control con un nivel de confianza del 95%.



GRÁFICA 8
Gráfica de control para la carta s
Elaboración propia

Consecuente a esto se procede a realizar un estudio más profundo, teniendo en cuenta la evaluación de capacidad del proceso, considerando los parámetros estadísticos: (i) Tamaño de la muestra equivalente a 117, (ii) Número de muestras igual a 21, (iii) Media total ($\bar{x}$) de 1105 gramos, (iv) Desviación estándar (s) igual a 44,29 gramos y (v) una tolerancia ideal de 1000 gramos $\pm$ 15.

De acuerdo a los cálculos obtenidos, según la tabla 10, se puede detallar que el proceso es no capaz de cumplir con las especificaciones del cliente dado de que la capacidad potencial (P_p) es menor que 1, se encuentra descentrado y con una alta variabilidad. Adicional a esto de un millón de unidades producidas el 98,3% salen sin las especificaciones establecidas. Dado lo anterior se puede afirmar que el proceso requiere mejoras para cumplir con los requerimientos

TABLA 10
Resultado de la evaluación de capacidad

Limite variación natural superior	1238,2
Limite variación natural inferior	972,4
Capacidad del proceso	265,8
Capacidad potencial (P_p)	0,11785
Capacidad real (P_{pk})	-0,70953
Partes por millón	985642

elaboración propia

5.3 Proceso de análisis

En esta fase se identifican los factores que influyen de manera significativa en las características asociada con la variable respuesta “peso del producto”. Una vez realizado estudios previos, se determinó que los factores corresponden a: (i) Peso del molde, (ii) Nivel de llenado, (iii) Ubicación en la prensa y (iv) Tipo de operador en empaque. Seguidamente, se utilizó la técnica diseño de experimentos para determinar el nivel

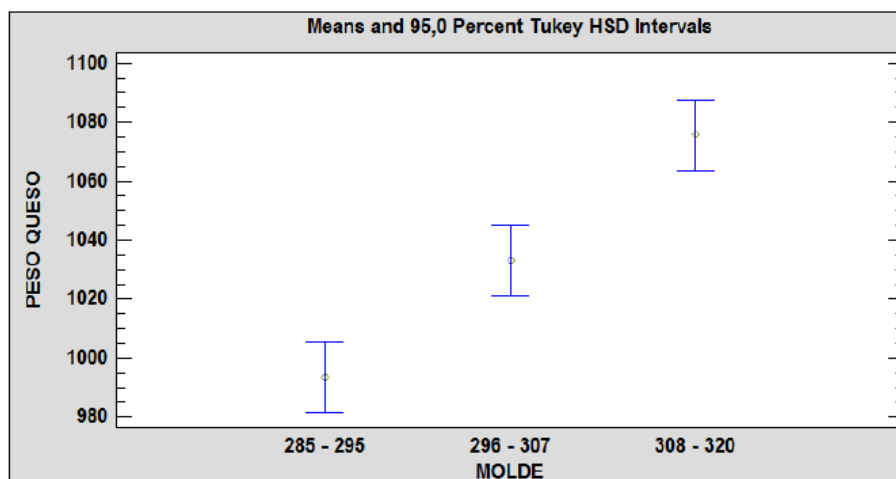
de significancia que tienen los factores por medio de un análisis de varianzas o tabla de anova. En la tabla 11, se puede apreciar que los factores peso del molde y el nivel de llenado, presentan un p-valor igual a cero (0), siendo esta menor que 0,05; por lo que se rechaza la hipótesis nula, por tanto se puede inferir que estos dos factores influyen significativamente sobre los requisitos del cliente de la variable peso del producto.

TABLA 11
Análisis de varianza para la variable respuesta

Factores principales	P-Valor
Peso del molde	0,0000
Nivel de llenado	0,0000
Ubicación en presión	0,0657
Tipo de operador	0,1742

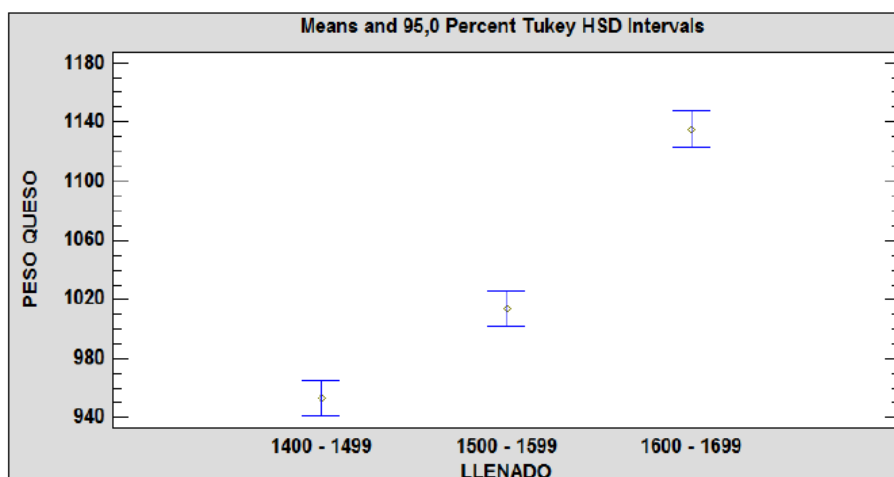
elaboración propia

A partir de esto se hace un análisis de gráficas por medio del software Statgraphics Centurión XVII, para comparar los diferentes niveles de los factores con respecto a la variable que se esté analizando. Los resultados obtenidos indican que el peso del molde en el nivel uno de 285 gramos a 295 gramos, brindan mejores respuestas a la variable de interés en este caso el peso del producto final (Gráfica 9).



GRÁFICA 9
Gráfica de medias para el factor molde
elaboración propia

De igual forma se hizo el análisis teniendo en cuenta el factor de nivel de llenado, donde los resultados obtenidos indican que el peso del molde en el nivel dos entre 1500 gramos a 1599 gramos presentan resultados favorables con respecto a la tolerancia permitida en la variable peso del producto (Gráfica 10).



GRÁFICA 10
Gráfica de medias para el factor llenado
Elaboración propia

Finalmente se verificaron los supuestos del modelo, teniendo en cuenta las pruebas de normalidad, homogeneidad de las varianzas y la independencia de los datos. Los cuales dejan entre ver dichos cumplimientos

5.4 Proceso de mejora

En esta fase se hace necesario idear estrategias de mejoramiento de procesos asociados con los métodos de trabajo, de tal manera que el proceso cumpla con las tolerancias permitidas en la variable respuesta. Para esto se crearon mecanismos de control tanto en el peso del molde, como en el nivel de llenado, con el fin de tomar acciones antes de que los procesos generen producto no conforme. Para lograrlo se hizo una clasificación de los moldes utilizados y se incorporaron nuevas operaciones al área de llenado, que incluye tener que medir, hacer control de peso y registrar la información.

Una vez se incorporaron los diferentes cambios a los procesos se realizó una nueva toma de datos, se crearon gráficas de control y se hizo un nuevo análisis de la capacidad de los procesos. Se encontró que el proceso de elaboración de queso, de acuerdo a la variable peso del producto final, se encuentra bajo control estadístico.

Los índices nuevos de capacidad, cuyos valores se pueden apreciar en la tabla 12, muestran que aunque los índices mejoraron, estos continúan generando producto no conforme ya que el valor del índice Pp es menor a uno. Cabe resaltar como la fracción de productos no conformes se reduce de 965.642 unidades por millón a 270.350 unidades por millón. Esto quiere decir que pasa de un 96,5% a un 27,03%.

TABLA 12
Resultado de la nueva evaluación de capacidad

Limite variación natural superior	1043,0
Limite variación natural inferior	965,4
Capacidad del proceso	77,6
Capacidad potencial (Pp)	0,386597
Capacidad real (Ppk)	0,279086
Partes por millón	270350

elaboración propia

5.5 Proceso de control

En esta fase la clave es mantener los resultados alcanzados, para esto se idearon hojas de control de recogida de datos, con el fin de registrar la mediciones obtenidas durante el proceso en el área de llenado y al final de proceso en el área de empaque. Este control queda integrado al proceso productivo gracias al trabajo de los analistas de calidad, los cuales mediante las herramientas informáticas socializadas puedan desarrollar las cartas y las gráficas de tal manera que se tanto el comportamiento de la variable como la variabilidad del proceso.

6. CONCLUSIONES

La mejora de procesos bajo el enfoque Seis Sigma permite a las empresas tomar decisiones de manera acertada, debido a que garantizan un alto nivel de confianza a la hora de medir el rendimiento del proceso, controlar las proporciones de productos defectuosos y determinar la productividad con impacto en la rentabilidad de la organización.

Esta filosofía es de vital importancia, si se tiene en cuenta que en su desarrollo se puede hacer un análisis completo, desde el reconocimiento del problema, la priorización de alternativas de solución, la implementación y el proceso de control para mantener los beneficios.

De los resultados encontrados en el la revisión de la literatura, en cuanto a las herramientas que han sido utilizadas en las etapas de reconocimiento y priorización de la metodología Seis Sigma, se evidencia la no utilización metodológica del proceso analítico jerárquico (AHP), siendo una ficha clave para la comprensión, análisis y priorización a los problemas.

Es por esto que el presente artículo logra mostrar la importancia que hoy en día se tiene acerca de la integración de metodologías o desarrollos de ambientes híbridos, de tal manera que al final se logren mejores resultados dentro de un proceso.

Estos dos enfoques permitieron poder seleccionar ante un abanico de problemas la mejor variable a estudiar, como es el caso del sobrepeso, teniendo en cuenta unos criterios básicos fundamentados, en la calidad del producto, las pérdidas económicas, los costos operacionales y la confianza de los clientes.

En síntesis con el desarrollo de esta investigación se puede abstraer que la aplicación del enfoque seis sigma y proceso analítico jerárquico constituyen un valor agregado hacia el producto, le permiten a la empresa tener procesos estadísticamente controlados, dando lugar a una menor variabilidad y una mayor facilidad en el

control y la medición y adicional a esto, ayudan gerencialmente a tomar la mejor decisión con fundamentos cuantitativos.

Finalmente es importante resaltar que aunque el proyecto tuvo un impacto positivo en la empresa, aún existen oportunidades de mejora tanto en el proceso, como en los productos.

Para futuras investigaciones sería provechoso aplicar esta integración o enfoques híbridos en otro tipo de sector manufacturero, como es el caso de la fabricación de productos metalmecánicos, productos químicos, productos de madera, fabricación de productos textiles entre otros. Con el fin de poder verificar y validar el impacto de los resultados en otros escenarios empresariales.

REFERENCIAS

- Arango, Martin; Gómez, Rodrigo y Álvarez, Karla (2011), Identificación de oportunidades de mejora en la gestión del transporte del carbón en Colombia con Six Sigma. **Boletín de Ciencias de la Tierra**. Volumen 30, pp. 23-38.
- Báez, Yolanda; Limón, Jorge; Tlapa, Diego y Rodríguez, Manuel (2010), Aplicación de Seis Sigma y los Métodos Taguchi para el Incremento de la Resistencia a la Prueba de Jalón de un Diodo Emisor de Luz. **Revista Información Tecnológica**. Volumen 21, Issue 1, pp. 63-76.
- Bañuelas, Ricardo; Antony, Jiju y Brace, Martin (2005), **An Application of Six Sigma to Reduce Waste**. *Quality & Reliability Engineering International*. Volumen 21, Issue 6, pp. 553-570.
- Barragán, Luis (2015), **Implementación de la metodología DMAIC de lean seis sigma para la reducción de desperdicios en el quirófano de un hospital privado de San Luis Potosí**. Facultad de Contaduría y Administración. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México D.F. Disponible en: <http://ninive.uaslp.mx/jspui/handle/i/3363>
- Brue, Greg (2002), **Six Sigma for Managers**. Primera Edición. Editorial McGraw-Hill Education. ISBN: 0071387552
- Caicedo, Néstor (2011), Aplicación de un programa seis sigma para la mejora de calidad en una empresa de confecciones. **Prospectiva**. Volumen 9, Issue 2, pp. 65-74.
- Caulcutt, Roland (2001), ¿Why is Six Sigma so successful?. **Journal of Applied Statistics**. Volumen 28, Issue 3, pp. 301-319.
- Chen, K.S; Lin, C.T y Chen, S.C (2008), Applying Six-Sigma methodology in constructing the quick response of a case reporting system. **Total Quality Management & Business Excellence**. Volumen 19, Issue 4, pp. 381-392.
- Dedhia, Navin (2005), Six sigma basics. **Total Quality Management & Business Excellence**. Volumen 16, Issue 5, pp. 567-577.
- Felizzola, Heriberto y Luna, Carmenza (2014), Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*. Volumen 22, Issue 2, pp. 263-277.
- Flores, Hiram (2015), **Propuesta de mejora continua para una planta de fundición de aluminio bajo la aplicación de técnicas de lean sigma**. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas. Instituto Politécnico Nacional. México D.F. Disponible en: <http://148.204.210.201/tesis/1427828616778TESISHiramFlo.pdf>
- Fontalvo, Tomas (2009), Un caso práctico del enfoque sistémico convergente de la calidad (ESCC) en vidrios templados. **Revista Escenarios**. Universidad Autónoma del Caribe. Volumen 12, Issue 2, pp. 7-18.
- Freiesleben, Johannes (2006), Communicating six sigma's benefits to top management. **Measuring Business Excellence**. Volumen 10, Issue 2, pp. 19-27.
- Gamarra, Karen (2012), **Análisis de dos metodologías para identificar el cuello de botella en procesos productivos**. Universidad Industrial de Santander.
- Haikonen, Arto; Savolainen, Taina y Järvinen, Pekka (2004). Exploring Six Sigma and CI capability development: preliminary case study findings on management role. **Journal of Manufacturing Technology Management**. Volumen 15, Issue 4, pp. 369-378.

- Harris, Betsi (2002), **Transactional Six Sigma and Lean Servicing: Leveraging Manufacturing Concepts to Achieve World-Class Service**. Editorial St Lucie Press. ISBN: ISBN 9781574443257.
- Harry, Mikel; Mann, Prem; De Hodgins, Ofelia; Hulbert, Richard y Lacke, Christopher (2010), **The practitioner's guide to statistics and lean Six Sigma for process improvements**. Primera Edición. Editorial John Wiley & Sons Inc. ISBN 978-0-470-11494-0.
- Harry, Mikel y Schroeder, Richard (2000), **Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations**. Editorial Doubleday Random House. New York.
- Hayler, Rowland y Nichols, Michael (2005), **¿What is six sigma process management?**. Primera Edición. Editorial McGraw-Hill Education. ISBN 978-0-07145-341-7.
- Ho, William; Dey, Prasanta y Higson, Helen (2006), Multiple criteria decision-making techniques in higher education. **International Journal of Educational Management**. Volumen 20, Issue 5, pp. 319-337.
- McAdam, Rodney y Hazlett, Shirley (2010), An absorptive capacity interpretation of Six Sigma. **Journal of Manufacturing Technology Management**. Volumen 21, Issue 5, pp. 624-645.
- Salvador, Marcos (2014), **Aplicación de la metodología DMAIC al proceso de elaboración de harina residual de pescado**. Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. LACCEI. Disponible en: <http://www.laccei.org/LACCEI2014-uayaquil/StudentPapers/SP031.pdf> (Accedido el 16/12/2016).
- McCarty, Thomas; Bremer, Michael y Daniels, Lorraine (2004), **Six sigma black belt handbook**. Primera Edición. Editorial McGraw-Hill Education. ISBN: 978-0-07144-329-6.
- Merchan, Tagle y Levi, Jonatán (2016), **Aplicación de la Metodología Seis Sigma en el Proceso de Envasado de Aceites**. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/32497>
- Morato, Juan (2009), **Reducción de gasto energético eléctrico usando seis sigma**. Reduction of energy waste by the use of six sigma. Volumen 4, Issue 2, pp. 90-102.
- Moreano, Annabel y Cáceres, Patricio (2010), **Diseño para la implementación de la metodología seis sigma en una línea de producción de queso fresco**. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/8965>
- Michcol, Jacobo; García, David; Varela, José y Flórez, Elena (2011), Aplicación de Seis Sigma en una microempresa del ramo automotriz. **Revista Conciencia Tecnológica**. Volumen 42, Issue 1, pp. 11-18.
- Muthu, S; Srinivasan, K; Prasad, N. y Satheesh, G. (2014), Reduction of paint line defects in shock absorber through Six Sigma DMAIC phases. **Procedia Engineering**. Volumen 97, pp. 1755-1764.
- Naranjo, Katherine; Berrú, Karla y Rodríguez, María (2016), **Rediseño de la línea de servicio de tipificación sanguínea mediante la aplicación de la metodología lean seis sigma**. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/32306>
- Pepper, M.P.J y Spedding, T.A. (2010), The evolution of lean Six Sigma. **International Journal of Quality & Reliability Management**. Volumen 27, Issue 2, pp.138-155.
- Pérez, Esteban y García, Minor (2014), **Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal**. **Tecnología en Marcha**. Volumen 27, Issue 3, pp. 88-106.
- Pérez, Agustín y Coronel, Walter (2012), **Método Seis Sigma: Aplicación a una Empresa de Telecomunicaciones**. Facultad de ciencias económicas. Universidad Nacional de Cuyo. Disponible en: http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/5617/tesis-cs-ec-perez-bernal.pdf
- Pugna, Adrian; Negrea, Romeo y Miclea, Serban (2016), **Using Six Sigma Methodology to Improve the Assembly Process in an Automotive Company**. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**. Volumen 221, Issue 7, pp. 308- 316.
- Saaty, Thomas (1980), **The analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation**. Editorial McGraw- Hill ISBN: 9780070543713
- Shanmugam, Vijay (2007), **Six Sigma Cup: Establishing Ground Rules for Successful Six Sigma Deployment**. **Total Quality Management & Business Excellence**. Volumen 18, Issue 1, pp. 77-84.

- Srinivasan, K; Muthu, S; Devadasan, S. y Sugumaran, C. (2014), **Enhancing effectiveness of Shell and Tube Heat Exchanger through Six Sigma DMAIC phases**. *Procedia Engineering*. Volumen 97, pp. 2064-2071.
- Thaler, Richard (1986), **The psychology and economics conference handbook: Comments on Simon, on Einhorn and Hogarth, and on Tversky and Kahneman**. *The Journal of Business*. Volumen 59, Issue 4, pp. 279-284.
- Thevnin, Charles (2004), **Effective management commitment enhances six sigma success**. *Handbook of Business Strategy*. Volumen 5, Issue 1, pp.195- 200.
- Tinoco, Félix (2013), **Six sigma en logística: aplicación en el almacén de una unidad minera**. *Revista Industrial Data*. Volumen 16, Issue 2, pp. 67-74.
- Toskano, Gerard (2005), **El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores**. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú*. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/monografias/Basic/toskano_hg/contenido.htm
- Vallejo, Gabriela y Guerrón, Edgar (2016), **Análisis de la variabilidad del proceso de workover en el bloque 16 a través de la metodología DMAIC**. *Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador*. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7004>
- Valles, Adán; Sánchez, Jaime; Noriega, Salvador y Gómez, Berenice (2009), **Implementation of Six Sigma in a Manufacturing Process: a case study**. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*. Volumen 16, Issue 3, pp. 171-181.
- Van Iwaarden, J.D; Dale, Williams y Bertsch, H.B (2008), **The Six Sigma improvement approach: a transnational comparison**. *International Journal of Production Research*. Volumen 46, Issue, 23, pp. 6739-6746.
- Varas, Cristián (2010), **Aplicación de metodología DMAIC para la mejora de procesos y reducción de pérdidas en las etapas de fabricación de chocolate**. *Universidad de Chile*. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/111645>
- Yepes, Víctor y Pellicer, Eugenio (2004), **Aplicación de la metodología seis sigma en la mejora de resultados de los proyectos de construcción**. Dpto. de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil. *Universidad Politécnica de Valencia. España*. Disponible en: <http://personales.upv.es/vyepesp/05ypx01.pdf> (Accedido el 18/12/2016).
- Zeydan, Mithat (2010), **A guide to lean six sigma management skills**. *International Journal of Production Research*. Volumen 48, Issue 14, pp. 4327-4334.

NOTAS

- 1 Se agradece la colaboración del ingeniero Leonel Batista por su gestión para la recopilación de la información primaria y su apoyo en las visitas técnicas en la empresa de caso de estudio de la ciudad de Cartagena. De igual forma a la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco por el apoyo de su grupo científico.