

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA**

**MEJORA DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE ALIMENTOS PARA  
BROILERS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE  
NEGOCIO SEIS SIGMA-DMAIC, EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN  
DE ALIMENTOS BALANCEADOS**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DE GRADO DE MAGÍSTER  
EN INGENIERÍA INDUSTRIAL Y PRODUCTIVIDAD**

**PATRICIA ALEXANDRA QUILLUPANGUI SALTO**

**pattylaslu6@hotmail.com**

**DIRECTOR: ING. RAFAEL ALONSO URIBE SOTO, PhD.**

**rafael.uribe.epn.edu.ec**

**CO-DIRECTOR: ING. PEDRO ENRIQUE BUITRÓN FLORES, MSc.**

**pedro.butron@epn.edu.ec**

**Quito, Noviembre 2019**

© Escuela Politécnica Nacional (2019)

Reservados todos los derechos de reproducción

## DECLARACIÓN

Yo, Patricia Alexandra Quillupangui Salto, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad intelectual, por su Reglamento y por normativa institucional vigente.

---

Patricia Alexandra Quillupangui Salto

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Patricia Alexandra Quillupangui Salto, bajo mi supervisión.

---

Ing. Rafael Uribe, PhD.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

Ing. Pedro Buitrón, MSc.

**CODIRECTOR DE PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTO**

Sr. César Muñoz por permitir el desarrollo del presente trabajo, Ing. Rafael Uribe e Ing. Pedro Buitrón por su valiosa guía académica.

## **DEDICATORIA**

Este logro alcanzado es dedicado con todo mi corazón a mis padres por su apoyo incondicional y paciencia, a mi hermano quién sembró la semilla del amor al estudio y a la superación constante. A mí querido esposo Andy por su apoyo y compañía en las noches de desvelo y estudio.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
<b>RESUMEN</b> .....	xv
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	xvi
<b>1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	1
1.1. Antecedentes de la investigación.....	1
1.2. Bases teóricas .....	3
1.2.1. Enfoque de procesos.....	3
1.2.2. Seis sigma.....	5
1.2.3. Índice de capacidad del proceso y métricas seis sigma.....	6
1.2.3.1. Índice de capacidad del proceso.....	6
1.2.3.2. Métricas seis sigma .....	10
1.2.4. Productividad .....	11
1.2.5. Medición de trabajo.....	12
1.2.6. Etapas de proceso de elaboración de alimento balanceado en harina .....	16
1.3. Definición de términos .....	21
<b>2. PARTE EXPERIMENTAL</b> .....	22
2.1. Descripción de la situación actual del proceso de elaboración de alimentos balanceados para la línea de broilers.....	22
2.2. Selección de procesos claves.....	24
2.3. Definición de problemas .....	27
2.4. Medición de parámetros críticos .....	28
2.4.1. Dosificación de bins .....	29
2.4.2. Dosificación de aceite .....	31
2.4.3. Calidad de mezcla .....	33
2.5. Análisis de datos del proceso de medición.....	33
2.5.1. Dosificación de bins .....	34
2.5.2. Dosificación de aceite .....	34
2.5.3. Calidad de mezcla .....	35
2.6. Mejoras en los procesos .....	35

2.6.1. Dosificación de bins	36
2.6.2. Dosificación de aceite	36
2.6.3. Calidad de mezcla	36
2.7. Control de procesos	37
2.7.1. Dosificación de bins	37
2.7.2. Dosificación de aceite	38
2.7.3. Calidad de mezcla	38
2.7.4. Indicadores	38
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>39</b>
3.1. Selección de procesos claves	39
3.2. Definición del problema	49
3.3. Medición de parámetros críticos	55
3.3.1. Dosificación de bins	58
3.3.2. Dosificación de aceite	62
3.3.3. Calidad de mezcla	67
3.4. Análisis de datos del proceso de medición	68
3.4.1. Dosificación de bins	68
3.4.2. Dosificación de aceite	70
3.4.3. Calidad de mezcla	71
3.5. Mejoras en los procesos	72
3.5.1. Dosificación de bins	72
3.5.2. Dosificación de aceite	74
3.5.3. Calidad de mezcla	76
3.6. Control de procesos	76
3.6.1. Dosificación de bins	76
3.6.2. Dosificación de aceite	79
3.6.3. Calidad de mezcla	83
3.6.4. Indicadores	84
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>89</b>
4.1. Conclusiones	89



4.2. Recomendaciones.....	91
<b>5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>95</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
<b>Tabla 1.1.</b> Ejemplos de Proyectos Seis Sigma realizados en Ecuador.....	2
<b>Tabla 1.2.</b> Valores de capacidad del proceso (Cp) y su interpretación.....	7
<b>Tabla 1.3.</b> Conversión nivel sigma, DPMO, Cpk .....	9
<b>Tabla 1.4.</b> Métodos para medir el tiempo estándar .....	13
<b>Tabla 1.5.</b> Número de ciclos recomendados para estudios de tiempos.....	14
<b>Tabla 1.6.</b> Criterios de evaluación del desempeño.....	14
<b>Tabla 1.7.</b> Estimación de tolerancias .....	15
<b>Tabla 1.7.</b> Estimación de tolerancias (continuación....) .....	16
<b>Tabla 1.8.</b> Ejemplo de dieta final para broilers .....	18
<b>Tabla 1.9.</b> Criterios a los resultados pruebas de mezclado .....	20
<b>Tabla 2.1</b> Criterios para definir las actividades con valor agregado y sin valor agregado.....	26
<b>Tabla 3.1.</b> Reclamos en producto terminado en los años 2015, 2016 y 2017.....	42
<b>Tabla 3.2.</b> Matriz de priorización de procesos claves .....	43
<b>Tabla 3.3.</b> Lista de verificación de identificación de procesos .....	44
<b>Tabla 3.4.</b> Resultados del estudio de tiempos para la fabricación de alimento balanceado.....	45
<b>Tabla 3.5.</b> Índices de valor agregado y sin valor agregado.....	45
<b>Tabla 3.6.</b> Cartera de Proyectos .....	49
<b>Tabla 3.7.</b> Estatus del proyecto .....	52
<b>Tabla 3.8.</b> Caracterización de variables críticas.....	55
<b>Tabla 3.9.</b> Valores de proteína con dosificación manual .....	58
<b>Tabla 3.10.</b> Índices de capacidad del proceso de dosificación de bins .....	61
<b>Tabla 3.11.</b> Valores de verificación de peso y temperatura en la dosificación de aceite.....	62
<b>Tabla 3.12.</b> Índices de capacidad para el proceso de dosificación de aceite.....	67
<b>Tabla 3.13.</b> Resultados de pruebas de mezclado.....	68
<b>Tabla 3.14.</b> Resultados de proteína para prueba piloto .....	69
<b>Tabla 3.15.</b> Resultados de prueba de hipótesis .....	69

<b>Tabla 3.16.</b>	Resultados de proteína con la automatización .....	76
<b>Tabla 3.17.</b>	Índices de Cp con automatización .....	79
<b>Tabla 3.18.</b>	Verificación de pesos en el proceso de dosificación de aceite .....	80
<b>Tabla 3.19.</b>	Índices de capacidad proceso dosificación aceite .....	82
<b>Tabla 3.20.</b>	Resultados pruebas de mezclado .....	83
<b>Tabla 3.21.</b>	Tiempo estándar, básico y tolerancias para el proceso de elaboración de alimento balanceado.....	84
<b>Tabla 3.22.</b>	Índices de valor agregado y sin valor agregado.....	85
<b>Tabla 3.23.</b>	Indicadores antes y después de implementación de mejoras .....	87
<b>Tabla AI.1</b>	Tiempos observados en la elaboración de alimento balanceado .....	96
<b>Tabla AII.1</b>	Definición del tiempo de tolerancia.....	97
<b>Tabla AIII.1</b>	Detalle de costo para consumo de energía diario.....	99
<b>Tabla AIII.2</b>	Detalle de costo de mano de obra diario.....	99
<b>Tabla AVI.1</b>	Tiempos observados en la elaboración de alimento balanceado .....	104
<b>Tabla AVII.1</b>	Definición del tiempo de tolerancia cob mejoras implementadas .....	105

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 1.1.</b> Modelo de un Sistema de Gestión de la Calidad basado en procesos .....	4
<b>Figura 1.2.</b> Capacidad tres y seis sigma .....	5
<b>Figura 1.3.</b> Secuencia DMAIC-Seis Sigma .....	6
<b>Figura 1.4.</b> Relación entre Cp y Cpk.....	8
<b>Figura 1.5.</b> Diagrama de elaboración de alimento balanceado .....	17
<b>Figura 2.1.</b> Producción mundial de alimento balanceado .....	23
<b>Figura 3.1.</b> Diagrama de flujo de proceso de elaboración de alimento terminado .....	39
<b>Figura 3.2.</b> Mapa de procesos de elaboración de alimento balanceado nivel 0 .....	40
<b>Figura 3.3.</b> Mapa de procesos de elaboración de alimento balanceado nivel 1 .....	41
<b>Figura 3.4.</b> Diagrama analítico situación inicial .....	46
<b>Figura 3.5.</b> Gráfico de Pareto de reclamos en alimento balanceado desde el año 2015 al 2017.....	47
<b>Figura 3.6.</b> Diagrama del árbol de calidad en base a reclamos de granjas.....	49
<b>Figura 3.7.</b> Gráfico de Pareto-No conformidades en producto terminado.....	50
<b>Figura 3.8.</b> Matriz SIPOC para la elaboración de alimento balanceado en la línea Broilers.....	53
<b>Figura 3.9.</b> Diagrama de flujo de valor (VSM) del proceso de elaboración de alimento balanceado línea Broilers.....	54
<b>Figura 3.10.</b> Diagrama causa - efecto para mezcla no homogénea.....	56
<b>Figura 3.11.</b> Árbol crítico de calidad (CTQ) para obtener alimento homogéneo .....	57
<b>Figura 3.12.</b> Prueba de normalidad para datos de proteína.....	59
<b>Figura 3.13.</b> Gráfico de control de medidas individuales (X-MR) para proceso de dosificación manual de bins.....	60
<b>Figura 3.14.</b> Diagrama causa efecto para el proceso de dosificación de aceite .....	64
<b>Figura 3.15.</b> Prueba de normalidad para datos de peso (kg) de aceite.....	65
<b>Figura 3.16.</b> Gráficos de control Xbar-R para el proceso de dosificación de aceite.....	66
<b>Figura 3.17.</b> Regresión lineal para las variables peso y temperatura.....	70
<b>Figura 3.18.</b> FMEA para el sistema de automatización .....	73

<b>Figura 3.19.</b>	Diagrama de Gantt para proyecto de automatización de dosificación de bins	74
<b>Figura 3.20.</b>	FMEA para equipo dosificador de aceite	75
<b>Figura 3.21.</b>	Prueba de normalidad para datos de proteína con la automatización implementada	77
<b>Figura 3.22.</b>	Gráfica de control para individuales del proceso de dosificación de bins automatizado	78
<b>Figura 3.23.</b>	Gráficos Xbar-R para dosificación de aceite	82
<b>Figura 3.24.</b>	Diagrama analítico con mejoras implementadas	86
<b>Figura AIV.1.</b>	Fotografía Dosificación Bins Sin Automatización	100
<b>Figura AIV.2.</b>	Fotografía Dosificación Bins con Automatización	100

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO I</b>	
Tiempos observados en el proceso de elaboración de alimento balanceado .....	96
<b>ANEXO II</b>	
Definición del tiempo de tolerancia.....	97
<b>ANEXO III</b>	
Detalle de costo para consumo de energía y mano de obra diario .....	99
<b>ANEXO IV</b>	
Implementación del Sistema de Automatización .....	100
<b>ANEXO V</b>	
Instructivo para pruebas de mezclado por microtrazadores .....	101
<b>ANEXO VI</b>	
Tiempos observados en el proceso de elaboración de alimento balanceado .....	104
<b>ANEXO VII</b>	
Definición del tiempo de tolerancia con mejoras implementadas .....	105

## RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se aplicó el proceso de negocio Seis Sigma-DMAIC para alcanzar una mejora en la fabricación de alimento balanceado para la línea de Broilers (aves de engorde). En primera instancia se realizó un levantamiento, identificación y secuenciación de los procesos involucrados en la elaboración de alimentos balanceados. Se identificaron los procesos y a su vez se seleccionaron de estos, los procesos claves, en los cuales se realizaron las mejoras. Se calcularon los indicadores de la situación inicial como tiempo de ciclo= 14,14 min y productividad diaria de 0,001037 batch/\$. En la primera fase, de la metodología DMAIC, se definieron los procesos claves seleccionados en base a los reclamos del año 2017 fueron: *dosificación de bines, dosificación de aceite y calidad de mezcla*.

En la segunda fase “de medición”, se realizó el cálculo de las capacidades de los procesos ( $C_p$ ), para el proceso de dosificación de bines y proceso de dosificación de aceite se obtuvo un  $C_p= 0,75$  y  $C_p= 0,18$  respectivamente. Asimismo se determinó el nivel sigma para los dos procesos obteniéndose un nivel sigma de 1.97 para la dosificación de bines y de 0.58 para la dosificación de aceite. Para la prueba de mezclado se obtuvo un coeficiente de variación (CV) de 9,39 % con un tiempo de mezcla de 3 minutos 30 segundos. En la tercera fase “de análisis” se realizó para el proceso de dosificación de bines una prueba piloto y una prueba de hipótesis a los datos obtenidos. Para el proceso de dosificación de aceite se realizó una prueba de correlación para los factores temperatura y humedad y por último se realizaron nuevas pruebas de mezclado. En la cuarta y quinta fase “de implementación y control de las mejoras”, para el proceso de dosificación de bines se obtuvo un  $C_p= 0.9$  y un nivel sigma de 2,4. En el proceso de dosificación de aceite se obtuvo un  $C_p= 2,02$  y un nivel sigma de 6. Con el nuevo orden de adición se obtuvo un coeficiente de variación (CV) = 9.32 % con un tiempo de mezcla de 3 minutos. Al calcular los indicadores con las mejoras implementadas se tiene una disminución en el tiempo de ciclo ( $t_c$ )= 12,06 minutos y un incremento en la productividad diaria de 0,001038 batch/\$.

## INTRODUCCIÓN

El enfoque basado en procesos se utiliza en las empresas para alcanzar resultados estables en el tiempo, mediante la definición sistemática de los procesos y sobre todo las interrelaciones entre ellos, lo que permite tener una visión integral en términos de valor agregado y comprensión total de los lineamientos a cumplir, dentro de cada una de las etapas que integran el proceso productivo (ISO Org, 2015, p. 10-12; Tapia, 2016, p. 5-8).

La mejora continua de procesos utiliza diversas estrategias como el ciclo de Deming, el enfoque del cliente y la metodología DMAIC, dentro de los procesos de negocio Seis Sigma, por su aplicabilidad para resolver problemas crónicos dentro de las empresas. DMAIC es una metodología que se basa en cinco fases que son: Definir-Medir-Analizar-Mejorar y Controlar. Esta metodología, en cada una de las fases, aplica diferentes herramientas estadísticas para buscar, reconocer, minimizar o eliminar los defectos que se encuentren en un proceso y que son causa de las inconformidades de los clientes. (Evans, 2008, p. 510)

La primera etapa para la ejecución de proyectos de mejora, basados en la metodología Seis Sigma, es la etapa Definir. Uno de los puntos más importantes en esta fase de la metodología es determinar adecuadamente los parámetros y alcance de los proyectos de mejora, los requisitos del cliente y el tener la data suficiente e identificación del problema y su impacto, para posteriormente implementar los proyectos de mejora seleccionados. (INEN-ISO 13053. 2014 a, p. 25).

En la etapa previa de identificación de los posibles proyectos de mejora, que no forma parte de DMAIC, se cierra hablando de la cartera de proyectos de mejora. Así, la metodología Seis Sigma funciona a través de la cartera de proyectos, donde cada proyecto es ejecutado bajo la estructura del modelo DMAIC, que culmina con el proceso de estandarización y de integración.



El objetivo general del presente trabajo es mejorar el proceso de elaboración de alimento balanceado para la línea de Broilers, a través de la consecución de los siguientes objetivos específicos:

- a) Determinar la secuencia e interacción de los procesos claves que defienden la producción de alimentos balanceados para Broilers.
- b) Definir y seleccionar los proyectos de mejora en los procesos claves de elaboración de alimentos balanceados, utilizando la metodología DMAIC.
- c) Implementar los proyectos de mejora que impactan de manera positiva sobre la productividad del proceso de elaboración de alimentos balanceados para Broilers.
- d) Controlar la efectividad de las alternativas de mejora implementadas sobre la productividad del proceso de elaboración de alimentos balanceados para Broilers.

# **1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## **1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Las condiciones actuales a las que deben enfrentarse las empresas son muy exigentes por factores como avances tecnológicos, intensificación de la competencia, globalización de mercados. El éxito de toda empresa se basa en el desarrollo adecuado de la estructura organizativa, estrategia y cultura según su entorno y requerimientos, la armonía de estos aspectos le permitirán a la empresa fortalecer sus ventajas competitivas y permanecer en el mercado (C.E.E.I Galacia, 2010, p. 29; Fundación OSDE, 1998, p. 83-84).

Todo sistema de gestión a aplicarse en una empresa manufacturera o de servicios debe tener claramente definidos los requerimientos del cliente y los procesos que agregan valor a esos requerimientos, con el fin de generar la cadena de valor lo cual permite a la empresa enfocar sus esfuerzos de mejora a estos procesos y que reflejan resultados de alto impacto (Cuatrecasas, 2010, p. 21-26).

El enfoque basado en procesos debe dirigirse a alcanzar un equilibrio en el funcionamiento de las operaciones, por lo que se requiere al inicio de un gran esfuerzo sobre todo cuando las empresas están trabajando por departamentos, áreas y no por procesos. Alcanzar este enfoque requerirá la atención de temas como: planificación de la producción, cuellos de botella, stocks de inventarios entre otros (Cuatrecasas, 2010, p. 86-87).

Una de las estrategias más utilizadas actualmente para proyectos de mejora continua es la metodología seis sigma, la cual tuvo su origen en los años 80 como estrategia de negocio y mejoramiento de la calidad en la empresa Motorola, se la aplicó para alinear el producto a las especificaciones de los clientes y reducir la desviación de

las variables críticas de los procesos. El éxito que ha alcanzado esta metodología se debe a que permite controlar los parámetros de calidad y ayuda a resolver problemas con la aplicación de herramientas estadísticas (Herrera y Fontalvo, 2000, p. 2-3; López y et al., 2017, p. 147).

Alcanzar un nivel Seis Sigma significa producir con un mínimo de 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO), lo cual es equivalente a un nivel de calidad del 99,9997% (Evans y Linddsay, 2008, p. 21). A continuación se detalla ejemplos de que significaría que ciertos procesos a nivel mundial se realicen con un nivel de 4 sigmas (99% de calidad):

- 20.000 piezas de correo pérdidas cada hora
- 5.000 operaciones de cirugía incorrectas por semana
- 5 aterrizajes diarios con problemas a nivel mundial
- 7 horas por mes sin servicio eléctrico.

A nivel mundial desde la década de los 80 se ha aplicado la estrategia Seis Sigma, en diversos sectores productivos y en empresas de servicios, en Ecuador se cuenta con algunos proyectos implementados exitosamente y con muy buenos resultados como se aprecia en la tabla 1.1.

**Tabla 1.1.** Ejemplos de Proyectos Seis Sigma realizados en Ecuador

<b>SECTOR</b>	<b>COMPANIA</b>	<b>PROYECTO</b>	<b>OPORTUNIDAD MEJORA</b>	<b>RESULTADO</b>
Manufactura	GAMA EDITORES	Reducción de artículos defectuosos y desperdicios	Mejorar índices de productividad y disminuir productos defectuosos	Disminución de producto defectuoso de 14,27% a 0,23%
Manufactura	CRIDESA Elaboración de cristalería	Cultura de ahorro con más de 100 proyectos	Incremento de eficiencia de producción con una cultura robusta de ahorro	Incremento de la eficiencia de producción del 80% al 95%. Ahorro de 2 millones de dólares en 3 años.
Manufactura	FAME Textilera	Mejorar productividad de la línea formal	Reducir la variabilidad en el desempeño de atributos relevantes para el cliente	Se alcanza una reducción en el costo de producción de 0,34 a 0,60 ctvs. /prenda.

## **1.2. BASES TEÓRICAS**

### **1.2.1. ENFOQUE DE PROCESOS**

Las empresas manufactureras o de servicios con el fin de ser más competitivas en el mercado, en los últimos años han recurrido al enfoque por procesos, manejadas por diversas metodologías de mejora continua, EFQM (European Foundation for Quality Management) o normas como la ISO 9001, las cuales tienen sus pilares fundamentales en la identificación y mejoramiento de los procesos claves o de creación de valor, los cuales son de efecto directo en la satisfacción del cliente (Evan, 2008, p. 332-334; D' Alessio, 2004, p. 10-11).

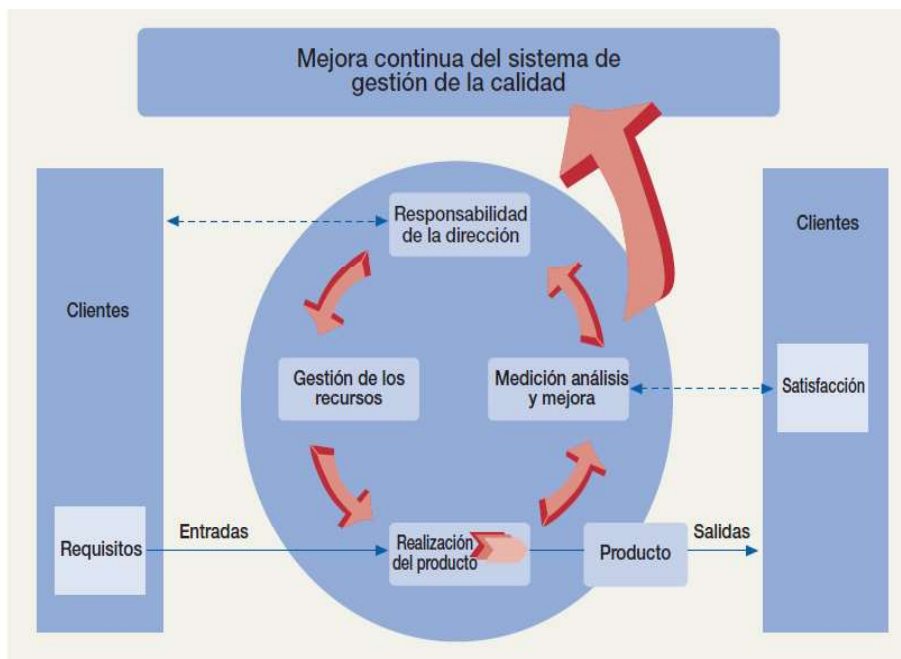
El enfoque basado en procesos en el sistema de gestión permite a la empresa gestionar las actividades y los recursos de una manera efectiva. En la caracterización de los diferentes procesos deben constar sus entradas, el proceso en sí y las salidas, Beltrán (2009) indicó que se deben considerar los siguientes aspectos en cada proceso:

- Definir sistemáticamente las actividades de un proceso.
- Reconocer las interrelaciones entre los procesos.
- Identificar los procesos.
- Analizar, medir y evidenciar los resultados del proceso.
- Recursos y métodos que permitan mejorar el proceso.

La Norma ISO 9001:2015 establece el enfoque basado en procesos a fin de incrementar la satisfacción del cliente, considerando la interrelación de los procesos como se aprecia en la figura 1.1.

Para identificar y secuenciar los procesos dentro de la empresa, se realiza un mapa de procesos con un nivel de detalle general incluyendo de manera general los

procesos estratégicos, procesos operativos y procesos de apoyo. Posteriormente se elabora mapas con un nivel más detallado incluyendo, entradas, salidas, secuenciación y a los responsables o dueño del proceso, el nivel de detalle debe permitir una fácil interpretación del mapa y de su contenido (Beltrán et al., 2009, p. 24-26).



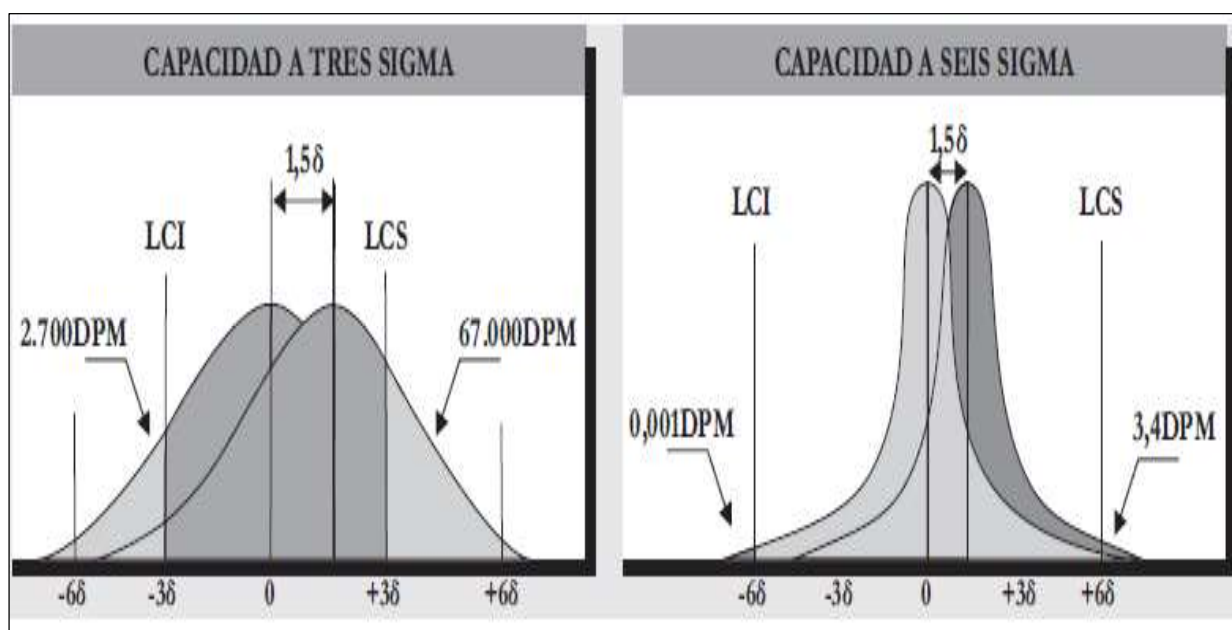
**Figura 1.1.** Modelo de un Sistema de Gestión de la Calidad basado en procesos (ISO 9001, 2015, p 11)

Establecer un enfoque por procesos permite tener beneficios como los detallados a continuación:

- Integra y alinea los procesos hacia el mismo objetivo.
- Otorga confianza en los clientes
- Permite observar transparencia de las operaciones dentro de la empresa
- Uso eficaz de recursos
- Permite enfocar y priorizar ideas de mejora
- Motiva la participación del personal y clarifica sus responsabilidades

### 1.2.2. SEIS SIGMA

El enfoque estadístico de Seis sigma es alcanzar un nivel de calidad de hasta 3,4 defectos por un millón de oportunidades. El nivel sigma como se aprecia en la figura 1.2 se deriva de la distribución normal con un ajuste que implica descentrar la media de 1,5 desviaciones. Generalmente las empresas empiezan con un nivel 3 sigma y con un trabajo constante la meta es llegar a los 6 sigma (INEN-ISO 13053, 2014 a, p. 13; Carro y González, 2012, p. 2).

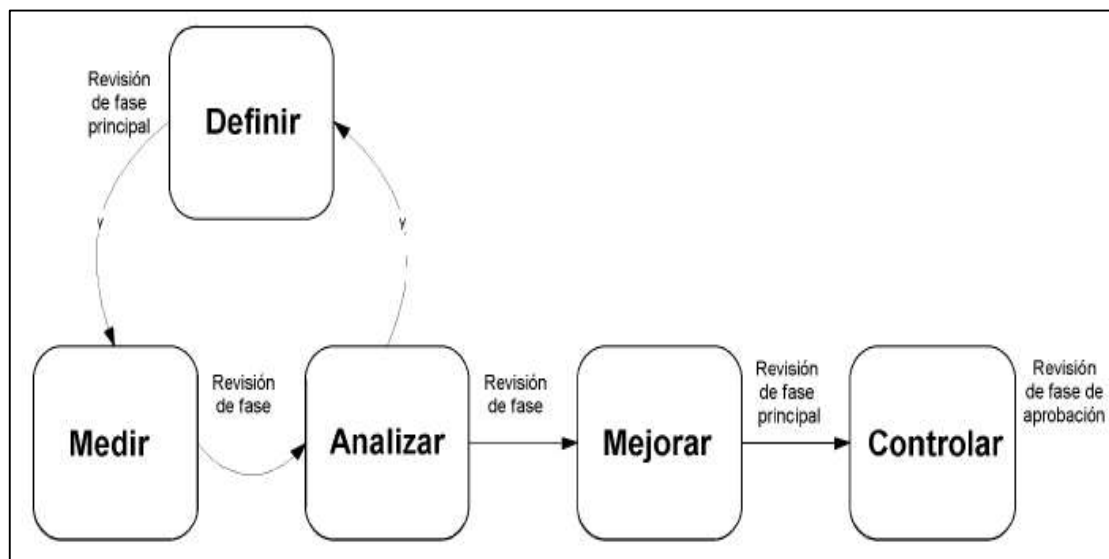


**Figura 1.2.** Capacidad tres y seis sigma  
(Carro y González, 2012, p. 2)

La estrategia Seis Sigma se fundamenta en la aplicación del método DMAIC, que consta de cinco fases: definir, medir, analizar, implementar y controlar, siendo de suma importancia para la aplicación de cada una de las fases, que se mantenga la secuencia reflejada en la figura 1.3 (INEN-ISO 13053, 2014 b, p. 25).

La correcta aplicación de la metodología DMAIC requiere de un enfoque real de los requerimientos de los clientes, la identificación acertada de los problemas que

inciden directamente sobre el producto final, la aplicación de herramientas estadísticas adecuadas para el análisis requerido y el seguimiento continuo a las soluciones aplicadas (Herrera y Fontalvo, 2000, p. 4).



**Figura 1.3.** Secuencia DMAIC-Seis Sigma  
(INEN-ISO 13053, 2014 a, p. 25)

### 1.2.3. ÍNDICE DE CAPACIDAD DEL PROCESO Y MÉTRICAS SEIS SIGMA

#### 1.2.3.1. Índice de capacidad del proceso

**La capacidad del proceso** es el rango en el cual se da la variación natural con los datos reales del proceso. El proceso estudiado cumplirá con las especificaciones establecidas siempre y cuando su variación natural sea menor a la establecida (Evans, 2008, p. 629).

El cálculo de la capacidad del proceso ( $C_p$ ) se realiza con la ecuación 1.1 (Socconini, 2016, p. 208; Escalante, 2010, p. 223).

$$C_p = \frac{ES - EI}{6\sigma} \quad [1.1]$$

Donde:

- $C_p$ : capacidad del proceso
- $ES$ : especificación superior de calidad
- $EI$ : especificación inferior de calidad
- $\sigma$ : desviación estándar

La interpretación del valor obtenido para la capacidad del proceso se aprecia en la tabla 1.2 (Gutiérrez y De la Vara, 2013, p. 99).

**Tabla 1.2.** Valores de capacidad del proceso ( $C_p$ ) y su interpretación

Valor del índice $C_p$	Clase o categoría del proceso	Decisión (si el proceso está centrado)
$C_p \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma
$C_p > 1,33$	1	Adecuado
$1 < C_p < 1,33$	2	Parcialmente adecuado, requiere de un control estricto
$0,67 < C_p < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis del proceso. Requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria
$C_p < 0,67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias

(Gutiérrez y De la Vara, 2013, p. 99)

Se debe considerar que dentro de un proyecto Seis Sigma es crítico conocer la capacidad del proceso con la que se está trabajando. Así el índice de capacidad real ( $C_{pk}$ ) es utilizado para conocer si el proceso está centrado y toma el menor valor de la capacidad para la especificación superior o de la capacidad para la especificación inferior, su cálculo se aprecia en la ecuación 1.2 (Gutiérrez, 2013, p.101).



$$Cpk = \text{mínimo} \left[ \frac{\mu - EI}{3\sigma}; \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right] \quad [1.2]$$

Donde:

*Cpk*: índice de capacidad real del proceso

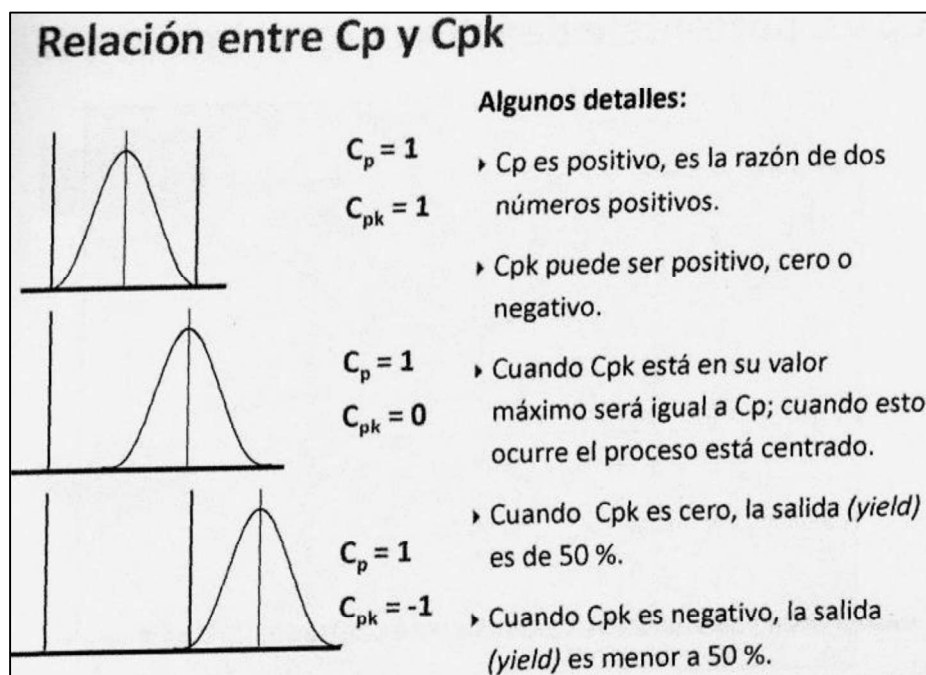
*ES*: especificación superior de calidad

*EI*: especificación inferior de calidad

$\sigma$ : desviación estándar

$\mu$ : media

Los índices de capacidad del proceso (*Cp*) y capacidad real del proceso (*Cpk*) tienen relación entre sí, los valores obtenidos permiten conocer si la curva se encuentra centrada o con sesgo hacia la izquierda o derecha como se aprecia en la figura 1.4.



**Figura 1.4.** Relación entre *Cp* y *Cpk*  
(Socconini, 2016, p. 213)

Para conocer el nivel sigma o la cantidad de defectos por millón de oportunidades (DPMO) con el que cuenta un proceso se utiliza el índice de capacidad real del proceso (Cpk) como se aprecia en la tabla 1.3.

**Tabla 1.3.** Conversión nivel sigma, DPMO, Cpk

Nivel Sigma	Probabilidad Buenos	Probabilidad Defectos	DPMO	Cpk
0	0,00	1,00	1 000 000,00	0,00
0,5	0,14	0,86	864 094,88	0,17
0,75	0,21	0,79	785 597,12	0,25
1,00	0,30	0,70	697 672,13	0,33
1,25	0,40	0,60	601 686,09	0,42
1,50	0,50	0,50	501 349,90	0,50
1,75	0,60	0,40	401 870,70	0,58
2,00	0,69	0,31	308 770,17	0,67
2,25	0,77	0,23	226 715,77	0,75
2,50	0,84	0,16	158 686,93	0,83
2,75	0,89	0,11	105 669,46	0,92
3,00	0,93	0,07	66 810,60	1,00

(BBCross Business Solutions, 2012)

Por otra parte, el Índice de Taguchi (Cpm) considera el centrado y la variabilidad del proceso. Taguchi consideró que no basta solo con reducir la variabilidad del proceso, sino además se debe reducir la variabilidad en relación al valor nominal con la ecuación 1.3 (Gutiérrez, 2013, p. 103).

$$Cpm = \frac{ES - EI}{3\tau} \quad [1.3]$$

Donde:

*Cpm*: índice de Taguchi

*ES*: especificación superior de calidad

$E_L$ : especificación inferior de calidad

$\tau$ : factor tau

Donde  $\tau$  (tau) está dada por la ecuación 1.4.

$$\tau = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - N)^2} \quad [1.4]$$

Donde:

$\tau$ : factor tau

$N$ : valor nominal de la calidad

$\sigma$ : desviación estándar

$\mu$ : media

Con el valor obtenido para el índice de Taguchi (Cpm) se puede obtener las siguientes interpretaciones:

- Cpm <1, indica que el proceso no cumple las especificaciones debido a un exceso de variabilidad o problemas de centrado.
- Cpm >1, indica que el proceso cumple con especificaciones y que la media se encuentra dentro de la tercera parte central de la banda de especificaciones.
- Cpm >1,33 indica que el proceso cumple con especificaciones y que la media se encuentra dentro de la quinta parte central de la banda de especificaciones.

### 1.2.3.2. Métricas seis sigma

**El Índice Z** permite calcular la distancia entre las especificaciones y la media del proceso en unidades de la desviación estándar, en donde Z es igual al menor valor entre índice Z superior ( $Z_s$ ) y el índice Z inferior ( $Z_i$ ), su cálculo se realiza con las ecuaciones 1.5 y 1.6 respectivamente.

$$Zs = \frac{ES - \mu}{\sigma} \quad [1.5]$$

$$Zi = \frac{\mu - EI}{\sigma} \quad [1.6]$$

Donde:

*Zs*: índice Z superior

*Zi*: índice Z inferior

*ES*: especificación superior de calidad

*EI*: especificación inferior de calidad

$\mu$ : media

$\sigma$ : desviación estándar

Otra forma para calcular el índice Z es con la ecuación 1.7 donde se utiliza el valor de la capacidad real del proceso (*Cpk*).

$$3Cpk = Z \quad [1.7]$$

Donde:

*Z*: índice Z

*Cpk*: capacidad real del proceso

#### 1.2.4. PRODUCTIVIDAD

El término productividad se ha ido desarrollando desde 1766 cuando se mencionó por primera vez por Quesnay sin un significado preciso y fue hasta 1983 donde Litre lo definió como “facultad de producir”. En definitiva la palabra productividad es una relación entre recursos utilizados y productos obtenidos, reflejando que tan bien se están utilizando los recursos humanos, naturales, financieros, científicos y tecnológicos en una empresa o en la sociedad (Escalante, 2016, p. 18-20).

Entre los modelos de productividad más utilizados se encuentran el Modelo de Productividad Total de Sumanth basándose en medidas cuantificables y el Enfoque

de Valor Agregado basado en la riqueza generada como salarios, prestaciones e impuestos al Estado (Escalante y Domingo, 2016, p. 20-21; Medina, 2007, p. 32-33).

En el modelo de Productividad Total para calcular la productividad se aplica las ecuaciones 1.8 y 1.9 (Escalante y Domingo, 2016, p.21).

$$\mathbf{Productividad\ total} = \frac{\mathbf{Productividad}}{\mathbf{Insumos}} = \frac{\mathbf{total\ batches\ diarios}}{\sum \mathbf{Recursos(mano\ obra,materia\ prima,energía)}} \quad [1.8]$$

$$\mathbf{Productividad\ parcial} = \frac{\mathbf{Producción\ total}}{\mathbf{un\ solo\ tipo\ de\ insumo}} \quad [1.9]$$

### 1.2.5. MEDICIÓN DE TRABAJO

La Organización Mundial del Trabajo (1996), señaló que “la medición de trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en llevar a cabo una tarea definida, según una norma de ejecución preestablecida” (p. 251).

Básicamente la medición del trabajo se realiza utilizando el estudio de movimientos para eliminar movimientos innecesarios y estudios de tiempos para eliminar el tiempo improductivo. Estas técnicas buscan definir el tiempo estándar, es decir el tiempo que necesita un operador calificado e instruido para realizar una actividad específica, a un ritmo normal y bajo condiciones establecidas (Escalante, 2010, p. 420-422). Escalante (2010), señaló diferentes métodos para medición del tiempo estándar como se aprecia en la tabla 1.4 (p. 425).

Dentro de las técnicas para el estudio de tiempos Escalante (2010), argumentó que el estudio de tiempos con cronómetros es una técnica utilizada para definir tiempos estándares. Previo a la medición, los involucrados deben tener claro las actividades

que les corresponden. Para organizar el levantamiento de la información se deben considerar los siguientes aspectos:

1. Elección de actividad a estudiar
2. Selección del operador
3. Registro de información
4. Análisis de información
5. La operación se debe dividirla en partes
6. Equipo de estudio de tiempos

**Tabla 1.4.** Métodos para medir el tiempo estándar

<b>MÉTODO</b>	<b>ELEMENTOS</b>	<b>APLICACIÓN</b>
<b>Estimación</b>		
De expertos	Prueba y error	Trabajo indirecto y de oficina
De datos históricos	Considerar la Ley de Parkinson: la cantidad de tiempo requerida para completar un trabajo es directamente proporcional al tiempo disponible	Trabajo de mantenimiento no rutinario
<b>Observación directa y medición</b>		
Estudio de tiempos	Cronómetro, tiempos observados, calificación del desempeño, tolerancias personales, por fatigas y demoras: PFD	Amplia variedad de trabajos repetitivos de corta o larga duración
Muestreo de trabajo	Observaciones aleatorias de actividades pertinentes productivas e improductivas	Trabajo no repetitivos de ciclo largo directos e indirectos de grupos de hombres y máquinas, suplementos.
<b>Métodos sintéticos</b>		
Datos estándar	Tiempos normales de grupos de movimientos	Trabajos similares con elementos comunes
Fórmulas de tiempo	Tiempos normales calculados a partir de las variables que influyen en el tiempo	Trabajos similares con elementos variables
Tiempos predeterminados	Tiempos normales para movimientos elementales cuidadosamente determinados	Trabajos manuales altamente repetitivos

(Escalante y González, 2016, p. 425)

La Organización Mundial del Trabajo establece el número de ciclos mínimos (observaciones) que se debe realizar de acuerdo a los minutos que tenga de duración el proceso al cual se va a realizar la medición de tiempos como se observa en la tabla 1.5.

**Tabla 1.5.** Número de ciclos recomendados para estudios de tiempos

<b>Minutos por ciclo</b>	Hasta 0,10	Hasta 0,25	Hasta 0,50	Hasta 0,75	Hasta 1,00	Hasta 2,0	Hasta 5,0	Hasta 10,0	Hasta 20,0	Hasta 40,0	Más de 40,0
<b>Número de ciclos sugeridos</b>	200	100	60	40	30	20	15	10	8	5	3

(OMT, 1996, p. 301)

En la medición de tiempos es fundamental considera el Tiempo Básico, este comprende al tiempo que emplea un operador en realizar una tarea con un ritmo estándar, para establecer el desempeño del operador se utiliza la tabla 1.6 y para el cálculo del tiempo básico se aplica la ecuación 1.10 (Baca et al., 2014, p. 188).

$$\text{Tiempo básico} = \text{Tiempo observado} * \frac{\text{Calificación}}{\text{Ritmo Estándar}} \quad [1.10]$$

**Tabla 1.6.** Criterios de evaluación del desempeño

<b>Escala</b>	<b>Descripción del desempeño del individuo</b>
0	Actividad nula
50	Muy lento, movimientos torpes e inseguros, operador somnoliento, sin interés en el trabajo
75	Constante, resuelto, sin prisa, como de obrero no pagado a destajo, pero bien supervisado. Parece lento pero no pierde tiempo voluntariamente
100 (estándar)	Trabajador activo y capaz; operario calificado promedio, logra con tranquilidad el nivel de calidad y precisión fijado
125	Muy rápido; el operario actúa con gran seguridad, destreza y coordinación de movimientos, superior al ritmo estándar
150	Excepcionalmente rápido, concentración y esfuerzo intensos sin probabilidad de durar así por períodos largos de tiempo

(BACA, 2004, p. 189)

Asimismo, es necesario considerar la tolerancia, la cual corresponde a pequeños intervalos de tiempo destinados a necesidades personales, por fatiga, pérdidas inevitables de tiempo, esfuerzo mental y a las condiciones del ambiente de trabajo como iluminación, condiciones atmosféricas y ruido. Una guía para estas tolerancias se encuentra en la tabla 1.7. Finalmente para completar el estudio de tiempos se calcula el tiempo estándar, que es el tiempo empleado en realizar una tarea por un operario capacitado considerando tolerancias y desempeño del operario su cálculo se realiza con ecuación 1.11 (Escalante y González, 2016, p. 482).

$$\text{Tiempo estándar } (ts) = \text{Tiempo básico } (tb) * (1 + \text{tolerancias}) \quad [1.11]$$

**Tabla 1.7.** Estimación de tolerancias

<b>Tolerancias</b>	<b>Añadir %</b>
<b>A. Tolerancias constantes:</b>	
1) Tolerancia por necesidades personales	5
2) Tolerancia básica por fatiga	4
<b>B. Tolerancias variables:</b>	
1) Tolerancia por ejecutar trabajo de pie	2
2) Tolerancia por posiciones anormales de trabajo:	
a) Ligeramente molesta	0
b) Molesta (cuerpo encorvado)	2
c) Muy molesta (acostado, extendido)	7
3) Empleo de fuerza o vigor muscular ( esfuerzo para levantar, tirar, empujar) determinado por el peso levantado (en kilogramos y libras, respectivamente):	
a) 2,5 kg/5 lb	0
b) 5/10	1
c) 7,5/15	2
d) 10/20	3
e) 12.5/25	4
f) 15/30	5
g) 17.5/35	7
h) 20/40	9



i) 22.5/45	11
------------	----

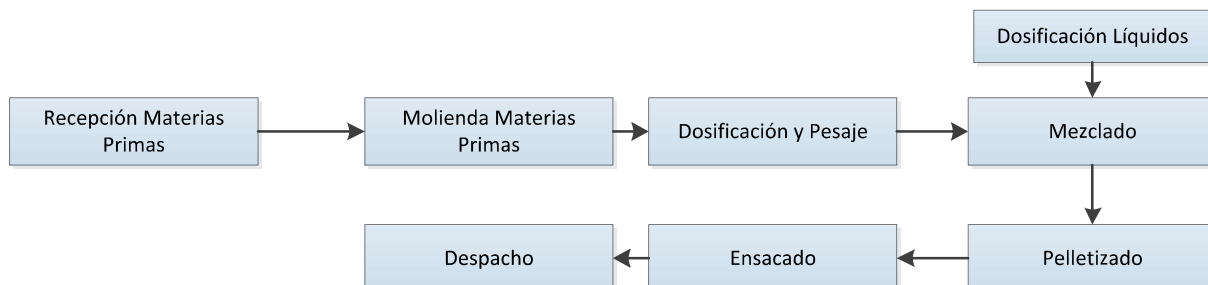
**Tabla 1.7.** Estimación de tolerancias (continuación....)

4) Alumbrado deficiente:	
a) Ligeramente inferior a lo recomendado	0
b) Muy inferior	2
c) Sumamente inadecuado	5
5) Condiciones atmosféricas (calor y humedad) variables	0-10
6) Atención estricta :	
a) Trabajo moderado fino	0
b) Trabajo fino o de gran cuidado	2
c) Trabajo muy fino o muy exacto	5
7) Nivel de ruido:	
a) Continuo	0
b) Intermitente-fuerte	2
c) Intermitente-muy fuerte	5
d) De alto volumen-fuerte	5
8) Esfuerzo mental :	
a)Proceso moderadamente complicado	1
b) Complicado o que requiere amplia atención	4
c) Muy complicado	8
9) Monotonía	
a) Escasa	0
b) Moderada	1
c) Excesiva	4

### **1.2.6. ETAPAS DE PROCESO DE ELABORACIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO EN HARINA**

Según FAO (2014), se define al alimento balanceado como todo material simple o compuesto, ya sea elaborado o semielaborado que se emplea directamente en la alimentación de animales destinados al consumo humano (p. xi). El proceso de

elaboración de alimento balanceado de manera general está conformado por los procesos que se aprecian en el diagrama de flujo de la figura 1.5.



**Figura 1.5.** Diagrama de elaboración de alimento balanceado  
(Klein Antonio, 2013, p. 5)

**Materias primas** son clasificadas en macroingredientes, microingredientes y líquidos las cuales de manera general representan el 95%, 3% y 2%, respectivamente de la formulación típica de un alimento Broilers. Se establecen para las materias primas parámetros básicos de aceptación como humedad, impurezas, granulometría y acidez, entre otros, los cuales permiten garantizar la calidad de estas materias primas. Por lo general las materias primas conforman alrededor del 90% de los costos de manufactura (Bortone, 2001, p. 14).

Siendo las principales materias primas utilizadas en la formulación de broilers son:

- Ingredientes proteicos de origen animal
- Ingredientes proteicos de origen vegetal (maíz, trigo, soya y subproductos)
- Minerales
- Vitaminas
- Aminoácidos

En la tabla 1.8 se observa un ejemplo de una dieta final para broilers que cumple con los requerimientos nutricionales de proteína cruda, energía y micronutrientes, además constan las materias primas más comunes que se encuentran en el mercado

ecuatoriano. Observándose que las mayores proporciones corresponden a los macroingredientes (maíz, pasta de soya y afrechillo).

**Tabla 1.8.** Ejemplo de dieta final para broilers

Nutrientes	Niveles de Proteína %- Lisina %		
	T1 (19-1,0)	T2 (18-0,9)	T3 (17-0,8)
Maíz	45,44	47,71	50,41
Polvillo de arroz	11,00	11,00	11,20
Afrecho de trigo	9,00	9,00	8,80
Aceite	2,50	2,50	2,50
Torta de soya	28,00	25,70	23,00
Carbonato de Ca.	1,70	1,70	1,70
Difosfato	1,60	1,60	1,60
Lisina sintética (L- Lisyne ajinomoto)	0,12	0,15	0,15
Premezcla (Premix HyP Rovimix)	0,20	0,20	0,20
Promotor (Vit. Broiler Rovimix)	0,05	0,05	0,05
Probiótico	0,10	0,10	0,10
Fitasa	0,02	0,02	0,02
Colina	0,05	0,05	0,05
Antimicótico	0,10	0,10	0,10
Secuestrante Toxinas	0,05	0,05	0,05
Enzimas	0,02	0,02	0,02
Sal	0,05	0,05	0,05

(Tandalla, 2010, p. 63)

**Molienda** es el proceso en el cual se realiza la fragmentación del grano con el fin de reducir el tamaño de partícula de las materias primas de 800 a 1200 micras en alimentos para aves y de 350 a 700 micras en alimentos para cerdos. Por lo general se puede realizar la premolienda de las materias primas o directamente la mezcla de

composición final (Acedo y González, 2001, p. 16). En este proceso se utilizan molinos de martillos de 1500 rpm a 3000 rpm, con unas cribas que cuentan con orificios entre 2.5 a 8 milímetros.

**Dosificación** es la etapa en la cual se agrega los macroingredientes, microingredientes y líquidos de acuerdo a lo establecido en la fórmula a elaborarse. En el caso de una dosificación manual o automática se deben definir los límites de errores en la dosificación, para los macroingredientes debe ser menor a 1 %, para los microingredientes debe ser menor al 0,5 %.

El control de la dosificación para los microingredientes y líquidos debe realizarse mínimo una vez por turno. Asimismo se debe realizar la verificación de la calibración de las balanzas de manera, tanto por los operadores de planta como por un ente externo (Klein, 2013, p. 22-23).

**Mezclado** es el proceso en la cual se mezclan los diferentes ingredientes buscando alcanzar una mezcla homogénea, especialmente la mezcla homogénea de los ingredientes que se colocan en menor cantidad, como lo son las vitaminas, antibiótico y minerales entre otros. La calidad de la mezcla se mide a través de pruebas de mezclado, con el valor del coeficiente de variación (CV), obtenido por métodos como microtrazadores, el contenido de cloruro de sodio, minerales o vitaminas.

Para animales mayores como aves, cerdos, ganado se debe tener un CV menor al 10 % y para especies pequeñas como camarones un CV menor al 5 %, los criterios de interpretación del coeficiente de variación se aprecian en la tabla 1.9. Otro factor a considerar es el residuo en el fondo de la mezcladora, el cual no debe ser mayor al 0,2% de la capacidad de la mezcladora.

**Tabla 1.9.** Criterios a los resultados pruebas de mezclado

<b>INTERPRETACIÓN DE PRUEBAS DE MEZCLADO</b>		
<b>Coefficiente de Variación (CV), (%)</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Acción Correctiva</b>
< 5 %	Perfecta	Ninguna
< 10 %	Excelente	Ninguna
10-15 %	Bueno	Incrementar tiempo de mezclado un 25 % a 30 %
15-20 %	Regular	Aumentar tiempo de mezcla un 50 %, revisar la mezcladora y la secuencia de adición de los ingredientes.
>20 %	Pésimo	Posible combinación de todo lo anterior, consultar al fabricante del equipo.

(Kansas State University, 1994, p. 3)

**Peletizado** es el proceso a través del cual se obtiene el alimento en pelet, para lo cual la mezcla en harina es acondicionada con vapor saturado a una presión de 0,4 a 2,6 bares, el vapor transfiere su calor latente a la mezcla hasta condensarse y humedecerla, lo recomendable en el acondicionamiento es trabajar a temperaturas superior a 80°C. El calor y la humedad provocan una gelatinización de los almidones de la mezcla para facilitar el peletizado. La formación del pelet se da mediante la compresión y rotación de un sistema conformado por un dado y 2 rodillos.

**Ensacado** es el proceso en el cual el alimento balanceado es colocado en sacos de polipropileno u otro material resistente para mantener la calidad y no transmitir sabores y olores extraños. El material de empaque debe permitir un fácil manejo y mantener buenas condiciones del producto hasta su destino. Asimismo cuenta con un rotulado con la información que sea requerida por la legislación del país.

**Despacho** es el proceso mediante el cual el alimento balanceado es distribuido a los clientes o granjas, previamente el alimento balanceado debe ser almacenado en condiciones adecuadas de temperatura y humedad.

### 1.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

**Proceso.** Conjunto de actividades interrelacionadas que interactúan entre sí, mediante las diferentes actividades los elementos de entrada son transformados en resultados o elementos de salida (Beltrán, 2009, p. 12).

**Seis Sigma.** Seis Sigma es un la fusión de técnicas estadísticas del pasado con avances en el pensamiento empresarial y sentido común. “Es una estrategia de mejora continua cuyo objetivo es mejorar el desempeño de un proceso y reducir la variación, para alcanzar variaciones estándares pequeñas en parámetros que son importantes para el cliente” (Pande, 2014, p. 11 y Herrera, 2000, p. 4).

**Capacidad de proceso.** Es conocer la amplitud de la variación natural del proceso en relación con sus especificaciones y su posición en relación al valor nominal, para un valor de calidad establecido y de esa forma establecer en qué medida cumple los requerimientos planteados (Gutierrez, 2013, p. 98).

**Prueba de mezclado.** Evalúa la uniformidad de la mezcla midiendo el nivel de un marcador preestablecido en varias muestras tomadas en la mezcladora, esto se realiza a través de ensayos químicos como medición de aminoácidos, iones de minerales, cloruro de sodio y microtrazadores (Kansas, 1994, p. 2).

**Hipótesis nula  $H_0$ .** Afirmación acerca un valor considerado como parámetro poblacional que se considera válida para ejecutar el procedimiento de prueba.

**Hipótesis alternativa  $H_a$ .** Afirmación que es aceptada si los datos muestrales otorgan evidencia que la hipótesis nula es falsa.

## **2. PARTE EXPERIMENTAL**

Con el propósito de alcanzar los objetivos propuestos en esta investigación, la misma se orientó bajo el enfoque de *Proyecto Factible*, el mismo implica las etapas de diagnóstico, planteamiento y fundamentación de la propuesta, el procedimiento metodológico, las actividades y recursos necesarios para su ejecución, su análisis y las conclusiones sobre la viabilidad y realización del proyecto.

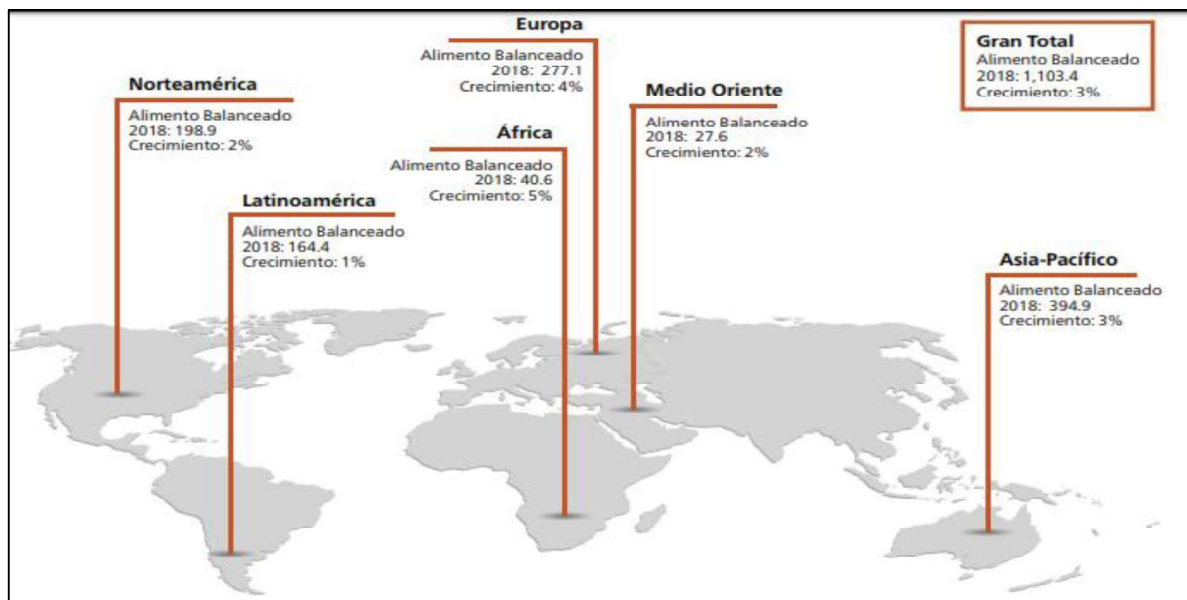
### **2.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA LA LÍNEA DE BROILERS.**

El incremento de la producción animal mundial se debe al requerimiento de proteína en la dieta humana, crecimiento poblacional y falta de alternativas proteicas. A este crecimiento se debe sumar la tendencia de los consumidores hacia productos más naturales, de mayor calidad, menor precio, mayor inocuidad, mayor bienestar animal y menos efectos ambientales (Acedo y González, 2001, p. 1)

Según Alltech (2019), en su octava encuesta realizada en 144 países a 30 000 fábricas de alimentos balanceados la producción mundial de alimento balanceado para el 2018, se tiene un crecimiento mundial del 3 % con 1 103 millones de toneladas métricas. Para américa Latina se observa un crecimiento del 1 %, alcanzando 164,4 millones de toneladas métricas, como se aprecia en la figura 2.1 (p. 1).

En el Ecuador los precios de las materias primas principales utilizadas en la elaboración de alimentos balanceados, como el maíz duro importado está gravado con un 45 % de aranceles sumando todos los costos, siendo un costo más alto en

relación a países vecinos, sumado a esto la falta de tecnología en los procesos productivos provoca que las industrias fabricantes de alimento balanceado pierdan competitividad. La implementación de procesos automatizados permite contar siempre con procesos más confiables y sistemas de pesaje y de control que logran alcanzar un inventario real.



\*Todos los números están expresado en millones de toneladas métricas.

**Figura 2.1.** Producción mundial de alimento balanceado  
(Alltech, 2019, p. 1)

En el Ecuador para el año 2017 el consumo de carne de pollo se incrementó de 22,9 kg per cápita (2010) a 32 kg per cápita, pese al incremento en el consumo, en el 2018 se apreció una sobreoferta de producción, debido principalmente al exceso de huevo fértil proveniente del Perú, la incursión de nuevos pequeños avicultores y el contrabando que ingresa por las fronteras. Todo esto ha generado una caída en los precios, que genera una pérdida de 20 y 35 centavos/libra de pollo. (Almache, 2018, p. 22-23). Con este panorama según Cevallos los avicultores que no cuenten con la tecnología adecuada como la automatización de procesos como dosificación (2017, p. 30), el control en sus procesos y un adecuado abastecimiento de materia primas, no podrán ser competitivos en el mercado actual



La planta productora de alimentos balanceados utilizada como caso de estudio en esta investigación, está ubicada en la parroquia de Yaruquí, provincia de Pichincha, Ecuador. Su producción promedio mensual es del orden de las 5 000 toneladas. Su producción está destinada al consumo interno, en granjas pertenecientes al mismo grupo industrial, dedicadas a la crianza de aves de engorde (Broilers), aves ponedoras de huevos fértiles y huevos comerciales, pavos y cerdos.

Hoy en día, la producción de alimentos balanceados es planificada en función de los pedidos realizados semanalmente por las granjas. Esta producción es despachada diariamente, según el orden de pedido, debido a que la planta no cuenta con bodegas de almacenamiento para producto terminado.

Actualmente, la planta procesadora de alimentos balanceados recibe reclamos respecto a la calidad del alimento, la composición nutricional y el tamaño de partícula. Particularidades que se deben principalmente a la falta de estandarización de procesos, la alta variabilidad en las demandas de los clientes y la baja capacitación del personal. Asimismo, dentro del proceso productivo se tienen también productos no conformes y reprocesos que generan tiempos improductivos y el incremento en horas extras de trabajo.

## **2.2. SELECCIÓN DE PROCESOS CLAVES.**

El concepto de productividad con el tiempo se ha ampliado traduciéndose a una mejora continua, la misma que se alcanza a través de un enfoque de procesos para lo cual se debe contar con diagramas, caracterización y datos propios de los procesos para poder monitorearlos, medirlos y así mejorarlos (Baca, 2014, p.77-80).

En la primera fase del proyecto se realizó la identificación y secuenciación de los procesos involucrados en la elaboración de alimentos balanceados, sobre la base del

“enfoque de procesos” establecido en la Norma ISO 9001:2015; a partir del cual se realizó el diagrama de flujo y los mapas de procesos nivel 0 y nivel 1, que definen el proceso productivo de alimentos balanceados, para la línea Broilers y la interrelación de los procesos inmersos dentro de la producción, desde la compra de materia prima hasta el despacho de producto terminado. Con lo cual se identificaron en primera instancia los procesos macro y luego con mayor detalle al resto de los procesos con el fin de conocer los diferentes procesos y sus interrelaciones, desde la compra de materias primas hasta despacho del producto terminado (Socconini, 2016, p. 57-61; Beltrán, 2009, p. 20-24).

Asimismo, se tabuló la lista de los reclamos en producto terminado entre los años 2015 y 2017 y una vez identificados claramente los diferentes procesos se procedió a realizar una matriz de priorización de los procesos claves seleccionados, de acuerdo con los lineamientos de la Norma ISO 13053-2, donde se consideraron tanto los requerimientos de los clientes internos (granjas pertenecientes al grupo industrial), como el cumplimiento de los parámetros de calidad, con base en los reclamos recibidos en el último año. Se evaluó el levantamiento de los procesos en función de una lista de chequeo basada en el apartado 5.1 del conjunto de documentos de soporte de las normas ISO 9000, específicamente el documento ISO/TC 176/SC 544R3, que da una orientación sobre el concepto y uso del enfoque basado en procesos para sistemas de gestión, como lo referencia el apartado 4.4 la Norma ISO 9001-2015.

Para el diagnóstico de la situación actual de la Planta se consideraron los indicadores internos disponibles de producción de los últimos tres años. Los indicadores relevantes establecidos para situación inicial del proceso de elaboración de alimento balanceado para la línea broilers fueron: el tiempo de ciclo de producción, los reclamos por calidad nutricional y la productividad.

Para el estudio del tiempo de ciclo de producción se realizó un muestreo por cronometraje, considerando un número de 8 observaciones, según lo recomendado

en la tabla 1.5 para ciclos con una duración de 10 minutos. Posteriormente se procedió al cálculo del tiempo básico aplicando la ecuación 1.10, calificando el desempeño con el criterio de la tabla 1.6 mientras que las tolerancias fueron definidas con guía de la tabla 1.7. Con la información anterior se calculó el tiempo estándar del proceso aplicando la ecuación 1.11. Por último con la información levantada de los tiempos de cada uno de los procesos, se elaboró un diagrama analítico de todo el proceso de fabricación del alimento balanceado, para la línea Broilers.

En el diagrama analítico se estableció las actividades que generan valor agregado (VA) y las que no generan valor agregado (SVA) basados en el criterio de la tabla 1.8, con esos datos se calculó los correspondientes índices de valor agregado e índice sin valor agregado. Asimismo otro parámetro reflejado en el VSM fue el takt time que se calculó con la ecuación 2.1 (Socconini, 2016, p. 210).

$$\text{Takt time} = \frac{\text{tiempo disponible}}{\text{Demanda}} \quad [2.1]$$

**Tabla 2.1** Criterios para definir las actividades con valor agregado y sin valor agregado

<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>
Valor agregado para el cliente (VAC)	actividad que generan valor directamente para el cliente
Valor agregado para la empresa (VAE)	actividad que mejora un proceso, que permite que se desarrolló el flujo de producción
Sin valor agregado (SVA)	actividad que no aportan a los requerimientos del cliente o funcionamiento de la organización

(Mark, 2016, p.22)

Para analizar los reclamos por calidad nutricional, se recolectó la información de los históricos de los años 2015, 2016 y 2017, con base en esta información se realizó un

gráfico de Pareto, para definir los principales problemas que afectan la calidad del alimento balanceado.

Otro indicador levantado para la situación inicial de la empresa fue la productividad, en base a la ecuación 1.9. Para su cálculo se consideró la producción máxima de un día del año 2017 que se puede alcanzar en 11 horas de trabajo, esto debido a que la planta no cuenta con una bodega de producto terminado y solo se produce lo requerido por granja.

Después de contar con una visión integral de los procesos y los principales problemas que se presentan como reclamos por parte de las granjas, se seleccionaron cinco procesos claves con la puntuación más alta alcanzada en la matriz de priorización, previamente elaborada, estos procesos también formaran parte de la cartera de proyectos. De la cartera de proyectos, se seleccionaron tres procesos claves, en los cuales se aplicó la metodología DMAIC, considerados como prioridad de implementación y por su costo de inversión.

### **2.3. DEFINICIÓN DE PROBLEMAS**

Se realizó la definición de los problemas y su relevancia, para lo cual se consideraron los requerimientos de las granjas (cliente) basados en los reclamos del año 2017, lo cual fue reflejado en un diagrama del árbol (CTQ), en el cual se describieron los principales parámetros claves y sus principales características críticas. Con la data de control de producto terminado se tabularon las no conformidades presentadas en el año 2017 y con esta información se elaboró un gráfico de Pareto. (Reindebanch y Reginald, 2010, p. 48-50).

Una vez analizados los procesos claves, el diagrama de árbol (CTQ) y el gráfico de Pareto de productos no conformes. Se procedió a establecer el estatus del proyecto,

en el cual se estableció la importancia, la descripción del problema, los objetivos y responsables.

Se elaboró un mapa de procesos mediante el cual se realizó la caracterización de los procesos mediante una matriz SIPOC (proveedores-entradas-procesos-salidas-clientes). Posteriormente con la información levantada se procedió a realizar un diagrama de flujo de valor o value stream map (VSM), el cual según Cuatrecasas es una representación gráfica de todo el proceso con los tiempos de ciclo que permite analizar y mejorar los procesos que agregan valor (2010, p. 341). Las actividades que generan valor y las que no generan valor fueron definidas en el diagrama analítico.

## **2.4. MEDICIÓN DE PARÁMETROS CRÍTICOS**

En esta fase se buscó recolectar los datos y calcular las capacidades de los procesos; se identificaron los requisitos medibles (Y) con sus respectivos parámetros críticos (X), para lo cual se consideraron los siguientes aspectos, que facilitaron las mediciones realizadas (Pande y Neuma, 2004, p. 122):

1. Observar y después medir
2. Identificar diferencias entre variables continuas y discretas.
3. Medir siempre por una razón
4. Tener un protocolo de medida

Para conocer las principales causas de la obtención de alimento no homogéneo, se realizó un diagrama de causa-efecto, con base en el cual posteriormente se completó el diagrama de árbol (CTQ), elaborado en la fase definir, complementado los requisitos medibles (Y) con los parámetros de control o variables críticas (X), a

través del cual se seleccionaron las métricas con las cuales se iba a trabajar. (INEN-ISO 13053, 2014 b, p. 12).

Seguidamente se elaboró el protocolo de recolección de datos (X e Y) aplicando el plan de captura de datos, que se utilizó para cada uno de las variables críticas, todo esto según el apartado 4.2 de la norma INEN-ISO 13053-2.

#### **2.4.1. DOSIFICACIÓN DE BINES**

Al ser un proceso manual de dosificación no se contó con los datos de la variabilidad del pesaje durante la dosificación, por lo cual se trabajó con los datos de porcentaje de proteína de meses anteriores, realizados en un laboratorio externo certificado, para una dieta final de broilers. Se realizó una validación de los datos verificando que en los datos seleccionados no existiera alguna novedad mecánica, algún cambio de materias primas importante, que haya podido afectar el resultado del porcentaje proteína (medida atípica), para lo cual se revisó cada una de las órdenes de producción.

Posteriormente a los datos recolectados se les realizó una prueba de normalidad, utilizando el programa Statgraphics, se consideraron los parámetros de sesgo estandarizado y curtosis estandarizada, para definir la aceptación de normalidad de los datos analizados.

El sesgo estandarizado es la representación numérica que refleja la asimetría de un conjunto de datos y se calcula con la ecuación 2.2 y 2.3, mientras que la curtosis estandarizada expresa que tan elevada o plana es la curva de los datos estudiados respecto a la curva normal, cuyo cálculo se representa en la ecuación 2.4 y 2.5. Para los datos que presentan una distribución normal estas dos mediciones deben estar entre -2 y +2 (Gutiérrez y De la Vara, 2013, p. 28-29).

$$\text{Sesgo estandarizado} = \frac{\text{sesgo}}{\sqrt{6/n}} \quad [2.2]$$

$$\text{Sesgo} = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad [2.3]$$

Donde:

$n$ : tamaño de la muestra

$S$ : desviación estándar

$\bar{X}$ : media muestral

$$\text{Curtosis} = \frac{n(n+1) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)} \quad [2.4]$$

$$\text{Curtosis estandarizada} = \frac{\text{curtosis}}{\sqrt{24/n}} \quad [2.5]$$

Donde:

$n$ : Tamaño de la muestra

$S$ : Desviación estándar

$\bar{X}$ : Media muestral

Una vez comprobada la normalidad de los datos se procedió a realizar un gráfico de control de lecturas individuales (X-MR) en el programa Statgraphics. Esta carta de control es utilizada para pruebas destructivas costosas en donde el tamaño de la muestra  $n=1$  (Escalante, 2010, p. 200-201).

Para el gráfico de individuales los límites de control se calculan con las ecuaciones 2.6 y 2.7.

$$LSC(x) = \bar{X} + E_2 \bar{R} \quad [2.6]$$

$$LSI(x) = \bar{X} - E_2 \bar{R} \quad [2.7]$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} ; \bar{R} = \frac{\sum R}{n-1}$$

Donde:

$LSC$ : límite control superior

- LSI*: límite de control inferior  
*Ez*: constante para gráficas de control  
 $\bar{X}$ : media de las mediciones  
 $\bar{R}$ : media de los rangos

Para el gráfico de individuales los límites de control se calculan con las ecuaciones 2.8 y 2.9.

$$LSC(R) = D_4 \bar{R} \quad [2.8]$$

$$LIC(R) = D_3 \bar{R} \quad [2.9]$$

Donde:

- LSC*: límite control superior  
*LSI*: límite de control inferior  
*D4*: constante para gráficas de control  
*D3*: constante para gráficas de control  
 $\bar{R}$ : media de los rangos

Finalmente, el cálculo de la capacidad del proceso ( $C_p$ ) se realizó con la ecuación 1.1 y su interpretación de acuerdo a la tabla 1.2 descrita en el capítulo 1. El valor de la capacidad real ( $C_{pk}$ ) del proceso se calculó con las ecuaciones 1.2 y se estableció el nivel sigma del proceso con los criterios de la tabla 1.3.

#### **2.4.2. DOSIFICACIÓN DE ACEITE**

Para la medición del parámetro crítico de dosificación de aceite, se realizó el levantamiento de los datos del promedio de tres mediciones (verificación por peso), para una dosificación teórica de 100 kg y los datos de temperatura por aproximadamente 2 meses, en base a un muestreo aleatorio. Posteriormente, se



realizó un diagrama de causa-efecto, para identificar las posibles causas del problema, adicionalmente para lo cual se realizó una detenida observación del proceso de dosificación de aceite y se verificó en el manual del equipo las condiciones requeridas para su funcionamiento. Luego se realizó la prueba de normalidad y se elaboró un gráfico de control de medias y rangos, el cual es aplicable a variables continuas, en este caso el proceso permite tomar muestras de tamaño entre 2 y 10 (Escalante, 2010, p. 200-201). Los límites de control para las medias se calculan con las ecuaciones 2.10 y 2.11.

$$LSC(\bar{X}) = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \quad [2.10]$$

$$LIC(\bar{X}) = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \quad [2.11]$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k}; \bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k}$$

Donde:

$LSC(\bar{X})$ : límite control superior (medias)

$LIC(\bar{X})$ : límite de control inferior (medias)

$\bar{\bar{X}}$ : promedio de medias

$\bar{R}$ : promedio de rangos

$k$ : número de muestras de tamaño  $n$

$A_2$ : constante para gráficas de control

$\bar{R}$ : media de los rangos

Los límites de control para los rangos se calculan con las ecuaciones 2.12 y 2.13.

$$LSC(R) = D_4\bar{R} \quad [2.12]$$

$$LIC(R) = D_3\bar{R} \quad [2.13]$$

Donde:

$LSC(R)$ : límite control superior (rangos)

$LIC(R)$ : límite de control inferior (rangos)

$D_4$ : constante para gráficas de control

$D_3$ : constante para gráficas de control

$\bar{R}$ : promedio de rangos

Finalmente, el cálculo de la capacidad del proceso ( $C_p$ ) se realizó con la ecuación 1.1 y su interpretación de acuerdo a la tabla 1.2 descrita en el capítulo 1. El valor de la capacidad real ( $C_{pk}$ ) del proceso se calculó con las ecuaciones 1.2 y se estableció el nivel sigma del proceso con los criterios de la tabla 1.3.

### **2.4.3. CALIDAD DE MEZCLA**

La calidad de la mezcla se cuantificó mediante pruebas de mezclado, el cálculo del coeficiente de variación del proceso de mezclado se evaluó, por el método de microtrazadores, para dos tiempos de mezclado; el tiempo actual de mezcla y otro tiempo de prueba. Para cada tiempo se realizaron dos repeticiones y el análisis fue realizado en el laboratorio de la empresa. Las muestras fueron tomadas en la mezcladora con un calador de 1.5 metros y los resultados fueron evaluados en base a la tabla 1.9 del capítulo 1.

## **2.5. ANÁLISIS DE DATOS DEL PROCESO DE MEDICIÓN**

En esta fase se buscó identificar la causa raíz de la variabilidad y segregar las oportunidades de mejora más adecuadas; para lo cual primero se identificaron en cada proceso las actividades que no crean valor o que potencialmente pueden ser mejoradas, utilizando el análisis causa efecto, posteriormente se buscó determinar las relaciones potenciales entre (X e Y) con gráficos de dispersión. Asimismo, se realizó la cuantificación y el impacto de las variables críticas (X) se realizó por contraste de hipótesis (Pande y Neuman, 2001, p. 223). El análisis estadístico de los datos se realizó para cada uno de los procesos claves.

### 2.5.1. DOSIFICACIÓN DE BINES

En esta fase de análisis se realizó una prueba piloto para constatar si una dosificación exacta puede disminuir la variabilidad en los resultados de proteína reales versus los valores de proteína teóricos, para lo cual se aplicó una prueba de hipótesis a los resultados obtenidos de 20 muestras enviadas a un laboratorio externo certificado.

La prueba de hipótesis busca responder con cierto nivel de confianza las hipótesis planteadas; siendo una la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la otra la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Como estadístico de prueba para la comparación de medias se utilizó la  $t$  de student para una varianza desconocida, se aplicó la ecuación 2.14.

$$t = \frac{\bar{x} - u_0}{s/\sqrt{n}} \quad [2.14]$$

Donde:

- $t$ : estadístico  $t$  de student
- $\bar{x}$ : media muestral
- $\mu_0$ : media poblacional
- $s$ : desviación estándar
- $n$ : tamaño de muestra

Se rechaza la hipótesis alternativa ( $H_a$ ) si la probabilidad de error ( $p$ ) es mayor que el valor de significancia del 5 % ( $p_{\text{calculado}} > 0,05$ ).

### 2.5.2. DOSIFICACIÓN DE ACEITE

En esta fase de análisis, se elaboró un diagrama de causa-efecto para el proceso de dosificación de aceite, en base a la observación de tallada del proceso y la revisión del manual del equipo. Con base a los datos recolectados de peso promedio y

temperatura se realizó un análisis de correlación, para sustentar la relación entre las variables de temperatura y peso. A partir del cual se realizó un análisis de varianza de factorial (ANOVA), que permitió realizar el análisis del efecto de interacción entre los dos factores (Marqués, 2016, p. 30).

### **2.5.3. CALIDAD DE MEZCLA**

En esta fase de análisis la calidad de mezcla, se evaluó con los datos obtenidos para los dos tiempos de mezcla, en base a las recomendaciones de la tabla 1.6 del capítulo 1, se realizaron nuevas pruebas de mezclado, cambiando el orden de adición en la mezcladora, ya que el incremento de tiempo en un 25% o 30% provocaría un incremento en el tiempo de ciclo y en la jornada de trabajo.

## **2.6. MEJORAS EN LOS PROCESOS**

En esta etapa se realizó el desarrollo de la cuarta fase de la investigación correspondiente al “mejorar”, en la cual se buscó identificar, seleccionar y ejecutar soluciones a los problemas planteados. En cada proceso clave se propusieron soluciones que fueron recogidas mediante una lluvia de ideas, se realizó un FMEA (análisis del modo de falla y sus efectos) para tener presentes los posibles fallos que pueden presentarse (Bestraten, Orriols, y Mata, 2004, p. 6), se planificó la implementación mediante diagramas de Gantt y finalmente se realizó la ejecución de las mejoras, todo esto según el apartado 4.4 de la norma INEN-ISO 13053-2.

Para alcanzar éxito en las mejoras a ser implementadas en los procesos clave, se establecieron las nuevas condiciones para cada proceso, considerando los beneficios y los posibles problemas a presentarse.

### **2.6.1. DOSIFICACIÓN DE BINES**

Después de haber realizado el análisis de datos y comprobar que al tener una dosificación más exacta desde los bins se puede alcanzar una menor variabilidad en el nivel de proteína real de los alimentos balanceados, se decidió implementar el proyecto de automatización, para la cual previamente se realizó un análisis del modo de falla y sus efectos (FMEA), para el proyecto del sistema de automatización. Posteriormente se realizó la selección del proveedor que llevó a cabo el proyecto de automatización de dosificación de los bins. Para lo cual se realizó la planificación de implementación del proyecto mediante un diagrama de Gantt, desde la emisión de la orden de compra hasta la entrega del proyecto.

### **2.6.2. DOSIFICACIÓN DE ACEITE**

Después de haber realizado el análisis de datos y factores causa efecto descritos en el apartado 2.5.2, se concluyó que el equipo actual no puede cumplir con el requerimiento del proceso de dosificación de aceite, por lo cual se realizó la selección del nuevo equipo y con su correspondiente análisis del modo de falla y sus efectos (FMEA).

### **2.6.3. CALIDAD DE MEZCLA**

Una vez implementado el nuevo equipo de aceite, se realizó la revisión del proceso de dosificación a boca de mezcladora y se estableció un nuevo orden en adición de los ingredientes. Se actualizó el instructivo del proceso de mezclado y se elaboró un instructivo interno para las pruebas de mezclado por el método de microtrazadores para mantener, las mismas condiciones en las pruebas a realizar.

## **2.7. CONTROL DE PROCESOS**

En la esta última fase de la investigación, se realizó el seguimiento de la efectividad de las soluciones implementadas y la retroalimentación de las mismas; para lo cual se actualizaron los cambios y modificaciones en los procedimientos del proceso, se dió seguimiento a través de gráficos de control y se evaluó la eficiencia de las mejoras mediante el tiempo de ciclo, la capacidad de los procesos ( $C_p$ ) y contrastes estadísticos, comparando con los indicadores de productividad actual, para constatar el grado de mejora alcanzado con las mejoras implementadas, todo esto según el apartado 4.5 de la norma INEN-ISO 13053-2.

Se realizaron las mediciones de control a cada una de las mejoras implementadas, ya que si no se mantiene un control frecuente los procesos tienden a regresar a su estado inicial. Por lo cual, es importante ser disciplinados con los cambios realizados, documentar las mejoras, llevar en lo posible los controles de una manera gráfica, que sean fáciles de entender y que permitan establecer un plan de gestión por procesos, donde se reflejen las alarmas y acciones ante posibles problemas que se puedan presentar (Pande y Neuma, 2004, p. 323-325).

### **2.7.1. DOSIFICACIÓN DE BINES**

Para el control del proceso automatizado de dosificación de bines se realizó una prueba de normalidad con las ecuaciones 2.2- 2.3 - 2.4 y 2.5, descritas en el apartado 2.4.1. Se realizó un nuevo gráfico de control para lecturas individuales (X-MR) aplicando las ecuaciones 2.6 - 2.7 - 2.8 y 2.9 previamente descritas en el apartado 2.4.1. El cálculo de la capacidad del proceso ( $C_p$ ) se realizó con la ecuación 1.1 y su interpretación en la tabla 1.2 mencionada en el capítulo 1.

### **2.7.2. DOSIFICACIÓN DE ACEITE**

El control de dosificación del nuevo equipo de aceite fue realizado una vez concluidas las pruebas de funcionamiento y calibración, se recopiló los datos de un mes con los cuales se construyó el nuevo gráfico de control de medias y rangos con las ecuaciones 2.10 - 2.11 - 2.12 y 2.13 descritas en el apartado 2.4.2.

Asimismo se socializaron entre los operarios los nuevos instructivos de calibración y mantenimiento del nuevo equipo.

### **2.7.3. CALIDAD DE MEZCLA**

El procedimiento de mezclado se actualizó con el nuevo orden de incorporación de ingredientes en la boca de la mezcladora. En el nuevo sistema de automatización se actualizó el nuevo tiempo de mezclado para la línea de Broilers.

### **2.7.4. INDICADORES**

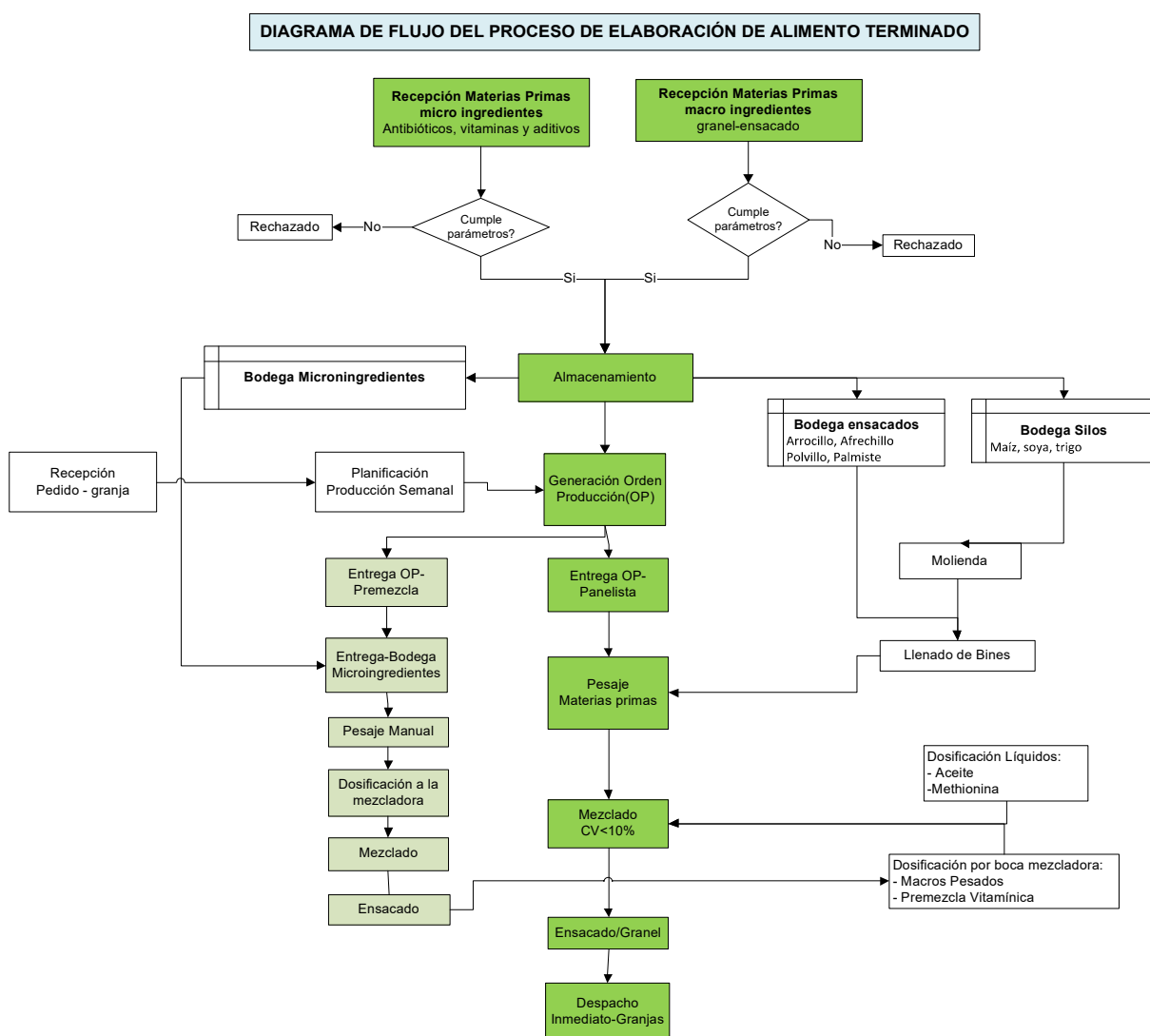
Para calcular los nuevos indicadores con las mejoras implementadas, se realizó el estudio de tiempos por cronometraje con 8 observaciones, según lo recomendado en la tabla 1.5. Con esta nueva data se calculó el tiempo de ciclo y el tiempo estándar del proceso aplicando la ecuación 1.8, posteriormente se elaboró el diagrama analítico con las mejoras implementadas. El cual nos da el nuevo tiempo de ciclo total, la distancia de recorrido total del proceso de elaboración de alimento y la descripción de las actividades del proceso. Con los nuevos tiempos calculados se elaboró un nuevo VSM con las mejoras implementadas.

Finalmente se calculó la productividad parcial con las mejoras, aplicando la ecuación 1.9, considerando el número de batches producidos en 11 horas de trabajo, que es el tiempo máximo de trabajo diario que realiza.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. SELECCIÓN DE PROCESOS CLAVES

Para conocer todos los procesos que se encuentran inmersos en el proceso de elaboración de alimento balanceado, se realizó un diagrama de flujo del proceso de elaboración de alimento balanceado para la línea broilers, el cual se aprecia en la figura 3.1.

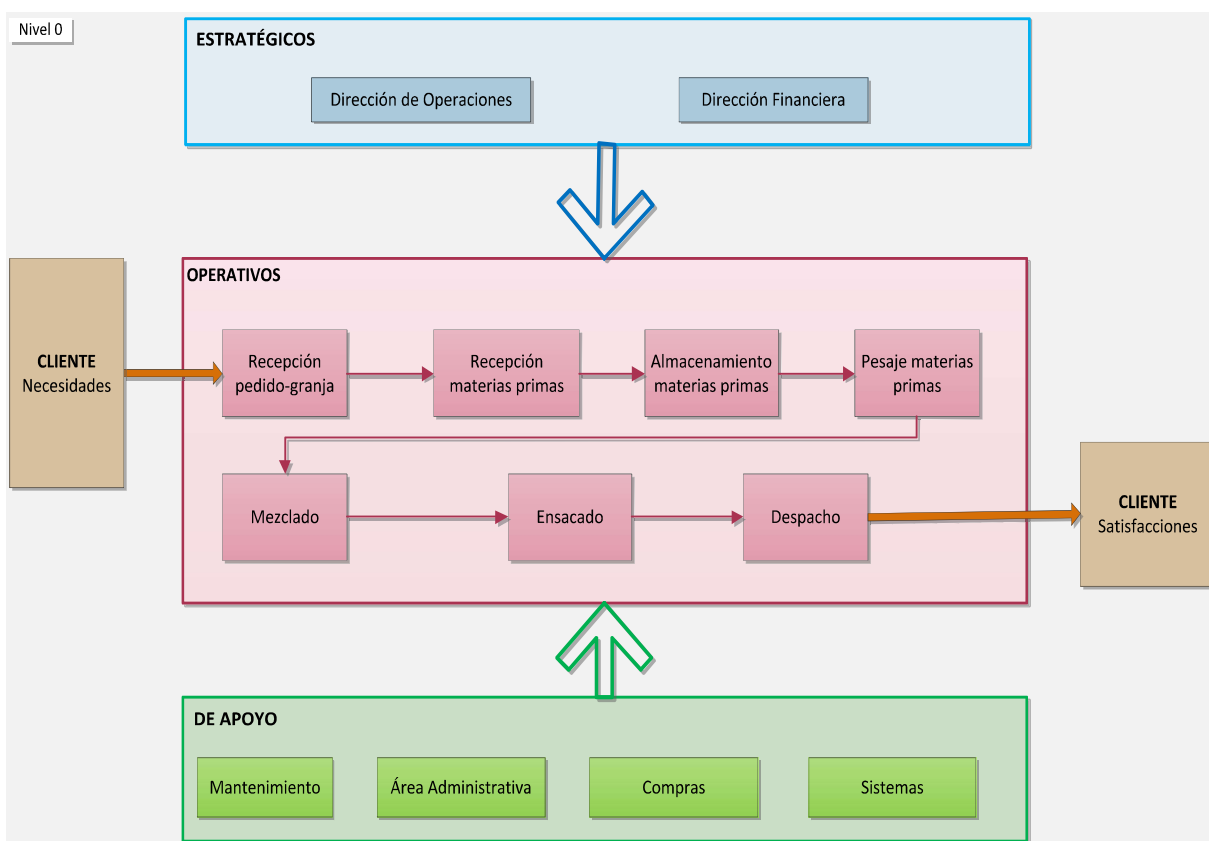


**Figura 3.1.** Diagrama de flujo de proceso de elaboración de alimento terminado



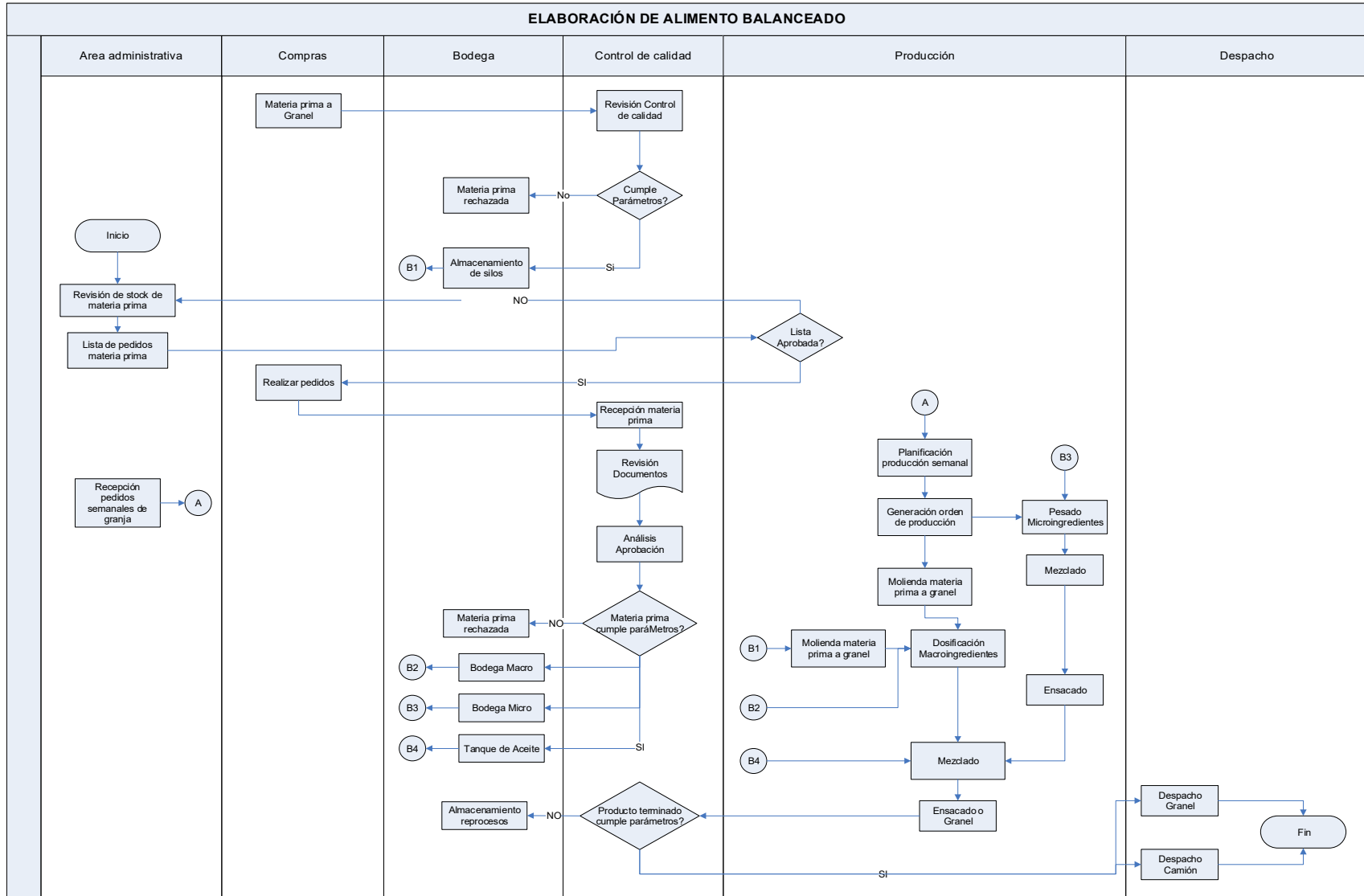
En la figura 3.1 se observan los procesos desde la recepción de materia prima hasta el despacho a granja, señalados en verde los procesos principales y en blanco los procesos secundarios.

Posteriormente se realizó un mapa de proceso nivel 0, donde se definieron los procesos generales inmersos en la elaboración de alimento balanceado, para lo cual los procesos fueron agrupados en gobernantes estratégicos, operativos y de apoyo, como se puede apreciar en la figura 3.2.



**Figura 3.2.** Mapa de procesos de elaboración de alimento balanceado nivel 0

Posteriormente se realizó un mapa de procesos nivel 1 como se aprecia en la figura 3.3. En el cual se observan los diferentes procesos y sus interrelaciones y las diferentes áreas de la planta donde se ubican.



**Figura 3.3.** Mapa de procesos de elaboración de alimento balanceado nivel 1

En la figura 3.3 se describen los diferentes procesos productivos involucrados en la fabricación de alimento balanceado, desde el proceso de recepción de materia prima hasta el despacho y las áreas de la empresa a la que pertenecen los diferentes procesos. Esto permitió conocer las interrelaciones de los procesos con las diferentes áreas y su secuencia.

Una vez que se establecieron todos los procesos involucrados en la fabricación de alimento balanceado, se elaboró un resumen anual de los reclamos por calidad y problemas nutricionales registrados del año 2015 al 2017, como se aprecia en la tabla 3.1. Con esta información se realizó una matriz de priorización considerando como criterios los reclamos presentados en el año 2017

**Tabla 3.1.** Reclamos en producto terminado en los años 2015, 2016 y 2017

TIPO DE RECLAMO	AÑO		
	2015	2016	2017
Granulometría	55 %	24 %	46 %
Materias primas extrañas a la dieta	18 %	24 %	8 %
Materia prima apelmazada	9 %	12 %	8 %
Color uniforme	18 %	29 %	31 %
Dosificación de aceite	0 %	0 %	8 %
Problemas de color yemas de huevo	0 %	6 %	0 %
Problemas de rotura de cáscara	0 %	6 %	0 %
TOTAL	100 %	100 %	100 %

Una vez realizada la matriz de priorización, indicada en la tabla 3.2, se observa que existen cinco procesos críticos, para los criterios considerados. Estos 5 procesos alcanzaron los puntajes más altos y son: dosificación de bins a tolva báscula, dosificación por boca de mezcladora, dosificación de aceite, mezclado y elaboración de premezclas vitamínicas.

**Tabla 3.2.** Matriz de priorización de procesos claves

<b>MATRIZ DE PRIORIZACIÓN</b>						
<b>Proceso a ser analizado:</b>	Proceso productivo- línea broilers					
<b>Problema macro:</b>	Quejas de granja y principales problemas de calidad					
<b>Participantes:</b>	Jefe de Producción, Nutricionista, Gerente Granjas, Jefe MP					
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>	<b>CRITERIOS</b>					
	<b>Color uniforme</b>	<b>Granulometría</b>	<b>Dosis Aceite</b>	<b>Mezcla homogénea</b>	<b>Materias Primas Extrañas</b>	<b>Valor</b>
Recepción de pedidos de granja	0	0	0	0	0	0
Planificación de la producción	0	0	0	0	0	0
Generación OP	0	0	0	0	0	0
Dosificación: bins - tolva báscula	4	3	0	5	5	17
Dosificación: boca de mezcladora	3	0	0	5	5	13
Dosificación de aceite	5	0	5	4	0	14
Dosificación de metionina líquida	0	0	0	1	1	2
Mezclado	5	0	0	5	0	10
Despacho ensacado	0	0	0	0	0	0
Despacho granel	0	0	0	0	0	0
Molienda materias primas a granel	0	5	0	0	0	5
Elaboración premezcla vitamínica	1	0	0	3	3	7
Mantenimiento de equipos	0	0	1	1	1	3
<b>CRITERIO DE VALORACIÓN</b>						
<b>Impacto</b>	<b>Valoración</b>		<b>Impacto</b>	<b>Valoración</b>		
No tiene afectación	0%	0	Afectación moderada	15%	3	
Afectación muy baja	5%	1	Afectación importante	20%	4	
Afectación baja	10%	2	Afectación muy importante	25%	5	

La identificación de los procesos fue evaluada con la lista de chequeo descrita en la tabla 3.3. En la cual se consideró el propósito de la organización, sus objetivos, sus metas, la definición de los procesos, su secuenciación y responsables. Esto con el fin de trabajar en los procesos que agreguen valor y contribuyan a alcanzar las metas de la empresa.

**Tabla 3.3.** Lista de verificación de identificación de procesos

LISTA DE VERIFICACIÓN				
ITEM	ISO/4 TC 176/SC 2/N 544R3	CUMPLE		OBSERVACIONES
	REQUISITO	SI	NO	
<b>5.1</b>	<b>Identificación de los procesos en la organización</b>			
5.1.1	Se ha definido el propósito de la organización?	X		
5.1.2	Se ha definido las políticas y objetivos de la organización?	X		
5.1.3	Se ha determinado los procesos en la organización?	X		
5.1.4	Se ha determinado la secuencia de los procesos?	X		
5.1.5	Definir los dueños del proceso	X		

Posteriormente para establecer la situación actual de la empresa se realizó el levantamiento de indicadores como: tiempo de ciclo y productividad. Con los datos de los tiempos recolectados por cronometraje de las actividades requeridas para elaborar un batch de 1 800 kg de alimento balanceado se definió el tiempo de ciclo, el cual fue de 14,14 minutos, las respectivas mediciones de tiempo se aprecian en la tabla A1.1 del anexo I.

El cálculo del tiempo básico realizado, según ecuación 1.10, es de:

$$Tiempo\ básico\ (tb) = 14,14\ min * \frac{75}{100} = 10,61\ min$$

Las consideraciones aplicadas por el tipo de trabajo realizado y las condiciones del ambiente de trabajo dieron una tolerancia del 43,67 %, el detalle de esta estimación se aprecia en la tabla AII.1 del anexo II, finalmente el tiempo estándar se obtuvo de la ecuación 1.11 siendo de:

$$Tiempo\ estándar\ (ts) = 10,61\ min * (1 + 0,4367) = 15,24\ min$$

Los resultados del estudio de tiempos se observan en la tabla 3.4, en donde se define que el tiempo de ciclo actual para elaborar un batch de 1 800 kg de alimento balanceado es de 14,14 minutos y que el tiempo estándar es de 15,24 minutos.

**Tabla 3.4.** Resultados del estudio de tiempos para la fabricación de alimento balanceado

Proceso	Tiempo de ciclo (min)	Tiempo básico (min)	Tolerancia (%)	Tiempo estándar (min)
Proceso de elaboración de alimento balanceado	14,14	10,61	43,67	15,24

Con la información del promedio los tiempos observados del anexo I se elaboró un diagrama analítico como se aprecia en la figura 3.4. El índice de valor agregado y el índice sin valor agregado y el detalle de los mismos se observa en la tabla 3.5. En el diagrama analítico con las condiciones actuales, se observa una distancia total de recorrido de 71 metros para el proceso de elaboración de alimento balanceado y un tiempo total de ciclo de 14,14 minutos. Adicionalmente se observa que se cuenta con 7 actividades de operación, 4 actividades de transporte y 1 actividad de inspección. En la tabla 3.5 se tiene un índice de valor agregado de 95,4 %, el cual consta de un 65,4 % de actividades que generan valor para el cliente y de un 30,6 % de actividades que generan valor para la empresa, también se tiene un índice sin valor agregado de 4,1 %.

**Tabla 3.5.** Índices de valor agregado y sin valor agregado

Índice de valor agregado (VA)				
Detalle	Total	Agregan valor		No agregan valor
		VAC	VAE	SVA
Número actividades	11	7	4	1
Tiempos (min)	14,14	9,25	4,32	0,57
Actividades (%)	100	65,4	30,6	4,1
Índice de valor agregado (%)	95,9			
Índice sin valor agregado (%)	4,1			

CURSOGRAMA ANALÍTICO					MATERIAL								
Proceso	Diagrama número: 1	ACTIVIDAD	RESUMEN			Economía							
			Actual	Propuesta									
Proceso: Elaboración de alimentos balanceado		Operación	○	7									
Actividad: Elaborar balanceado línea Broilers		Transporte	⇒	4									
Método actual de producción		Espera	D										
Realizado por: Ing Patricia quillupanqui		Inspección	□	1									
Lugar: Área de producción		Almacenamiento	▽										
Observaciones generales:		Tiempo (minutos)		14,14									
		Distancia (metros)		71									
No.	DESCRIPCIÓN	Cantidad (kg)	Distancia (m)	Tiempo (min)	Símbolo					Agregan valor		Sin valor agregado	Observaciones
					○	⇒	D	□	▽	VAC	VAE	SVA	
1	Generar orden de producción	1800		0,54	●					1			
2	Retirar orden de producción del segundo piso		40	0,75		●					1		
3	Elaborar manualmente tarjeta de macros pesaje manual			0,34		●				1			
4	Entrega orden de producción a panelistas		1	0,49		●					1		
5	Verificar disponibilidad de ingredientes en bins			0,57				●				1	
6	Dosificar macroingredientes de bins a tolva báscula de forma manual.			2,02		●				1			
7	Soltar contenido de tolva báscula a mezcladora			0,26		●				1			
8	Iniciar mezclado-Adicionar macros pesados- aceite.			3,64		●				1			
9	Vaciar mezcladora			0,08		●				1			
10	Transportar batch a bin		15	2,02				●			1		
11	Ensacar Alimento	1830		2,36		●				1			
12	Transportar sacos hasta camióntransportadora		15	1,06				●				1	
TOTAL		1830	71	14,14						7	4	1	

Figura 3.4. Diagrama analítico situación inicial

Asimismo, se calculó el takt time aplicando la ecuación 2.1 para una jornada de 11 horas de trabajo y una producción diaria de 170 batches (producción máxima diaria) obteniéndose un valor de 3,88 min/batch, lo que significa que para cumplir con la demanda diaria se debe producir un batch en máximo 3,88 minutos.

$$Takt\ time = \frac{660\ min}{170\ batches} = 3,88\ min/batch$$

Con base a los datos históricos de reclamos desde el año 2015 al 2017 se realizó un gráfico de Pareto, como se aprecia en la figura 3.5.



**Figura 3.5.** Gráfico de Pareto de reclamos en alimento balanceado desde el año 2015 al 2017



En el gráfico de Pareto se puede observar que el 80 % de los reclamos se debe principalmente a los siguientes defectos: granulometría, color y materias primas extrañas.

Para el cálculo de la productividad diaria se utilizó la ecuación 1.8, considerando los siguientes datos, los cálculos los costos se aprecian a detalle en la tabla AIII.1 y tabla AIII.2 del Anexo III:

- Producción diaria= 170 batches
- Toneladas por batch= 1,8 Tn
- Mano de obra= \$694,21
- Materia Prima= 532 \$/Tn
- Energía= 294,9 \$

$$Productividad = \frac{170 \text{ batches}}{\left(306 \text{ Tn} * 532 \frac{\$}{\text{Tn}}\right) + (694,21\$) + 294,9\$} = 0,001037 \text{ batch}/\$$$

La productividad diaria para la situación inicial de la planta fue de 0,001037 batch/\$.

Una vez analizado todos los procesos claves y sus principales dificultades se realizó el análisis de la importancia de cada uno, obteniendo una cartera de posibles proyectos y de acuerdo a la decisión de gerencia se seleccionaron los 3 procesos en los que se trabajará en el año 2018 y que contarán con presupuesto para su ejecución como se aprecia en la tabla 3.6, estos procesos son:

1. Dosificación de bins a tolva báscula
2. Dosificación de aceite
3. Mezclado

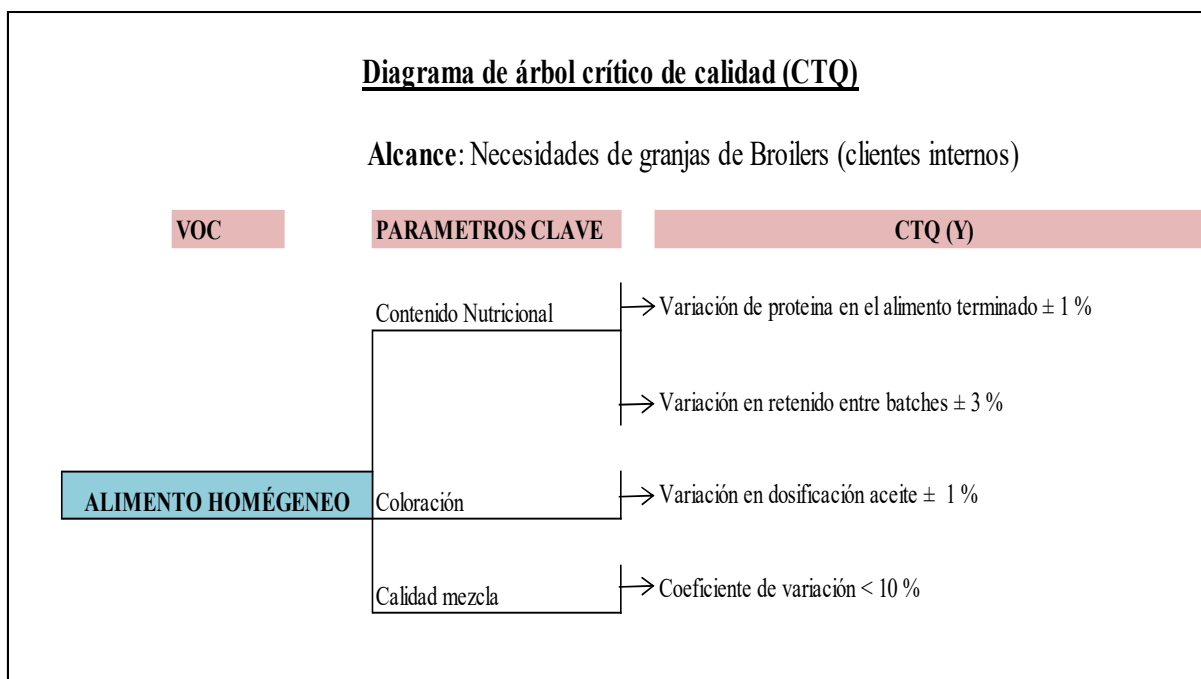
Se consideró la disponibilidad de recursos económicos, mano de obra, tiempo disponible para su ejecución, sin verse afectado el nivel de producción con el que se debe cumplir.

**Tabla 3.6.** Cartera de Proyectos

Nº	Proceso	Puntuación
1	Dosificación de bins a tolva báscula	17
2	Dosificación de aceite	13
	Dosificación por boca de mezcladora	14
3	Mezclado	10
	Elaboración premezcla vitamínica	7

### 3.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

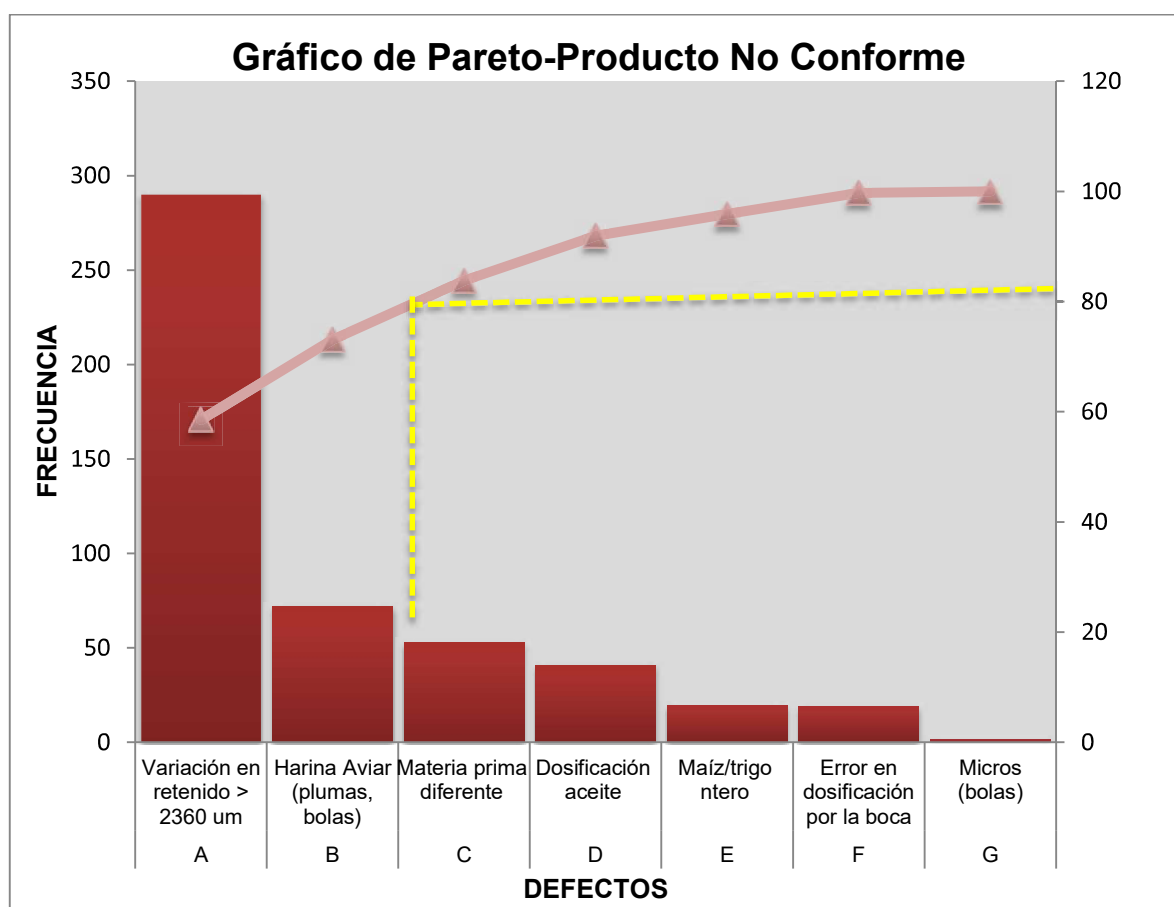
Para la definición del principal problema en la fabricación de alimento balanceado para la línea Broilers y considerando los reclamos por parte de granja, se realizó el diagrama del árbol crítico de calidad (CTQ) en el cual se reflejan los parámetros claves, las principales características críticas como se aprecia en la figura 3.6, en la cual se denota los principales factores que impiden el cumplimiento de entregar un alimento homogéneo tanto en color, calidad de mezcla y contenido nutricional.



**Figura 3.6.** Diagrama del árbol de calidad en base a reclamos de granjas

De acuerdo a la figura 3.6, para la obtención de un alimento homogéneo se consideran tres parámetros claves: *contenido nutricional, color y calidad de mezcla*, cada uno de estos parámetros clave presenta parámetros críticos de calidad CTQ (Y).

Adicionalmente se realizó una tabulación de los datos de las no conformidades en alimento balanceado para la línea de Broilers, presentadas en el año 2017. Con estos datos se elaboró en un gráfico de Pareto que se aprecia en la figura 3.7



**Figura 3.7.** Gráfico de Pareto-No conformidades en producto terminado

En el gráfico de Pareto de la figura 3.7, se observa que el 80 % de las no conformidades en producto terminado se deben a los defectos de variación en retenido  $> 2360 \mu\text{m}$ , al defecto harina aviar y al defecto de materia prima diferente.

En el caso del defecto A la variación en los retenidos se debe principalmente a la dosificación de macroingredientes desde bins, ya que son aproximadamente el 80% del total del batch.

Con la información del diagrama del árbol crítico de la calidad (CTQ) y el gráfico de Pareto de los productos no conformes se procedió a elaborar el estatus del proyecto, el cual se observa en la tabla 3.7.

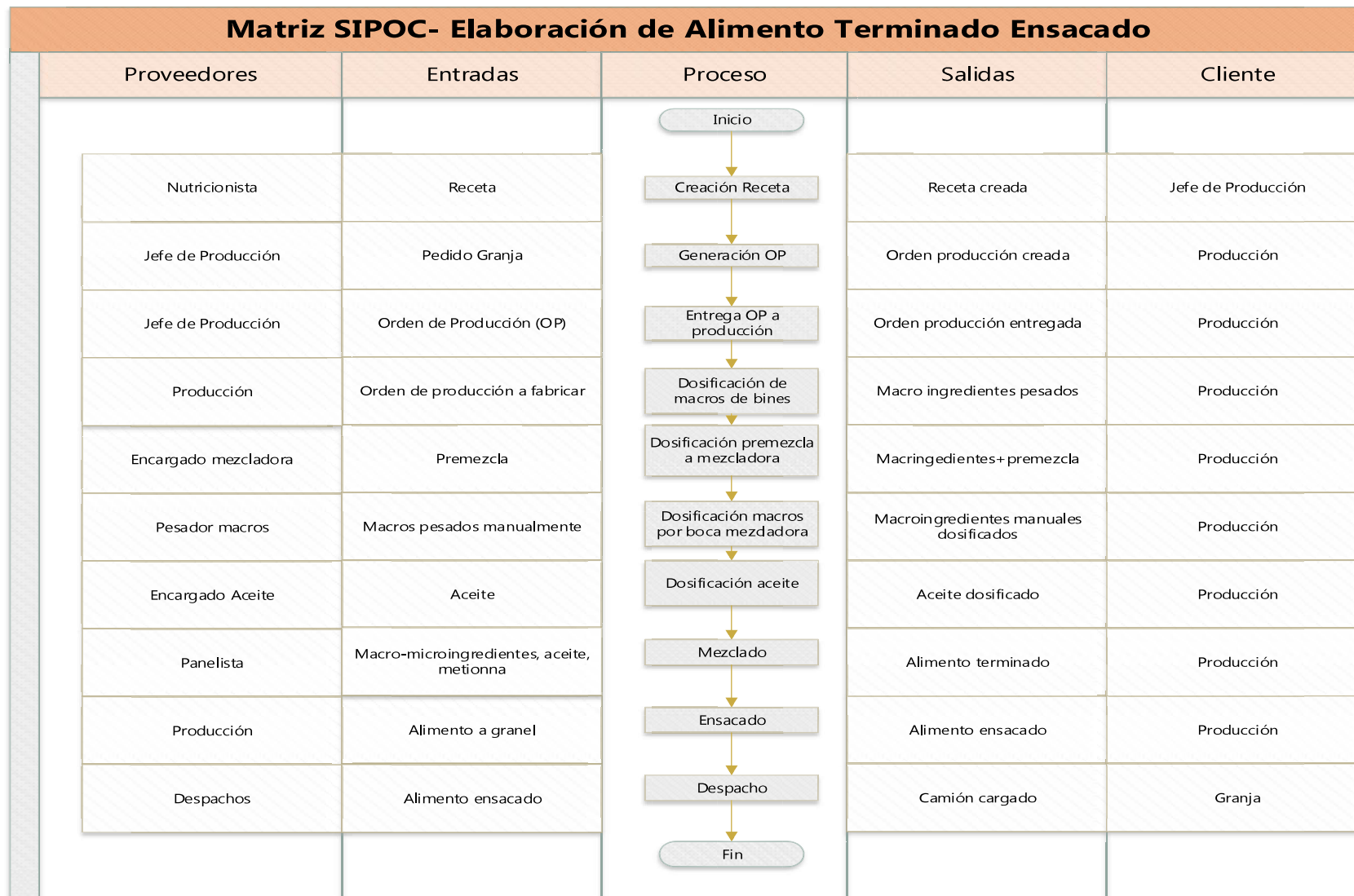
En el estatus del proyecto se definió toda la información relacionada al proyecto, como importancia del problema, descripción del problema, objetivos, alcance y se estableció el tiempo de ejecución para cada fase y los responsables para cada una de las fases de la metodología DMAIC, con un tiempo de duración aproximado de 8 meses.

Posteriormente se realizó la caracterización de los procesos, a través de una matriz de SIPOC, como se aprecia en la figura 3.8. En esta matriz se detalla en cada uno de los procesos considerados las entradas y salidas, así como también los proveedores y clientes en cada proceso.

Finalmente se realizó una flujo de valor (VSM) con los datos del tiempo de ciclo como se aprecia en la figura 3.9, en el cual se tiene una visión gráfica de los procesos y de muy fácil comprensión, en el cual se aprecia que el proceso que mayor tiempo ocupa es el mezclado con 3,64 minutos y que también es el cuello de botella dentro del proceso, otro proceso que tiene un tiempo alto es el ensacado, con un tiempo de 2,36 minutos para ensacar 40 fundas de 40 kg.

**Tabla 3.7.** Estatus del proyecto

<b>Fecha de aprobación:</b> Enero 2018		
<b>Responsable en la organización:</b> Ing. Patricia Quillupangui		
<b>Importancia del problema</b>		
El alimento Broilers no presenta homogeneidad en tres aspectos fundamentales: contenido de proteína presenta una variación superior al $\pm 1\%$ respecto al contenido formulado, variación superior al $\pm 1\%$ en dosificación de aceite y la calidad de mezcla presenta un CV $> 10\%$ , ocasionando incumplimiento con el requerimiento		
<b>Descripción del problema</b>		
El proceso de dosificación de macroingredientes desde bins se realiza manualmente, lo cual genera un alto error en el proceso, proceso de dosificación de aceite no cumple con la especificación establecida y calidad de mezcla fuera de parámetros		
<b>Objetivos:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Reducir la variación en el contenido de proteína a un rango de <math>\pm 1\%</math></li> <li>➤ Reducir la variación en la dosificación de aceite a un rango de <math>\pm 1\%</math></li> <li>➤ Alcanzar un coeficiente de variación (CV) en mezcladora <math>&lt; 10\%</math></li> </ul>		
<b>Alcance:</b>		
El proyecto se realizará en el área de producción en el proceso de dosificación de macroingredientes desde bins, dosificación de aceite y mezclado.		
<b>Etapas seis sigma</b>	<b>Fechas determinadas</b>	<b>Responsables</b>
Definir	3 de septiembre 2017	Gerencia-Calidad
Medir	6 de noviembre 2017	Calidad- Nutrición
Analizar	10 de diciembre 2017	Calidad
Mejorar	13 de abril 2018	Calidad-Producción
Controlar	16 de abril 2018	Calidad



**Figura 3.8.** Matriz SIPOC para la elaboración de alimento balanceado en la línea Broilers

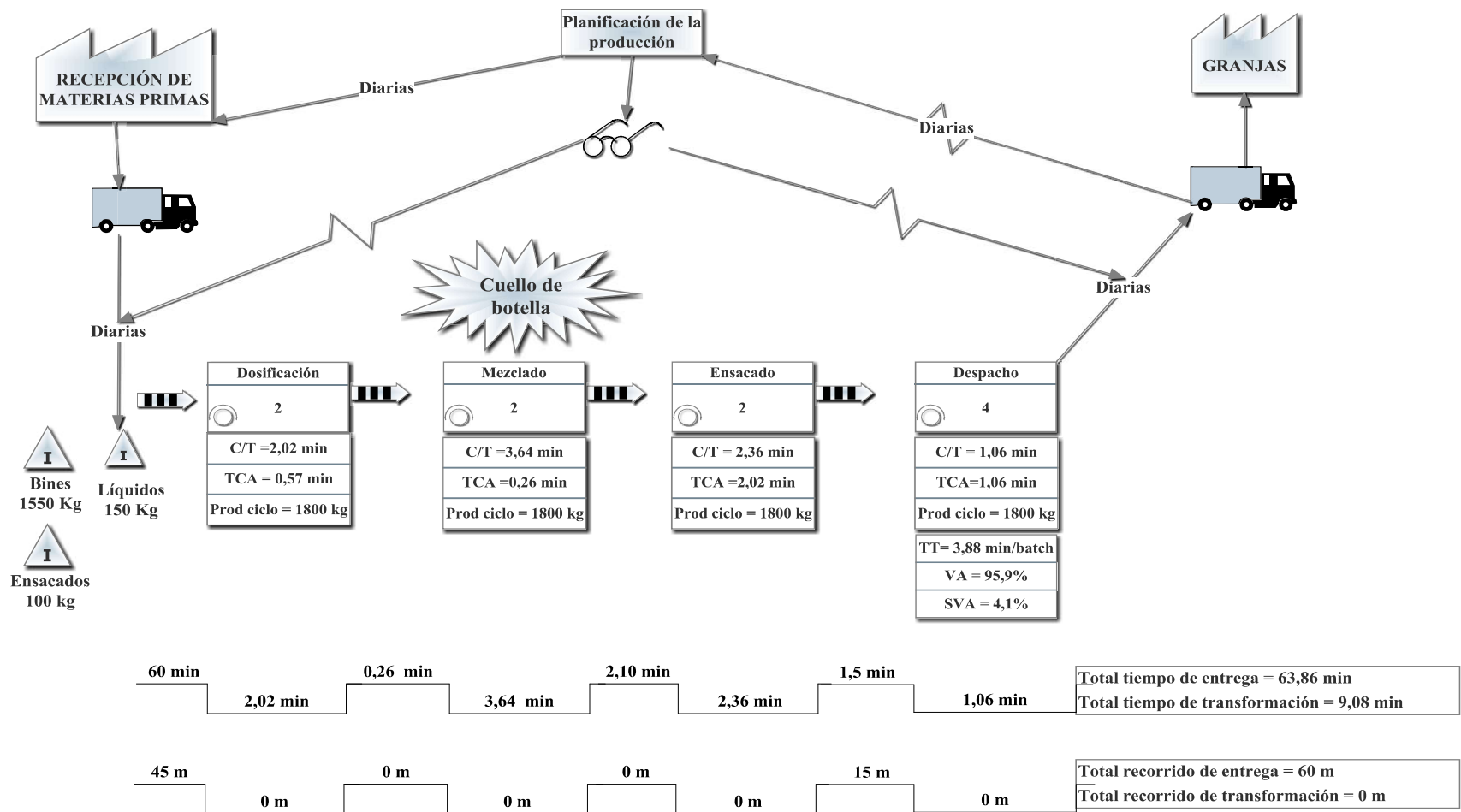


Figura 3.9. Diagrama de flujo de valor (VSM) del proceso de elaboración de alimento balanceado línea Broilers

### 3.3. MEDICIÓN DE PARÁMETROS CRÍTICOS

En esta fase de medición se realizó un diagrama de causa efecto para conocer las principales causas que afectan la obtención de un alimento homogéneo, este diagrama se aprecia en la figura 3.10. En el cual se observan que las causas más relevantes son: la dosificación manual desde bins (ingredientes con mayor aporte de proteína a las fórmulas), el dosificador de aceite con alta variabilidad y las pruebas de mezclado (no periódicas).

Posteriormente, se completó el árbol crítico de la calidad (CTQ) realizado en la fase de definir con los parámetros de operación (X) que afectan a cada uno de los parámetros claves, lo cual se aprecia en la figura 3.11. A partir de este diagrama se definieron las variables con las cuales se va a trabajar, con la aplicación de las fases de la metodología DMAIC.

La caracterización de las variables críticas se detalla en la tabla 3.8, en donde se aprecia las especificaciones para cada variable y el tipo de variable, que en este caso las tres son continuas. En cada una de las variables se aplicó cada una de las fases de la metodología DMAIC

**Tabla 3.8.** Caracterización de variables críticas

<b>CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES</b>		
<b>Variable Crítica</b>	<b>Especificación</b>	<b>Tipo</b>
Dosificación de bins	Variación de proteína $\pm 1$ % respecto a lo formulado	Continua
Control en retenidos en alimento terminado		
Dosificación de aceite	Variación en dosificación $\pm 1$ %	Continua
Calidad de mezcla	Coefficiente de variación $< 10$ %	Continua



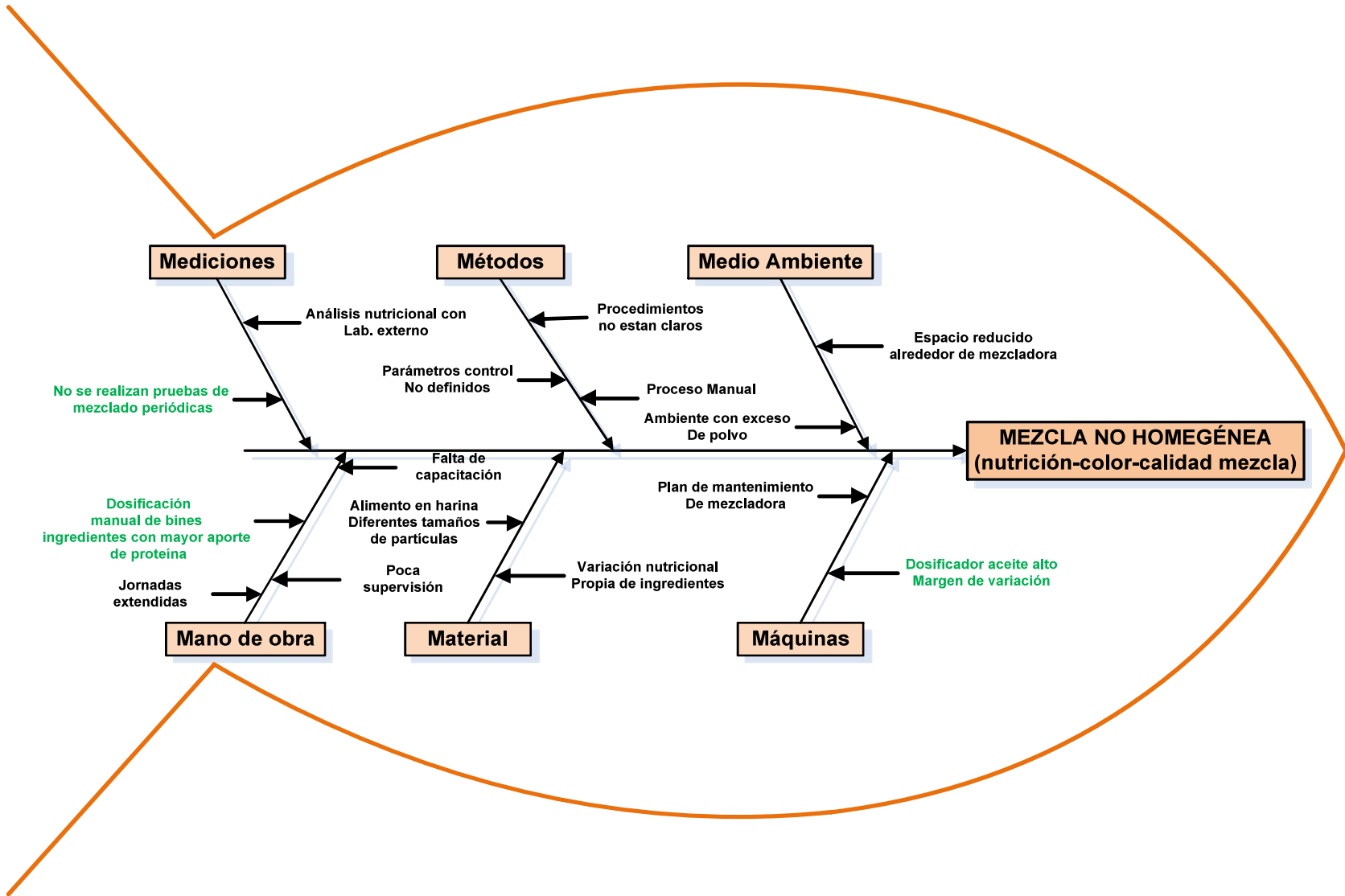
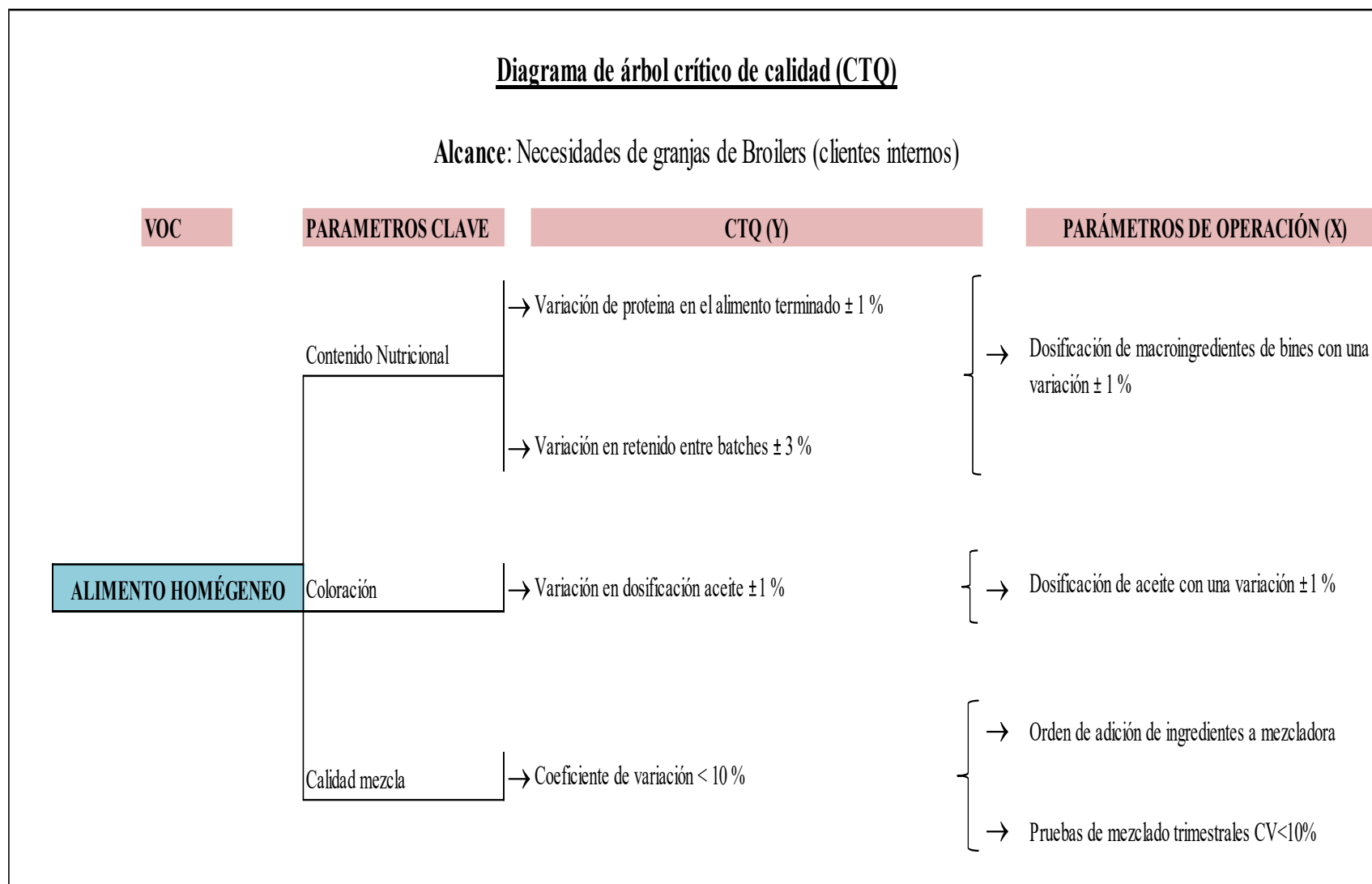


Figura 3.10. Diagrama causa - efecto para mezcla no homogénea



**Figura 3.11.** Árbol crítico de calidad (CTQ) para obtener alimento homogéneo

### 3.3.1. Dosificación de Bines

Para esta variable crítica, se utilizaron los valores de proteína obtenidos en un laboratorio externo certificado (incertidumbre=0,05 %) con un nivel de confianza del 95 %, los cuales se muestran en la tabla 3.9.

**Tabla 3.9.** Valores de proteína con dosificación manual

VALORES DE PROTEÍNA														
Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Proteína (%)	17,4	17,2	15,1	15,3	16,3	15,3	17,0	17,4	16,5	15,7	17,4	17,2	17,2	17,2
Muestra	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Proteína (%)	17,6	17,4	16,4	16,5	17,4	18,3	17,4	15,7	17,1	16,6	17,3	17,5	17,4	16,9
Muestra	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Proteína (%)	16,0	16,3	17,9	17,4	16,4	15,1	15,0	14,4	15,4	17,0	16,1	14,9	14,5	15,1
Muestra	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53			
Proteína (%)	15,4	15,5	16,0	15,1	15,8	14,9	14,9	14,3	15,1	16,6	17,4			

Con los datos reportados por el laboratorio, se realizó una prueba de normalidad para tener la certeza que presentan una distribución normal, como se refleja en la figura 3.12, en donde se aprecia un valor de -1,75 para la curtosis estandarizada y un valor de -0,59 para el sesgo estandarizado, por lo tanto los dos valores son menores a  $\pm 2$  con lo que se afirma que los datos de proteína presentan una distribución normal.

Posteriormente, se realizó un gráfico de control para medidas individuales (X-MR) representada en la figura 3.13. En donde las especificaciones fueron las siguientes:

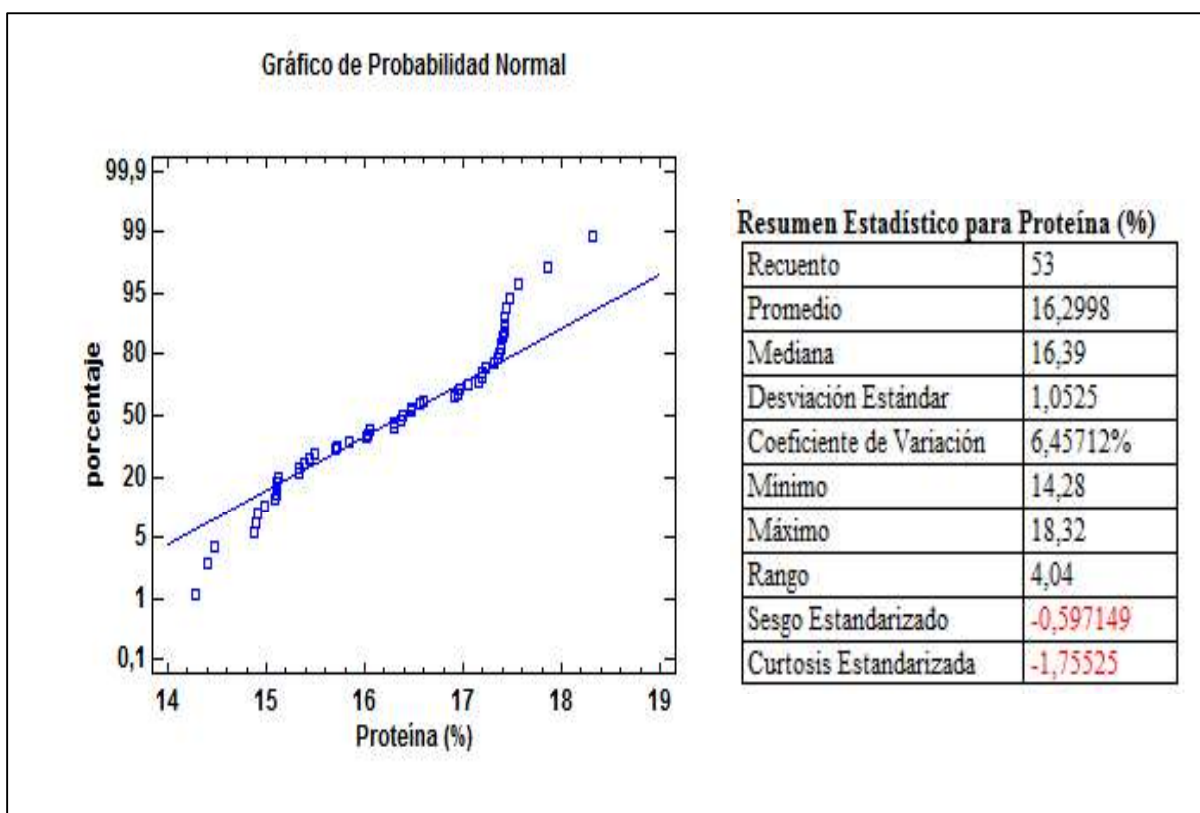
- Especificación 16,5 %
- Tolerancia  $\pm 1,5$  %

En el gráfico de control de individuales (X) se observan dos valores de proteína de 18,3 % y 14,4 % fuera de los límites de control naturales del proceso, asimismo se

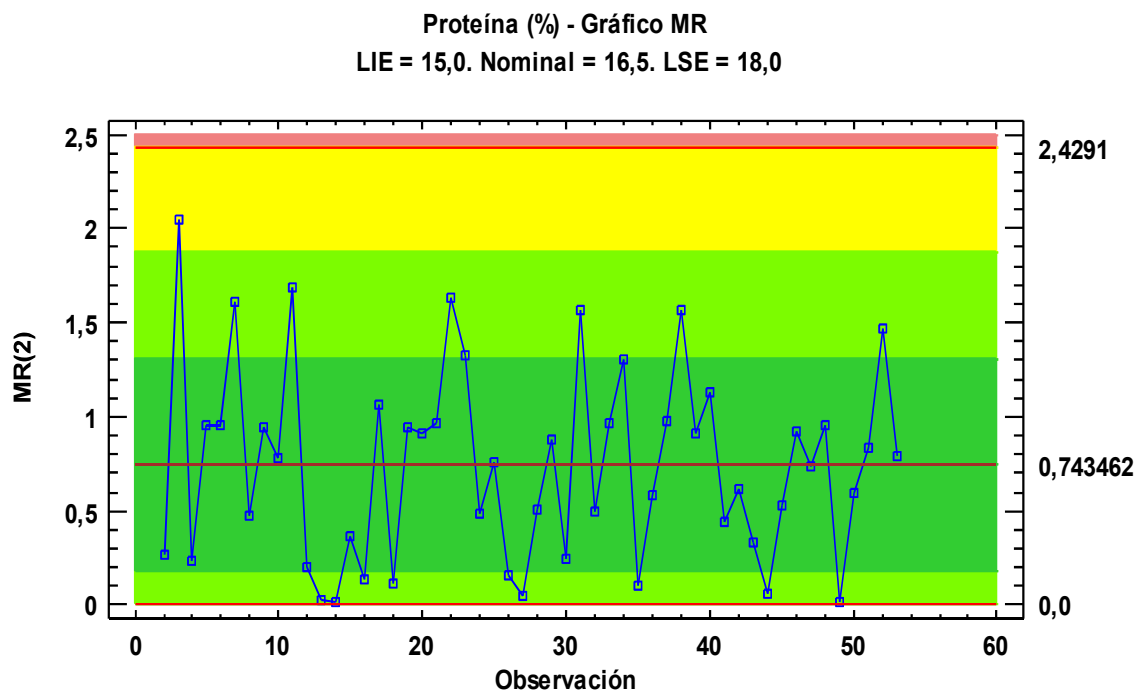
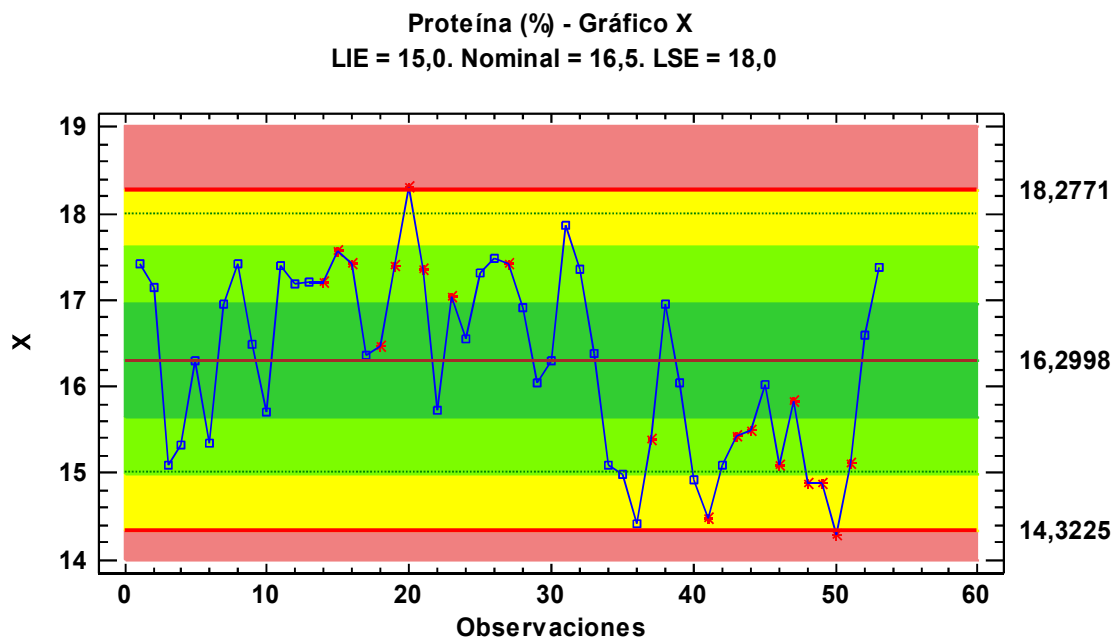
aprecia el incumplimiento de las reglas de secuenciación, por lo que se concluye que el proceso no se encuentra estadísticamente bajo control.

De igual forma, se aprecia que los límites de especificación se encuentran dentro de los límites de control naturales del proceso. Asimismo se observan ocho valores de proteína fuera de los límites de especificación (LIE= 15,0 y LSE= 18,0), apreciándose siete valores por debajo del límite inferior de especificación.

En el gráfico de control de rangos móviles (MR) no se aprecian valores fuera de límites, sin embargo se observa una tendencia hacia el límite inferior.



**Figura 3.12.** Prueba de normalidad para datos de proteína



**Figura 3.13.** Gráfico de control de medidas individuales (X-MR) para proceso de dosificación manual de bins

En la Tabla 3.10, se aprecian los Índices de capacidad del proceso ( $C_p$ ), para este proceso se tiene un valor  $C_p = 0,75$  con lo que se concluye que el proceso no es capaz de cumplir las especificaciones y que necesita acciones de mejora urgentes. Con el valor de capacidad real del proceso ( $C_{pk}$ ) a corto plazo de 0,657 y con base a la tabla 1.3 y el respectivo cálculo de interpolación, se define un nivel sigma para el proceso de 1,97.

**Tabla 3.10.** Índices de capacidad del proceso de dosificación de bins

	Capacidad	Desempeño
	Corto Plazo	Largo Plazo
<b>Sigma</b>	0,65	1,05
<b>Cp/Pp</b>	0,76	0,47
<b>Cpk/Ppk</b>	0,65	0,41
<b>K</b>		-0,13
<b>DPM</b>	29 244,6	161 533,0

Posteriormente se calculó el índice de Taguchi ( $C_{pm}$ ), se aplicó la ecuación 1.4 para el cálculo del factor tau y la ecuación 1.3 para el cálculo del  $C_{pm}$ .

$$\tau = \sqrt{(1,0525)^2 + (16,2998 - 16,5)^2} = 1,0714$$

$$C_{pm} = \frac{18 - 15}{3 (1,0714)} = 0,933$$

Con el valor de  $C_{pm}$  de 0,933 al ser menor a uno, indica que el proceso no cumple con las especificaciones, presenta problemas de centrado como se aprecia en la figura 3.12.

### 3.3.2. Dosificación de Aceite

Para esta variable crítica, luego de haber revisado el manual del equipo y observado detenidamente el proceso, se elaboró el diagrama causa efecto que se puede ver en la figura 3.14, en la cual se considera como una causa relevante, la condición del equipo al requerir una temperatura constante del aceite de 40 °C.

Posteriormente con los datos de verificación de pesos levantados que constan en la tabla 3.11 se realizó la prueba de normalidad, como se aprecia en la figura 3.15, cuyos resultados presentan un valor para el sesgo estandarizado de - 0,95 y para la curtosis estandarizada un valor de - 0,88. Por lo tanto los resultados obtenidos al ser menores a  $\pm 2$ , se concluye que los datos presentan una distribución normal.

**Tabla 3.11.** Valores de verificación de peso y temperatura en la dosificación de aceite

VERIFICACIÓN DE DOSIFICACIÓN DE ACEITE							
Subgrupo	Observaciones			Peso Real Promedio (kg)	Peso Teórico (kg)	Variación (%)	Temperatura (°C)
	1	2	3				
1	103,6	103,6	103	103,4	100,0	-3,4	40,1
2	95,4	100,2	96	97,2	100,0	2,8	36,8
3	101,6	101,8	101,9	101,8	100,0	-1,8	39,4
4	98,2	101	99	99,4	100,0	0,6	41,3
5	101	99	99,4	99,8	100,0	0,2	41,1
6	104,2	104,6	104	104,3	100,0	-4,3	42,0
7	92,4	96	96,4	94,9	100,0	5,1	38,4
8	105,4	103,8	104,2	104,5	100,0	-4,5	41,5
9	101	99	99,4	99,8	100,0	0,2	40,7
10	104,2	104,6	104,3	104,4	100,0	-4,4	41,3
11	105,4	103,8	104,2	104,5	100,0	-4,5	41,3
12	92,4	96	96,4	94,9	100,0	5,1	38,5
13	104,6	106,8	105,3	105,6	100,0	-5,6	44,6
14	100,4	100,2	100,5	100,4	100,0	-0,4	39,1

**Tabla 3.11.** Valores de verificación de peso y temperatura en la dosificación de aceite  
(continuación.....)

<b>15</b>	103,4	104,2	97,8	101,8	100,0	-1,8	38,3
<b>16</b>	102,6	103,6	102,4	102,9	100,0	-2,9	41,8
<b>17</b>	105,4	103,8	104,2	104,5	100,0	-4,5	41,5
<b>18</b>	102,6	112,4	102,3	105,8	100,0	-5,8	45,8
<b>19</b>	103,2	98,8	98,6	100,2	100,0	-0,2	40,9
<b>20</b>	101,8	102	106,8	103,5	100,0	-3,5	43,2
<b>21</b>	100,6	100,4	100,6	100,5	100,0	-0,5	39,7
<b>22</b>	101,4	103,8	106	103,7	100,0	-3,7	45,4
<b>23</b>	113	111,8	104,4	109,7	100,0	-9,7	45,2
<b>24</b>	97,8	101	100,9	99,9	100,0	0,1	39,6

Luego se realizó el gráfico de control de medias (X bar) que se aprecia en la figura 3.16, donde se observan seis valores fuera de los límites de control naturales del proceso, con lo que se define que el proceso no se encuentra bajo control estadístico y adicionalmente se aprecian diecisiete valores de los veinte y cuatro, fuera de los límites de especificación (LIE= 99 y LSE= 101).



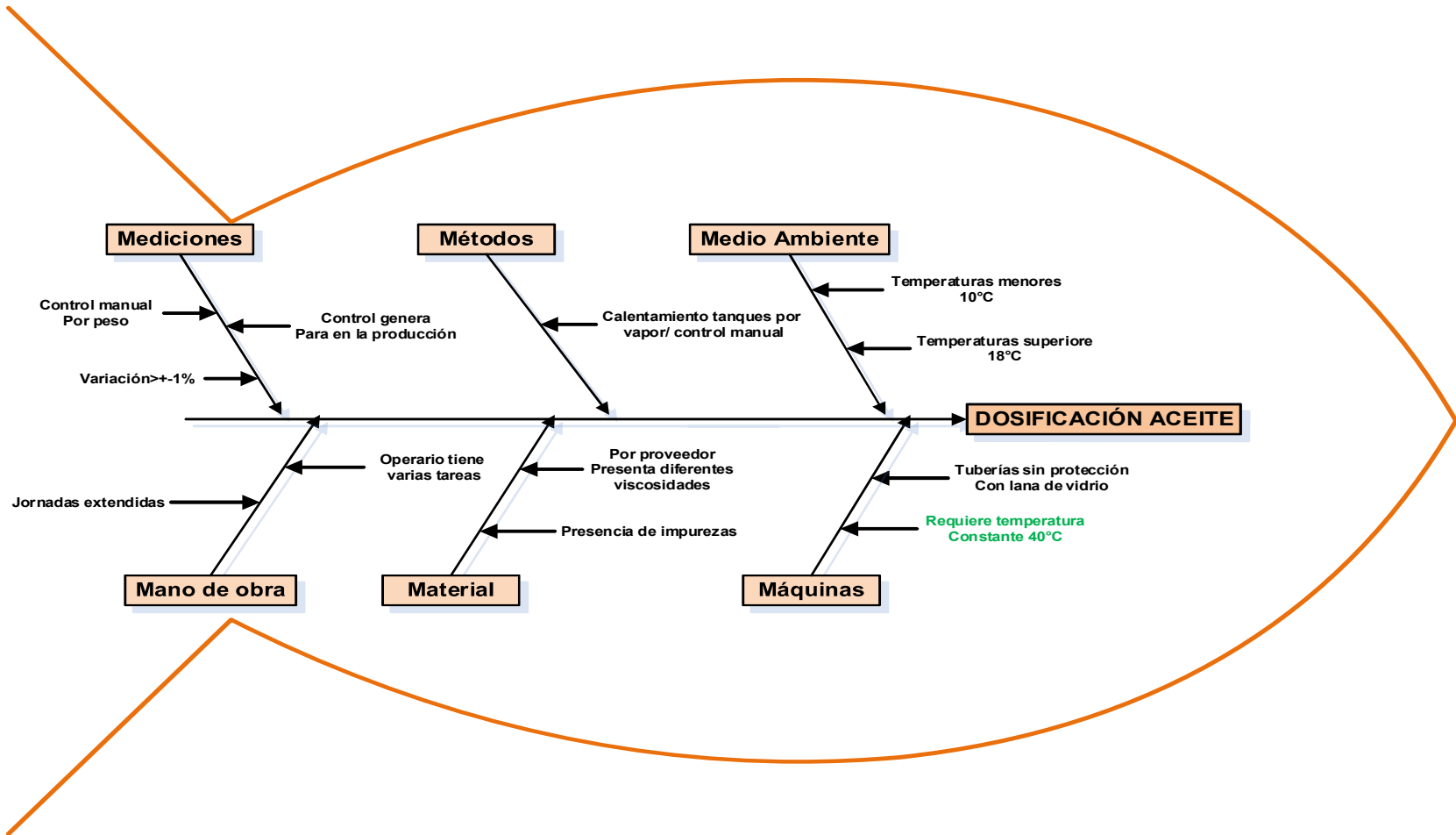
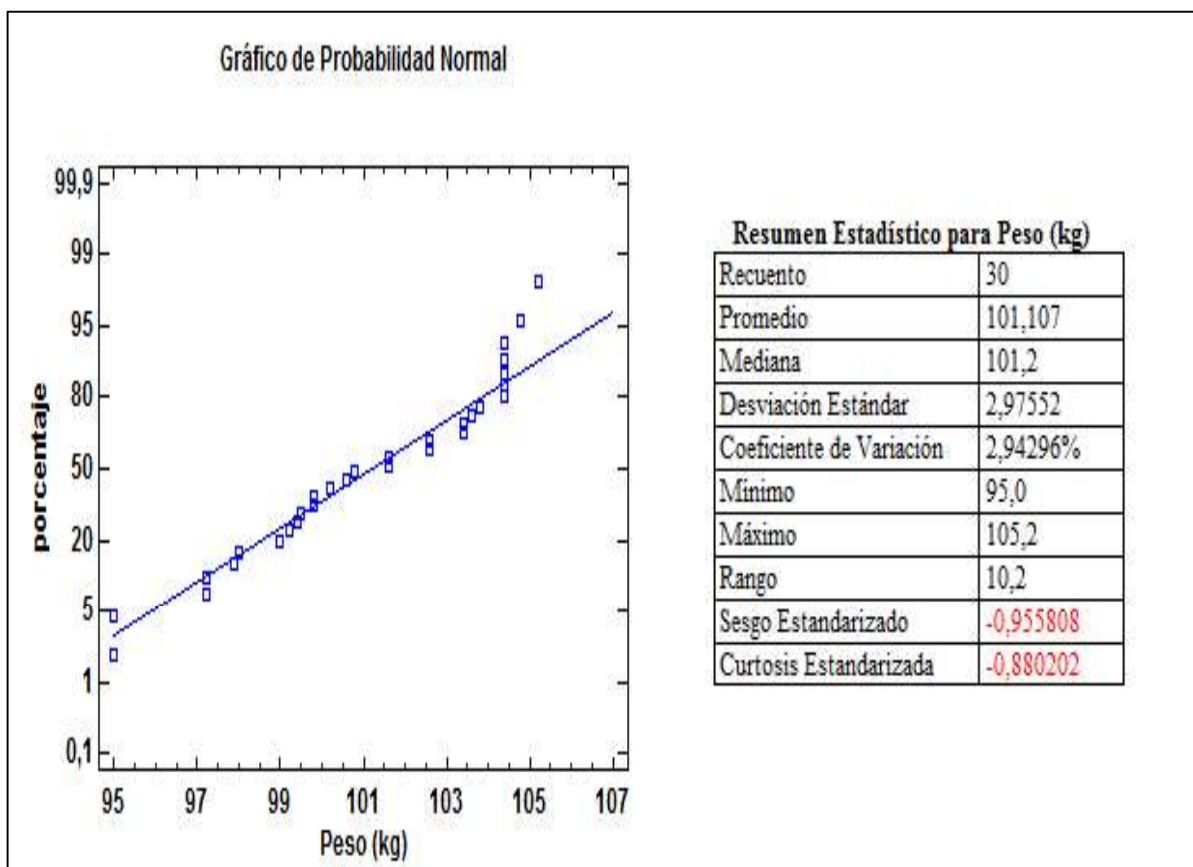


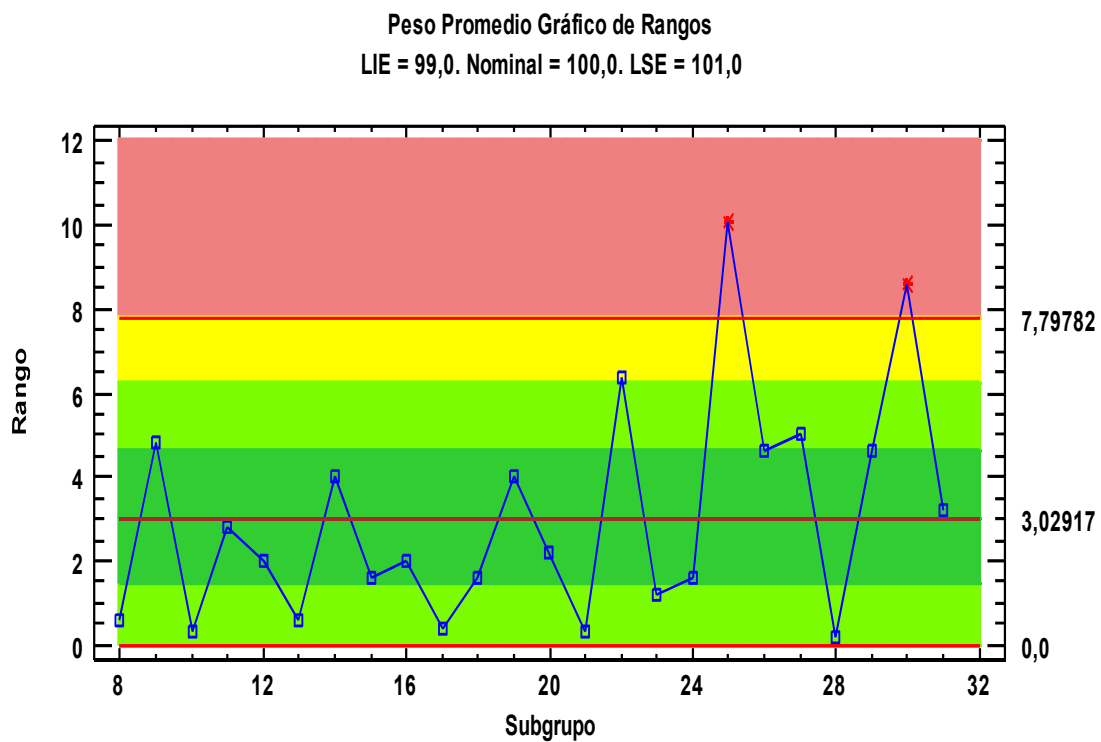
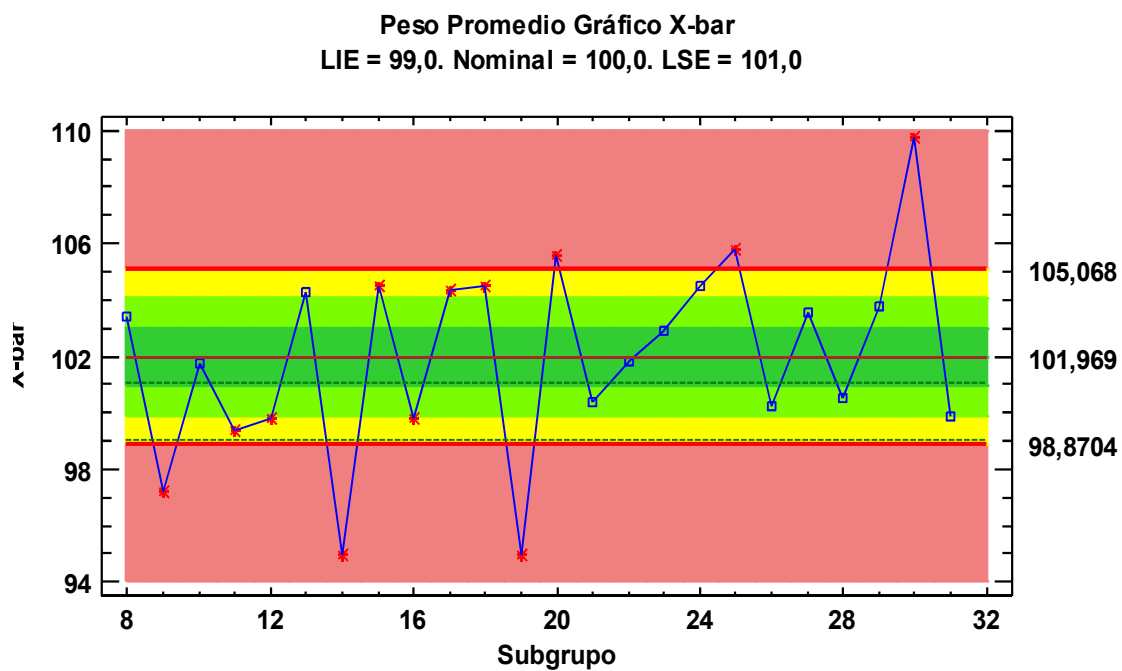
Figura 3.14. Diagrama causa efecto para el proceso de dosificación de aceite



**Figura 3.15.** Prueba de normalidad para datos de peso (kg) de aceite

En el gráfico de rangos en (R) se observan dos valores fuera del límite de control, lo cual indica que el proceso de dosificación de aceite no es un proceso controlado.

Posteriormente se calcula la capacidad del proceso, los valores obtenidos se reflejan en la tabla 3.12. El valor de la capacidad del proceso es menor a uno ( $C_p < 1$ ), por lo que se concluye que, el proceso en las condiciones actuales no es capaz de cumplir con las especificaciones establecidas y requiere de ajustes urgentes. Con el valor de capacidad real del proceso ( $C_{pk}$ ) a corto plazo de -0.180 y con base a la tabla 1.3 y su respectivo cálculo de interpolación, se define un nivel sigma para el proceso de 0,58



**Figura 3.16.** Gráficos de control Xbar-R para el proceso de dosificación de aceite.

**Tabla 3.12.** Índices de capacidad para el proceso de dosificación de aceite

	<b>Capacidad</b>	<b>Desempeño</b>
	<b>Corto Plazo</b>	<b>Largo Plazo</b>
<b>Sigma</b>	1,78	3,85
<b>Cp/Pp</b>	0,19	0,09
<b>Cpk/Ppk</b>	-0,18	-0,08
<b>K</b>		1,97
<b>DPM</b>	75 4526,	81 9985,

Finalmente se calculó el índice de Taguchi (Cpm), se aplicó la ecuación 1.4 para el cálculo del factor tau y la ecuación 1.3 para el cálculo del Cpm.

$$\tau = \sqrt{(3,4620)^2 + (101,9694 - 100)^2} = 3,9830$$

$$Cpm = \frac{101 - 99}{3(3,9830)} = 0,167$$

Con el valor de Cpm de 0,167 al ser menor a uno, indica que el proceso no cumple con las especificaciones debido a un exceso de variabilidad como se observa en el gráfico de control 3.15.

### 3.3.3. Calidad de mezcla

En este parámetro crítico, las pruebas de mezclado se realizaron para el tiempo de mezclado con el que se estaba trabajando y otro tiempo adicional de prueba de 3 minutos. Los resultados de esta medición indican que el mejor valor de coeficiente de variación, se lo obtuvo para el tiempo con el que se está trabajando, el cual da un CV= 9,39 % como se aprecia en la tabla 3.13.

Por lo cual se debe mantener el tiempo de mezcla en 3 minutos, 30 segundos.

**Tabla 3.13.** Resultados de pruebas de mezclado

	<b>TIEMPO DE MEZCLADO</b>	
	<b>3 min</b>	<b>3min 30 seg</b>
	<b>CV (%)</b>	<b>CV (%)</b>
Repetición 1	10,01	9,24
Repetición 2	9,88	9,53
Promedio	9,95	9,39

### **3.4. ANÁLISIS DE DATOS DEL PROCESO DE MEDICIÓN**

Al analizar los datos presentados en el apartado 3.3 para las variables críticas, se realizó el análisis de varias propuestas para mejorar cada uno de los puntos expuestos.

#### **3.4.1. Dosificación de Bines**

Para esta variable, se realizó una prueba piloto, que consistió en elaborar 20 batches de alimento dosificando manualmente los ingredientes de bines, pero con la supervisión de una persona de calidad que constato el cumplimiento de las cantidades escritas en la fórmula con la mayor exactitud posible, cuyos resultados se observan en la tabla 3.14. El alimento considerado en la prueba presentó un valor teórico de formulación de 19 % de proteína.

**Tabla 3.14.** Resultados de proteína para prueba piloto

<b>Prueba Piloto</b>										
<b>Muestra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Proteína (%)</b>	18,3	19,3	19,2	19,1	19,3	19,4	19,4	19,7	19,3	19,8
<b>Muestra</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
<b>Proteína (%)</b>	18,9	18,9	18,4	19,3	18,6	19,2	18	19,5	18,4	19,5

A los resultados obtenidos se realizó una prueba de hipótesis para una media en donde:

Ho:  $\mu = 19 \%$

H1:  $\mu \neq 19 \%$

$\alpha = 5 \%$

$n < 30$

Al no contar con una varianza conocida se aplicó la ecuación 2.14. Los resultados obtenidos se reflejan en la tabla 3.15, donde se observa que el valor de  $p = 0,49$ , el cual es mayor al nivel de significancia de 0,05 por lo cual se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula, concluyendo que el grupo de datos analizados presentan una media igual al 19 %.

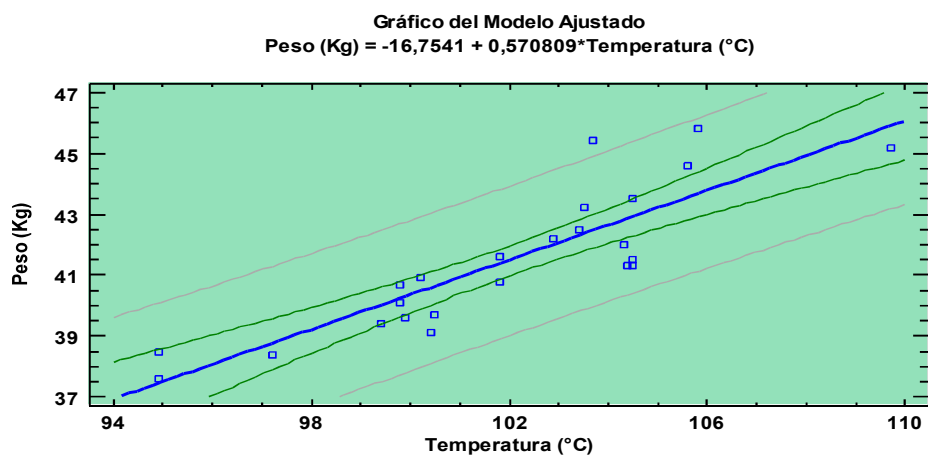
**Tabla 3.15.** Resultados de prueba de hipótesis

<b>Prueba de Hipótesis</b>	
Media muestral	19,07
Mediana muestral	19,25
Desviación estándar de la muestra	0,49
<b>Prueba t</b>	
Hipótesis nula	Ho=19
Hipótesis alternativa	Ha $\neq$ 19
Estadístico t	0,69
Valor-P	<b>0,49</b>

Con los resultados obtenidos en la prueba piloto, la propuesta de mejora fue implementar un sistema de dosificación automático.

### 3.4.2. Dosificación de Aceite

Para esta variable se realizó, el diagrama de causa- efecto que se observa en figura 3.14 para analizar los factores están influyendo en la alta variabilidad en el proceso de dosificación de aceite, de lo cual se puede asumir que uno de los factores que no permite el adecuado funcionamiento del equipo, es que se requiere una temperatura constante de 40°C.



#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	-16,75	7,11	-2,35	0,02
Pendiente	0,57	0,07	8,19	0,00

Coefficiente de Correlación = 0,86

R-cuadrada = 75,29 %

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 74,17 %

Error estándar del est. = 1,16

Error absoluto medio = 0,88

Estadístico Durbin-Watson = 1,31 (P=0,0248)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0,26

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razó n-F	Valor-P
Modelo	90,32	1	90,32	67,0	0,00
Residuo	29,63	22	1,346		
Total (Corr.)	119,96	23			

**Figura 3.17.** Regresión lineal para las variables peso y temperatura

Posteriormente, con los datos promedio de peso y temperaturas que se aprecian en la tabla 3.11 se realizó una gráfica de regresión lineal, como se aprecia en la figura 3.17, donde se refleja una fuerte relación, directamente proporcional entre las dos variables, con un valor de correlación de 0,86. Al realizar un análisis de varianza (ANOVA) para las siguientes hipótesis:

- $H_0$  = no existe relación lineal entre las variables X y Y.
- $H_a$  = existe relación lineal entre las variables X y Y.
- $\alpha = 0,05$

Se obtiene un valor de  $P = 0,0248$  que es menor a  $\alpha = 0,05$  con lo cual se acepta la  $H_a$ , aceptando que existe una relación estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95%.

### **3.4.3. Calidad de mezcla**

Al revisar los datos de pruebas de mezclado se aprecia que los valores del coeficiente de variación (CV) se encuentran muy cercanos al máximo permitido y además al realizar la medición de tiempos para definir el tiempo de ciclo del proceso, se observa el incumplimiento del orden de adición de ingredientes por la boca de la mezcladora, por lo que como propuesta de mejora se decide realizar nuevas pruebas de mezclado, revisando específicamente el tema de la agregación de los ingredientes por la boca de la mezcladora y una vez definido esto, realizar la capacitación del personal y establecer una frecuencia para la realización de las pruebas de mezclado.



### **3.5. MEJORAS EN LOS PROCESOS**

En este apartado se describe la implementación de las mejoras planteadas, para cada uno de los problemas planteados.

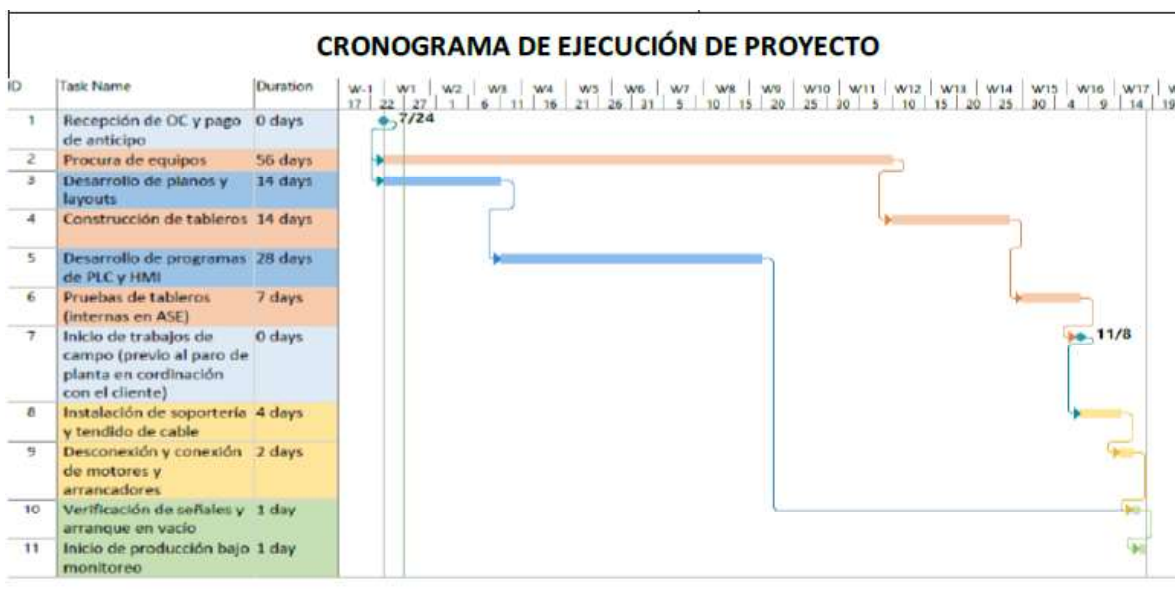
#### **3.5.1. Dosificación de Bines**

Previamente se realizó el análisis del modo de falla y sus efectos (FMEA) para el sistema de automatización de dosificación desde bines, como se aprecia en la tabla 3.17. En el cual, se observa que existen dos modos de falla eléctricos, que pueden ser los más críticos y que son: bloqueo del sistema (software) y desconfiguración del PLC (variación voltaje). Los dos modos de falla se pueden controlar realizando mantenimientos preventivos.

FMEA																
AMEF DE: ■ Equipo    □ Proceso		ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA					Planta: Alimentos			Ingenieros: Patricia Quillupangui						
		AMEF No. 002					Área: Producción									
Proveedor afectado.		Descripción		Nombre del Equipo: Sistema de automatización		Número: AC.01			Departamentos involucrados:		Fecha: 2-12-2018					
						Modelo: siwarex			Calidad		Hoja 1 de 1					
Descripción del Equipo	Función del Equipo	Modo de Falla	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Situación Actual					Acciones Recomendadas	Respons.	Situación Actual				
					Acciones Actuales	O C U R	S E V E	D E T E	NPR			Acciones Adoptadas	O C U R	S E V E	D E T E	NPR
Software	Controlar prendido y apagado de motores, sensores.	Bloqueo de sistema	Corte de comunicación	Descarga eléctrica en el servidor	conexión a UPS	2	9	1	18	mantenimiento UPS	Eléctrico	se implantó lo recomendado	1	9	1	9
		Bloqueo de sistema	Sistema bloqueado	mala operación	Reiniciar servidor		4	3	1	12	capacitar al personal	Sistemas	Capacitación mensual	1	3	1
Cableado	Comunicar y energizar	Equipos apagados	Equipos sin comunicación	Cables deteriorados	Revisión de cableado	1	5	1	5	revisión diaria cableado	Eléctrico	se implantó lo recomendado	1	5	1	5
PLC	Controla programación	Desconfiguración	equipos no funcionan	Variación de voltaje	Revisión sistema a tierra	1	10	1	10	Medir sistema a tierra	Eléctrico	se implantó lo recomendado	1	10	1	10

**Figura 3.18.** FMEA para el sistema de automatización

Posteriormente, se realizó la selección del proveedor que efectuó el proyecto de automatización, con los parámetros requeridos y se realizó la planificación de la implementación como se aprecia en el diagrama de Gantt de la figura 3.19, donde se observa que el tiempo total requerido para su ejecución es de 5 meses y con el requerimiento de parada de la planta de 4 días. La implementación de la automatización se visualiza en el Anexo IV.



**Figura 3.19.** Diagrama de Gantt para proyecto de automatización de dosificación de bins

### 3.5.2. Dosificación de Aceite

Se realizó la adquisición del nuevo equipo para la dosificación por masa y no por flujo, para el nuevo equipo se realizó el análisis del modo de falla y sus efectos (FMEA), como se aprecia en la tabla 3.18, en la cual el principal modo de falla es la descalibración de las celdas de carga, que provocaría errores en la dosificación; sin embargo este modo de falla se controla con una frecuencia de calibración.

FMEA																
AMEF DE: <input checked="" type="checkbox"/> Equipo <input type="checkbox"/> Proceso		ANALISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA						Planta: Alimentos		Ingenieros: Patricia Quillupangui						
		AMEF No. 001						Área: Producción								
Proveedor afectado.		Descripción		Nombre del Equipo: dosificador de aceite		Número: AC.01		Departamentos involucrados:		Fecha: 2-12-2018						
						Modelo: siwarex		Calidad		Hoja 1 de 1						
Descripción del Equipo	Función del Equipo	Modo de Falla	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Situación Actual				Acciones Recomendadas	Responsable	Situación Actual					
					Acciones Actuales	O C U R	S E V E	D E T E			NPR	Acciones Adoptadas	O C U R	S E V E	D E T E	NPR
Dosificador masico de aceite	Dosificador aceite a mezclador	Solificación de aceite	No pasa aceite al proceso	Daño en niquelina	revisión de cableado	1	5	2	10	reemplazo niquelina trimestral	mecanico	se implanto lo recomendado	1	5	1	5
		Derrame de aceite en carga	Contaminacion del área de producción	Falla electrica en PLC	setear datos	3	10	3	90	Revisar cableado de comunicación	Eléctrico	se implanto lo recomendado	1	10	1	10
		Error en pesaje en dosificación	Variabilidad en la dosificación	Descalibración de celdas de carga	calibracion de celdas de carga	5	8	6	240	Establecer frecuencia de calibración	Calidad	se implanto lo recomendado	5	1	5	25

**Figura 3.20.** FMEA para equipo dosificador de aceite

### 3.5.3. Calidad de mezcla

Se realizó un instructivo para la elaboración de las pruebas de mezclado y se estableció un nuevo orden de adición de ingredientes por la boca de la mezcladora, el cual se aprecia en el Anexo V.

## 3.6. CONTROL DE PROCESOS

### 3.6.1. Dosificación de Bines

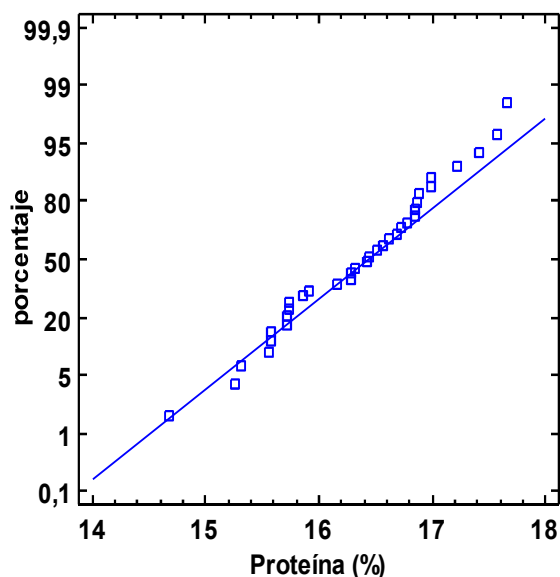
Una vez realizada la implementación de del sistema automatizado de dosificación de bines, se procedió a recolectar nuevas muestras de alimento balanceado, para ser enviadas a realizar análisis de proteína, en el mismo laboratorio externo, los datos obtenidos del porcentaje de proteína de las 34 muestras, se aprecian en la tabla 3.16.

**Tabla 3.16.** Resultados de proteína con la automatización

VALORES DE PROTEÍNA												
Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Proteína (%)	16,78	15,74	16,44	16,99	16,68	15,58	15,58	15,56	15,91	15,73	16,86	15,86
Muestra	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Proteína (%)	15,71	15,71	15,32	17,22	17,66	16,99	16,32	16,52	16,56	17,57	16,28	17,41
Muestra	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34		
Proteína (%)	16,16	14,67	15,25	16,72	16,28	16,85	16,85	16,89	16,61	16,43		

Con los datos de la tabla 3.19 se realizó nuevamente la prueba de normalidad para los datos, en esta prueba se obtuvieron valores para el sesgo estandarizado de -0,49 y para la curtosis estandarizada de -0,46, con lo cual se concluye que los datos presentan una distribución normal como se aprecia en la figura 3.21.

Gráfico de Probabilidad Normal



Recuento	34
Promedio	16,34
Mediana	16,43
Desviación Estándar	0,70
Coefficiente de Variación	4,32 %
Mínimo	14,67
Máximo	17,66
Rango	2,99
Sesgo Estandarizado	-0,49
Curtosis Estandarizada	-0,46

**Figura 3.21.** Prueba de normalidad para datos de proteína con la automatización implementada

Posteriormente, se realizó el respectivo gráfico de control para lecturas individuales (X-MR), como se aprecia en la figura 3.22, donde se observa que para el gráfico de individuales que solo un valor se encuentra fuera de especificación y que el resto de los valores de proteína, se encuentran dentro de los límites de especificación y de los límites de control. Mientras que en el gráfico de rangos los valores de proteína tienen la tendencia al límite inferior, sin salir del límite inferior.

En la tabla 3.17 se aprecian los índices de capacidad el proceso, donde se observa que el proceso cuenta con  $CP= 0,9$  indicando que el proceso cuenta con la capacidad de cumplir con la especificaciones establecidas. Con el valor de capacidad real del proceso ( $Cpk$ ) a corto plazo de 0,81, de acuerdo a la tabla 1.3 y su respectivo cálculo de interpolación se tiene un nivel sigma de 2,43.



**Tabla 3.17.** Índices de Cp con automatización

	<b>Capacidad</b>	<b>Desempeño</b>
	<b>Corto Plazo</b>	<b>Largo Plazo</b>
<b>Sigma</b>	0,55	0,70
<b>Cp/Pp</b>	<b>0,90</b>	0,70
<b>Cpk/Ppk</b>	<b>0,81</b>	0,63
<b>K</b>		-0,10
<b>DPM</b>	8 874,67	38 271,1

Posteriormente se calculó el índice de Taguchi (Cpm), se aplicó la ecuación 1.4 para el cálculo del factor tau y la ecuación 1.3 para el cálculo del Cpm.

$$\tau = \sqrt{(0,7071)^2 + (16,3438 - 16,5)^2} = 0,7241$$

$$Cpm = \frac{18 - 15}{3 (0,7241)} = 1,38$$

Con el valor de Cpm de 1,38 al ser un Cpm > 1,33 uno, indica que el proceso cumple con especificaciones y que la media se encuentra dentro de la quinta parte central de la banda de las especificaciones debido a un exceso de variabilidad como se observa en el gráfico de control 3.22.

### 3.6.2. Dosificación de Aceite

En la tabla 3.18 se observan los datos recolectados con el nuevo sistema de dosificación, en la figura 3.23 se aprecia que tanto el gráfico de medias (X bar) y el gráfico de rangos (R) no presentan valores fuera de los límites de control, ni valores fuera de los límites de especificaciones (LIE = 111,9 y LSE = 114,1), adicionalmente



se observa que 22 valores se encuentran alrededor de la media, con lo que se evidencia que el nuevo proceso de dosificación se encuentra bajo control.

En la tabla 3.19 los índices de capacidad del proceso de dosificación presentan un  $C_p > 1$  reflejando que el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones, una variación de  $\pm 1\%$ . Con el valor de capacidad real del proceso ( $C_{pk}$ ) a corto plazo de 2,02, de acuerdo a la tabla 1.3 se tiene un nivel sigma de 6.

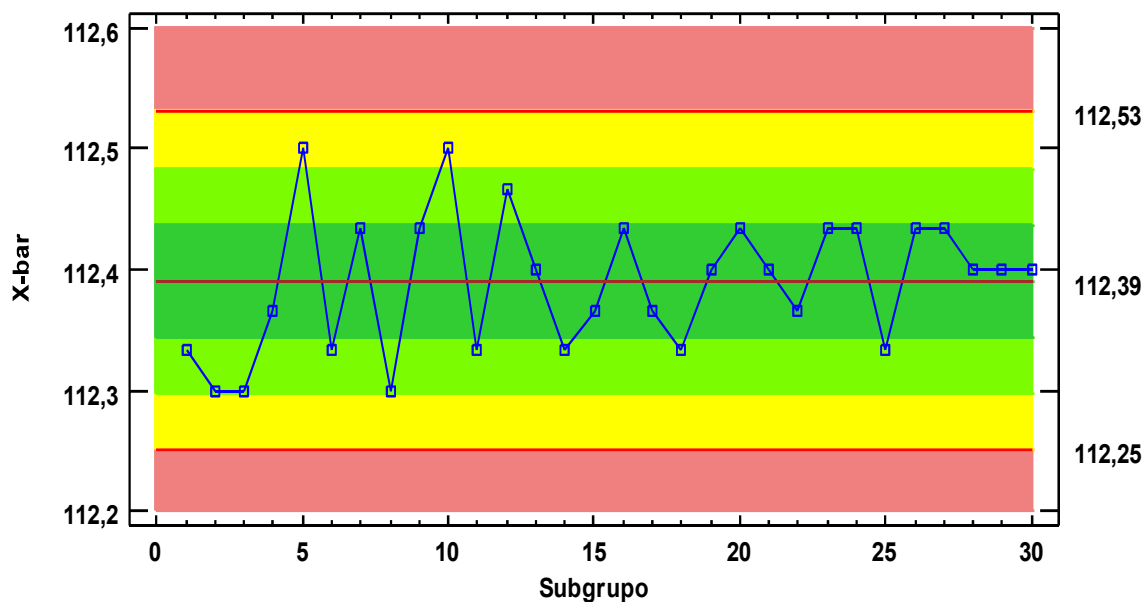
**Tabla 3.18.** Verificación de pesos en el proceso de dosificación de aceite

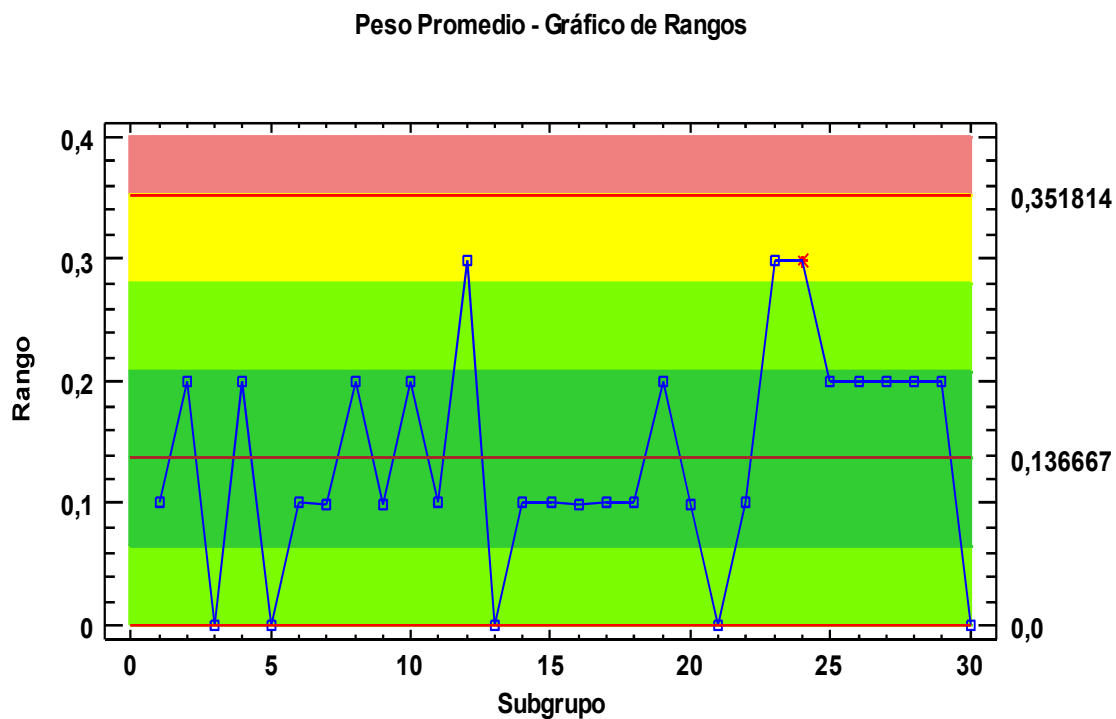
VERIFICACIÓN DE DOSIFICACIÓN DE ACEITE						
Subgrupo	Observaciones			Peso Real Promedio (kg)	Peso Teórico (kg)	Variación (%)
	1	2	3			
1	112,3	112,3	112,4	112,3	113,0	0,6
2	112,4	112,3	112,2	112,3	113,0	0,6
3	112,3	112,3	112,3	112,3	113,0	0,6
4	112,5	112,3	112,3	112,4	113,0	0,6
5	112,5	112,5	112,5	112,5	113,0	0,4
6	112,3	112,3	112,4	112,3	113,0	0,6
7	112,4	112,5	112,4	112,4	113,0	0,5
8	112,3	112,4	112,2	112,3	113,0	0,6
9	112,5	112,4	112,4	112,4	113,0	0,5
10	112,6	112,4	112,5	112,5	113,0	0,4
11	112,3	112,4	112,3	112,3	113,0	0,6
12	112,6	112,3	112,5	112,5	113,0	0,5
13	112,4	112,4	112,4	112,4	113,0	0,5
14	112,3	112,4	112,3	112,3	113,0	0,6
15	112,3	112,4	112,4	112,4	113,0	0,6
16	112,5	112,4	112,4	112,4	113,0	0,5
17	112,4	112,3	112,4	112,4	113,0	0,6
18	112,3	112,4	112,3	112,3	113,0	0,6
19	112,4	112,3	112,5	112,4	113,0	0,5

**Tabla 3.18.** Verificación de pesos en el proceso de dosificación de aceite (continuación...)

20	112,4	112,4	112,5	112,4	113,0	0,5
21	112,4	112,4	112,4	112,4	113,0	0,5
22	112,4	112,3	112,4	112,4	113,0	0,6
23	112,4	112,6	112,3	112,4	113,0	0,5
24	112,4	112,3	112,6	112,4	113,0	0,5
25	112,4	112,2	112,4	112,3	113,0	0,6
26	112,3	112,5	112,5	112,4	113,0	0,5
27	112,5	112,3	112,5	112,4	113,0	0,5
28	112,5	112,3	112,4	112,4	113,0	0,5
29	112,3	112,4	112,5	112,4	113,0	0,5
30	112,4	112,4	112,4	112,4	113,0	0,5

**Peso promedio - Gráfico X-bar**





**Figura 3.23.** Gráficos Xbar-R para dosificación de aceite

**Tabla 3.19.** Índices de capacidad proceso dosificación aceite

	Capacidad	
	Corto Plazo	Largo Plazo
<b>Sigma</b>	0,08	0,09
<b>Cp/Pp</b>	4,54	4,07
<b>Cpk/Ppk</b>	2,02	1,81
<b>K</b>		-0,55
<b>DPM</b>	0,0006	0,0261

Especificaciones: LSE = 114,1; Nom = 113,0; LIE = 111,9

Posteriormente se calculó el índice de Taguchi (Cpm), se aplicó la ecuación 1.4 para el cálculo del factor tau y la ecuación 1.3 para el cálculo del Cpm.

$$\tau = \sqrt{(0,0562)^2 + (112,39 - 113,0)^2} = 0,6126$$

$$Cpm = \frac{114,1 - 111,9}{3 (0,6126)} = 1,197$$

Con el valor de Cpm de 1,197 al ser un Cpm > 1,0 indica que el proceso cumple con especificaciones y que la media se encuentra dentro de la tercera parte central de la banda de las especificaciones.

### 3.6.3. Calidad de mezcla

Con las mejoras en el orden de dosificación de macroingredientes pesados manualmente y agregados por la boca y también la influencia de las mejoras en el proceso de dosificación de bins, que permite tener un control sobre el tiempo de mezclado y el equipo de aceite que realiza la descarga en menor tiempo, se aprecia una mejora en los coeficiente de variación (CV) en las pruebas de mezclado para el tiempo de 3 minutos y el tiempo de 3 minutos 30 segundos. Los resultados que se observan en la tabla 3.20 reflejan una disminución del CV en los dos tiempos; sin embargo se estableció que el nuevo tiempo de mezcla será el de 3 minutos.

**Tabla 3.20.** Resultados pruebas de mezclado

	TIEMPO DE MEZCLADO	
	3 min	3min 30 seg
	CV (%)	CV (%)
Repetición 1	9,03	8,5
Repetición 2	9,6	8,06
Promedio	9,32	8,28

### 3.6.4. Indicadores

Posteriormente, para establecer la situación con las mejoras, se realizó el cálculo nuevamente de los indicadores: tiempo de ciclo y productividad. Con los datos de los tiempos recolectados por cronometraje de las actividades requeridas, para elaborar un batch de 1 800 kg de alimento balanceado, se definió el nuevo tiempo de ciclo, el cual fue de 12,06 minutos, las respectivas mediciones de tiempo se aprecian en la tabla AVI.1 del Anexo VI. El cálculo del tiempo básico se realizó con la ecuación 1,10 es de:

$$\text{Tiempo básico (tb)} = 12,06 \text{ min} * \frac{75}{100} = 9,05 \text{ min}$$

Las consideraciones aplicadas por el tipo de trabajo realizado y las condiciones del ambiente de trabajo dieron una tolerancia del 33,0 %, el detalle de esta estimación se aprecia en la tabla AVII.1 del Anexo VII, finalmente el tiempo estándar se obtuvo con la ecuación 1.11 siendo de:

$$\text{Tiempo estándar (ts)} = 9,05 \text{ min} * (1 + 0,33) = 12,03 \text{ min}$$

Los resultados del estudio de tiempos se observan en la tabla 3.21, en donde se define que el tiempo de ciclo actual para elaborar un batch de 1800 kg de alimento balanceado es de 12,06 minutos y un tiempo estándar de 12,03 minutos.

**Tabla 3.21.** Tiempo estándar, básico y tolerancias para el proceso de elaboración de alimento balanceado

Proceso	Tiempo de ciclo (min)	Tiempo basico (min)	Tolerancia (%)	Tiempo estándar (min)
Proceso de elaboración de alimento balanceado	12,06	9,05	33	12,03

Con los datos obtenidos se realizó el nuevo diagrama analítico que se aprecia en la figura 3.24, en la cual se observa que el nuevo recorrido del proceso es de 15 metros y que se cuenta con 9 actividades de operación, 1 de transporte y 1 de inspección. Con las mejoras implementadas se eliminaron dos actividades de transportes.

En la tabla 3.22, con las mejoras implementadas, se tiene un índice de valor agregado de 97,1 %; con un 71,5 % para actividades que presentan valor para el cliente y con un 25,5 % para actividades que representan valor para la empresa, asimismo el índice sin valor agregado es de 2,9 %.

**Tabla 3.22.** Índices de valor agregado y sin valor agregado

<b>Índice de valor agregado (VA)</b>				
<b>Composición de actividades</b>	<b>Total</b>	<b>Agregan valor</b>		<b>No agregan valor</b>
		<b>VAC</b>	<b>VAE</b>	<b>SVA</b>
Número de actividades	11	8	2	1
Tiempos (min)	12,06	8,63	3,08	0,36
Actividades ( %)	100,0	71,5	25,5	2,95
Índice de valor agregado (%)	97,1			
Índice sin valor agregado (%)	2,95			

Asimismo, se calculó el takt time aplicando la ecuación 2.1 para una jornada de 11 horas de trabajo y una producción diaria de 190 batches (producción máxima diaria), que dio un valor de 3,88 min/batch, lo que significa que para cumplir con la demanda diaria se debe producir un batch en máximo 3,47 minutos.

CURSOGRAMA ANALÍTICO					MATERIAL								
Proceso 1		Diagrama número: 1		ACTIVIDAD	RESUMEN								
					Actual	Propuesta	Economía						
Proceso: Elaboración de alimentos balanceado				Operación	○	8							
Actividad: Dosificar alimento				Transporte	⇒	2							
Método actual de producción				Espera	D	0							
Realizado por: Ing Patricia quillupanqui				Inspección	□	1							
Lugar: Área de producción				Almacenamiento	▽	0							
Observaciones generales:				Tiempo (minutos)		12,06							
				Distancia (metros)		30							
No.	DESCRIPCIÓN	Cantidad (kg)	Distancia (m)	Tiempo (min)	Símbolo					Valor agregado		Sin vaor agregado	Observaciones
					○	⇒	D	□	▽	VAC	VAE	SVA	
1	Subir Orden de Producción en el sistema automático	1800kg		0,54	●					1			
2	Elaborar manualmente tarjeta de macros pesaje manual			0,34	●					1			
3	Verificar disponibilidad de ingredientes en bins			0,36					●			1	
4	Selección receta			0,26	●					1			
5	Dosificar automáticamente macroingredientes de bins a tolva báscula			1,84	●					1			
6	Soltar contenido de tolva báscula a mezcladora			0,18	●					1			
7	Iniciar mezclado-Adicionar macros pesados-aceite.			3,01	●					1			
8	Vaciar mezcladora			0,08	●					1			
9	Transportar batch a bin		15	2,02					●		1		
10	Ensacar Alimento	1810		2,36	●					1			
11	Transportar sacos hasta camión transportadora		15	1,06					●		1		
TOTAL		1810	30	12,06						8	2	1	

Figura 3.24. Diagrama analítico con mejoras implementadas

$$\text{Takt time} = \frac{660 \text{ min}}{190 \text{ batches}} = 3,47 \text{ min/batch}$$

Para el cálculo de la productividad diaria se utilizó la ecuación 1.8, considerando los siguientes datos, los cálculos los costos se aprecian a detalle en el Anexo III:

- Producción diaria= 190 batches
- Mano de obra/ día= \$694,21
- Materia Prima= 532 \$/Tn
- Energía= 294,9 \$

$$\text{Productividad} = \frac{190 \text{ batches}}{\left(342 \text{ Tn} * 532 \frac{\$}{\text{Tn}}\right) + (694,21\$) + 294,9\$} = 0,001039 \text{ batch/\$}$$

La productividad diaria considerando las condiciones actuales de la planta fue de 0,001039 batch/\$. Con el dato de productividad inicial y con las mejoras implementadas se calculó la mejora que se alcanzó de la siguiente manera:

$$\Delta \text{Productividad} = \frac{\text{productividad final} - \text{productividad inicial}}{\text{productividad inicial}} * 100 = 0,19 \%$$

El  $\Delta$  productividad indica que la mejora alcanza permitió un incremento del 0,19% en la productividad. Con los nuevos tiempos calculados se realizó un nuevo VSM con las mejoras implementadas, como se aprecia en la figura 3.25. En la tabla 3.23 se observa las diferentes indicadores antes y después de realizadas las mejoras propuestas.

**Tabla 3.23.** Indicadores antes y después de implementación de mejoras

Indicadores	Condiciones	
	Sin mejoras	Con mejoras
Tiempo de ciclo	14'14"	12'06"
Productividad (batch/\$)	0,001037	0,001039



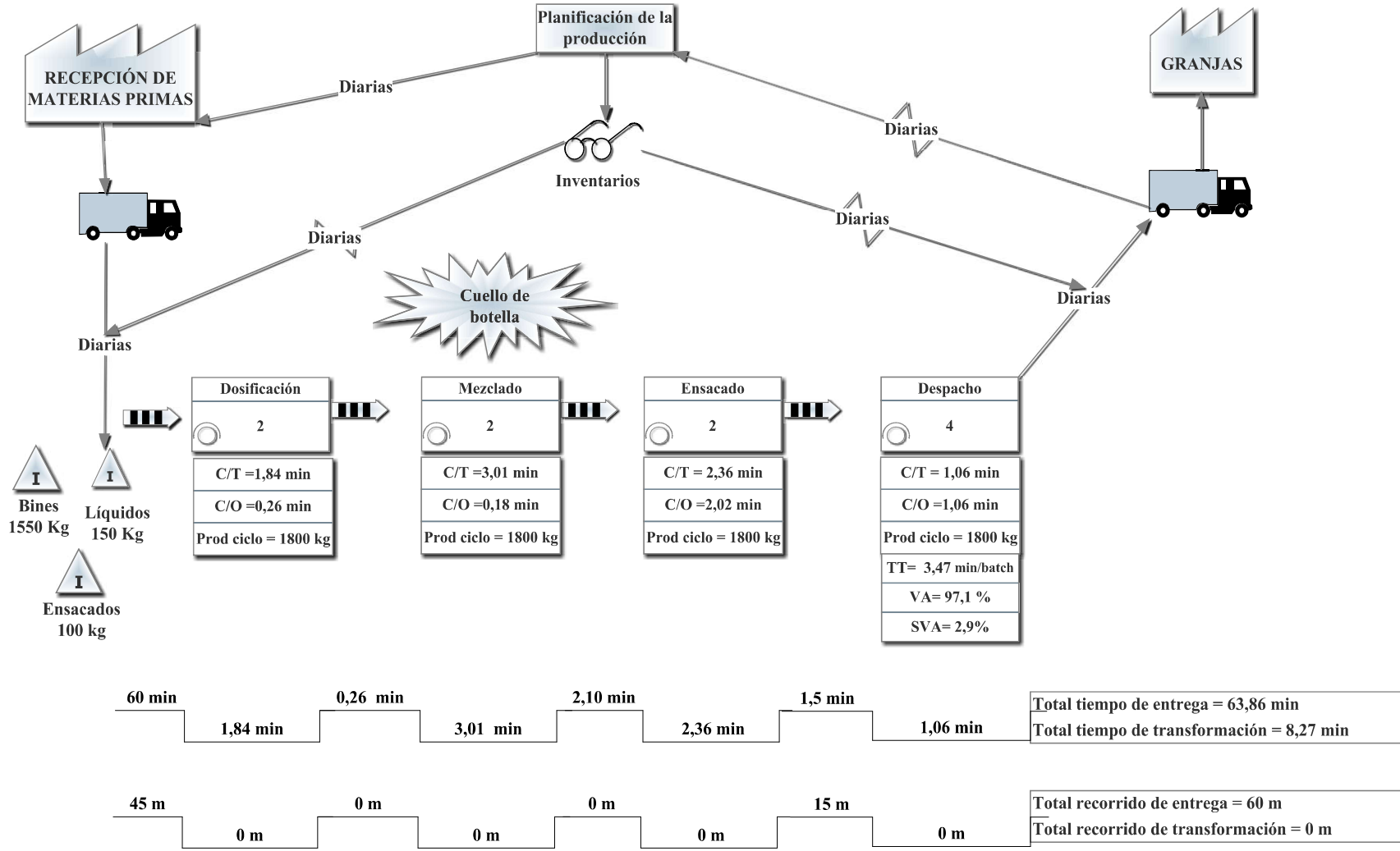


Figura 3.25. VSM del proceso de elaboración de alimento balanceado línea broilers con mejoras implementadas

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- La identificación de los procesos inmersos en la elaboración de alimento balanceado para la línea Broilers, se realizó a través del levantamiento de mapas de procesos gobernantes, donde se destacaron siete procesos operativos, cuatro de apoyo y dos estratégicos. Asimismo en el mapa de procesos nivel 1, se encontró que los procesos operativos se encuentran dentro del área de producción relacionados principalmente con bodega y control de calidad.
- En el análisis de la situación inicial de producción, los procesos claves fueron identificados mediante una matriz de priorización, en la cual se establecieron cinco procesos claves que influían en los reclamos presentados por granjas, durante los años 2015, 2016 y 2017. De los cuales, se seleccionaron tres procesos: *dosificación de bines*, *dosificación de aceite* y *calidad de mezcla*, los cuales alcanzaron una valoración en puntaje de 17, 13 y 10 puntos, respectivamente.
- Al aplicar la metodología Seis Sigma-DMAIC para medir los procesos seleccionados, se obtuvieron para el proceso de dosificación manual de bines un  $C_p = 0,75$  y un nivel sigma de 1.97, con lo cual se concluyó que no es un proceso capaz de cumplir con las especificaciones establecidas para proteína en alimento terminado ( $LES = 18 \%$  y  $LEI = 15 \%$ ). Para el proceso de dosificación de aceite se obtuvieron un  $C_p = 0,18$  y un nivel sigma de 0,75, con lo cual se concluyó que no es un proceso capaz de cumplir con las especificaciones establecidas de una variación de  $\pm 1\%$  en el peso de aceite dosificado.

- Para el tercer proceso clave mezclado, la calidad de mezcla inicial obtenida para un tiempo de mezcla de 3 minutos 30 segundos fue un valor de coeficiente de variación  $CV= 9,39 \%$  calificándose la mezcla como excelente; sin embargo el valor obtenido es muy cercano al parámetro máximo  $CV=10\%$ .
- Una vez analizada la alternativa de mejora para el proceso de dosificación de bins, fue implementada la automatización del proceso, la cual permitió alcanzar un  $Cp= 0,9$  y un nivel sigma de 2,4, con esta condición se evidenció el cumplimiento de las especificaciones de proteína ( $LES= 18 \%$  y  $LEI=15 \%$ ).
- De igual forma una vez analizada la alternativa de mejora para el proceso de dosificación de aceite, fue instalado el nuevo equipo de dosificación de aceite, el cual permitió alcanzar un  $Cp= 4,5$  y nivel sigma de 6., Se evidenció el cumplimiento del parámetro de variación establecido de  $\pm 1 \%$  en el peso de dosificación del aceite.
- La calidad de mezcla con las mejoras realizadas en la dosificación de ingredientes por la boca de la mezcladora y estandarización del procedimiento de pruebas de mezclado para un tiempo de 3 minutos 30 segundos, alcanzó un  $CV= 8,28 \%$ ; sin embargo el tiempo con el que la empresa trabajaría es de 3 minutos y con un  $CV= 9,32 \%$ , con el objetivo de alcanzar una mayor producción diaria.
- Las mejoras implementadas permitieron la automatización de algunas actividades y mayor rapidez de dosificación de aceite, se incrementó la productividad diaria de  $0,001037 \text{ batch}/\$$  a  $0,001038 \text{ batch}/\$$  lo que significó un incremento en productividad del  $0,19 \%$ . Adicionalmente el tiempo de ciclo del proceso de elaboración de alimento balanceado disminuyó de 14,14 minutos a 12,06 minutos. De igual forma el Takt time disminuyó de  $3,88 \text{ min}/\text{batch}$  a  $3,47 \text{ min}/\text{batch}$ .

## 4.2. Recomendaciones

- Continuar con la mejora continua del proceso de dosificación de bins para poder alcanzar un nivel sigma mejor del que ya se alcanzó en el presente trabajo.
- Continuar con la mejora de la calidad de la mezcla, mediante nuevas pruebas de mezclado y el control de otros parámetros como tiempo de mezcla seca, tiempo de mezcla húmeda y tamaño de partículas de los ingredientes.
- Sociabilizar y reforzar periódicamente a todo el personal de planta alimentos, los nuevos procedimientos para lograr mantener el control alcanzado en los procesos mejorados.
- Fundamentar la mejora de otros los otros procesos claves establecidos en el presente trabajo, para que sirva de guía.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acedo J., y González R., (2001). Seguridad Alimentaria y Fabricación de Piensos Compuestos, Recuperado de: [http://www.adiveter.com/ftp\\_public/articulo453.pdf](http://www.adiveter.com/ftp_public/articulo453.pdf). (Enero, 2019).
2. Almache, D. (2018). Precio de Carne de Pollo en Crisis. Revista Soya y Maíz, 2018 (01), 20-48. Recuperado de: [http://www.maizsoya.com/indice\\_revista.php?fecha=20180201](http://www.maizsoya.com/indice_revista.php?fecha=20180201). (Enero, 2019)
3. Alltech. (2019). 8va Encuesta Global Anual sobre Alimento Balanceado de Alltech. Recuperado de: [https://www.alltech.com/sites/default/files/2019-01/GFS\\_Brochure\\_2019-SPANISH\\_final.pdf](https://www.alltech.com/sites/default/files/2019-01/GFS_Brochure_2019-SPANISH_final.pdf).
4. Baca, G., Cruz, M., Cristobal, M., Baca, C., Gutiérrez, J., Pacheco, A.,...Obregón, M., (2014). Introducción a la Ingeniería Industrial. (2da. ed.). San Juan Tliluaca, México: Patria.
5. BBCross Business Solutions, (2012), Tabla de Conversión Nivel Sigma, DPMO, CPK. Recuperado de <https://sixsigmacr.wordpress.com/2012/04/10/tabla-de-conversion-nivel-sigma-dpmo-cpk/>
6. Béltran, J. (2004). Indicadores de Gestión. [http://www.infoservi.com/infoservi/pdf/Indicadores\\_De\\_Gestion.pdf](http://www.infoservi.com/infoservi/pdf/Indicadores_De_Gestion.pdf)
7. Beltrán, J., Carmona M., Carrasco, R., Rivas, M., y Tejedor, F., (2009). Guía Para una Gestión Basada en Procesos. España: Berekintza.
8. Besterfield, D. (2009). Control de Calidad: 9na. ed. México: Pearson.
9. Bestraten M., Orriols R., y Mata C., (2004). Análisis Modal de Fallos y EfectosAMFE. Recuperado de: [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp\\_679.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_679.pdf)
10. Bortone, E., (2001), Diseño de Plantas de Alimentos Balanceados Especializadas para Peces y Crustáceos, Curso Lance en Acuicultura, Monterrey, México: Los Seibos.

11. Carro, R. y González, D. (2012). Administración de la Calidad Total. Recuperado de [http://nulan.mdp.edu.ar/1614/1/09\\_administracion\\_calidad.pdf](http://nulan.mdp.edu.ar/1614/1/09_administracion_calidad.pdf)
12. Cevallos, F. (2017). Automatización Contribuirá a Mayores Rendimientos. Revista Soya y Maíz, 2017 (03) , 17-49. Recuperado de: [http://www.maizsoya.com/indice\\_revista.php?fecha=20171001](http://www.maizsoya.com/indice_revista.php?fecha=20171001) (Enero, 2019)
13. Cuatrecasas, L. (2010). Lean management: La Gestión Competitiva por Excelencia. Barcelona: Bresca.
14. C.E.E.I Galacia, (2010). Dirección Estratégica Empresarial. España: C.E.E.I Galacia
15. D´ Alessio, F. (2004). Administración y Dirección de la Producción. (2da. ed.). México:Mexicana.
16. Escalante, E. (2010). Seis Sigma Metodologías y Técnicas. Limusa
17. Escalante, A. y Gonzales, J. (2016). Métodos y Tiempos con Manufactura Agil. Colombia: Alfaomega.
18. Evans, J. y Linddsay, W. (2008). Administración y Control de la Calidad: 7ma ed. (Sánchez, F). México:Cengage Learning.
19. FAO. (2014). Buenas Prácticas para la Industria de Piensos. Roma.
20. Fundación OSDE. (1998). Dirección Estratégica. Argentina: Fundación OSME.
21. Gutierrez, H. y De la Vara, R. (2013). Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma.
22. Herrera, R. y Fontalvo, T. (2000). Seis Sigma un Enfoque Práctico. Corporación para la Gestión del Conocimiento.
23. Herrera, R. y Fontalvo, T. (2000). Seis Sigma: Métodos Estadísticos y sus Aplicaciones
24. Gutierrez, H. y De la Vara, R. (2013). Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma.
25. INEN-ISO 13053. (2014 a). ISO 13053-1-Métodos Cuantitativos en la Mejora de Procesos Seis Sigma. Parte 1 Metodología DMAIC. Quito: INEN.
26. INEN-ISO 13053. (2014 b). ISO 13053-2-Métodos Cuantitativos en la Mejora de Procesos Seis Sigma. Parte 2 Herramientas y Técnicas. Quito:INEN

27. ISO 9001. (2015). ISO 9001:2015. Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es> (06,2018).
28. ISO. (2008). ISO/TC 176/SC 2/N 544R3-Orientación sobre el Concepto y Uso del Enfoque basado en Procesos para los Sistemas de Gestión. Recuperado de <https://docplayer.es/19244007-Iso-tc-176-sc-2-n-544r3-traduccion-del-documento.html>, (Mayo, 2018).
29. Kansas State University. (1994). Testing Mixer Performance. Recuperado de: <https://studylib.net/doc/14390278/testing-mixer-performance-t> (Enero, 2017).
30. Klein Antonio, (2013), Puntos Clave en Procesamiento de Alimentos Balanceados e Indicadores Referenciales, Nutriciencia Internacional-Adisseo, Costa Rica.
31. López, A., Molina, R., Contreras, R., Ríos, M., y López, C., (2017). Capacidades Tecnológicas: Impacto en la Competitividad Productiva. México:Pearson.
32. Mark, G. (2010). La Guía Lean Six Sigma. XX
33. Marqués, M. (2016). Control de Calidad: Técnicas y Herramientas. México: Alfaomega.
34. Medina, J. (2007). Modelo Integral de Productividad. Bogotá: Digiprint.
35. Organización Internacional del Trabajo. (1996). Introducción al Estudio del Trabajo. Ginebra:
36. Pande, P. Neuman, R. y Cavanagh, R. (2004). Las Claves prácticas de Seis Sigma:
37. Rendenbach, E y Goeke, R. (2010). Seis Sigma Estratégico.
38. Socconini, L. (2015). Lean Six Sigma Green Belt. Alfaomega.
39. Socconini, L. (2016). Lean Six Sigma Yellow Belt. Alfaomega.
40. Tandalla, R., (2010), Evaluación de Diferentes Niveles de Proteína Bruta y Lisina en Dietas para Pollos Parrilleros. (Proyecto de Titulación). Recuperada de: <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/1185/1/17T0980.pdf>
41. Bestraten M., Orriols R., y Mata C., (2004). Análisis Modal de Fallos y EfectosAMFE. Recuperado de: [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp\\_679.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_679.pdf)

