



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS

INGENIERÍA EN ALIMENTOS

IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS (CEP) EN UNA EMPRESA DE PANIFICACIÓN

Tesis para optar al título de Ingeniero en Alimentos

PATROCINANTE:

Roberto Lemus-Mondaca
Ingeniero en Alimentos
Doctor en Ingeniería de Procesos

DIRECTORES:

Luis Puente Díaz
Ingeniero en Alimentos
Doctor en Tecnología de Alimentos

Ramón Sarmiento
Licenciado en Química
Supervisor de Calidad
BredenMaster

SEBASTIÁN ALFONSO MOYA MUÑOZ

Santiago - Chile

2020

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia quiero agradecer al área de Aseguramiento de Calidad de la empresa de panificación por ofrecerme su apoyo, recursos, información y datos necesarios para desarrollar la memoria, en especial a Ramón Sarmiento por guiarme durante la realización de este trabajo.

Además, agradezco a Gabriela, Flavia y amigos creados en la empresa por su apoyo y orientación para ser un mejor profesional.

También agradecer a los profesores por orientarme y aconsejarme durante todo mi proceso universitario.

Por último, agradezco a Patricio, Silvana, Irene, Fernando, Constanza, Bauer y a mis padres por su esfuerzo y consejos que me entregaron para alcanzar mis metas.

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN.....	13
2	MARCO TEÓRICO	14
	2.1 Panificación	14
	2.1.1 Pan.....	14
	2.1.2 Proceso de elaboración y equipos	15
	2.2 Calidad	20
	2.3 Control Estadístico de Proceso (CEP).....	21
	2.3.1 Gráficas de control	24
	2.3.2 Capacidad de proceso.....	28
	2.4 Implementación CEP en industrias.....	32
	2.5 Planteamiento del Problema.....	33
3	HIPÓTESIS.....	38
4	OBJETIVOS.....	38
	4.1 Objetivo General.....	38
	4.2 Objetivos Específicos	38
5	MATERIALES Y METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	39
	5.1 Materiales	39
	5.2 Metodología.....	40
	5.2.1 Situación Actual Empresa	41
	5.2.2 Descripción del Proceso.....	41
	5.2.3 Proceso de Síntesis.....	41
	5.2.4 Monitoreo del Proceso.....	42
	5.2.5 Establecimiento Plan de Acción (OCAP).....	43
	5.2.6 Capacidad de Proceso	43
	5.2.7 Evaluación de Resultados	43
6	IMPLEMENTACIÓN CEP	44
	6.1 Situación Actual Empresa.....	44

6.2	Descripción del Proceso	45
6.2.1	Descripción Línea H	45
6.2.2	Límites del proyecto	50
6.3	Proceso de Síntesis.....	51
6.3.1	Diagrama Causa Efecto (Ishikawa)	52
6.3.2	Diseño de experimentos (DOE).....	53
6.4	Monitoreo del proceso	78
6.4.1	Hallulla.....	79
6.4.2	Pan Amasado Grande	85
6.5	Establecimiento Plan de Acción (OCAP).....	91
6.6	Capacidad de Proceso	94
6.6.1	Capacidad Proceso: Hallulla	95
6.6.2	Capacidad Proceso: Pan Amasado Grande	100
6.7	Evaluación de Resultados	105
6.7.1	Proceso antes y después CEP	105
6.7.2	Evaluación especificaciones.....	110
6.7.3	Porcentaje Producto No Conforme.....	111
6.7.4	Estimación reducción de pérdidas.....	112
7	CONCLUSIÓN.....	114
8	BIBLIOGRAFÍA.....	116
ANEXOS		121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Índices Cp, Cpi y Cps en términos de la cantidad de piezas malas.....	31
Tabla 6.1 Porcentaje promedio Producto Terminado No Conforme (periodo de enero-junio 2019).	44
Tabla 6.2 Descripción diagrama de flujo.....	47
Tabla 6.3 Marco del Proyecto.	50
Tabla 6.4 Parámetros de proceso: Hallulla y Pan Amasado Grande.	54
Tabla 6.5 Lista de parámetros de proceso y sus respectivos niveles para el producto Hallulla.....	55
Tabla 6.6 Lista de parámetros de procesos y sus respectivos niveles para el producto Pan Amasado Grande.....	55
Tabla 6.7 Diseño de experimento: Hallulla.	57
Tabla 6.8 Peso promedio de los efectos principales: Hallulla.	58
Tabla 6.9 Peso promedio de las combinaciones BC y BD: Hallulla.	59
Tabla 6.10 Condiciones de proceso para un peso mínimo y máximo: Hallulla.	60
Tabla 6.11 Altura promedio de los efectos principales: Hallulla.	64
Tabla 6.12 Altura promedio de las combinaciones BC y AD: Hallulla.	65
Tabla 6.13 Altura promedio de las combinaciones AC y BD: Hallulla.	65
Tabla 6.14 Condiciones de proceso para un alto mínimo y máximo: Hallulla.	66
Tabla 6.15 Diseño de experimento: Pan Amasado Grande.....	67
Tabla 6.16 Peso promedio de los efectos principales: Pan Amasado Grande.	68
Tabla 6.17 Peso promedio de la combinación AC: Pan Amasado Grande.	69
Tabla 6.18 Condiciones de proceso para un peso mínimo y máximo: Pan Amasado Grande.	70
Tabla 6.19 Largo promedio para combinación AC: Pan Amasado Grande.	72
Tabla 6.20. Ancho promedio de los efectos principales: Pan Amasado Grande...	74

Tabla 6.21. Análisis de los indicadores de capacidad de proceso.	94
Tabla 6.22 Prueba de bondad de ajuste Hallulla.	95
Tabla 6.23 Índices de capacidad de proceso Hallulla.	97
Tabla 6.24 Prueba de bondad de ajuste Pan Amasado Grande.....	101
Tabla 6.25 Datos de capacidad de proceso Pan Amasado Grande.	104
Tabla 6.26 Rango de especificaciones posibles.	110
Tabla 6.27 Producto no conforme antes y después implementación CEP.	111
Tabla 6.28 Resultado función de Taguchi.....	112
Tabla 6.29 Reducción de pérdidas tras CEP.	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Etapas del proceso de panificación.....	16
Figura 2.2 Amasadora espiral.....	17
Figura 2.3 Divisora volumétrica.	17
Figura 2.4 Dobladora de marraquetas.....	18
Figura 2.5 Cámara de fermentación tradicional y controlada.	18
Figura 2.6 Horno eléctrico.	19
Figura 2.7 Cámara de congelación.....	19
Figura 2.8 Esquema Implementación CEP.....	22
Figura 2.9 Ejemplo de un gráfico de control.	25
Figura 2.10 Diagrama de selección para las gráficas de control.	25
Figura 2.11 Análisis de datos para estimación de capacidad de proceso.	29
Figura 2.12 Porcentaje promedio de producto no conforme para “Peso” por línea.....	34
Figura 2.13 Porcentaje promedio de producto no conforme para “Largo” por línea.....	35
Figura 2.14 Porcentaje promedio de producto no conforme para “Ancho” por línea.....	35
Figura 2.15 Porcentaje promedio de producto no conforme para “Alto” por línea.....	36
Figura 2.17 Porcentaje promedio de producto no conforme para Peso.	37
Figura 5.1 Productos a estudiar. Hallulla (A) y Pan amasado grande (B).	39
Figura 5.2 Materiales de medición. Pie de metro y balanza	39
Figura 5.3 Metodología implementación CEP.	40
Figura 5.4 Determinación de dimensiones.	42
Figura 6.1 Diagrama de Flujo Línea H.....	46

Figura 6.2 Diagrama Causa Efecto.	52
Figura 6.3 Diagrama de Pareto de efectos: Peso Hallulla.	57
Figura 6.5 Gráfica de interacciones: Peso Hallulla.	60
Figura 6.6 Diagrama de Pareto de efectos: Largo Hallulla.	61
Figura 6.7 Diagrama de Pareto de efectos: Ancho Hallulla.	62
Figura 6.8 Diagrama de Pareto de efectos: Alto Hallulla.	63
Figura 6.9 Gráfica de efectos principales: Alto Hallulla.	64
Figura 6.10 Gráfica de interacciones: Alto Hallulla.	66
Figura 6.12 Gráfica de efectos principales: Peso Pan Amasado Grande.	69
Figura 6.13 Gráfica de interacciones: Peso Pan Amasado Grande.	70
Figura 6.14 Diagrama de Pareto de efectos: Largo Pan Amasado Grande.	71
Figura 6.15 Gráfica de interacciones: Largo Pan Amasado Grande.	72
Figura 6.16 Diagrama de Pareto de efectos para Ancho Pan Amasado Grande.	73
Figura 6.17 Gráfica de efectos principales: Ancho Pan Amasado Grande.	74
Figura 6.18 Gráfica de interacciones: Ancho Pan Amasado Grande.	75
Figura 6.19 Diagrama de Pareto de efectos: Alto Pan Amasado Grande.	76
Figura 6.20 Gráfica de efectos principales: Alto Pan Amasado Grande.	77
Figura 6.21 Gráfico de promedio: Peso Hallulla.	79
Figura 6.22 Gráfico de desviación estándar: Peso Hallulla.	80
Figura 6.23 Gráfico de promedio: Largo Hallulla.	81
Figura 6.24 Gráfico de desviación estándar: Largo Hallulla.	81
Figura 6.25 Gráfico de promedio: Ancho Hallulla.	82
Figura 6.26 Gráfico de desviación estándar: Ancho Hallulla.	83
Figura 6.27 Gráfico de promedio: Alto Hallulla.	84
Figura 6.28 Gráfico de desviación estándar: Alto Hallulla.	84

Figura 6.29 Gráfico de promedio: Peso Pan Amasado Grande.....	85
Figura 6.30 Gráfico de desviación estándar: Peso Pan Amasado Grande.....	86
Figura 6.31 Gráfico de promedio: Largo Pan Amasado Grande.....	87
Figura 6.32 Gráfico de desviación estándar: Largo Pan Amasado Grande.....	87
Figura 6.33 Gráfico de promedio: Ancho Pan Amasado Grande.....	88
Figura 6.34 Gráfico de desviación estándar: Ancho Pan Amasado Grande.....	88
Figura 6.35 Gráfico de promedio: Alto Pan Amasado Grande.....	89
Figura 6.36 Gráfico de desviación estándar: Alto Pan Amasado Grande.....	90
Figura 6.37 Plan de acción (OCAP).	93
Figura 6.39. Análisis de capacidad de proceso Hallulla. A) Peso, B) Largo, C) Ancho y D) Largo.	98
Figura 6.40. Análisis de capacidad de proceso Pan Amasado Grande. A) Peso; B) Largo, C) Ancho y D) Alto.....	102
Figura 6.41 Gráficos de control para dimensiones antes (A) y después (B) de CEP: Hallulla.	106
Figura 6.42 Gráficos de control para dimensiones antes (A) y después (B) de CEP: Pan Amasado Grande.....	108

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Factores para calcular límites de control.	121
Anexo 2. Herramienta Estadística de Monitoreo.	122
Anexo 3. Intervalos de tolerancia (95%) para posibles nuevas especificaciones para Hallulla.	123
Anexo 4. Intervalos de confianza (95%) para posibles nuevas especificaciones para Pan Amasado Grande.....	123
Anexo 5. Gráficos de control: Desviación Estándar Hallulla antes y después de implementación CEP.....	124
Anexo 6. Gráficos de control: Desviación Estándar Pan amasado grande antes y después de implementación CEP.	126

RESUMEN

IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS (CEP) EN UNA EMPRESA DE PANIFICACIÓN

Una de las principales herramientas para el control de calidad en las industrias es el Control Estadístico de Procesos (CEP). Sin embargo, se evidencia una baja implementación CEP en la industria alimentaria, debido principalmente a la falta de pautas prácticas CEP y la percepción de que el CEP es una herramienta muy avanzada. Como en la empresa se observa un incumplimiento de las dimensiones de los productos terminados hallulla y pan amasado grande, el objetivo principal de este trabajo es evaluar el proceso de elaboración de estos productos de una empresa de panificación a través de la implementación del Control Estadístico de Proceso para mejorar los parámetros de calidad de los productos.

Para este objetivo se determinó la situación actual de la empresa, evaluándose el porcentaje de no conformidad de los productos por línea de producción, dando como resultado que la línea H presentó el mayor porcentaje de producto no conforme a especificaciones. Por esta razón, se estudió los productos hallulla y pan amasado grande.

Además, se estudiaron sus parámetros críticos de control mediante diseño de experimento y se monitoreo las dimensiones de los productos mediante gráficas de control. Se estableció un plan de acción frente a los puntos fuera de control que consistió principalmente en revisar si están calibradas las balanzas, ajustar los parámetros de proceso y ajustar el calibrador de presión presente en la línea de elaboración. Con los datos bajo control estadístico, se calculó la capacidad de proceso de ambos productos, concluyendo que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones de dimensión establecidas, por lo que se recomienda establecer nuevas especificaciones. Por último, se estimó una reducción de las perdidas tras la implementación CEP, obteniéndose una reducción del 10% y 68% para el producto Hallulla y pan amasado grande, respectivamente.

SUMMARY

IMPLEMENTATION OF STATISTICAL PROCESS CONTROL (SPC) IN A BAKERY INDUSTRY

One of the main tools for quality control in industries is Statistical Process Control (SPC). However, there is a low CEP implementation in the food industry, mainly due to the lack of practical CEP guidelines and the perception that CEP is a very advanced tool. As the company does not comply with the dimensions of the finished products “hallulla” and “large kneaded bread”, the main objective of this work is to evaluate the process of making these products of a bakery industry through the implementation of Statistical Control of Process to improve the quality parameters of the products.

For this purpose, the current situation of the company was determined, evaluating the percentage of non-conformity of the products by production line, resulting in that line “H” presented the highest percentage of non-conforming product. For this reason, “hallulla” and “large kneaded bread” products were studied.

In addition, its critical control parameters were studied through experimental designs and the dimensions of the products were monitored through control charts. An action plan was established against out-of-control points that consisted mainly of checking if the balances were calibrated, adjusting the process parameters, and adjusting the pressure gauge in the production line. With data under statistical control, process capability of both products was calculated, concluding that the process is not capable of meeting the established dimension specifications, for which it is recommended to establish new specifications. Lastly, a reduction in losses was estimated after SPC implementation, obtaining a reduction of 10% and 68% for “hallulla” and “large kneaded bread”, respectively.

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la importancia de la calidad ha crecido de manera crítica en el sector alimentario, principalmente debido a las estrictas expectativas de los consumidores, las regulaciones gubernamentales y la competencia en el mercado. Para responder tales demandas, la industria de alimentos empezó a buscar soluciones a través de técnicas de control de calidad (Dora et al., 2013; Lim, Antony y Albliwi, 2014).

Una de las principales herramientas utilizadas para el control de calidad son los mecanismos de inspección, cuya herramienta sólo proporciona información “defectuoso/No defectuoso” sin informar sobre si las variables de proceso afectan sobre el producto final. Además, la inspección implica la destrucción de la muestra en la mayoría de las veces. Esto da espacio para que otras técnicas, como “El Control Estadístico de Proceso (CEP)”, permita investigar la variabilidad en la producción de alimentos (Paiva, 2013; Lim, Antony y Albliwi, 2014).

El Control Estadístico de Proceso (CEP) es una de las herramientas de control de calidad ampliamente utilizadas en la industria. Se ha identificado que los beneficios de la implementación de un Control Estadístico de proceso en la industria se relacionan con: la reducción de la variación de un proceso, un mejor control de la inocuidad de los alimentos, mejor conocimiento sobre la variación del proceso y ahorro de costos (Lim, Antony y Albliwi, 2014).

Aunque CEP ha demostrado sus ventajas en el desempeño en otras empresas, tal como la automotriz, la literatura indica que su implementación en la industria alimentaria es lenta en comparación a otras industrias. Esto se debe principalmente a la falta de cultura estadística, ausencia de guías para la implementación de CEP y la percepción de que CEP es una herramienta muy avanzada (Lim et al., 2015).

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Panificación

El pan es uno de los alimentos que ha estado desde hace miles de años en el mundo y es la base de alimentación para muchos países, con diferentes tipos e ingredientes (Carreño, 2020; Mesas y Alegre, 2002). Chile es el tercer país de mayor consumo de pan a nivel mundial, con un consumo promedio de 89 kg per cápita, indicando que a lo largo del tiempo sigue siendo el principal alimento de consumo en la población chilena (Carreño, 2020; Instituto Nacional de Estadística, 2019; Ministerio de Agricultura, 2012).

2.1.1 Pan

De acuerdo con el artículo 356 del Reglamento Sanitario de los Alimentos (RSA), pan se define como “el producto de la cocción de la masa resultante de una mezcla de harina de trigo, levadura de panificación, agua potable y sal comestible, con o sin adición de mejoradores de panificación y/o enriquecedores, tales como: leche, azúcares, materia grasa u otros autorizados por el RSA” (Ministerio de Salud, 2019).

En el mundo, existe una gran variedad de panes que se diferencian principalmente por el proceso de elaboración y por la utilización de distintos ingredientes. Para elaborar un pan común, los principales ingredientes a utilizar son harina, agua, sal y levadura, los cuales presentan las siguientes funciones (Collado-Fernández, 2003; Mesas y Alegre, 2002):

- **Harina:** Es el principal ingrediente al momento de elaborar pan. El término harina designa exclusivamente al producto obtenido de la molienda del trigo. Su principal característica es su contenido proteico, ya que permite formar la red de gluten que permitirá retener el gas formado durante la fermentación. Por lo tanto, es responsable de la estructura del pan.
- **Agua:** Es el segundo componente mayoritario. Permite el amasado del pan. Su función es hidratar la harina, permitiendo la formación de gluten. Gracias al gluten y al trabajo mecánico del amasado, la masa adopta las características de elasticidad, tenacidad y cohesión.
- **Sal:** Su principal función es dar sabor al pan. Además, actúa como regulador de la fermentación, favorece la coloración de la corteza, inhibe la hidratación de la red de gluten (provocando que la masa no colapse) mejorando así la retención de gas. En general, la proporción de sal utilizada es de 1 a 2 % basado en el peso de la harina).
- **Levadura:** La principal función de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) es convertir los azúcares simples en dióxido de carbono y etanol. La producción de gas provoca la expansión de la masa.

2.1.2 Proceso de elaboración y equipos

Todos los procesos para fabricar pan tienen un objetivo en común, el cual es transformar la harina en un alimento sabroso y aireado para las personas. Para lograr esta conversión, existen pasos básicos que forman la base de toda la panificación (figura 2.1), los cuales son (Cauvain, 2015; Collado-Fernández, 2003; Mesas y Alegre, 2002):



Figura 2.1 Etapas del proceso de panificación.

- **Mezclado:** Mezcla de los ingredientes (harina, agua, levadura, sal y otros) en proporciones adecuadas.
- **Amasado:** Se desarrolla la estructura del gluten a través de la aplicación de energía durante el mezclado de los ingredientes. Además, se incorporan burbujas de aire dentro de la masa. El equipo utilizado para esta etapa se

denomina amasadora, las cuales pueden ser de espiral, de horquilla o brazo. Un ejemplo de amasadora tipo espiral se muestra en la figura 2.2.



Figura 2.2 Amasadora espiral.

- **Primer fermentado:** Etapa donde la masa descansa para que se adapte la levadura al medio. Esta etapa generalmente es sustituida por un intenso amasado de la masa.
- **División de la masa:** Etapa donde la masa se divide por peso o por volumen. El equipo que se utiliza para llevar a cabo esta etapa se conoce como divisora (figura 2.3).



Figura 2.3 Divisora volumétrica.

- **Redondeo:** Se forma una bola de masa mediante movimientos rotatorios.
- **Moldeado:** Se conforma las piezas de la masa para conseguir las especificaciones requeridas del producto. El equipo utilizado es la formadora (figura 2.4).



Figura 2.4 Dobladora de marraquetas.

- **Fermentación:** Etapa donde se expande la masa debido a la generación de dióxido de carbono y etanol que produce la levadura. La fermentación se realiza en cámaras de fermentación normales o controladas. Un ejemplo de cámara de fermentación se observa en la figura 2.5 (Maquipan, 2020).



Figura 2.5 Cámara de fermentación tradicional y controlada.

- **Horneado:** Etapa donde el producto se hornea con la finalidad de obtener un pan con las características organolépticas y nutritivas deseadas. Existen diversos tipos de hornos como los por convección, de piso, rotatorios, de cocción acelerada (Maquipan, 2020). En la figura 2.6 se observa un horno eléctrico que funciona por convección.



Figura 2.6 Horno eléctrico.

- **Preparaciones finales:** Diferentes etapas para mantener la calidad del pan elaborado: Enfriamiento, rebanado, envasado y almacenamiento. En la figura 2.7 se observa un armario de congelado para productos de panificación (Maquipan, 2020).



Figura 2.7 Cámara de congelación.

2.2 Calidad

Desde el punto de vista de los clientes, las empresas y organizaciones existen para proveer un producto, bien o servicio que satisfagan sus necesidades y expectativas. Es decir, es una exigencia fundamental de los clientes que los productos sean de *calidad*. Por lo tanto, calidad es ante todo la satisfacción del cliente, que está ligada a las expectativas que éste tiene con respecto al producto o servicio. Las expectativas son generadas de acuerdo con las necesidades, los antecedentes, el precio del producto, la publicidad, la tecnología, la imagen de la empresa, entre otros aspectos. Se dice que hay satisfacción cuando el cliente percibe del producto o servicio al menos lo que esperaba. (Gutiérrez y De la Vara, 2004; Lim, Antony y Albliwi, 2014).

Con respecto al concepto de calidad, existen diversas definiciones. Juran (1990) indica que “calidad es que un producto sea adecuado para su uso, por lo tanto, calidad consiste en la ausencia de deficiencias en aquellas características que satisfacen al cliente”. En términos menos formales, la calidad es el juicio que tiene el cliente sobre un producto o servicio resultado del grado con el cual un conjunto de características del producto cumple con los requerimientos (Gutiérrez y De la Vara, 2004). La Norma ISO 9000:2015 define calidad como “el grado en el que un conjunto de características inherentes de un objeto cumple con los requisitos”, donde los requisitos significan una necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria.

Para obtener productos de calidad, estos no deben tener *defectos*, concepto definido como “no conformidad relativa a un uso previsto o especificado” según la Norma ISO 9000:2015. Los defectos en un producto se deben a la variación de los procesos. Por lo tanto, reducir la variación de los procesos es un objetivo clave del control estadístico.

2.3 Control Estadístico de Proceso (CEP)

El “Control Estadístico de Procesos” (CEP) es un procedimiento estructurado que utiliza conceptos y técnicas estadísticas para recolectar y analizar datos de un proceso, con la finalidad de emprender acciones apropiadas que permitan el control y reducción de la variabilidad (Martínez, 2002; Pierdant y Rodríguez, 2009). Montgomery (2009) define CEP como una “colección poderosa de herramientas útiles que solucionan problemas para lograr la estabilidad del proceso y mejorar la capacidad a través de la reducción de la variabilidad”.

Para el estudio de la variabilidad de un proceso, las principales herramientas para implementar el Control Estadístico de Procesos son: diagramas de flujo, histograma, diagrama de Pareto, hoja de chequeo, diagrama causa – efecto, diagramas de dispersión y gráficas de control. Aunque todas estas herramientas son parte importante del CEP, su despliegue permite crear un entorno en el que todas las personas de una organización buscan una mejora continua en la calidad y productividad. En la figura 2.8 se observa un esquema para la implementación CEP en la industria, en donde involucra a todo el equipo de trabajo para lograr sus objetivos de mejora (Montgomery, 2009; Lim et al., 2015).

Los procesos siempre tienen variación, ya que en ellos intervienen diferentes factores, sintetizados como “6 M”: Materiales, Maquinaria, Medición, Mano de obra, Método y Medio ambiente. Bajo condiciones normales de trabajo, cada uno de estos factores aporta variación a las variables de salida del proceso en forma natural, pero también aportan variaciones especiales o fuera de lo común, ya que cada factor es susceptible a cambios, desajustes, errores, fallas entre otros aspectos. Es decir, existen dos tipos de variabilidad: las que se deben a causas comunes y las que corresponden a causas especiales o atribuibles. Estas causas se identifican con la ayuda del CEP (Nadheem, 1994; Gutiérrez y De la Vara, 2004).

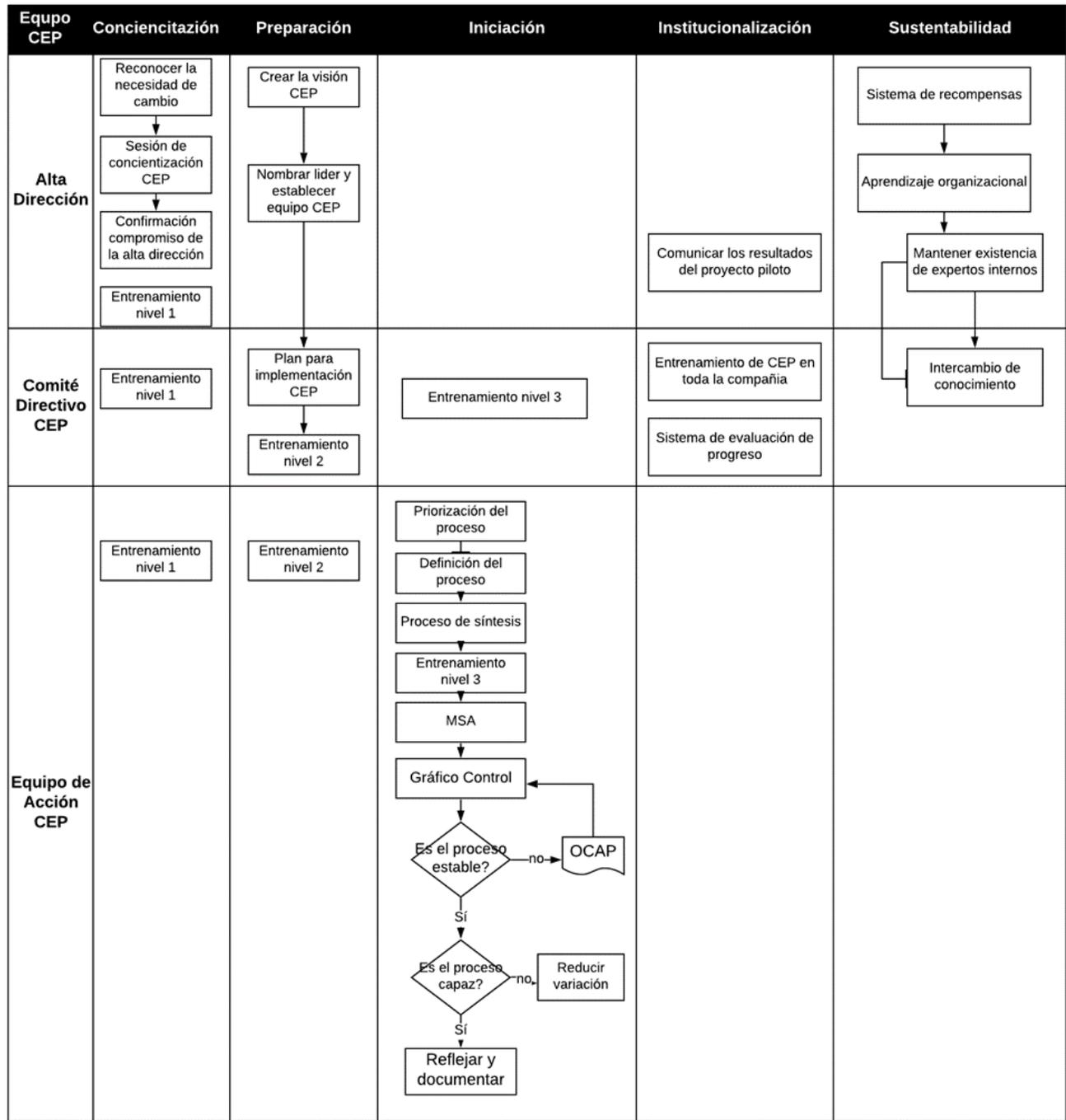


Figura 2.8 Esquema Implementación CEP.

La variación por causas comunes es aquella que es aportada de forma natural por las condiciones de las 6 M. Es resultado de la acumulación y combinación de diferentes causas que son difíciles de identificar y eliminar, puesto que son inherentes al sistema y la contribución de cada causa es pequeña. En cambio, la variación por causas especiales (o atribuibles) es causada por circunstancias especiales que no están de forma permanente en el proceso, las cuales pueden ser eliminadas si se cuenta con los conocimientos y suficiente información (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

Un objetivo principal del Control Estadístico de Procesos es detectar rápidamente la ocurrencia de causas asignables de cambios en el proceso, de modo que la investigación del proceso y la acción correctiva se puedan emprender antes de que se fabriquen muchas unidades no conformes. La gráfica de control es una técnica de monitoreo de procesos en línea ampliamente utilizada para este propósito. Por otra parte, para determinar si el proceso es capaz de cumplir las especificaciones de los clientes, es necesario determinar la capacidad de proceso.

La utilización de la gráfica de control y los índices de capacidad de proceso permiten el monitoreo del proceso, conocer como está trabajando el proceso y determinar si el proceso es capaz de cumplir con los requisitos. Además, el gráfico de control es una herramienta más utilizada en la empresa por su fácil entendimiento, ser una herramienta sencilla de manejar que permite identificar las causas problema, con la finalidad de implementar acciones correctivas para la solución de estos.

2.3.1 Gráficas de control

La gráfica de control es una de las principales técnicas del Control Estadístico de Procesos que permite observar y analizar la variabilidad y el comportamiento de un proceso a través del tiempo. Uno de los principales objetivos de una gráfica de control es detectar las causas especiales de variación de un proceso, mediante el análisis de datos. La gráfica de control distingue entre las causas comunes y especiales de variación mediante la elección de límites de control (Gryna, Chua y DeFeo, 2007).

Una gráfica de control típica se observa en la figura 2.9. Esta figura contiene una línea central (LC) que representa el valor promedio de la característica de calidad a estudiar, dos líneas denominadas límite superior de control (LSC) y límite inferior de control (LIC). Estos límites de control se escogen de modo que, si el proceso está bajo control, puntos de muestra caerán entre ellos. Mientras los puntos se encuentren dentro de los límites de control, el proceso se encuentra bajo control y no es necesaria ninguna acción, lo que significa que solo hay causas comunes dentro del proceso. Sin embargo, un punto que se trace fuera de los límites de control se interpreta como evidencia de que el proceso está fuera de control. Es decir, cuando la variación excede los límites de control estadístico, es señal de que las causas especiales han entrado al proceso y éste debe ser estudiado para identificar y eliminar la causa de variación excesiva (Gryna, Chua y DeFeo, 2007; Montgomery, 2009).

La construcción de gráficos de control contiene pasos subyacentes; selección del tipo de gráfico de control, método de muestreo y frecuencia de muestreo. Los gráficos de promedio y rango se han informado como los gráficos de control más utilizados en la industria alimentaria. La correcta selección del gráfico de control se representa en la figura 2.10 (Lim et al., 2014).

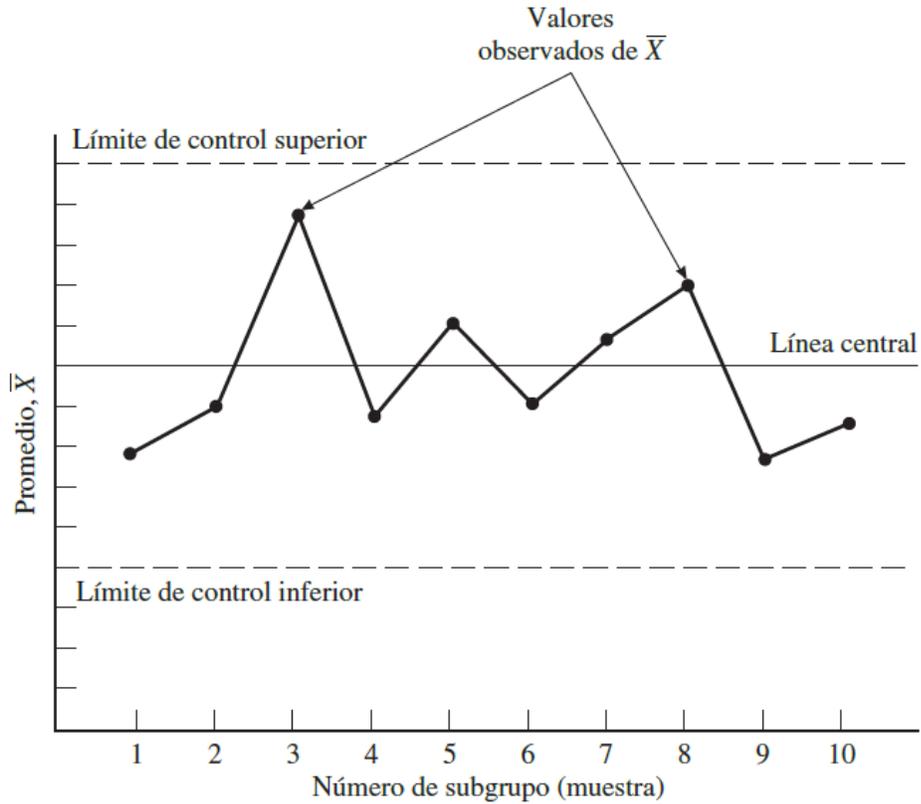


Figura 2.9 Ejemplo de un gráfico de control.

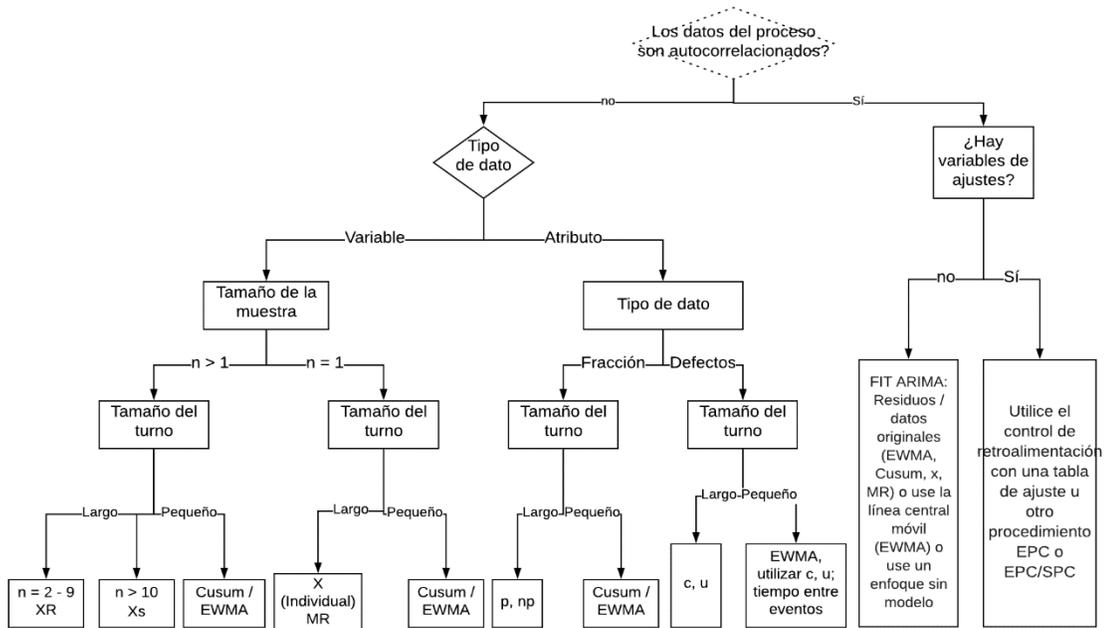


Figura 2.10 Diagrama de selección para las gráficas de control.

Los gráficos de control son básicamente de dos tipos: gráficos de control por variable y gráficos de control por atributos. En los gráficos por variables, los datos representan observaciones obtenidas midiendo y registrando el valor numérico de una característica de calidad que quiere ser controlada. En cambio, los datos en los gráficos de control por atributo representan observaciones obtenidas considerando la presencia o ausencia del atributo a estudiar (NCh 2234:1997 – ISO 8258, 1997).

Los gráficos de control por variable más utilizados son los gráficos de promedio (\bar{X}), gráficos de rango (R) y gráficos de desviación estándar (s). Este último gráfico es el apropiado para controlar las características de calidad del producto ya que la desviación estándar es una medida de variabilidad más precisa (Narotamo, 2017).

Para la construcción de este tipo de gráficos, se asume que los datos de las muestras siguen una distribución normal. Considerando lo anterior, el promedio y la desviación estándar de un subgrupo de “n” datos o muestras se calculan de acuerdo con las siguientes ecuaciones (NCh 2234 – ISO 8258, 1997):

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Donde:

X = representa el valor de la característica de calidad a medir (valor individual se expresa como X_1, X_2, X_3, \dots)

\bar{X} = Es el valor promedio del subgrupo

s = Desviación estándar de un subgrupo

Los límites de control para los gráficos de desviación estándar, asumiendo que existen “m” subgrupos y que cada subgrupo presenta el mismo número de unidades de muestras se calcula siguiendo las siguientes fórmulas:

$$LSC = B_4 * \bar{s} \quad (3)$$

$$LC = \bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^m s_i}{m} \quad (4)$$

$$LIC = B_3 * \bar{s} \quad (5)$$

Donde:

LSC = Límite Superior de Control

LC = Límite Central

LIC = Límite Inferior de Control

\bar{s} = Valor promedio de las desviaciones estándar de los subgrupos

Teniendo en cuenta estos valores, es posible calcular los límites de control para los gráficos de control de promedios siguiendo las siguientes ecuaciones:

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_3 * \bar{s} \quad (6)$$

$$LC = \bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_i}{m} \quad (7)$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_3 * \bar{s} \quad (8)$$

Donde:

LSC = Límite Superior de Control

LC = Límite Central

LIC = Límite Inferior de Control

$\bar{\bar{X}}$ = Valor promedio de los promedios de los subgrupos

Los valores constantes A_3 , B_3 y B_4 son valores tabulados para valores de “n” muestras se encuentran en el anexo 1.

2.3.2 Capacidad de proceso

Otra herramienta estadística que permite medir la variabilidad inherente del proceso de una característica dada es la *capacidad de proceso*. La capacidad de proceso mide la habilidad de un proceso que genera un producto u ofrece un servicio que cumpla o se ajusta a las especificaciones (Mosquera et al., 2010; Montgomery, 2009). Existen diversos índices que permiten analizar la capacidad de un proceso, tales como el índice Cp, Cr, Cpk, Cpm, Pp, Ppk, entre otros, permitiendo tener un amplio abanico de indicadores factibles de aplicar en un proceso o servicio (Gutierrez y De la Vara, 2009; Mosquera-Artamonov et al., 2014).

Para determinar los diferentes índices de capacidad de un proceso, este debe cumplir con dos condiciones esenciales (Montgomery, 2009; Mosquera-Artamonov et al., 2014):

1. El proceso debe estar bajo control (control estadístico)
2. Los datos se deben ajustar a una distribución normal

Cuando los datos no se ajustan a una distribución normal, se debe realizar una estimación de la distribución de los datos escogiéndose la distribución que presente (ya sea una distribución exponencial, Weibull, Gamma u otra) un mejor ajuste a los datos recolectados. En caso de que la prueba de bondad de ajuste para los datos presente un valor p menor que el nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), se puede asumir una distribución normal siempre que el tamaño de la muestra sea mayor a 20 unidades o utilizar una distribución no paramétrica que ajuste a los datos (Mosquera, 2011; Mosquera-Artamonov et al., 2014; Santiago, 2014; Soporte de Minitab 18, 2019;) En la figura 2.11 se presenta el esquema para determinar la capacidad de un proceso o servicio.

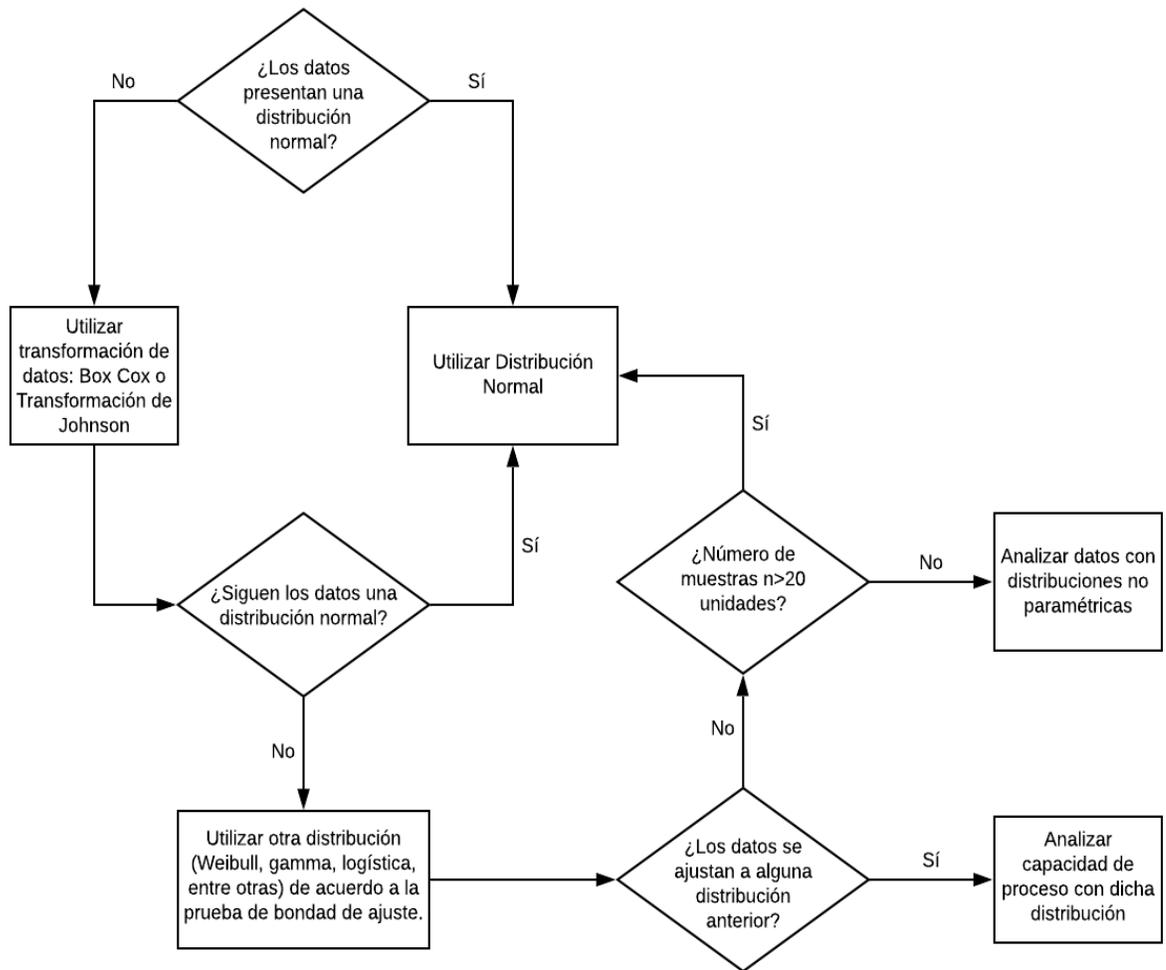


Figura 2.11 Análisis de datos para estimación de capacidad de proceso.

La información sobre la capacidad de proceso permite establecer límites realistas de especificación. Comúnmente, se utilizan los índices de capacidad potencial (C_p) y capacidad real durante la producción (C_{pk}) para mostrar cuán capaz es un proceso de cumplir con sus límites de especificación. El índice C_p mide si la variabilidad del proceso puede adaptarse dentro del rango de la especificación. Se define de la siguiente manera:

$$C_p = \frac{\text{Rango de especificación}}{\text{Capacidad del proceso}} = \frac{ES - EI}{6 \sigma} \quad (9)$$

Donde " σ " corresponde a la desviación estándar del proceso, mientras que ES y EI son las especificaciones superior e inferior para la característica de calidad. Para que el proceso sea considerado potencialmente capaz de cumplir con especificaciones, se requiere que la variación real (natural) siempre sea menor que la variación tolerada (especificaciones).

Sin embargo, el índice C_p no indica si el proceso está funcionando en realidad dentro de las especificaciones, ya que no incluye una medida del promedio del proceso. Por lo tanto, el índice de capacidad real de proceso (C_{pk}), es un ajuste del índice C_p que toma en cuenta el centrado del proceso. El índice C_{pk} se define de la siguiente manera (Gryna, Chua y DeFeo, 2007; American Society for Quality, 2019).

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \left(\frac{\mu - EI}{3 \sigma}; \frac{ES - \mu}{3 \sigma} \right) \quad (10)$$

Donde " μ " corresponde al promedio del proceso. Si $C_{pk} < 1$, entonces el proceso no cumple con por lo menos una de las especificaciones. Algunos elementos adicionales para la interpretación del índice C_{pk} son los siguientes:

El índice C_{pk} siempre va a ser menor o igual que el índice C_p . Cuando son muy próximos, eso indica que la media del proceso está muy cerca del punto medio de las especificaciones, por lo que la capacidad potencial y real son similares. Por otra parte, si el valor del índice C_{pk} es mucho más pequeño que el C_p , significa que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones. De esa manera, el índice C_{pk} estará indicando la capacidad real del proceso, y si se corrige el problema de descentrado se alcanzará la capacidad potencial indicada por el índice C_p .

Cuando el valor del índice C_{pk} sea mayor a 1,25 en un proceso ya existente, se considerará que se tiene un proceso con capacidad satisfactoria. Mientras que para procesos nuevos se pide que $C_{pk} > 1,45$. Es posible tener valores del índice C_{pk} iguales a cero o negativos, e indican que la media del proceso está fuera de las especificaciones. Para una mayor precisión en la interpretación de los índices, se presenta la tabla 2.1, que se fundamenta en cuatro supuestos: que la característica de calidad se distribuye de manera normal, que el proceso está centrado, bajo control estadístico y que se conoce su desviación estándar (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

Tabla 2.1 Índices C_p , C_{pi} y C_{ps} en términos de la cantidad de piezas malas.

Valor del índice (Corto plazo)	Proceso con doble especificación (C_p)		Con referencia a una sola especificación (C_{pi} , C_{ps} , C_{pk})	
	% Fuera de las dos especificaciones	Partes por millón fuera (ppm)	% Fuera de las dos especificaciones	Partes por millón fuera (ppm)
0,2	55%	548.506	27%	274.253
0,3	37%	368.120	18%	184.060
0,4	23%	230.139	12%	115.070
0,5	13%	133.614	7%	66.807
0,6	7%	71.861	4%	35.930
0,7	4%	35.729	2%	17.864
0,8	2%	16.395	1%	8.198
0,9	1%	6.933	0%	3.467
1	0%	2.700	0%	1.350
1,1	0%	967	0%	483
1,2	0%	318	0%	159
1,3	0%	96	0%	48
1,4	0%	27	0%	13
1,5	0%	7	0%	3
1,6	0%	2	0%	1
1,7	0%	0	0%	0
1,8	0%	0	0%	0
1,9	0%	0	0%	0
2	0%	0	0%	0

2.4 Implementación CEP en industrias

El Control Estadístico de Procesos (CEP) es una de las técnicas de control de calidad ampliamente utilizadas en la industria, como por ejemplo en las industrias automotriz, servicios y empresas metalúrgicas. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, se evidencia una baja implementación CEP en la industria alimentaria (Dora et al., 2013; Lim et al., 2015; Sousa et al., 2017). De hecho, en pequeñas y medianas empresas de alimentos, el método de control de calidad ampliamente utilizado en la industria correspondía la inspección visual con un 71%, seguido por AS 22% y CEP con un 15% (Dora et al., 2013).

La industria de panificación, junto con la industria láctea, han sido las principales empresas en implementar CEP para el control de proceso. Esto podría deberse a la menor cantidad y por procesos menos complejos en estas industrias en comparación con otros tipos de productos, lo que permite una aplicación más amplia de CEP (Lim, Antony y Albliwi, 2014).

Hay varios factores que impiden que las industrias de alimentos obtengan las ventajas de implementar el CEP. Las limitaciones más comunes son la falta de pensamiento estadístico, la falta de pautas prácticas CEP y la percepción de que el Control Estadístico de Proceso es una herramienta muy avanzada para su utilización en la industria alimentaria. Por otra parte, se observa que un desafío a superar que posee que tiene la industria son la resistencia al cambio, la falta de conocimiento sobre CEP y la ausencia de apoyo en la gestión de su implementación.

Sin embargo, el CEP es visto como una técnica poderosa para el control de calidad ya que presenta beneficios tales como, la reducción de la variación del proceso, la predicción del comportamiento del proceso, se produce una menor cantidad de productos defectuosos, aumenta la conciencia y conocimiento estadístico. Todos estos beneficios permiten mejoras en la calidad del producto y del proceso (Lim, Antony y Albliwi, 2014; Lim et al., 2015).

2.5 Planteamiento del Problema

La empresa de panificación en estudio se dedica a la fabricación y comercialización de productos de panadería congelados. Ofrece diversos productos, donde destacan principalmente las distintas variedades de panes consumidas en el mercado (hallulla, marraquetas, panes para “hot dog”, coliza, entre otros).

El control de calidad en la empresa consiste en primer lugar, controlar las distintas materias primas que ingresan a la empresa. En este caso, la principal materia prima es la harina, la cual debe cumplir con las especificaciones descritas en ficha técnica (datos microbiológicos, contenido ácido fólico, datos nutricionales, contenido de vitaminas y minerales, metales pesados, entre otros). Además, la harina es analizada en un alveógrafo y mixógrafo que mide las características reológicas de la masa.

Durante el proceso de elaboración de los productos, el control de calidad en la empresa consiste en realizar inspecciones a los parámetros de proceso y mediciones de peso, largo, ancho y alto a los productos terminados de cada línea productiva, cuyos datos se registran en el documento *“Planilla Control PT”*.

En dicho documento, se observa un incumplimiento de las dimensiones descritas en fichas técnicas, lo que se puede deber a que el proceso no es capaz de cumplir las especificaciones establecidas por la empresa. Además, existe información estadística que no se utiliza para realizar un análisis que permita el monitoreo del proceso productivo para determinar si éste se encuentra bajo control. Esta situación provoca que no se puedan tomar decisiones de manera rápida para controlar el proceso en caso de observarse problemas de sobrepeso o problemas de envasado debido a que los productos presentan dimensiones fuera de especificación.

A partir de esta información ya registrada, se determinó en primer lugar el porcentaje de producto terminado (PT) por línea productiva que no cumple con las

especificaciones (peso, largo, ancho y alto) descritas en fichas técnicas. Los datos analizados corresponden al periodo del primer semestre del año 2019 (enero a junio).

En relación con el porcentaje de producto terminado que no cumple con las especificaciones en la empresa, se observa que para la variable “peso”, la mayoría de las líneas productivas presentan un porcentaje mayor al 30% de producto no conforme a especificación, siendo la línea “E” con mayor porcentaje de producto no conforme, con un 49% (figura 2.12).

En la figura 2.13, 2.14 y 2.15 se puede observar el análisis del porcentaje de productos por línea que no cumple con especificación para las variables largo, ancho y alto respectivamente. Para la variable largo y ancho, se observa que la línea con mayor porcentaje de producto no conforme corresponde a los productos elaborados en la línea H, con un porcentaje de 30% y 28%, respectivamente. Para la variable Alto, las líneas “A” y “H” presentaron los porcentajes más elevados de producto no conforme, con un 24% y 23% respectivamente.

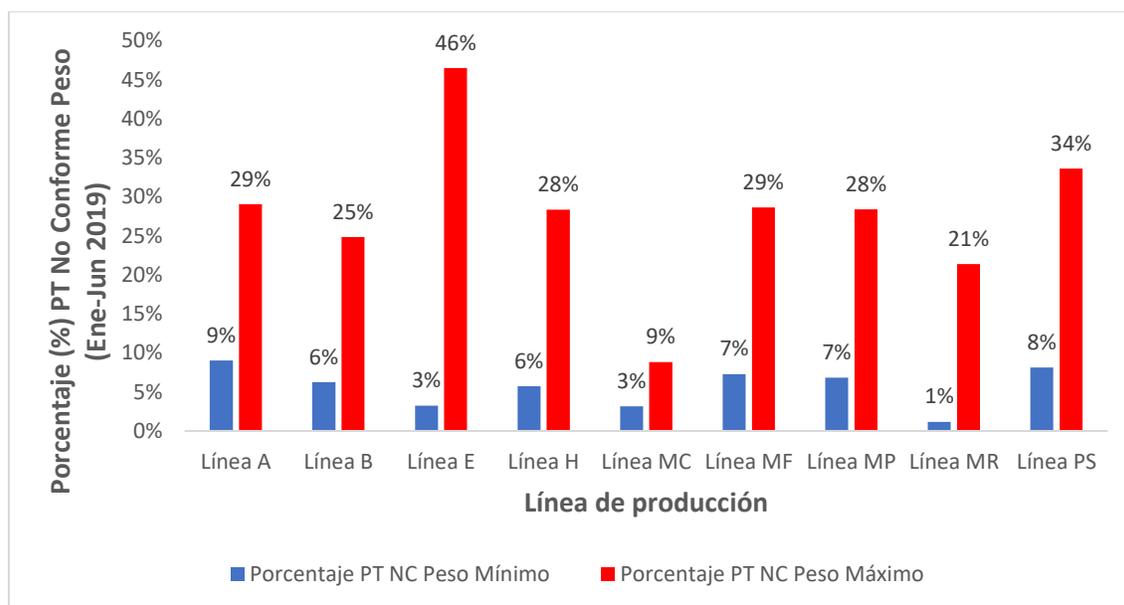


Figura 2.12 Porcentaje promedio de producto no conforme para “Peso” por línea.

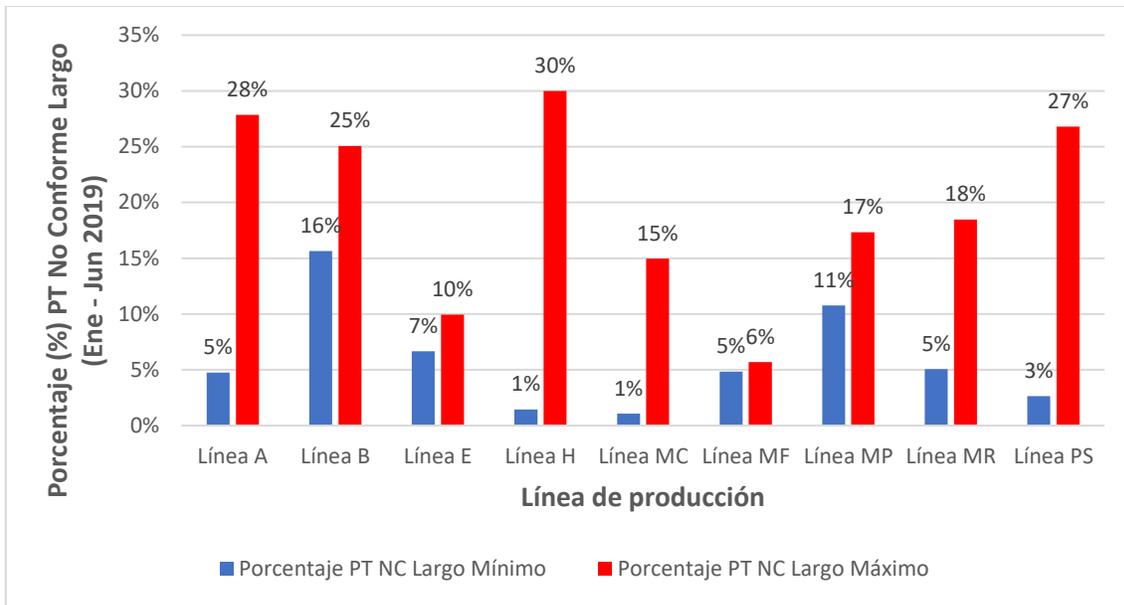


Figura 2.13 Porcentaje promedio de producto no conforme para “Largo” por línea

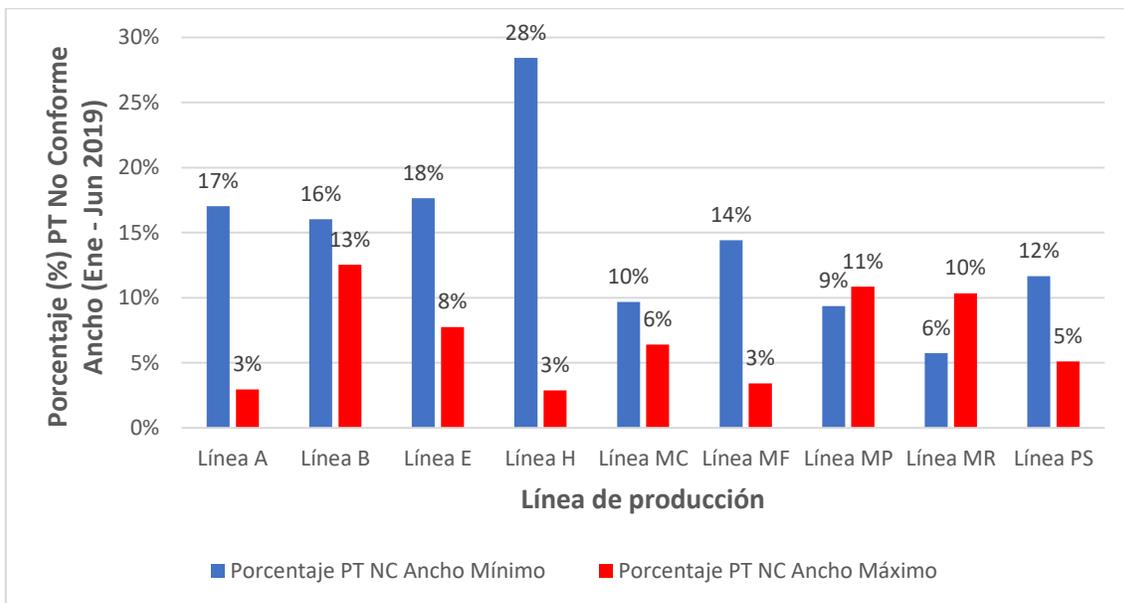


Figura 2.14 Porcentaje promedio de producto no conforme para “Ancho” por línea.

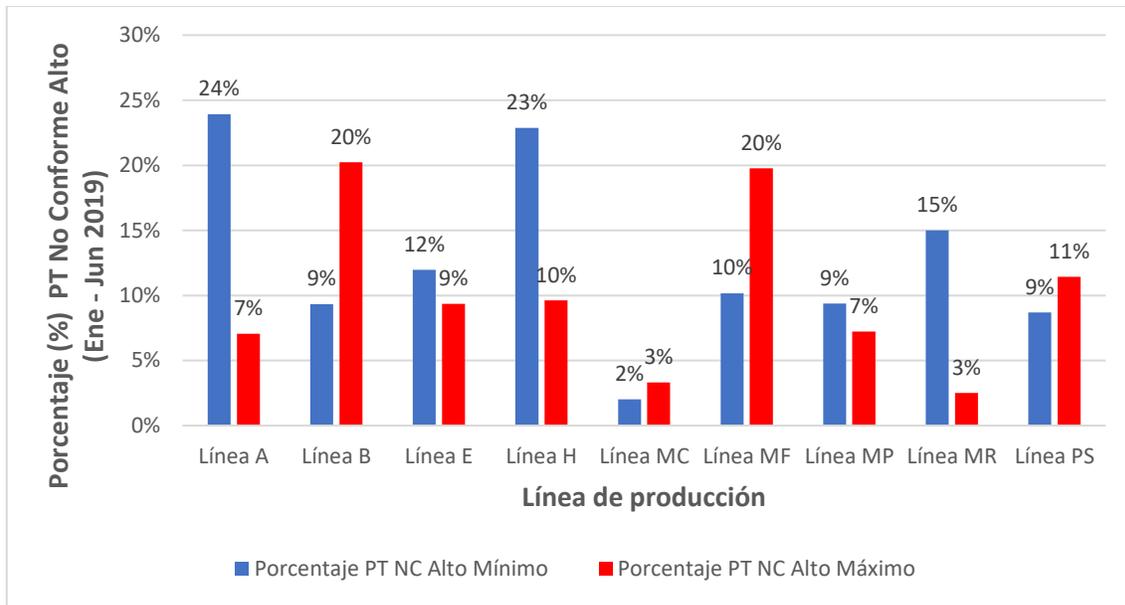


Figura 2.15 Porcentaje promedio de producto no conforme para “Alto” por línea.

Para determinar la línea productiva a estudiar, se decidió calcular el promedio de los porcentajes de producto terminado que no cumple con las especificaciones de dimensiones. Este análisis reflejó que las líneas que presentan el mayor porcentaje de producto no conforme a especificaciones de ficha técnica son las líneas “B” y “H” con un 16,2% de productos no conforme a especificaciones (figura 2.16). Sin embargo, esta última línea presenta un mayor porcentaje de producto no conforme a especificaciones de ficha técnica en cada una de las dimensiones de estudio, por lo que se decide realizar la implementación del Control Estadístico de Procesos en la línea “H” de común acuerdo con la empresa.

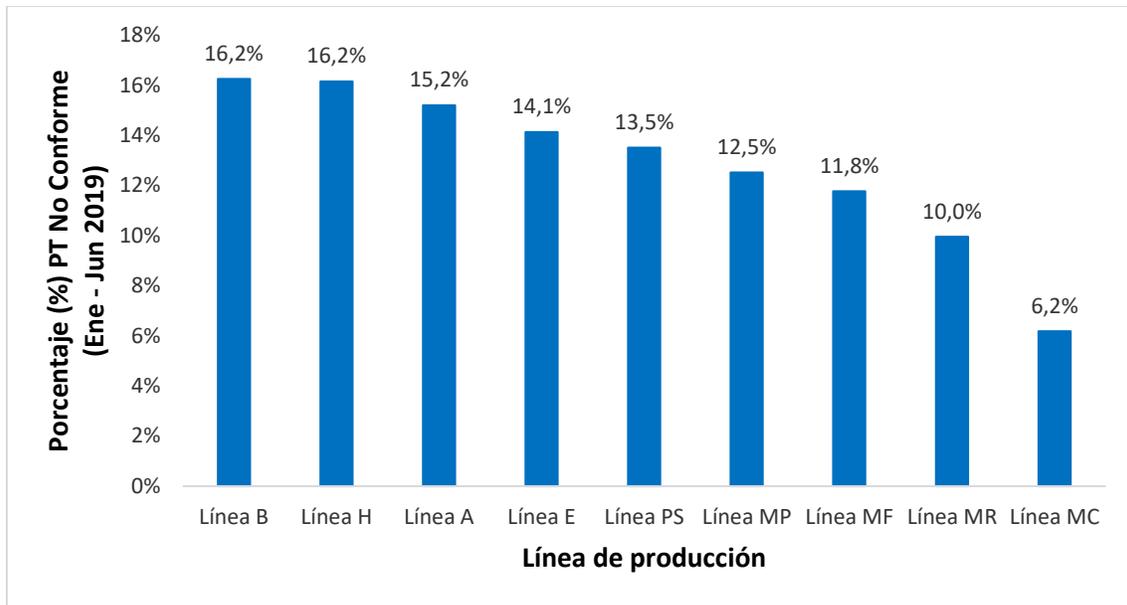


Figura 2.16 Porcentaje promedio de producto no conforme por línea.

Ahora bien, dentro de la línea H se encuentran 13 variedades de productos. Se decide estudiar los productos hallulla y pan amasado grande debido al volumen producido y por el porcentaje de producto no conforme al peso especificado (figura 2.17).

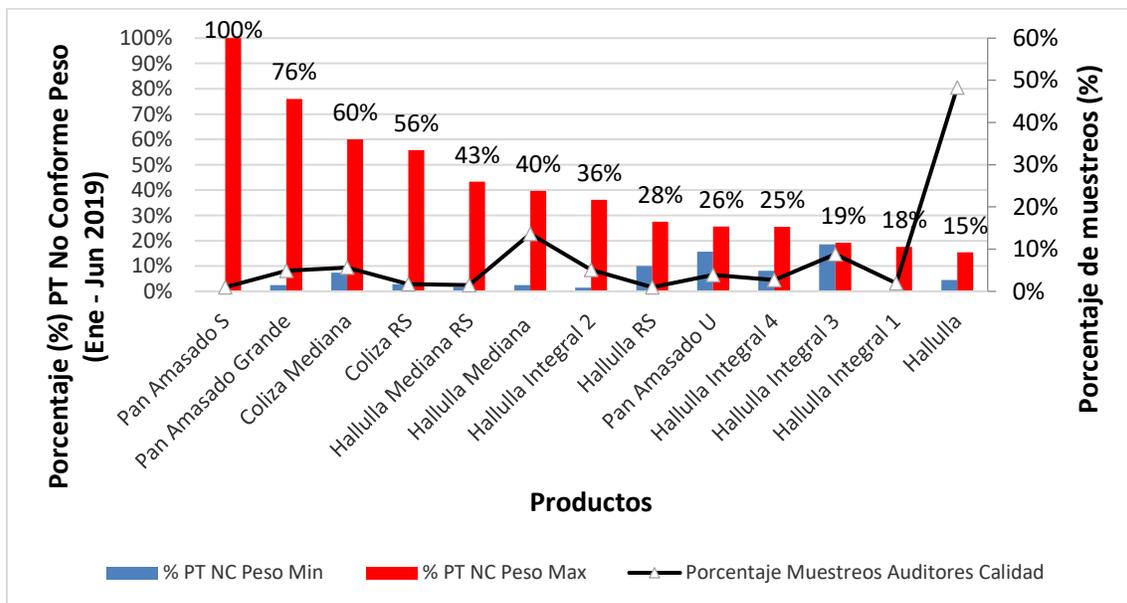


Figura 2.17 Porcentaje promedio de producto no conforme para Peso.

3 HIPÓTESIS

¿Mejorarán los parámetros de calidad de peso y dimensiones en los productos hallulla y pan amasado grande tras la implementación del control estadístico de procesos durante su elaboración?

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Evaluar el proceso de elaboración de los productos pan amasado grande y hallulla de una empresa de panificación a través de la implementación del Control Estadístico de Proceso para mejorar los parámetros de calidad de los productos.

4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la situación actual de la empresa con respecto al control de proceso en la línea productiva.
- Determinar los parámetros o puntos críticos de control de la línea productiva que afectan a la calidad del producto final.
- Diseñar una herramienta estadística para el monitoreo del comportamiento de los productos elaborados.
- Establecer un plan de acción documentado frente a las causas asignables de variación.
- Determinar la capacidad de proceso para evaluar si el proceso satisface las especificaciones de cada producto elaborado en la línea.

5 MATERIALES Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

5.1 Materiales

Muestras

- Hallulla
- Pan amasado grande

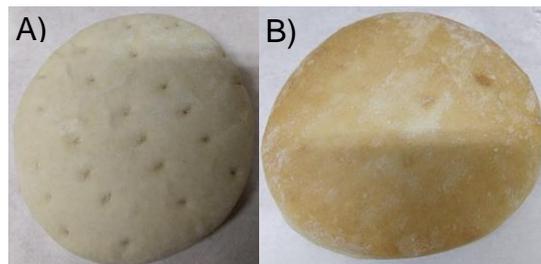


Figura 5.1 Productos a estudiar. Hallulla (A) y Pan amasado grande (B).

Materiales

- Pie de metro marca Mitutoyo
- Balanza Compacta Modelo BPA224 – 3NP



Figura 5.2 Materiales de medición. Pie de metro y balanza

Software

- Microsoft Excel para Office 365
- Minitab 18

5.2 Metodología

En la figura 5.3 se describe la metodología de trabajo para la implementación del control estadístico de proceso para el control de calidad de los productos hallulla y Pan Amasado Grande elaborados en la línea H.

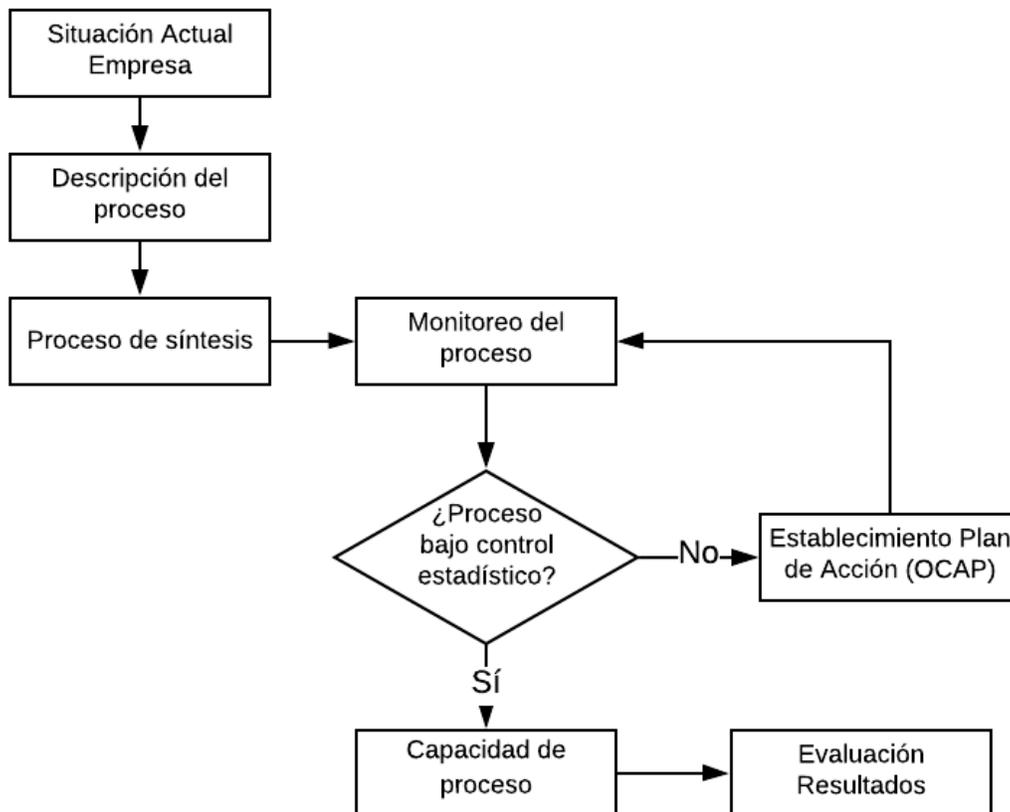


Figura 5.3 Metodología implementación CEP.

A continuación, se describirá cada etapa de la implementación del Sistema Estadístico de Proceso en la empresa.

5.2.1 Situación Actual Empresa

En primer lugar, se estudiará la situación actual de la empresa con respecto al control de calidad de los productos elaborados. Se planteará el problema y los beneficios de la implementación CEP. Se estudiarán los parámetros de proceso para cada producto de la línea de estudio, se determinará el porcentaje de no conformidades en los aspectos de dimensiones (peso, alto, largo, ancho) para los productos terminados.

5.2.2 Descripción del Proceso

Esta etapa del estudio consiste en evaluar, describir y establecer límites del proyecto. Se describirá la línea productiva, se identificarán los puntos de medición y los parámetros involucrados en cada punto de medición.

5.2.3 Proceso de Síntesis

El objetivo de esta etapa es identificar los parámetros o puntos críticos de proceso que afectan o pueden afectar a la calidad de los productos elaborados en la línea productiva. Para la identificación de los puntos críticos, se utilizará el diagrama causa-efecto y el diseño de experimentos (DOE), utilizando el programa Minitab 18.

5.2.4 Monitoreo del Proceso

Una vez identificado los puntos o parámetros críticos de proceso, se monitorea dicho proceso mediante gráficas de control. En esta etapa se selecciona el tipo de gráfica de control a utilizar, método de muestreo y frecuencia de muestreo. Para llevar a cabo el monitoreo, se diseñará una herramienta estadística para estudiar el comportamiento de cada producto elaborado en la línea de estudio.

Para la determinación del peso de los productos se utilizará la balanza compacta (modelo BPA224 – 3NP). Las dimensiones de largo, ancho y alto se obtendrá midiendo el producto con un pie de metro, como se muestra en la figura 5.4.



Figura 5.4 Determinación de dimensiones.

5.2.5 Establecimiento Plan de Acción (OCAP)

En esta etapa se eliminan las causas asignables de variación o los puntos fuera de control. Para esto, se investigan la causa del problema del momento y se soluciona según un Plan de acción denominado OCAP (Out of Control Action Plan, por sus siglas en inglés).

5.2.6 Capacidad de Proceso

Una vez controlado el proceso, es decir, que el proceso se encuentre bajo control estadístico, se determinara la capacidad de proceso que posee la línea productiva para concluir si el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones de fichas técnicas. Se evaluará el establecimiento de nuevas especificaciones para el proceso en caso de que la situación actual de la empresa respecto del control de proceso lo amerite.

5.2.7 Evaluación de Resultados

En esta última etapa, se evaluará el funcionamiento del proceso, comparando la estabilidad del proceso antes y después de la implementación CEP. Tras la implementación se revisarán y reajustarán los parámetros de proceso, las especificaciones en caso de ser necesario y se comunicarán los resultados a la organización. Esta información es importante para los próximos proyectos de CEP que se lleven a cabo por otros equipos CEP.

6 IMPLEMENTACIÓN CEP

6.1 Situación Actual Empresa

La empresa de estudio es una empresa chilena, fundada en el año 1996, que se dedica a la fabricación y comercialización de productos de panadería. La empresa ofrece diversos productos congelados, donde destacan los panes de distintos tipos (hallullas, marraquetas, panes para “hot dog”, entre otros), muffins, productos de bollería (por ejemplo, medialunas, croissant, Tops), chaparritas, pascualinas, quiches, y empanadas.

Como se explicó anteriormente, la problemática consiste en un incumplimiento de las especificaciones descritas en fichas técnicas tanto de peso, como de las dimensiones de los productos. Además, otra problemática es la no utilización de la información estadística existente para monitorear el proceso productivo y determinar si el proceso se encuentra bajo control o no.

Es por esto motivo que se decidió implementar el Control Estadístico de Proceso en la línea H, en específico, a los productos hallulla y pan amasado grande, debido a su elevado porcentaje de producto que no cumple con las especificaciones descritas en fichas técnicas (tabla 6.1).

Tabla 6.1 Porcentaje promedio Producto Terminado No Conforme (periodo de enero-junio 2019).

Producto	% PT NC Peso Min	% PT NC Peso Max	% PT NC Largo Min	% PT NC Largo Max	% PT NC Ancho Min	% PT NC Ancho Max	% PT NC Alto Min	% PT NC Alto Max
Pan Amasado Grande	3%	76%	0%	17%	37%	2%	19%	3%
Hallulla	4%	15%	0%	35%	29%	3%	29%	1%

Con el CEP, se puede monitorear el proceso de producción tanto para la línea H, como las otras líneas productivas que presenta la empresa, analizando la información y tomar acciones correctivas en tiempo real.

6.2 Descripción del Proceso

Como se revisó en la primera parte, la implementación CEP se desarrolla en la línea H, estudiando los productos Hallulla y Pan Amasado Grande durante su elaboración. Para llevar a cabo esta implementación, el proceso debe ser evaluado, descrito y determinar los límites del proyecto.

6.2.1 Descripción Línea H

En la figura 6.1 se observa el diagrama de flujo que representa el proceso productivo de la línea H de la empresa junto con la descripción de cada etapa del proceso. Además, se puede observar en la tabla 6.2 la descripción de cada etapa presente en la línea de producción.



Figura 6.1 Diagrama de Flujo Línea H.

Tabla 6.2 Descripción diagrama de flujo.

Etapa	Descripción
Recepción materias primas	Se recepciona materia prima en el área de producción. Todos los productos a excepción de la harina y agua se le retira su envase primario para la elaboración de la masa.
Elaboración de masa	Se incorporan los ingredientes y aditivos según receta preparados en dosificación y las materias primas principales (materia grasa, levadura, harina, agua, entre otros). En esta etapa se controla la temperatura de la masa.
Traspaso de masa	Una vez elaborada la masa, esta se deposita a un carro de acero inoxidable, la cual se coloca en un elevador.
Elevación a tolva y extrusión	El carro que contiene la masa sube y es volteada para depositar la masa en la tolva. La masa pasa hacia la extrusora la que genera una banda de masa más delgada que avanza gracias a la cinta transportadora.
Rodillo de presión	Se ajusta el espesor de la banda de masa gracias a la acción del rodillo de presión.
Sobado y plegado	Se aplica trabajo mecánico a la masa. Se pliega por medio de un sistema de rodillos que genera un movimiento retráctil, logrando la elasticidad característica de la masa.
Laminador	Se ajusta el ancho de la banda de masa.
Calibrador	Se regula el espesor final de la masa.

Tabla 6.2 Descripción diagrama de flujo (continuación).

Etapa	Descripción
Picador	La masa se marca con pinchos. Se excluye de esta etapa Pan Amasado Grande.
Troquelado	Se realiza el corte de la masa de acuerdo con el formato del producto final. El peso del producto debe estar acorde a lo establecido en el documento de especificación de peso de producto intermedio.
Fermentación	El producto transportado por medio de una cinta retráctil ingresa a la cámara de fermentación. El producto aumenta de volumen y adquiere características de aroma y textura. Se controlan los parámetros establecidos en documentos de parámetros y condiciones de fermentación.
Horneo	Etapa donde se hornea el producto. Se controlan los parámetros establecidos en documentos de parámetros y condiciones de horneo.
Descarte de unidades	Se realiza una inspección en donde se descartan las unidades que no cumplen con forma a la salida del horno.
Enfriamiento	El producto disminuye su temperatura antes de entrar a la cámara de congelación.
Congelación	El producto ingresa al túnel continuo hasta alcanzar la temperatura de congelación descrita en documentos de parámetros de congelación.

Tabla 6.2 Descripción diagrama de flujo (continuación).

Etapa	Descripción
Detector de metales	Etapa en la cual se eliminan partículas metálicas que podrían haber contaminado el producto durante su elaboración de manera accidental. Posteriormente, se identifica la unidad contaminada para iniciar la investigación correspondiente con el fin de determinar el origen de la partícula metálica.
Envasado	Las cajas son armadas automáticamente. Posteriormente, se coloca la bolsa al interior de la caja y esta es abierta gracias al acción de un eyector de aire. Las unidades de producto se seleccionan automáticamente e ingresan a la caja. Las cajas pasan por unos rodillos de vibración que permite acomodar el producto al interior de la caja. Posteriormente, las cajas pasan por una maquina impresora que rotula la caja con la información del producto (código, nombre producto, hora de envasado, fecha de vencimiento, lote). Finalmente, la bolsa es sellada automáticamente y las cajas se sellan con cinta adhesiva.
Paletizado	Una vez selladas las cajas, éstas se disponen en palets. Una vez armado el pallet, se envuelve con film de embalaje (stretch film).
Almacenaje	Una vez identificado el pallet, ingresa a la cámara de almacenamiento de producto terminado.
Despacho	El producto finalmente es despachado al cliente de destino.

6.2.2 Límites del proyecto

La implementación CEP se desarrollará en la línea H, y sus límites de estudio principalmente se enfocarán en la etapa de proceso productivo, es decir, elaboración de la masa, calibrador, fermentación, horneado y congelación. En la tabla 6.3, se observa la descripción del marco del proyecto de la implementación CEP en la empresa.

Tabla 6.3 Marco del Proyecto.

Marco del Proyecto	Descripción
Título Proyecto / Propósito	<ul style="list-style-type: none">➤ Implementar CEP para monitorear la calidad de los productos.
Necesidades del negocio a ser atendidas	<ul style="list-style-type: none">➤ El porcentaje de PT que no cumple con especificación de dimensiones implica:➤ Pérdida de dinero por entregar un producto con mayor peso.➤ Especificaciones de FT no adecuadas.
Declaración del problema	<ul style="list-style-type: none">➤ Producto Terminado No Cumple con especificación de Ficha Técnica.
Alcance del proyecto	<ul style="list-style-type: none">➤ Estudio en Línea H.➤ Producto: Hallulla y Pan Amasado Grande.
Meta del proyecto/ Objetivo	<ul style="list-style-type: none">➤ Reducir el porcentaje de PT No Conforme a dimensiones.➤ Indicador: Reducir el porcentaje de PT No Conforme para el peso principalmente para ambos productos.

Tabla 6.3 Marco del Proyecto (continuación).

Áreas involucradas	➤ Producción; Aseguramiento de Calidad; Operarios.
Equipo	➤ Jefe de Producción; Subgerente y Supervisor de calidad; Líderes; Tesista.
Fecha Inicio	➤ Noviembre.
Fecha Estimada de finalización	➤ Febrero.
Entregable del proyecto	➤ Dashboard, Modificación/Creación de documentos.

6.3 Proceso de Síntesis

El objetivo de esta etapa es identificar los parámetros o puntos críticos de proceso que afectan o pueden afectar las dimensiones del producto “Hallulla” elaborado en la línea productiva. Para la identificación de los puntos críticos, se realizó en conjunto con el equipo CEP una lluvia de ideas y un diagrama causa efecto. Posteriormente se realiza un diseño de experimentos (DOE) con la finalidad de determinar que parámetros influyen significativamente en las dimensiones en el producto terminado.

6.3.1 Diagrama Causa Efecto (Ishikawa)

Mediante una reunión con el equipo CEP en la cual se realizó una lluvia de ideas y se determinó mediante un diagrama causa efecto (figura 6.2) las posibles causas que provocan el incumplimiento de las especificaciones descritas en fichas técnicas.

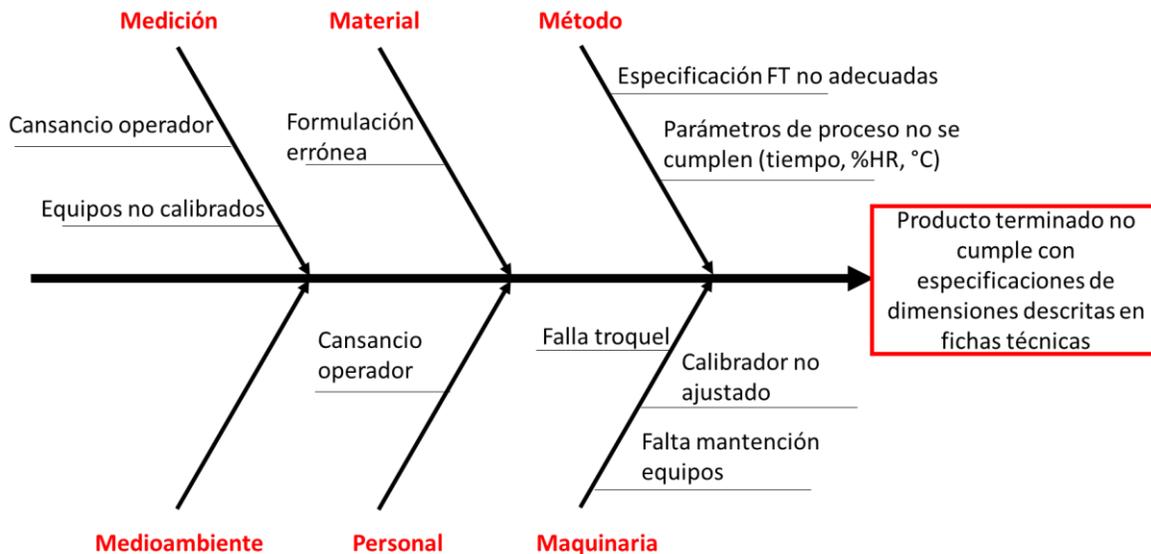


Figura 6.2 Diagrama Causa Efecto.

Dentro de las causas en la categoría métodos, se encuentra que los parámetros en las etapas de fermentación, las cuales son la temperatura de fermentación, porcentaje de humedad de fermentación y los parámetros en la etapa de horneado (tiempo y temperaturas de horneado) pueden influir en que el producto no alcance las especificaciones descritas en fichas técnicas si estos parámetros no son controlados. Además, existe la posibilidad de que el proceso en sí no posee la habilidad de cumplir las especificaciones. Otro aspecto importante tiene que ver con la maquinaria, ya que una falta de mantención o que el calibrador no se encuentre ajustado provoca que los productos no cumplan con las especificaciones.

En este sentido, se realiza un diseño de experimento para determinar cuáles son los puntos o parámetros críticos que influyen en el peso y en las dimensiones de los productos.

6.3.2 Diseño de experimentos (DOE)

El diseño de experimento es una herramienta utilizada para el mejoramiento de un proceso. La metodología utilizada para el desarrollo del diseño de experimentos presenta los siguientes puntos (Montgomery, 2009):

1. Reconocimiento del problema

En esta etapa se contempla un problema claro y breve, lo que permite un mejor entendimiento de lo que se necesita realizar. El problema que presenta la empresa consiste en que el producto Hallulla y Pan Amasado Grande no cumple con las especificaciones de peso y dimensiones descritas en fichas técnicas.

2. Selección de la variable respuesta

La variable respuesta a evaluar son el promedio y la desviación estándar del peso y dimensiones de los productos “Hallulla” y “Pan Amasado Grande” elaborado en la línea de proceso.

3. Elección de los factores y niveles

En la tabla 6.4 se muestran los parámetros de proceso para los productos “Hallulla” y “Amasados Sándwich Grande” establecidos en la empresa.

Tabla 6.4 Parámetros de proceso: Hallulla y Pan Amasado Grande.

Parámetros de proceso	Productos	
	Hallulla	Pan Amasado Grande
Temperatura de Fermentación	34°C - 36°C	34°C - 36°C
Humedad Fermentación	68% - 73%	65% - 68%
Tiempo de fermentación	45 minutos	60 minutos
Temperatura Horneo 1	230°C – 240°C	210°C – 215°C
Temperatura Horneo 2	230°C – 240°C	200°C – 205°C
Temperatura Horneo 3	225°C – 235°C	195°C – 200°C
Temperatura Horneo 4	210°C – 220°C	190°C – 195°C
Tiempo de horneo	10 minutos	18 minutos

Para ambos productos se monitorearon los parámetros de proceso durante su producción, con la finalidad de realizar el diseño de experimentos que permita identificar cual o cuales factores afectan significativamente en el peso y las dimensiones de estos productos.

Durante el periodo de estudio (noviembre a febrero), para el producto Hallulla, se encontró que las temperaturas de horneo de la zona 2 y zona 3 se mantenían constantes a una temperatura de 235°C y 225°C, respectivamente. Para el caso del producto “Pan Amasado Grande”, las temperaturas de horneo de la zona 2, zona 3 y zona 4 fueron constantes durante el periodo de evaluación, cuyos valores fueron 205°C, 200°C y 195°C, respectivamente.

El tiempo de horneo y el tiempo de fermentación no son considerados en el diseño de experimento ya que se mantuvieron constantes durante el proceso de elaboración de los productos.

Por lo tanto, para el desarrollo del diseño de experimentos se consideran los factores y niveles descritos en las tablas 6.5 y 6.6, es decir, un diseño de experimento factorial completo del orden 2^4 para el caso de la “Hallulla” y 2^3 para el producto Pan Amasado Grande.

Tabla 6.5 Lista de parámetros de proceso y sus respectivos niveles para el producto Hallulla.

Parámetros de Proceso	Etiqueta	Nivel Bajo	Nivel Alto
Temperatura de Fermentación	A	34°C	36°C
Humedad de Fermentación	B	68%	73%
Temperatura de Horneo 1	C	230°C	240°C
Temperatura de Horneo 4	D	210°C	220°C

Tabla 6.6 Lista de parámetros de procesos y sus respectivos niveles para el producto Pan Amasado Grande.

Parámetros de Proceso	Etiqueta	Nivel Bajo	Nivel Alto
Temperatura de Fermentación	A	34 °C	36°C
Humedad de Fermentación	B	65%	68%
Temperatura de Horneo 1	C	210°C	215°C

4. Elección del diseño de experimento

Como se mencionó anteriormente, para el caso del producto “Hallulla” se diseñará un experimento factorial completo 2^4 , lo que implica 16 experimentos con 5 repeticiones. Para el caso del producto “Pan Amasado Grande”, se diseña un experimento factorial completo 2^3 , lo que se traduce a 8 experimentos y con igual número de repeticiones que para el producto anterior.

5. Análisis de datos y conclusión del diseño de experimento

Con la finalidad de identificar los efectos principales o efectos de interacción significativos que afectan el peso y las dimensiones de los productos “Hallulla” y “Pan Amasado Grande”, se decide construir el diseño de experimento que muestre todas las combinaciones de los parámetros de proceso y sus respectivos niveles para ambos productos. Los datos se analizaron utilizando el programa estadístico Minitab 18.

A. Hallulla

Para identificar los factores principales e interacciones que presentan un efecto significativo sobre las respuestas de interés evaluadas (peso en gramos, largo en cm, ancho en cm y alto en cm del producto), se decide construir un diseño experimental que muestre todas las combinaciones posibles de los parámetros de proceso en sus respectivos niveles. Cuatro factores fueron considerados: Temperatura Fermentación (A), Humedad de fermentación (B), Temperatura Horno 1 (C) y Temperatura Horno 4 (D). Cada factor fue estudiado a dos niveles y se desarrolló un diseño factorial completo 2^4 . La tabla 6.7 presenta el diseño experimental con todos los parámetros de proceso y sus respectivos valores promedios de las respuestas de interés.

➤ Peso

Para identificar los factores principales e interacciones que afectan al peso del producto, se construye un diagrama de Pareto (figura 6.3). El gráfico muestra que los factores principales B (humedad de fermentación) y D (temperatura de horno 4), las interacciones de dos factores BD (interacción entre humedad de fermentación y temperatura de horneado 4) y BC (interacción entre Humedad de fermentación y temperatura de horneado 4) son estadísticamente significativas con un nivel de significancia del 5%. Generalmente no se estudian interacciones de tres factores ya que no se consideran importantes (Antony, 2003).

Tabla 6.7 Diseño de experimento: Hallulla.

Test	A	B	C	D	Peso Promedio (g)	Largo Promedio (cm)	Ancho Promedio (cm)	Alto Promedio (cm)
1	34°C	68%	230°C	210°C	106,0 ± 2,5	11,1 ± 0,2	10,9 ± 0,1	2,7 ± 0,1
2	36°C	68%	230°C	210°C	108,2 ± 2,6	11,1 ± 0,2	11,0 ± 0,2	2,7 ± 0,0
3	34°C	73%	230°C	210°C	104,0 ± 1,2	11,0 ± 0,0	10,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1
4	36°C	73%	230°C	210°C	104,2 ± 1,6	11,1 ± 0,2	10,9 ± 0,1	2,8 ± 0,0
5	34°C	68%	240°C	210°C	107,0 ± 2,4	11,2 ± 0,4	10,6 ± 0,3	2,4 ± 0,2
6	36°C	68%	240°C	210°C	104,6 ± 5,5	11,2 ± 0,2	10,8 ± 0,3	2,2 ± 0,1
7	34°C	73%	240°C	210°C	107,0 ± 3,1	11,0 ± 0,0	10,9 ± 0,1	2,8 ± 0,1
8	36°C	73%	240°C	210°C	107,8 ± 2,2	10,8 ± 0,6	10,4 ± 0,3	2,3 ± 0,1
9	34°C	68%	230°C	220°C	102,0 ± 1,4	11,3 ± 0,3	11,0 ± 0,1	2,8 ± 0,1
10	36°C	68%	230°C	220°C	103,6 ± 1,7	11,1 ± 0,1	10,9 ± 0,1	3,0 ± 0,0
11	34°C	73%	230°C	220°C	107,4 ± 5,2	11,2 ± 0,2	10,7 ± 0,1	2,8 ± 0,1
12	36°C	73%	230°C	220°C	103,0 ± 2,8	11,1 ± 0,1	10,7 ± 0,2	2,8 ± 0,0
13	34°C	68%	240°C	220°C	104,2 ± 2,4	11,1 ± 0,2	10,5 ± 0,3	2,1 ± 0,1
14	36°C	68%	240°C	220°C	99,6 ± 3,7	11,1 ± 0,2	10,5 ± 0,3	2,1 ± 0,1
15	34°C	73%	240°C	220°C	107,4 ± 1,9	11,0 ± 0,0	11,2 ± 0,2	2,6 ± 0,1
16	36°C	73%	240°C	220°C	106,4 ± 3,0	11,0 ± 0,0	11,0 ± 0,4	2,8 ± 0,1

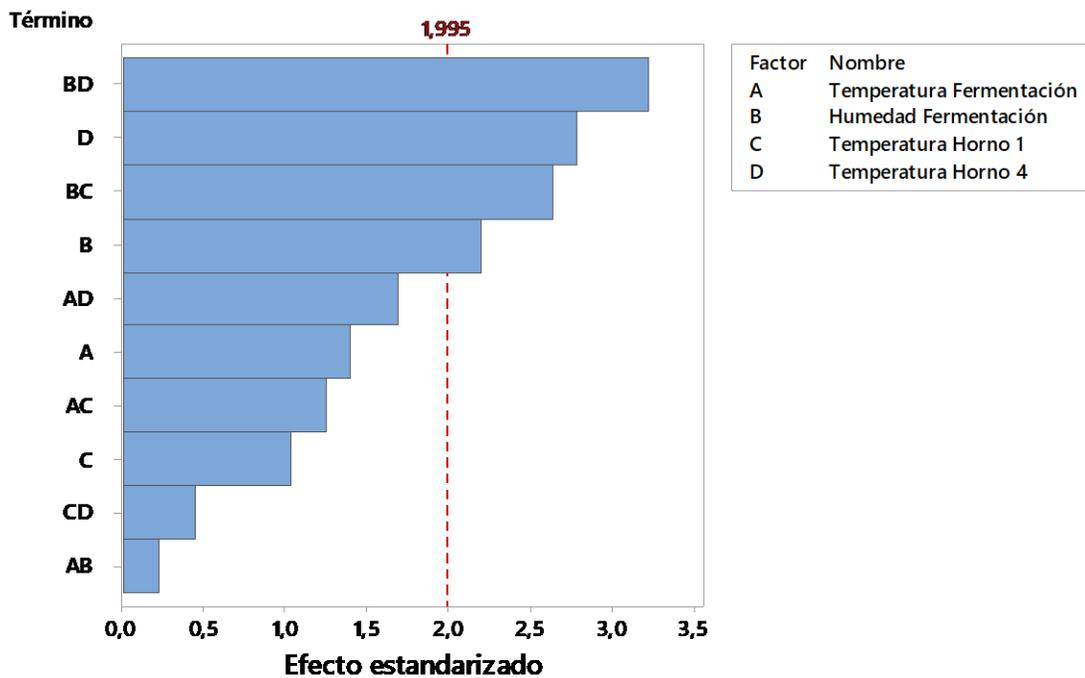


Figura 6.3 Diagrama de Pareto de efectos: Peso Hallulla.

Para entender las interacciones entre los parámetros de proceso, se construyen los gráficos de efectos principales e interacciones (figura 6.4 y 6.5). Se puede observar en la figura 6.4 que la humedad de fermentación y la temperatura de horneado 4 tiene un fuerte impacto sobre el peso del producto. Esto se debe a que, durante el proceso de fermentación, la levadura produce suficiente CO₂ para aumentar el volumen de las burbujas de aire (incorporadas en la etapa del mezclado y amasado) presentes en la masa, causando la expansión de la masa, modificando la textura del pan y modificando su volumen. (Collado-Fernández, 2003; Rosell, 2016).

En el caso del parámetro humedad de fermentación, cuando es del 68% o del 73%, se alcanza un peso promedio de 104,4 y 105,9 gramos, respectivamente. En relación con la temperatura de horneado 1, cuando este alcanza los valores de 210°C y 220°C, los valores de peso promedio son de 106,1 y 104,2 gramos respectivamente (tabla 6.8).

Tabla 6.8 Peso promedio de los efectos principales: Hallulla.

Parámetro de proceso	Peso promedio (g)	Parámetro de proceso	Peso promedio (g)
A	34 °C	C	230 °C
	36 °C		240 °C
B	68 %	D	210 °C
	73 %		220 °C

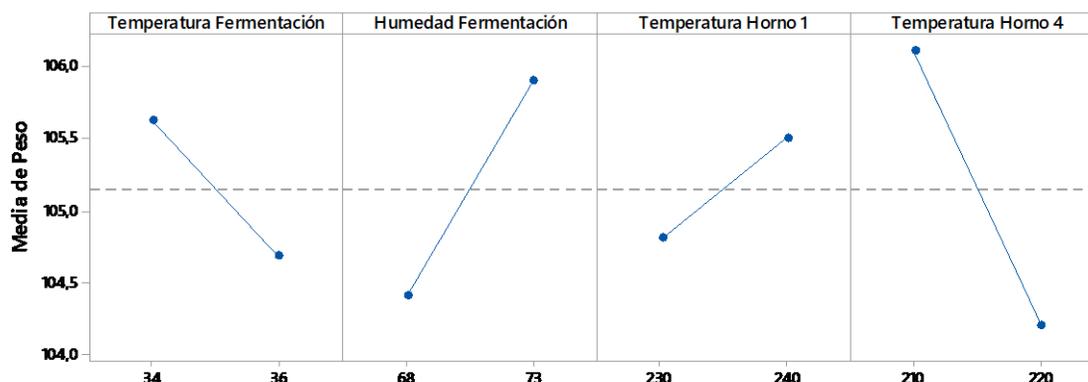


Figura 6.4 Gráfica de efectos principales: Peso Hallulla.

Por otra parte, la interacción entre los factores BC y BD se puede entender en la figura 19, la cual indica que existe una fuerte interacción entre BC y BD (debido a sus líneas no paralelas). La interacción entre la humedad de fermentación y temperatura de horneado 1 (interacción BC) indica que cuando la temperatura del horno 1 alcanza los 240°C, el producto presenta el peso promedio máximo de 107,2 gramos cuando la humedad es del 73% y mínimo de 103,8 gramos cuando la humedad es del 68%. La interacción entre la humedad de fermentación y la temperatura de horneado 4 (interacción BD) indica que el peso promedio del producto presenta un valor máximo de 106,5 gramos (68% de humedad y 210°C) y mínimo de 103,8 gramos cuando la humedad se ajusta a 68% y 220°C la temperatura de horneado 4. Los pesos promedios para las combinaciones se encuentran en la tabla 6.9.

Tabla 6.9 Peso promedio de las combinaciones BC y BD: Hallulla.

Parámetro de proceso		Peso promedio (g)	Parámetro de proceso		Peso promedio (g)
B	C		B	D	
68 %	230 °C	105,0 ± 3,1	68 %	210 °C	106,5 ± 3,5
68 %	240 °C	103,9 ± 4,4	68 %	220 °C	102,4 ± 2,9
73 %	230 °C	104,7 ± 3,3	73 %	210 °C	105,8 ± 2,6
73 %	240 °C	107,2 ± 2,4	73 %	220 °C	106 ± 3,6

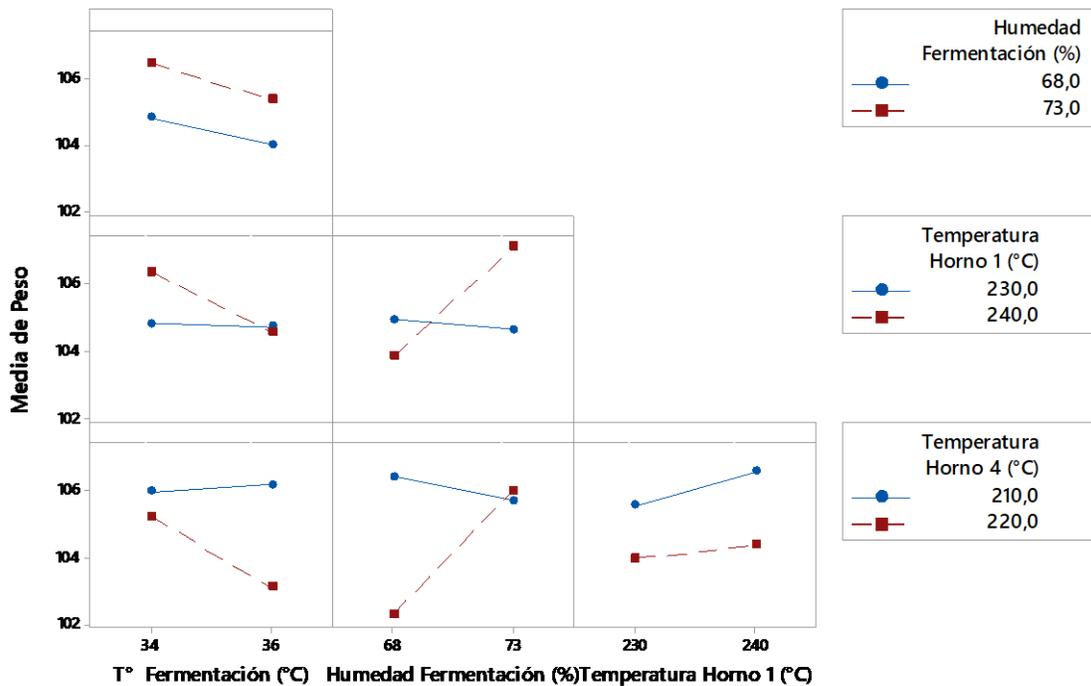


Figura 6.5 Gráfica de interacciones: Peso Hallulla.

Por lo tanto, tras el análisis de los parámetros e interacciones que afectan significativamente ($\alpha=5\%$) sobre el peso del producto Hallulla, las condiciones de proceso para obtener un peso mínimo y máximo son:

Tabla 6.10 Condiciones de proceso para un peso mínimo y máximo: Hallulla.

Parámetros de Proceso	Etiqueta	Valor Parámetro	
		Peso mínimo	Peso máximo
Temperatura de Fermentación	A	36°C	34°C
Humedad de Fermentación	B	68%	73%
Temperatura de Horneo 1	C	240°C	240°C
Temperatura de Horneo 4	D	220°C	210°C

➤ Largo

En la figura 6.6 se observa el diagrama de Pareto de los efectos para el largo del producto Hallulla. El gráfico muestra que ningún factor principal o ninguna interacción afecta significativamente sobre el largo del producto Hallulla. Por lo que esta dimensión depende principalmente del troquel que realiza el corte de la masa para dar forma al producto.

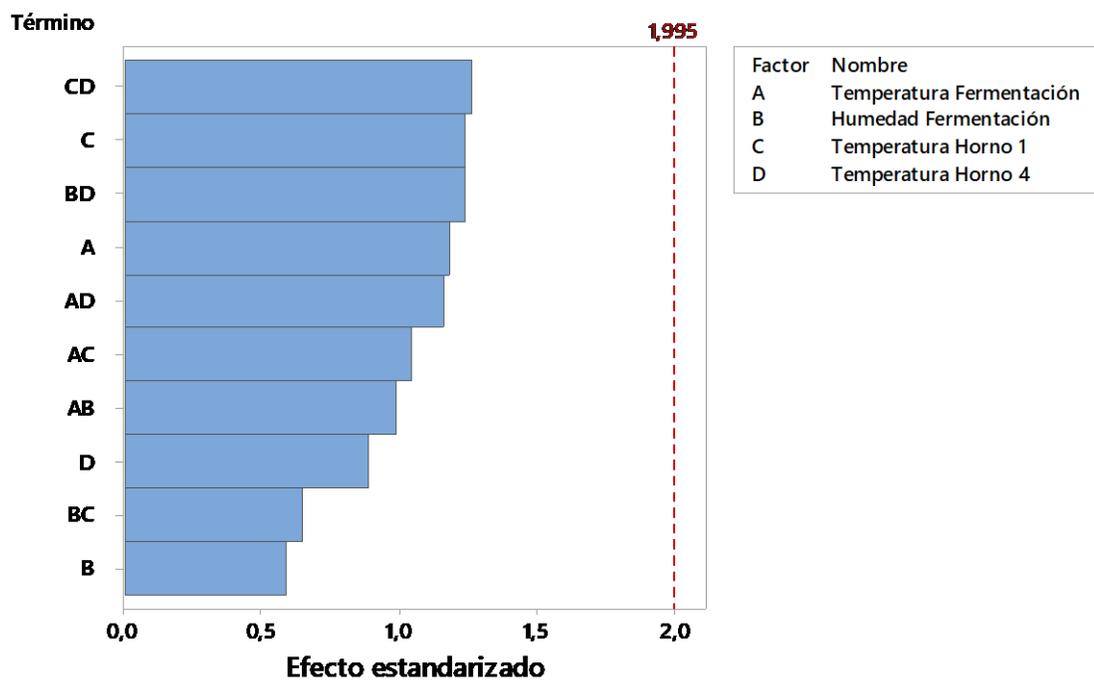


Figura 6.6 Diagrama de Pareto de efectos: Largo Hallulla.

➤ Ancho

En la figura 6.7 se observa el diagrama de Pareto de los efectos para el ancho del producto Hallulla. El gráfico muestra que ningún factor principal o ninguna interacción afecta significativamente sobre el ancho del producto. Por lo que esta dimensión depende principalmente del troquel que realiza el corte de la masa para dar forma al producto.

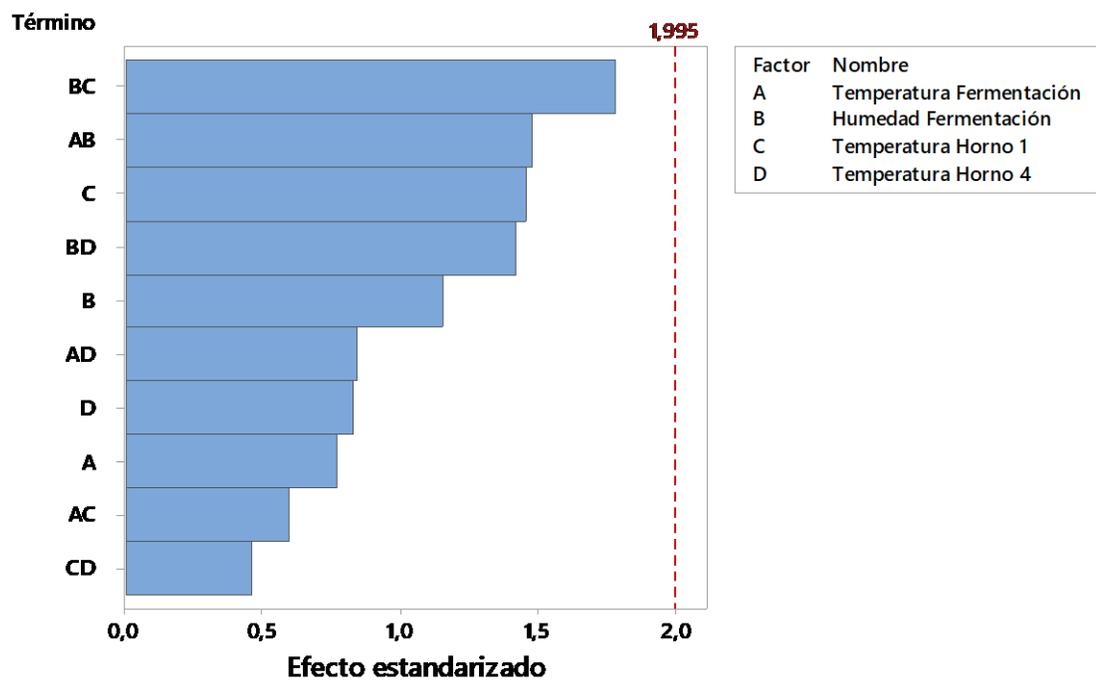


Figura 6.7 Diagrama de Pareto de efectos: Ancho Hallulla.

➤ Alto

En la figura 6.8 muestra el diagrama de Pareto de efectos para la dimensión Alto del producto Hallulla. El gráfico muestra que los factores principales C (temperatura de horneo 1), B (humedad de fermentación) y D (temperatura de horneo 4); las interacciones de dos factores BC (humedad de fermentación y temperatura de horneo 1), AC (temperatura de fermentación y temperatura de horneo 1), AD (temperatura de fermentación y temperatura de horneo 4) y BD (humedad de fermentación y temperatura de horneo 4) son estadísticamente significativas con un nivel de significancia del 5%.

Esto significa que el periodo de fermentación empieza en la etapa de fermentación y el producto termina de desarrollarse en la etapa de horneo. Collado-Fernández (2003) indica que durante el horneo del producto hay un aumento de volumen de la masa debido a que el agua en fase acuosa se evapora; el dióxido de carbono retenido en la masa es dilatado por el calor y la red de gluten se vuelve más elástica debido a la formación de enlaces disulfuro entre las proteínas adyacentes, favoreciendo el salto de horno.

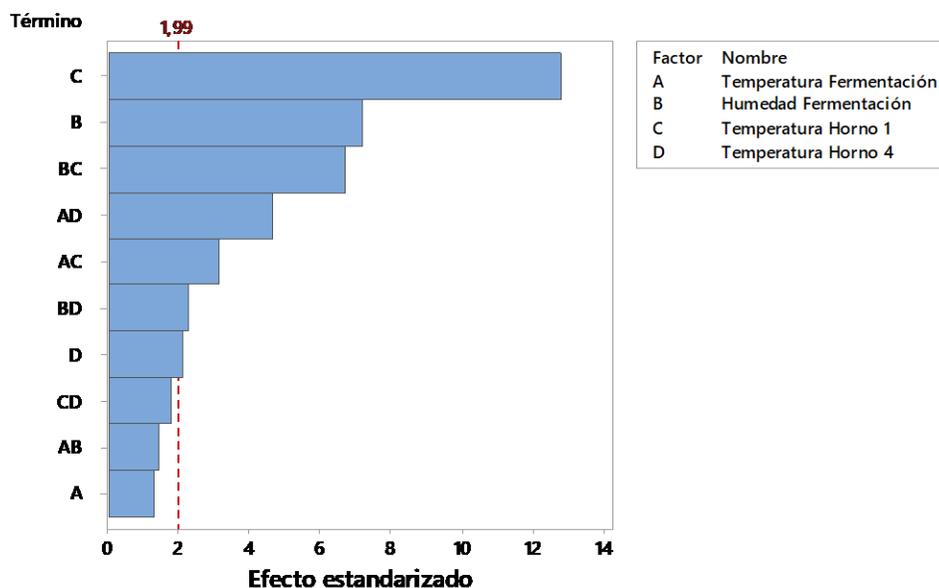


Figura 6.8 Diagrama de Pareto de efectos: Alto Hallulla.

Se puede observar en la figura 6.9 que el principal parámetro de proceso que afecta significativamente sobre la altura que adquiere el producto es la temperatura de horneo 1, donde el producto presenta una altura promedio máxima de 2,8 cm cuando la temperatura anteriormente mencionada es de 230°C. Todos los valores de altura promedio se muestran en la tabla 6.11.

Tabla 6.11 Altura promedio de los efectos principales: Hallulla.

Parámetro proceso	Alto promedio (cm)	Parámetro proceso	Alto promedio (cm)
A	34 °C	C	230 °C
	36 °C		240 °C
B	68%	D	210 °C
	73%		220 °C

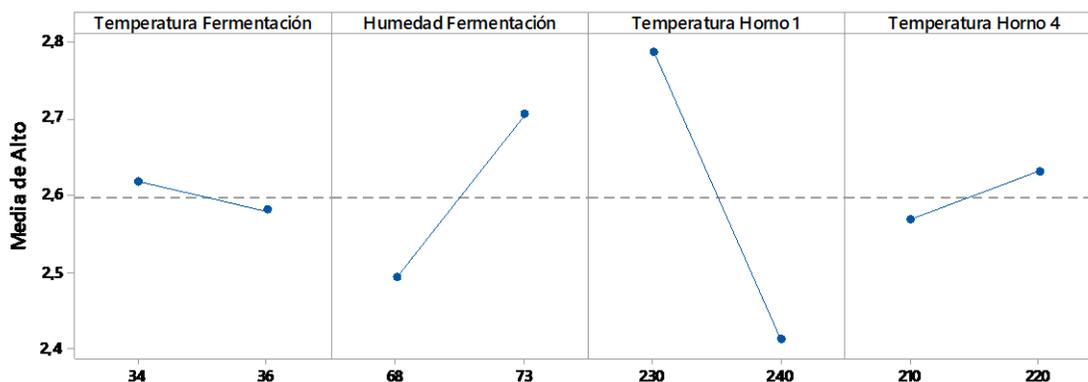


Figura 6.9 Gráfica de efectos principales: Alto Hallulla.

Por otra parte, la figura 6.10 grafica la interacción entre los parámetros de proceso. Esta figura muestra que la interacción entre la humedad de fermentación y temperatura de horneado 1 afecta a la altura significativamente, obteniéndose una altura máxima de 2,8 cm cuando la combinación de parámetros es 68% o 73% de humedad y 230°C de horneado 1. Por otra parte, la altura mínima obtenida es de 2,2 cm cuando la humedad es del 68% y la temperatura de horneado 1 es de 240 °C (datos de todas las combinaciones presentes en las tablas 6.12 y 6.13).

Tabla 6.12 Altura promedio de las combinaciones BC y AD: Hallulla.

Parámetro de proceso		Alto promedio (cm)	Parámetro de proceso		Alto promedio (cm)
B	C		A	D	
68 %	230 °C	2,8 ± 0,1	34 °C	210°C	2,6 ± 0,2
68 %	240 °C	2,2 ± 0,2	34 °C	220°C	2,6 ± 0,3
73 %	230 °C	2,8 ± 0,1	36 °C	210°C	2,5 ± 0,3
73 %	240 °C	2,6 ± 0,2	36 °C	220°C	2,7 ± 0,3

Tabla 6.13 Altura promedio de las combinaciones AC y BD: Hallulla.

Parámetro de proceso		Alto promedio (cm)	Parámetro de proceso		Alto promedio (cm)
A	C		B	D	
34°C	230°C	2,7 ± 0,1	68%	210°C	2,5 ± 0,2
34°C	240°C	2,5 ± 0,3	68%	220°C	2,5 ± 0,4
36°C	230°C	2,8 ± 0,1	73%	210°C	2,6 ± 0,2
36°C	240°C	2,3 ± 0,3	73%	220°C	2,7 ± 0,1

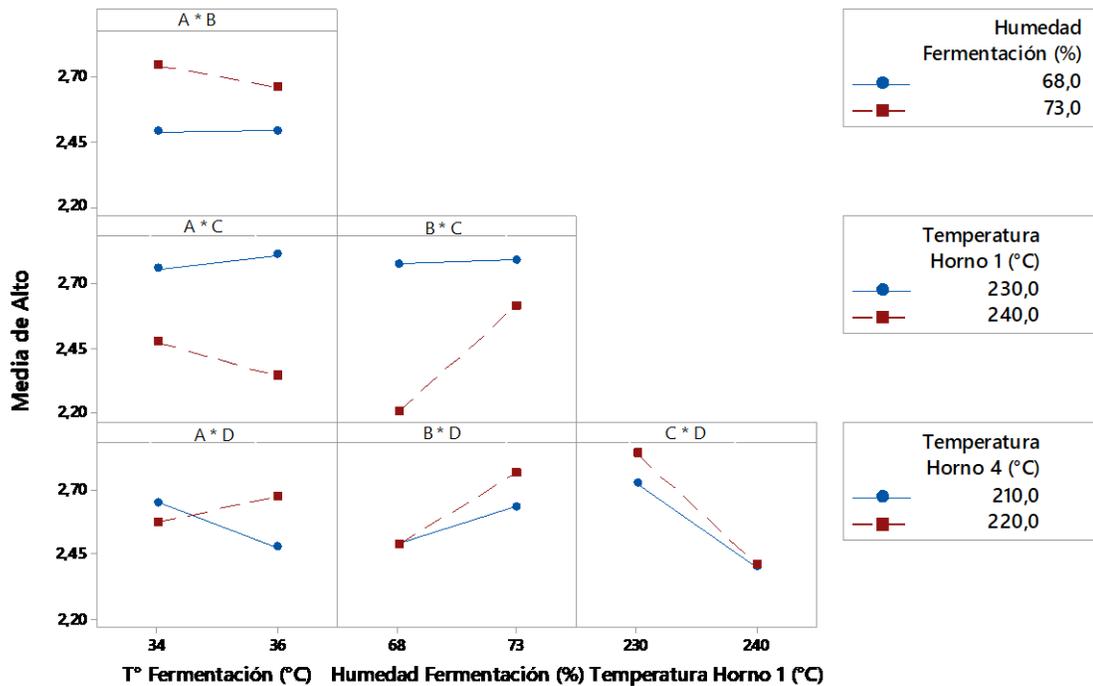


Figura 6.10 Gráfica de interacciones: Alto Hallulla.

Por lo tanto, tras el análisis de los parámetros e interacciones que afectan significativamente ($\alpha=5\%$) sobre el alto del producto Hallulla, las condiciones de proceso para obtener una altura mínima o máxima son (tabla 6.14):

Tabla 6.14 Condiciones de proceso para un alto mínimo y máximo: Hallulla.

Parámetros de Proceso	Etiqueta	Valor Parámetro	
		Altura mínima	Altura máxima
Temperatura de Fermentación	A	36°C	36°C
Humedad de Fermentación	B	68 %	73 %
Temperatura de Horneo 1	C	240°C	230°C
Temperatura de Horneo 4	D	210°C	220°C

B. Pan Amasado Grande

Se decide construir un diseño experimental para determinar los efectos significativos de los parámetros de proceso de elaboración del producto. Tres factores se consideraron, los cuales son Temperatura de fermentación (A), Humedad de fermentación (B) y Temperatura del horno1 (C). Cada factor fue estudiado con dos niveles, por lo que se desarrolla un diseño factorial completo 2^3 . La tabla 6.15 presenta el diseño experimental con todos los parámetros de proceso y sus respectivos valores promedios de las respuestas de interés.

Tabla 6.15 Diseño de experimento: Pan Amasado Grande.

Run	A	B	C	Promedio Peso (g)	Largo Promedio (cm)	Ancho Promedio (cm)	Alto Promedio (cm)
1	34°C	65%	210°C	173,6 ± 2,6	15,3 ± 0,5	14,5 ± 0,4	3,9 ± 0,2
2	36°C	65%	210°C	172,2 ± 0,8	15,0 ± 0,1	14,3 ± 0,1	3,9 ± 0,1
3	34°C	68%	210°C	174,0 ± 5,5	15,3 ± 0,3	14,6 ± 0,1	3,9 ± 0,1
4	36°C	68%	210°C	172,0 ± 1,2	15,1 ± 0,2	14,5 ± 0,1	3,9 ± 0,1
5	34°C	65%	215°C	175,0 ± 6,6	15,1 ± 0,1	14,4 ± 0,4	3,9 ± 0,1
6	36°C	65%	215°C	179,8 ± 2,8	15,9 ± 0,7	13,4 ± 0,4	3,5 ± 0,2
7	34°C	68%	215°C	172,6 ± 3,6	15,0 ± 0,2	14,2 ± 0,2	3,6 ± 0,2
8	36°C	68%	215°C	174,2 ± 2,6	15,2 ± 0,3	14,3 ± 0,4	3,8 ± 0,2

➤ Peso

En la figura 6.11 se observa el diagrama de Pareto de efectos para el peso del producto Pan Amasado Grande. El gráfico muestra que el factor principal C (temperatura de horneado 1) y la interacción de dos factores AC (temperatura de fermentación y temperatura de horneado 1) afectan significativamente a la variable peso con un nivel de significancia del 5%.

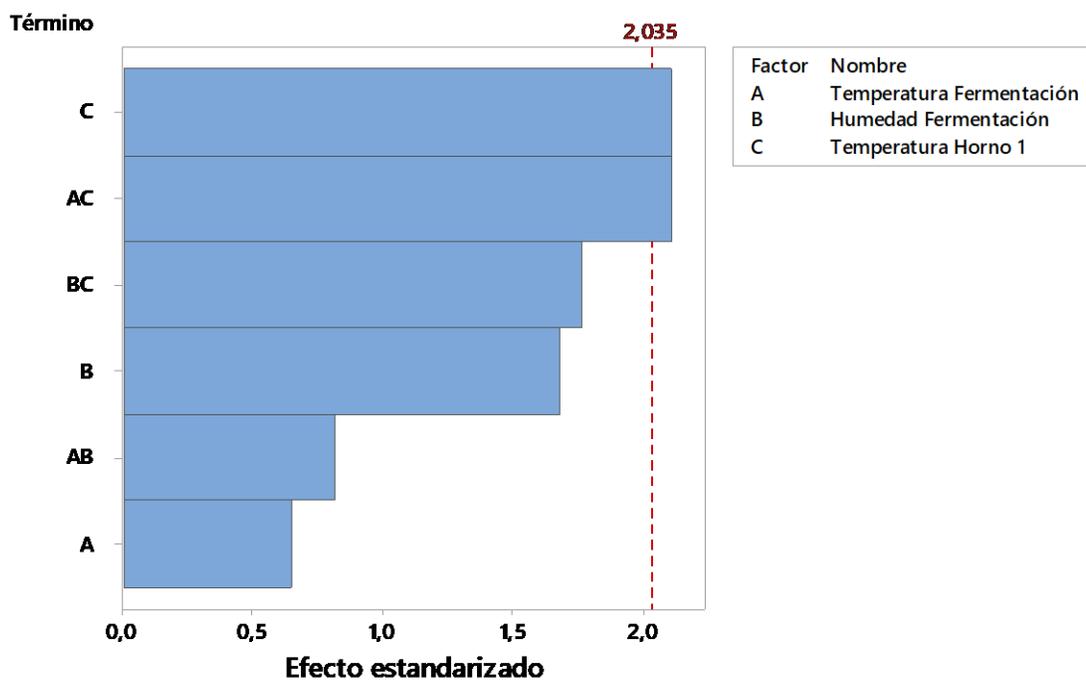


Figura 6.11 Diagrama de Pareto de efectos: Peso Pan Amasado Grande.

La figura 6.12 muestra los efectos principales sobre la variable peso del producto, donde se obtiene un peso promedio máximo de 175,4 gramos cuando la temperatura de horneado es de 215°C y un peso promedio mínimo de 173 gramos cuando la temperatura alcanza los 210°C. El resumen de datos para los efectos principales se muestra en la tabla 6.16.

Tabla 6.16 Peso promedio de los efectos principales: Pan Amasado Grande.

Parámetro de proceso	Peso Promedio (g)	
A	34 °C	173,8 ± 4,5
	36 °C	174,5 ± 3,7
B	65%	175,2 ± 4,5
	68%	173,2 ± 3,4
C	210 °C	173,0 ± 3,0
	215 °C	175,4 ± 4,7

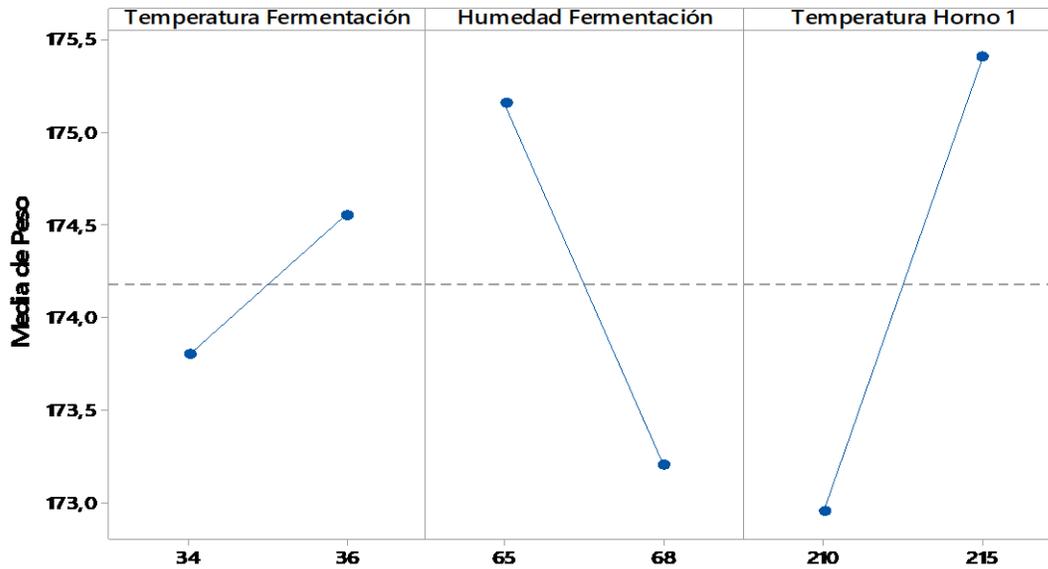


Figura 6.12 Gráfica de efectos principales: Peso Pan Amasado Grande.

Por otro lado, según el diagrama de Pareto analizado, muestra que la interacción entre los parámetros de proceso AC (temperatura de fermentación y temperatura de horneado 1) tiene un efecto significativo ($\alpha = 5\%$) sobre la variable peso del producto. En la gráfica 6.17 se observa esta interacción, donde el producto alcanza un peso máximo de 177 gramos cuando los parámetros operacionales son 36°C para la temperatura de fermentación y 215°C para la temperatura del horno 1. El resumen de resultados se encuentra en la tabla 6.17.

Tabla 6.17 Peso promedio de la combinación AC: Pan Amasado Grande.

Parámetro de proceso		Peso Promedio (g)
A	C	
34 °C	210°C	173,8 ± 4,0
34 °C	215°C	173,8 ± 5,2
36 °C	210°C	172,1 ± 1,0
36 °C	215°C	177,0 ± 3,9

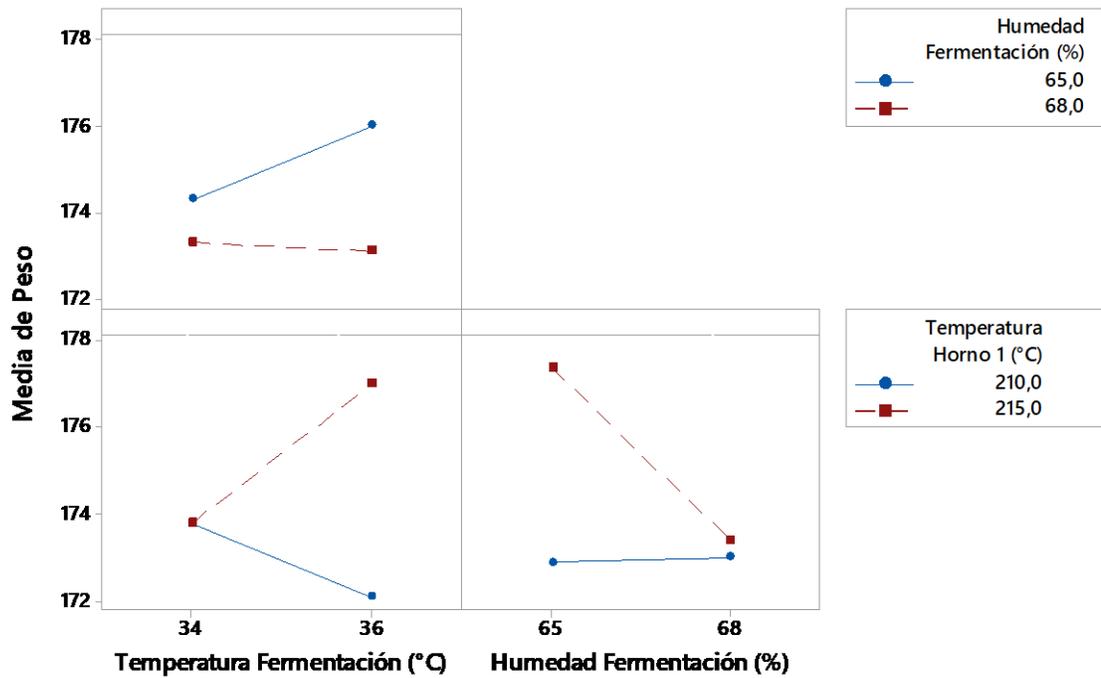


Figura 6.13 Gráfica de interacciones: Peso Pan Amasado Grande.

Por lo tanto, tras el análisis de los parámetros e interacciones que afectan significativamente ($\alpha=5\%$) sobre el peso del producto Pan Amasado Grande, las condiciones de proceso para obtener un peso mínimo o máximo son (tabla 6.18):

Tabla 6.18 Condiciones de proceso para un peso mínimo y máximo: Pan Amasado Grande.

Parámetros de Proceso	Etiqueta	Valor Parámetro	
		Peso mínimo	Peso máximo
Temperatura de Fermentación	A	36°C	36°C
Humedad de Fermentación	B	68%	65%
Temperatura de Horneo 1	C	210°C	215°C

➤ Largo

En la figura 6.14 se observa el diagrama de Pareto de efectos para el largo del producto Pan Amasado Grande. El gráfico muestra que la interacción de dos factores AC (temperatura de fermentación y temperatura de horneo 1) afectan significativamente a la dimensión largo con un nivel de significancia del 5% ya que cruza la línea de referencia.

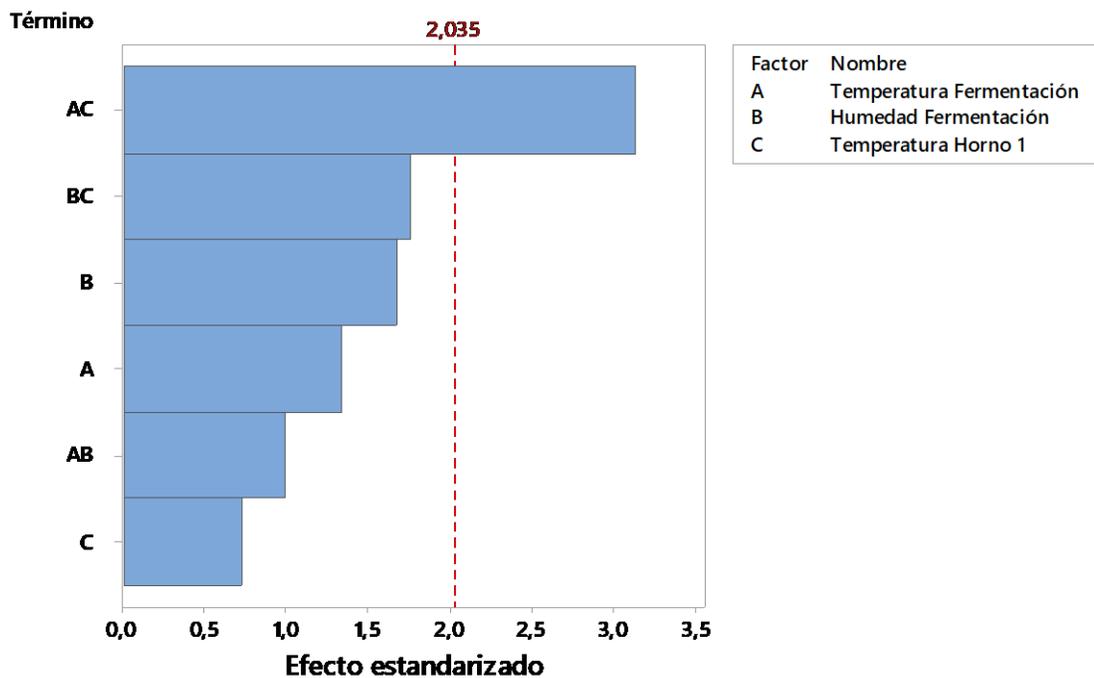


Figura 6.14 Diagrama de Pareto de efectos: Largo Pan Amasado Grande.

La tabla 6.19 junto con la figura 6.15, reflejan que el largo promedio del producto se encuentra entre 15 cm y 15,5 cm, observándose un largo máximo de 15,5 cm cuando la combinación de temperaturas es de 36°C de fermentación y una temperatura de horneo 1 de 215°C.

Tabla 6.19 Largo promedio para combinación AC: Pan Amasado Grande.

Parámetro de proceso		Largo Promedio (cm)
A	C	
34 °C	210°C	15,3 ± 0,4
34 °C	215°C	15 ± 0,2
36 °C	210°C	15,1 ± 0,1
36 °C	215°C	15,5 ± 0,6

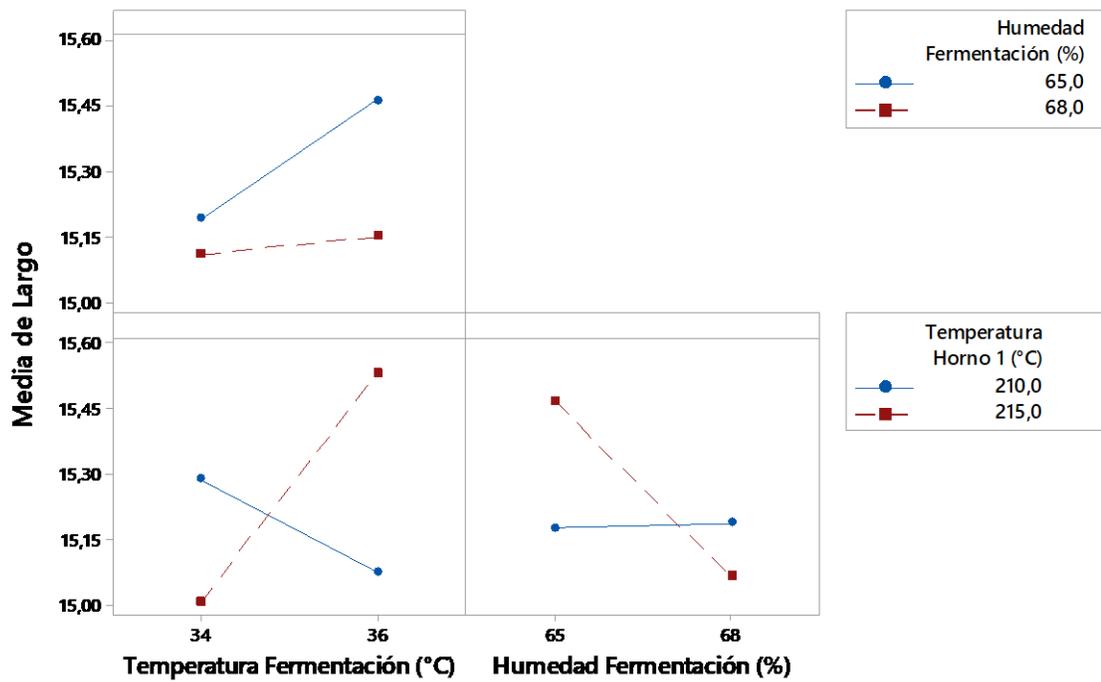


Figura 6.15 Gráfica de interacciones: Largo Pan Amasado Grande.

➤ Ancho

Con respecto al ancho, en la figura 6.16 se observa el diagrama de Pareto de efectos para el ancho del producto Pan Amasado Grande. El gráfico muestra que los factores A (temperatura de fermentación), B (humedad de fermentación) y C (temperatura de horneo 1) y la interacción de dos factores AB (temperatura de fermentación y temperatura de horneo 1) afectan significativamente a la dimensión ancho con un nivel de significancia del 5%. La fermentación y la etapa de horneo son uno de los factores que influyen en los cambios de volumen del pan (Collado-Fernández, 2003; Rusell, 2016)

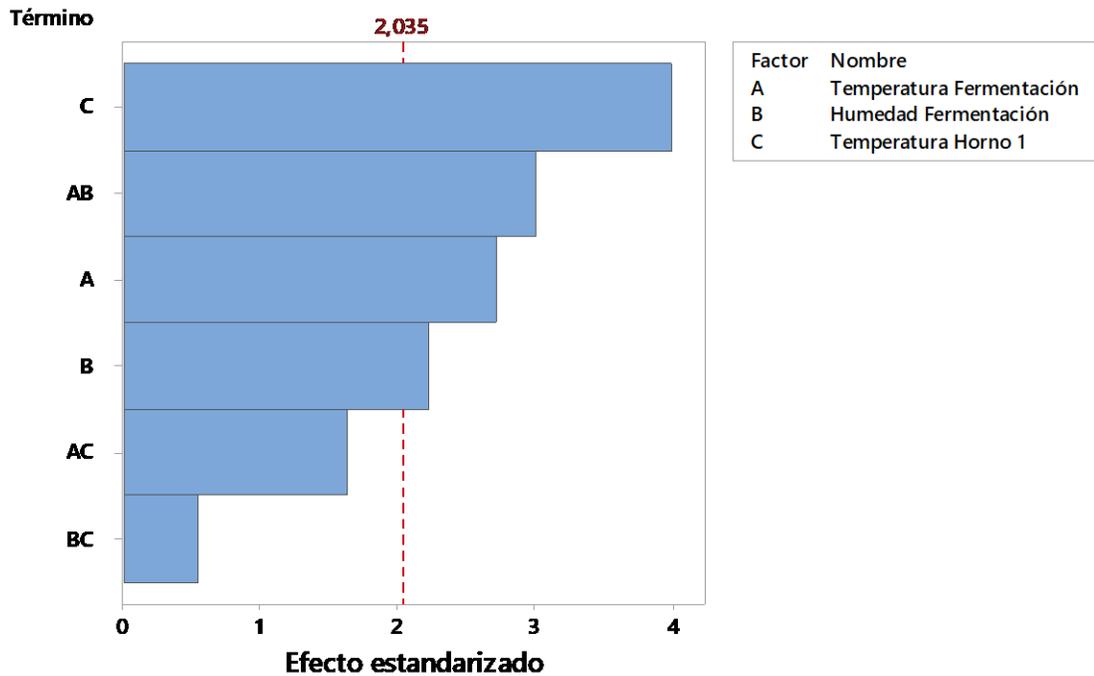


Figura 6.16 Diagrama de Pareto de efectos para Ancho Pan Amasado Grande.

La tabla 6.20 junto con la figura 6.17 reflejan que el ancho promedio del producto se encuentra entre 14 y 14,5 cm. Por otra parte, la interacción entre los parámetros AB que muestra la figura 6.18 indica que el ancho del producto presenta valores entre 13,9 y 14,6 cm.

Tabla 6.20. Ancho promedio de los efectos principales: Pan Amasado Grande.

Parámetro de proceso		Ancho Promedio (cm)
A	34 °C	14,4 ± 0,3
	36 °C	14,1 ± 0,5
B	65%	14,2 ± 0,5
	68%	14,4 ± 0,3
C	210 °C	14,5 ± 0,2
	215 °C	14,1 ± 0,5

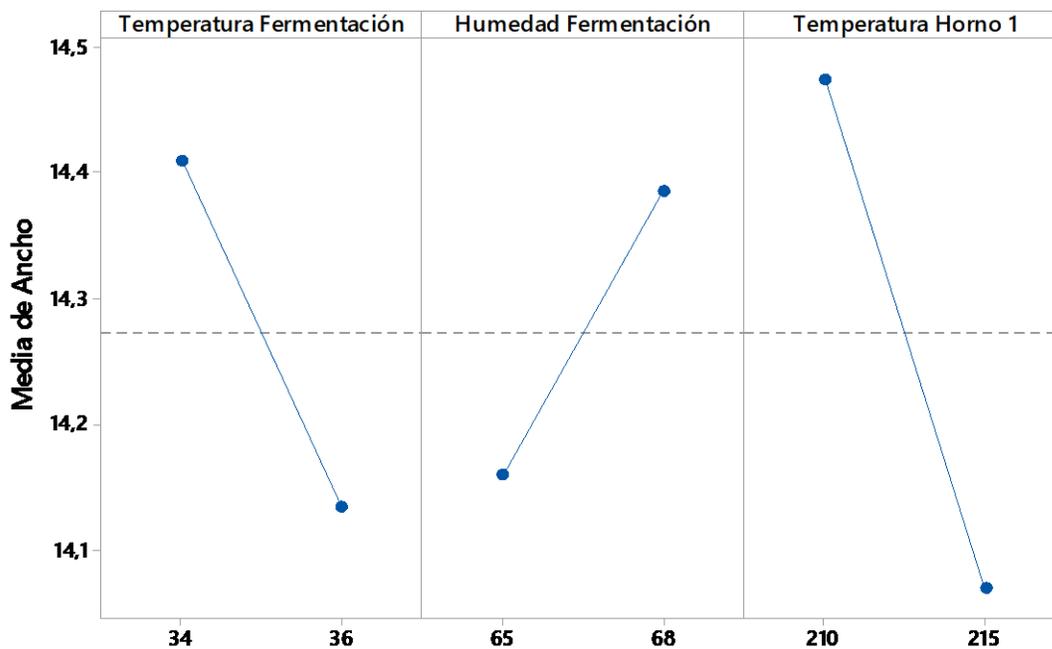


Figura 6.17 Gráfica de efectos principales: Ancho Pan Amasado Grande.

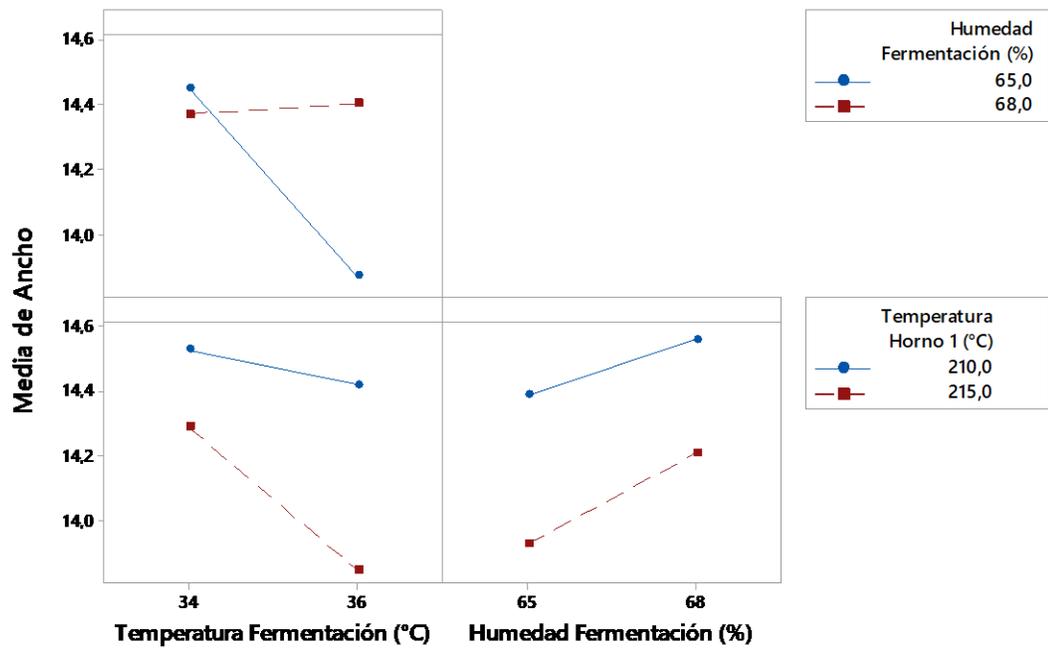


Figura 6.18 Gráfica de interacciones: Ancho Pan Amasado Grande.

➤ Alto

En la figura 6.19 muestra el diagrama de Pareto de efectos para la dimensión Alto del producto Pan Amasado Grande. El gráfico muestra que los factores principales C (temperatura de horneo 1) tiene un efecto estadísticamente significativo con un nivel de significancia del 5% sobre la altura del producto.

Esto se debe principalmente a que la masa termina su proceso de fermentación unos minutos después de entrar al horno. Al aumentar la temperatura de la masa, la velocidad de fermentación y producción de gas aumenta hasta alcanzar los 45°C – 55°C (que es el rango de temperatura de inactivación de la levadura), causando el salto de horno del pan (Russell, 2016).

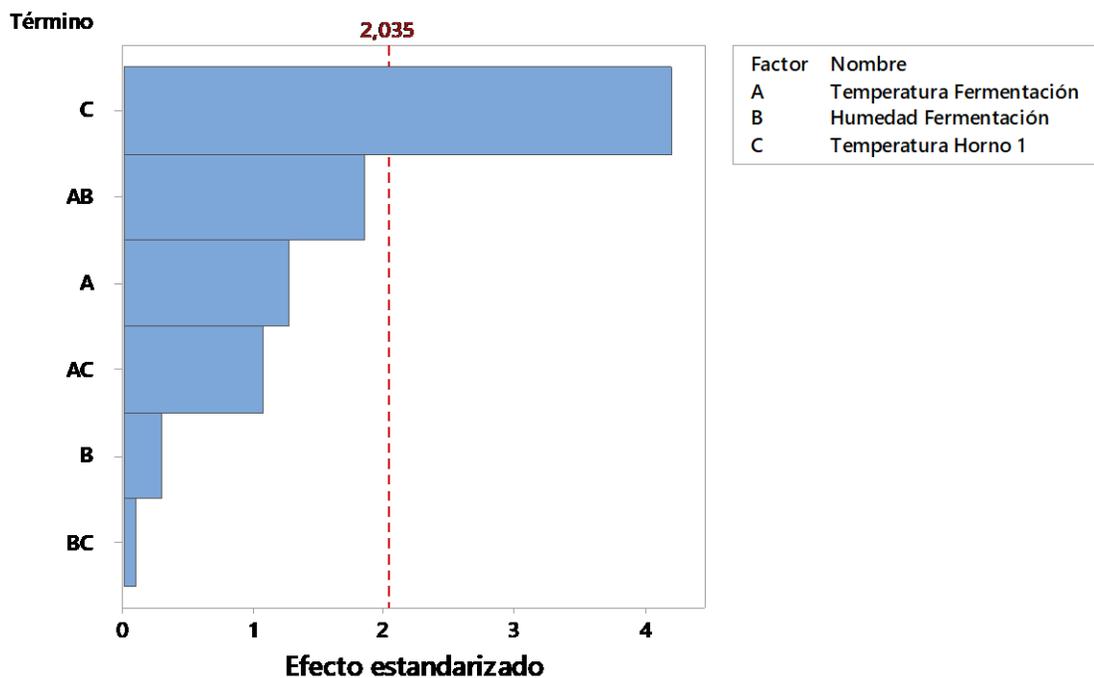


Figura 6.19 Diagrama de Pareto de efectos: Alto Pan Amasado Grande.

La figura 6.20 muestra los efectos principales para la dimensión alto del producto Pan Amasado Grande. Se observa que el producto posee una altura máxima de 3,9 cm cuando la temperatura de horneado 1 es de 210°C durante la producción y una altura mínima de 3,7 cm cuando la temperatura anteriormente mencionada es de 215°C.

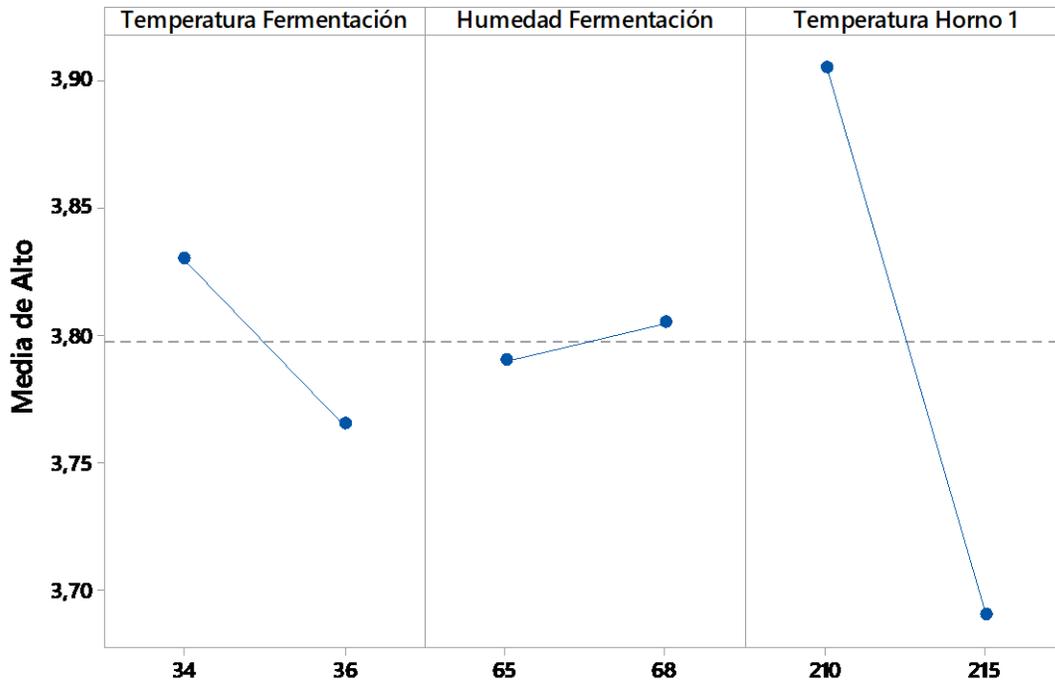


Figura 6.20 Gráfica de efectos principales: Alto Pan Amasado Grande.

6.4 Monitoreo del proceso

Como anteriormente se mencionó, los gráficos de control de Shewart permiten la visualización de las características de calidad a medir que son obtenidas mediante una recolección de muestras de productos a lo largo de un periodo de tiempo. Por este motivo, se desarrolla la herramienta estadística o “Dashboard”, que consiste en una herramienta para el monitoreo del peso y de las dimensiones de los productos elaborados en la empresa.

El “Dashboard” (anexo 2) presenta de manera dinámica e interactiva los gráficos de control de Shewart de los productos, elaborados según lo que establece la Norma Chilena 2234 – ISO 8258. Esta herramienta permite realizar un monitoreo de todos los productos elaborados en la empresa, permitiendo establecer planes de acción en caso de que algún producto no cumpla con los límites de control calculados o especificaciones de dimensiones descritas en fichas técnicas.

En relación con los casos de estudio, el muestreo se realizó 110 veces (en producciones independientes) para el producto Hallulla y 20 veces para el producto Pan Amasado Grande, durante 4 meses. Para cada producción y para ambos productos, se recolectaron 10 muestras, totalizando 1110 unidades de hallullas y 200 unidades de Pan Amasado Grande. Cada muestra fue pesada y medida en el laboratorio de calidad de la empresa y su valor fue registrado.

Los datos se dividieron en subgrupos, donde cada subgrupo contiene 10 muestras. En todos los gráficos de control, las especificaciones (líneas punteadas) se grafican para una comparación más cómoda con los límites superior de control (LSC - línea roja), límite inferior de control (LIC – línea anaranjada) y línea central (LC – línea verde). Los límites de control para los gráficos de promedio para el peso, largo, ancho y alto se determinaron mediante las ecuaciones 6, 7 y 8. Los límites de control para los gráficos de desviación estándar se calcularon gracias a las ecuaciones 3, 4 y 5. Los valores de las constantes A_3 , B_3 y B_4 son respectivamente 0.975, 0.284 y 1,716 (anexo 1).

6.4.1 Hallulla

En este caso de estudio, los datos se recolectaron de 110 producciones independientes. Un total de 1110 muestras fueron pesadas y medidas en el laboratorio de calidad de la empresa.

En primer lugar, el gráfico de control para el peso promedio del producto está representado en la figura 6.21. Los valores de las especificaciones inferior y superior son respectivamente 95 y 105 gramos. Por otro lado, los valores límites de control superior, línea central y límite inferior de control son de 100 g; 102,5 g y 105 g. En esta figura se observa que hay 7 puntos fuera de control. Sin embargo, desde el subgrupo 50 en adelante se observa que los datos se encuentran en control estadístico ya que los datos se ubican dentro de los límites de control calculados. La figura 6.22 muestra el gráfico de desviación estándar. Este se encuentra bajo control estadístico, con un rango de variación 0,7 y 4,2 gramos.

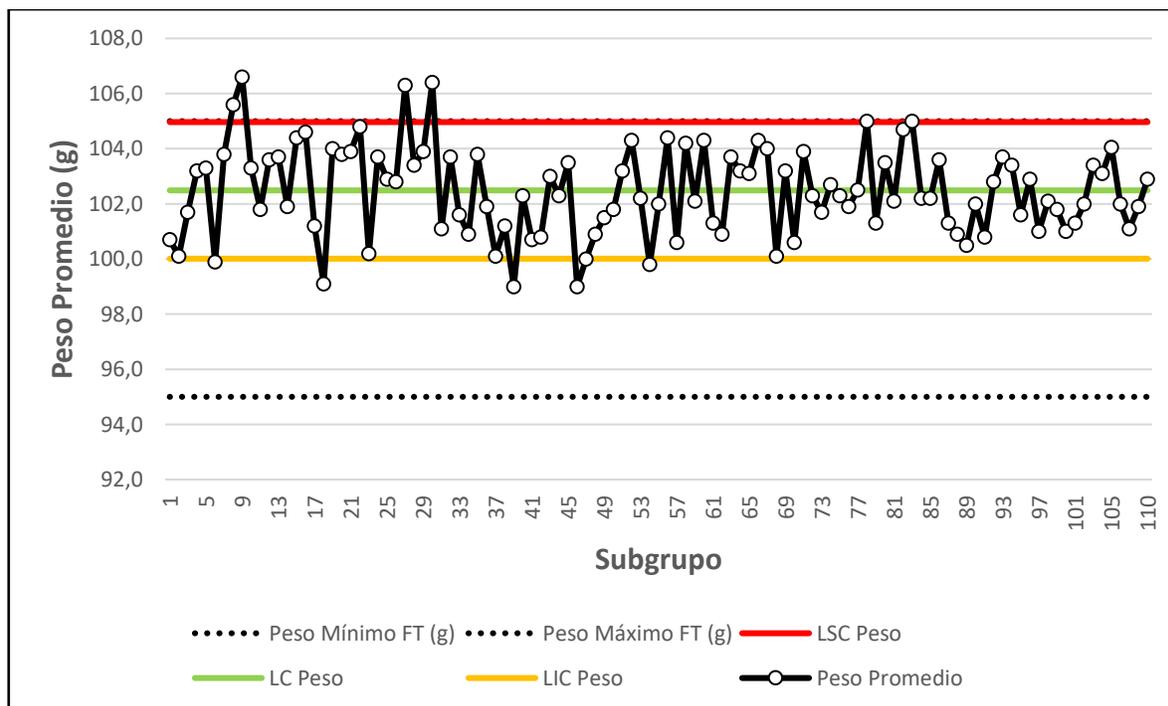


Figura 6.21 Gráfico de promedio: Peso Hallulla.

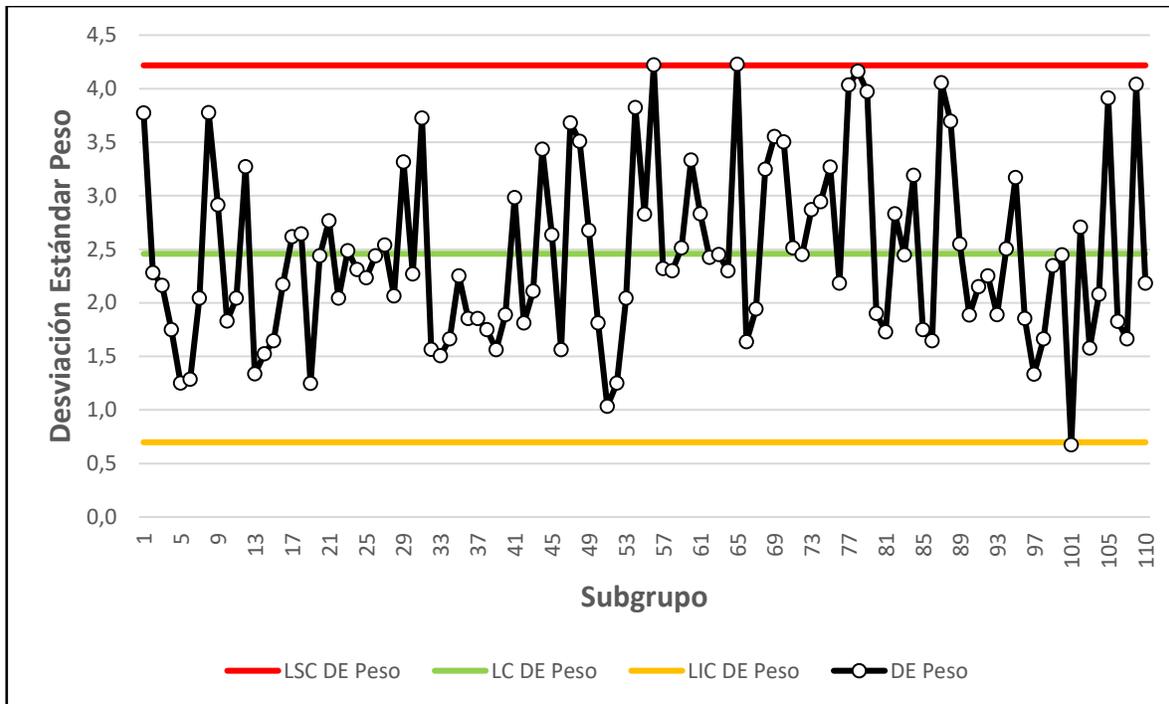


Figura 6.22 Gráfico de desviación estándar: Peso Hallulla.

En cuanto al largo del producto, se observa en la figura 6.23 que los datos no se encuentran en control estadístico debido a que existen alrededor de 17 puntos que se encuentran fuera de los límites de control calculados, sin embargo, desde el subgrupo 60 que se encuentra bajo control estadístico. Por otra parte, los valores de los límites superior, central e inferior de control tienen valores de 11,7; 11,4 y 11,2 cm. Cabe destacar que el valor del límite central de control calculado (11,4 cm) es similar al límite de especificación superior (11,5 cm). Además, al observar el gráfico de promedio del largo del producto, este no cumple con la especificación máxima descrita en fichas técnicas. En relación con el gráfico de desviación estándar (figura 6.24), este indica que la medida del largo del producto varía en promedio entre 0,1 y 0,5 cm.

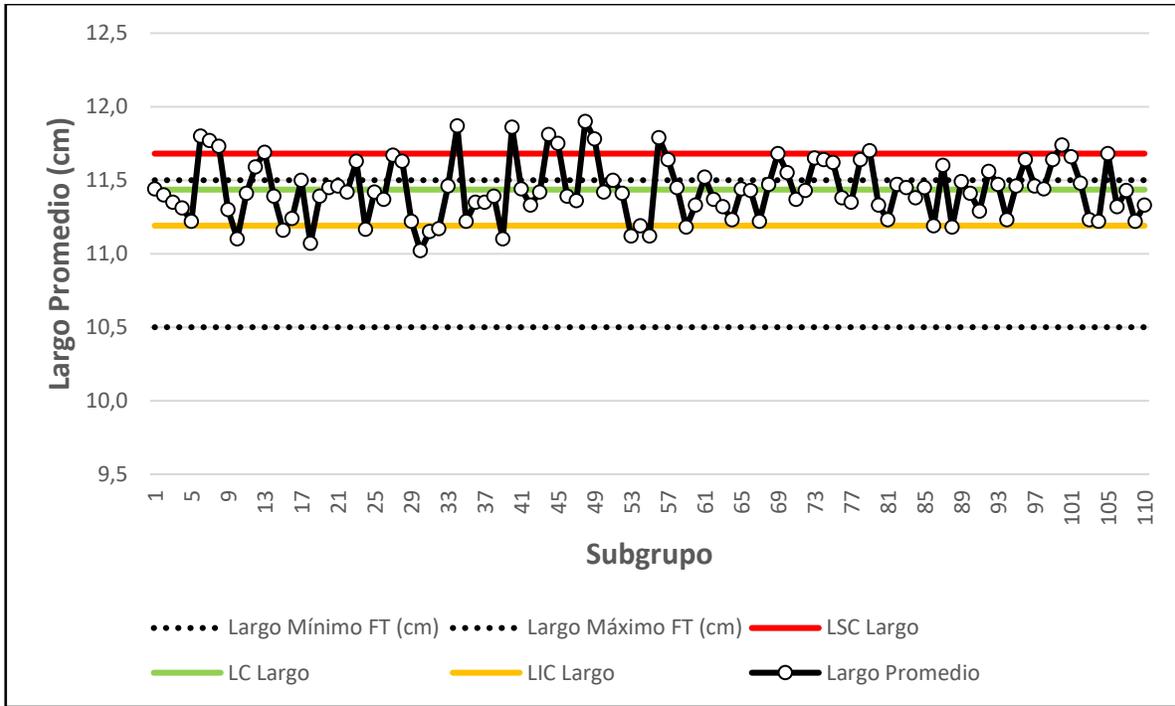


Figura 6.23 Gráfico de promedio: Largo Hallulla.

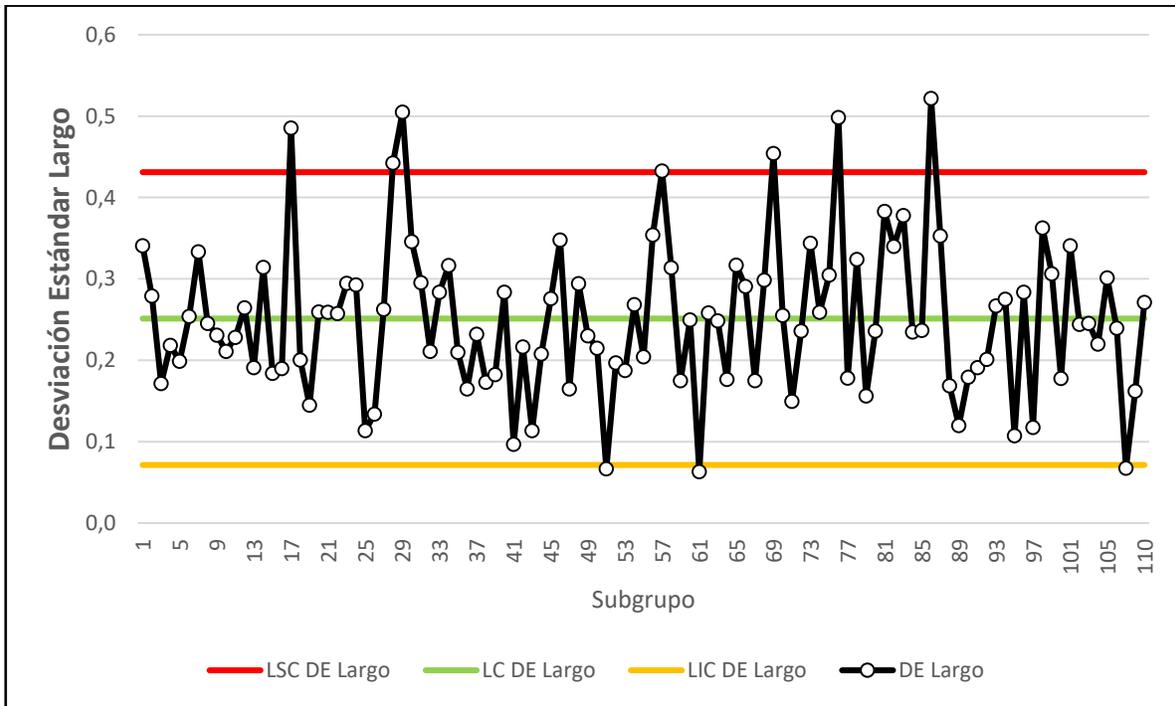


Figura 6.24 Gráfico de desviación estándar: Largo Hallulla.

En relación con el ancho del producto, el gráfico de promedio (figura 6.25) presenta un límite superior de control de 11,1 cm; un límite central de 10,9 cm y un límite inferior de control de 10,7 cm. Si bien existen pocos puntos que se encuentran fuera de los límites de control, desde el subgrupo 50 que se encuentra prácticamente bajo control estadístico ya que los valores que se encuentran fuera de control se encuentran bastante cerca de los límites de control calculados. Es importante notar que las muestras analizadas cumplen con las especificaciones de ancho descritas en fichas técnicas.

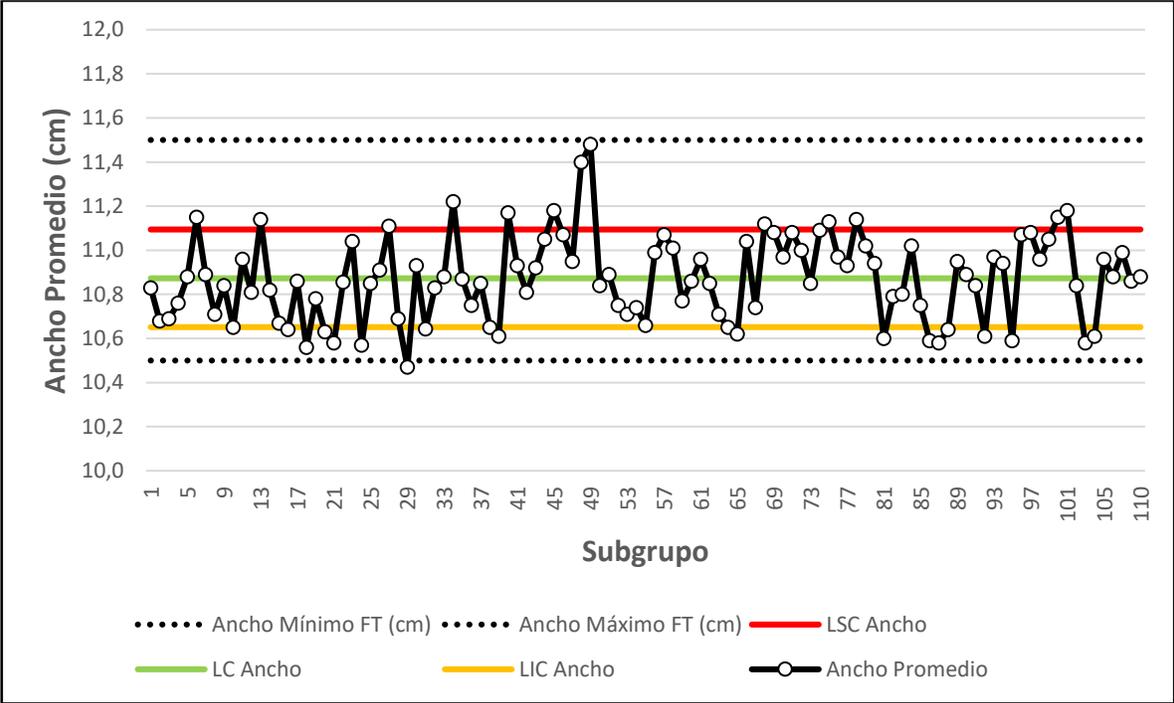


Figura 6.25 Gráfico de promedio: Ancho Hallulla.

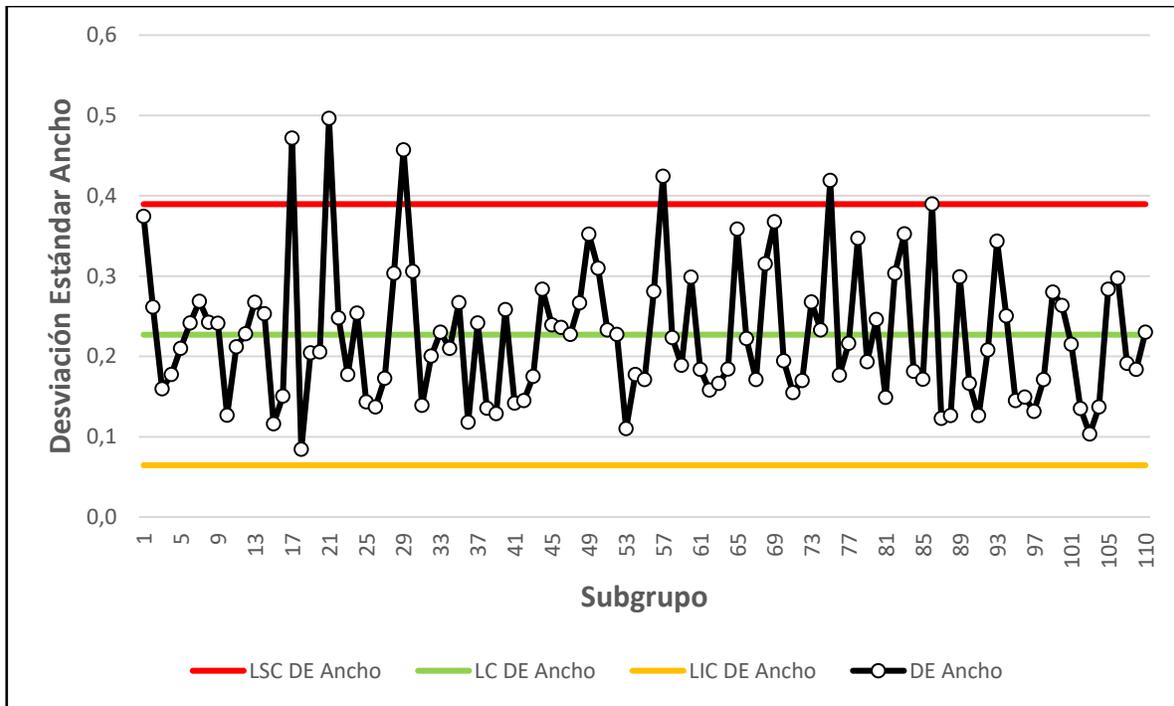


Figura 6.26 Gráfico de desviación estándar: Ancho Hallulla.

Por último, el gráfico de promedio de la altura del producto (figura 6.27) se encuentra fuera de control estadístico debido a los diversos puntos que fuera de los límites de control calculados. Sin embargo, gran parte de las muestras se encuentran dentro de los límites de especificación. En relación con la figura 6.28, el gráfico de desviación estándar se encuentra bajo control estadístico, mostrando que el rango de variación de la altura se encuentra entre 0,1 a 0,2 cm en promedio.

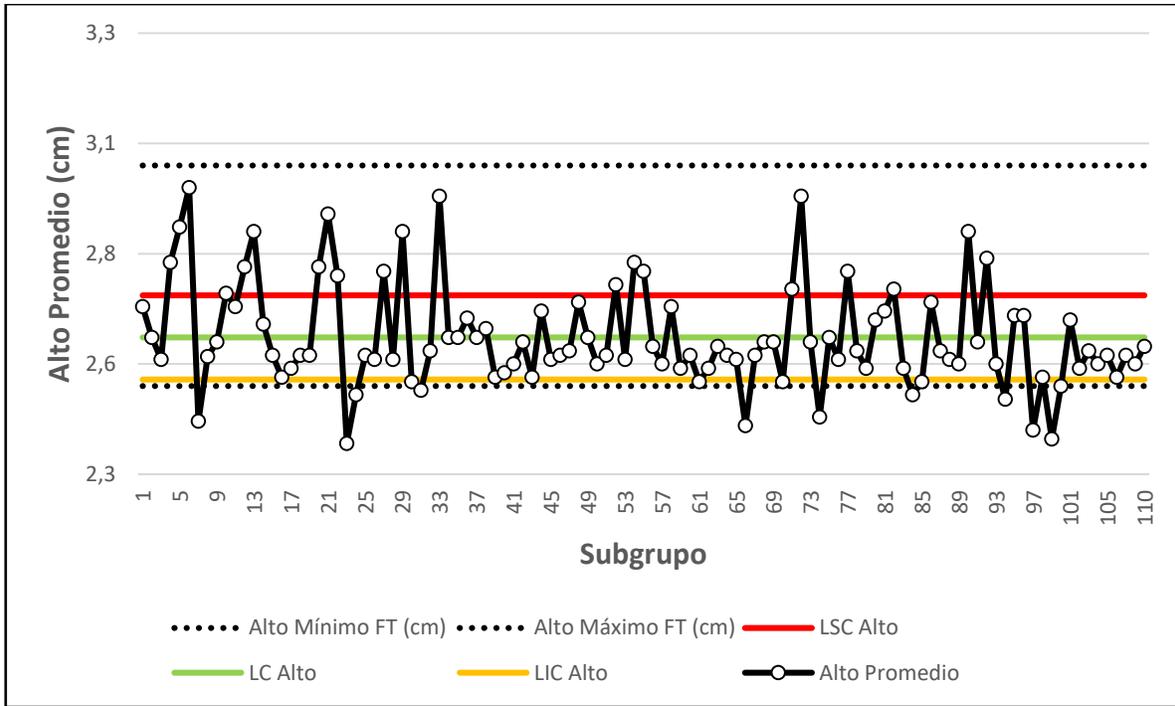


Figura 6.27 Gráfico de promedio: Alto Hallulla.

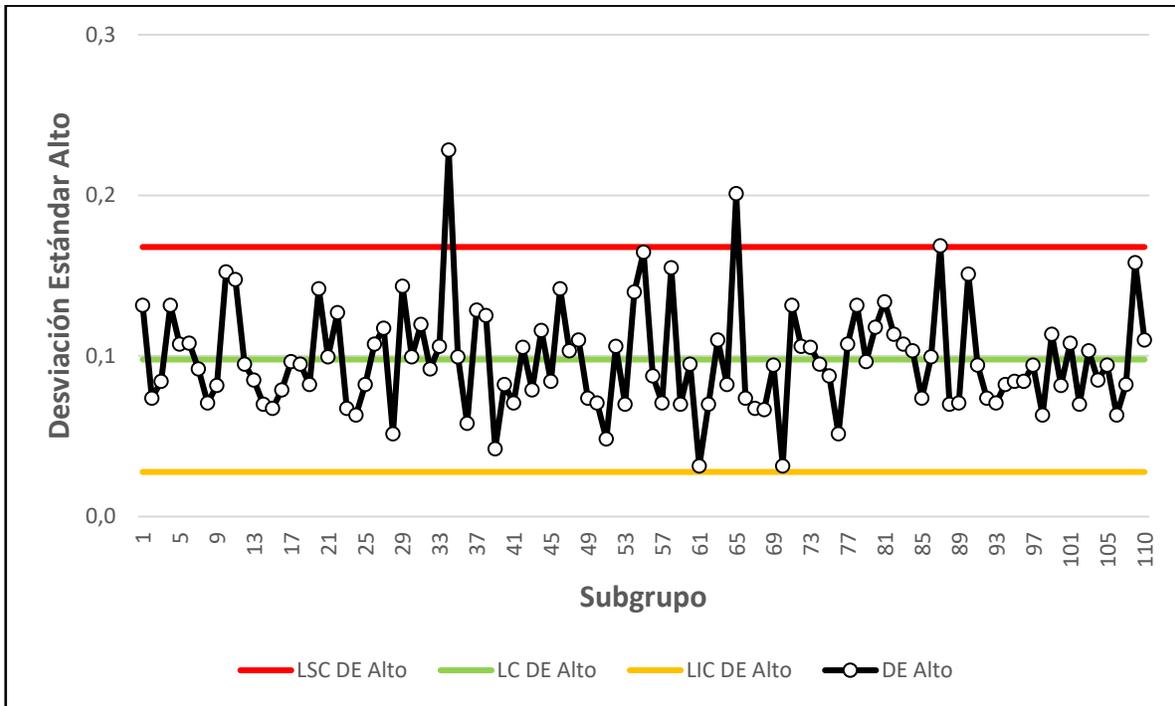


Figura 6.28 Gráfico de desviación estándar: Alto Hallulla.

6.4.2 Pan Amasado Grande

Al igual que el caso anterior, se monitoreó un total de 200 muestras, las cuales fueron pesadas y medidas en el laboratorio de calidad de la empresa.

En primer lugar, el gráfico de control para el peso promedio del producto está representado en la figura 6.29. Los valores de las especificaciones inferior y superior son respectivamente 160 y 170 gramos. Por otro lado, el valor del límite inferior de control es de 166,7 gramos; el valor del límite central es de 172,6 gramos y el valor del límite superior de control es de 178,6 gramos. A simple vista, este gráfico se encuentra bajo control estadístico debido a que no existe ningún punto fuera de los límites de control calculados. Sin embargo, es posible notar que existen muestras que no cumplen el peso establecido en fichas técnicas. La figura 6.30 muestra el gráfico de desviación estándar, que indica que se encuentra bajo control estadístico, con un rango de variación entre 1,7 y 10,5 gramos.

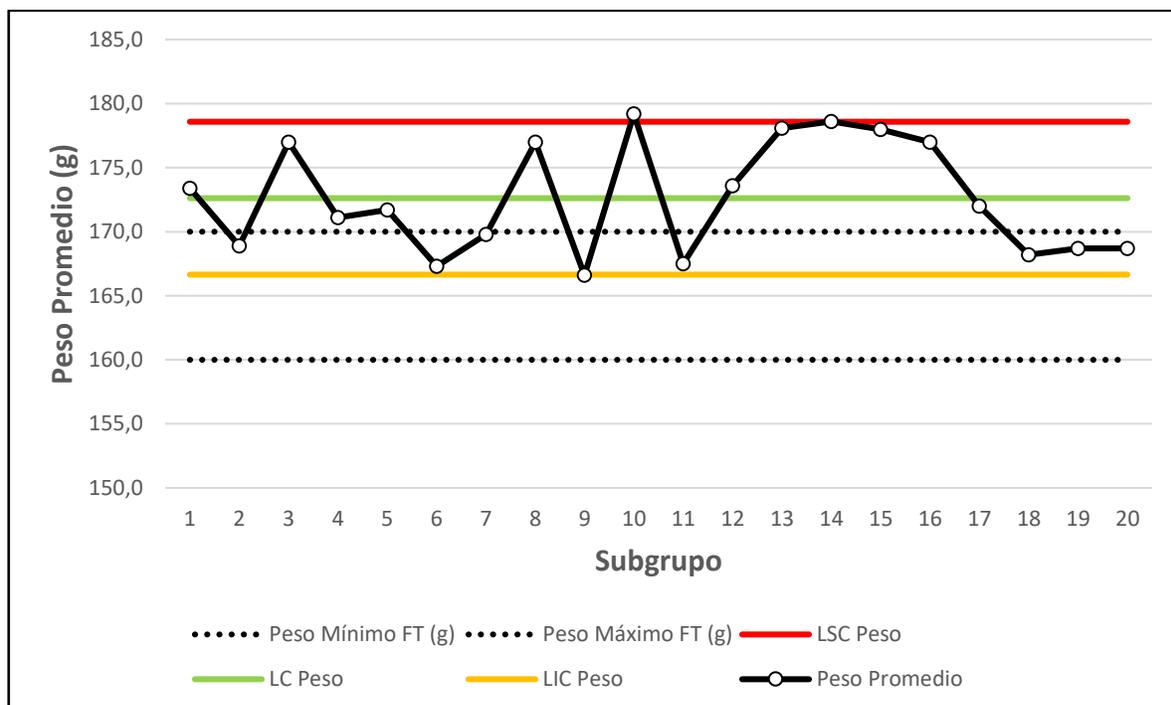


Figura 6.29 Gráfico de promedio: Peso Pan Amasado Grande.

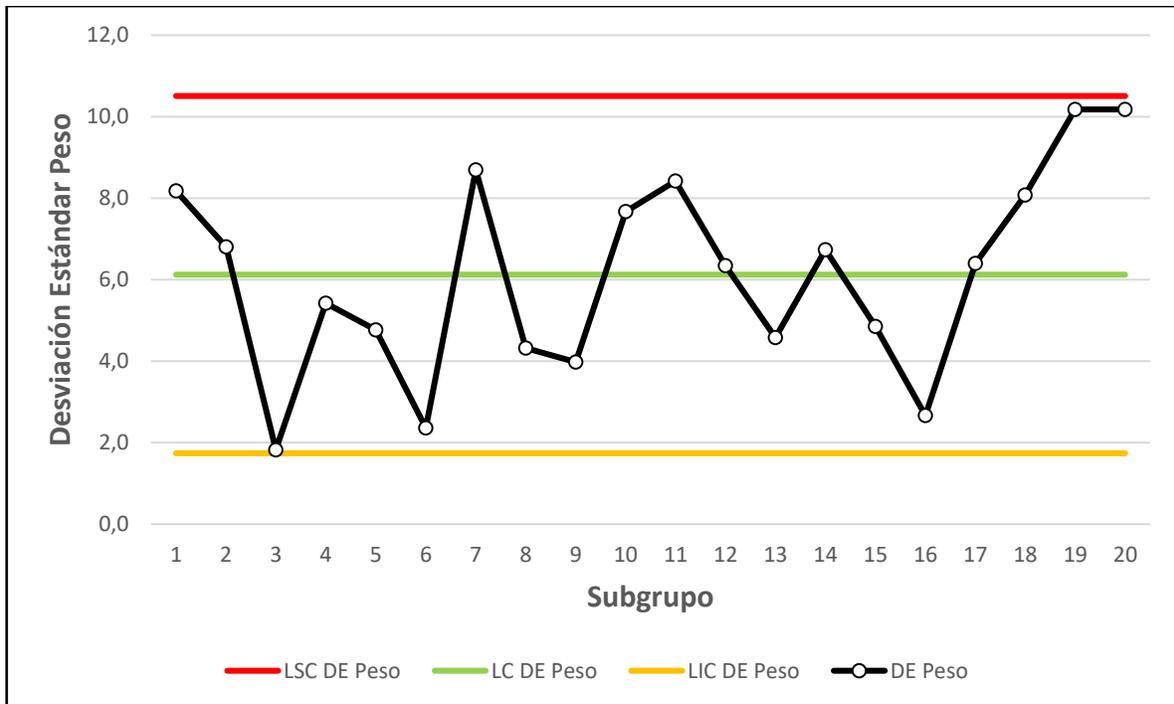


Figura 6.30 Gráfico de desviación estándar: Peso Pan Amasado Grande.

Con respecto al largo del producto, la figura 6.31 muestra que el gráfico de promedio para el largo del producto se encuentra bajo control estadístico, aunque no cumple con las dimensiones descritas en fichas técnicas. Sus límites de control superior e inferior presentan valores de 15,8 cm y 16,5 cm respectivamente. Mientras que el límite central presenta un valor de 16,2 cm. Además, el gráfico de desviación estándar (figura 6.32) del largo del producto indica que varía entre 0,1 y 0,6 cm, encontrándose bajo control estadístico.

Algo similar ocurre con el ancho del producto, donde se evidencia que, si bien la figura 6.33 muestra que los datos se encuentran bajo control estadístico, no cumple con las especificaciones de ficha técnica ya que la mitad de los puntos se encuentran bajo el límite de especificación mínima. El gráfico de desviación estándar (figura 6.34) indica que la desviación estándar del ancho del producto presenta valores entre 0,1 cm y 0,7 cm.

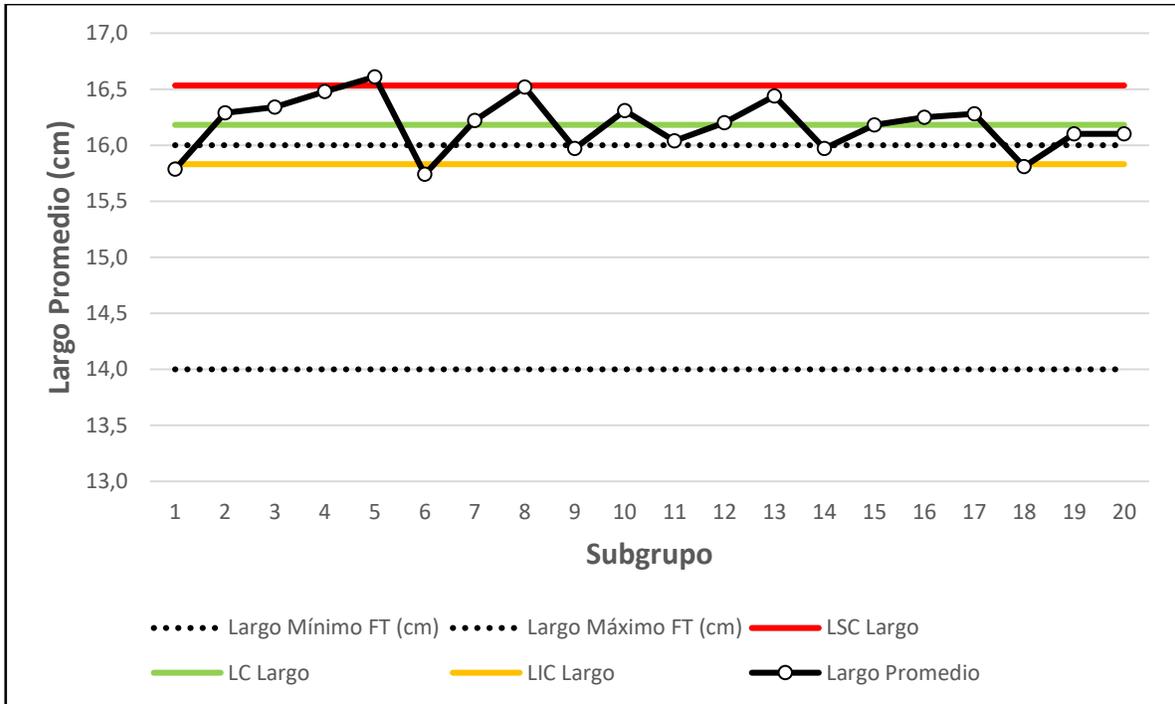


Figura 6.31 Gráfico de promedio: Largo Pan Amasado Grande.

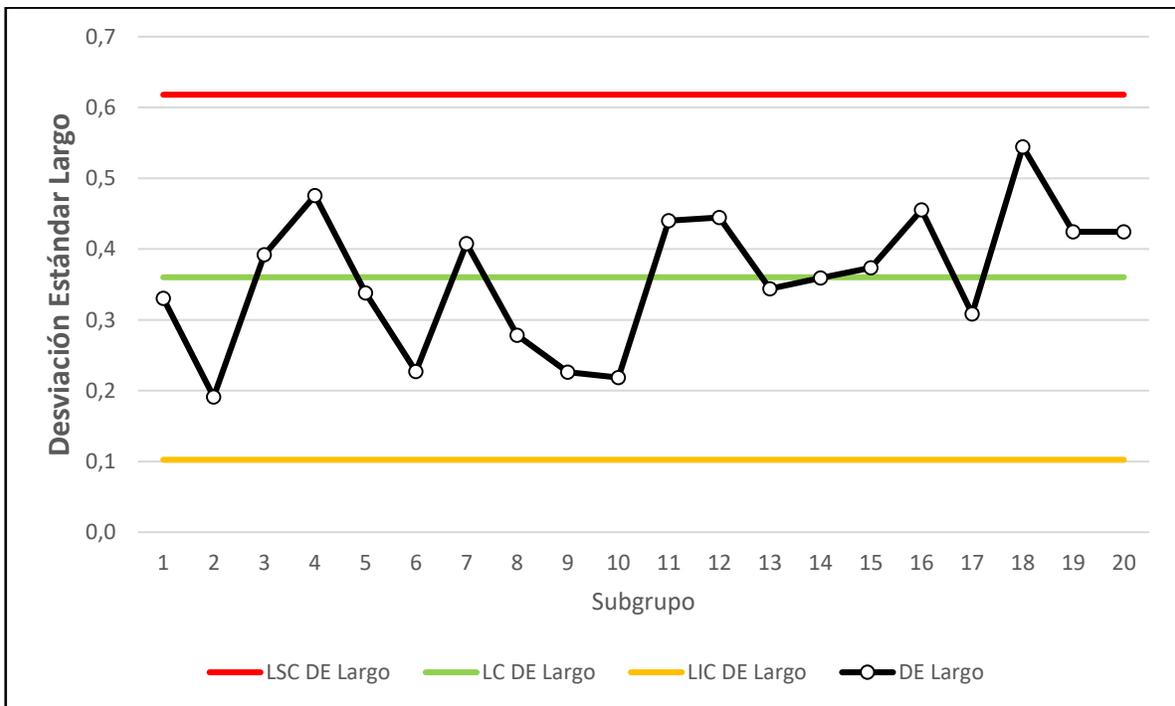


Figura 6.32 Gráfico de desviación estándar: Largo Pan Amasado Grande.

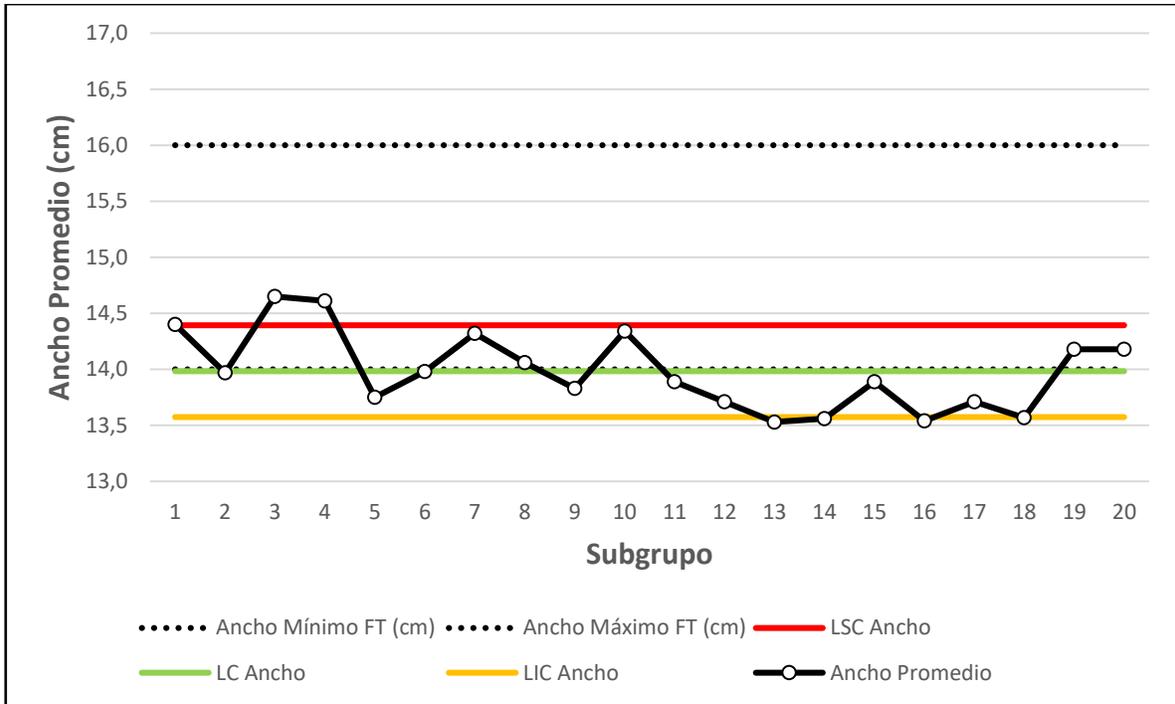


Figura 6.33 Gráfico de promedio: Ancho Pan Amasado Grande.

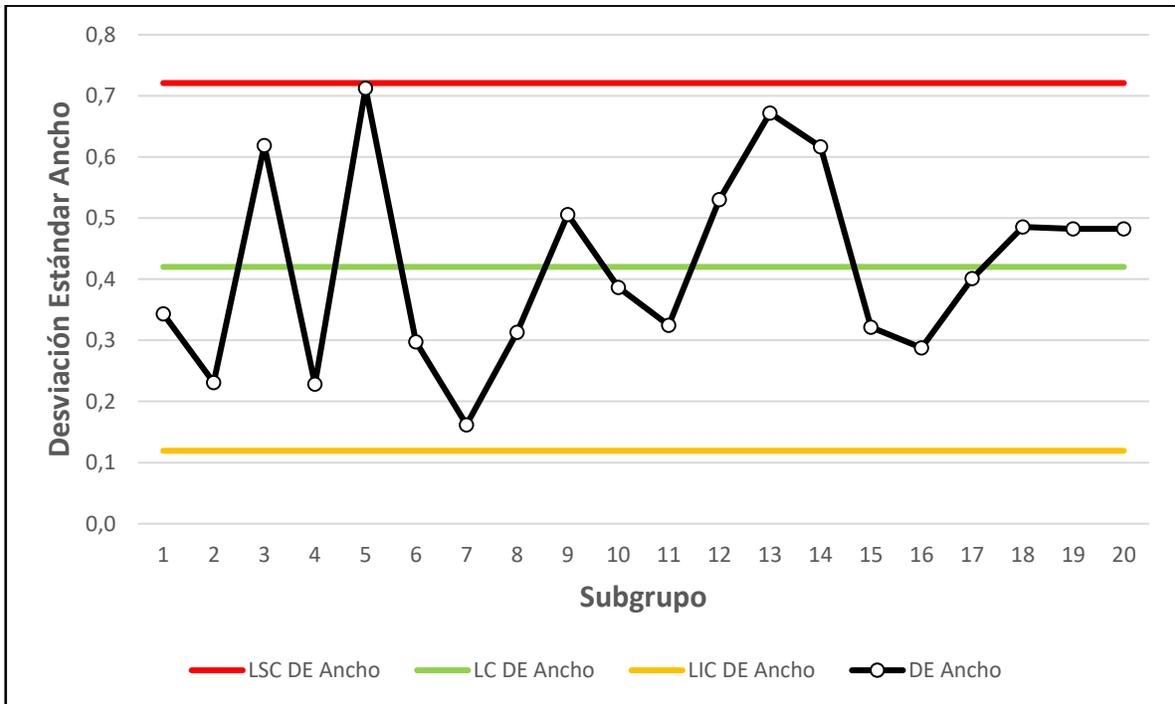


Figura 6.34 Gráfico de desviación estándar: Ancho Pan Amasado Grande.

Con respecto al alto promedio, su gráfico de control (figura 6.35) indica que se encuentra fuera de control estadístico debido a sus 5 puntos fuera de los límites de control calculados, aunque estos límites se encuentran dentro del rango de límites de especificación (3 a 4 cm), cumpliendo así este requisito. La figura 6.36 muestra el gráfico de desviación estándar, el cual se encuentra bajo control estadístico y presenta una desviación máxima de 0,3 cm.

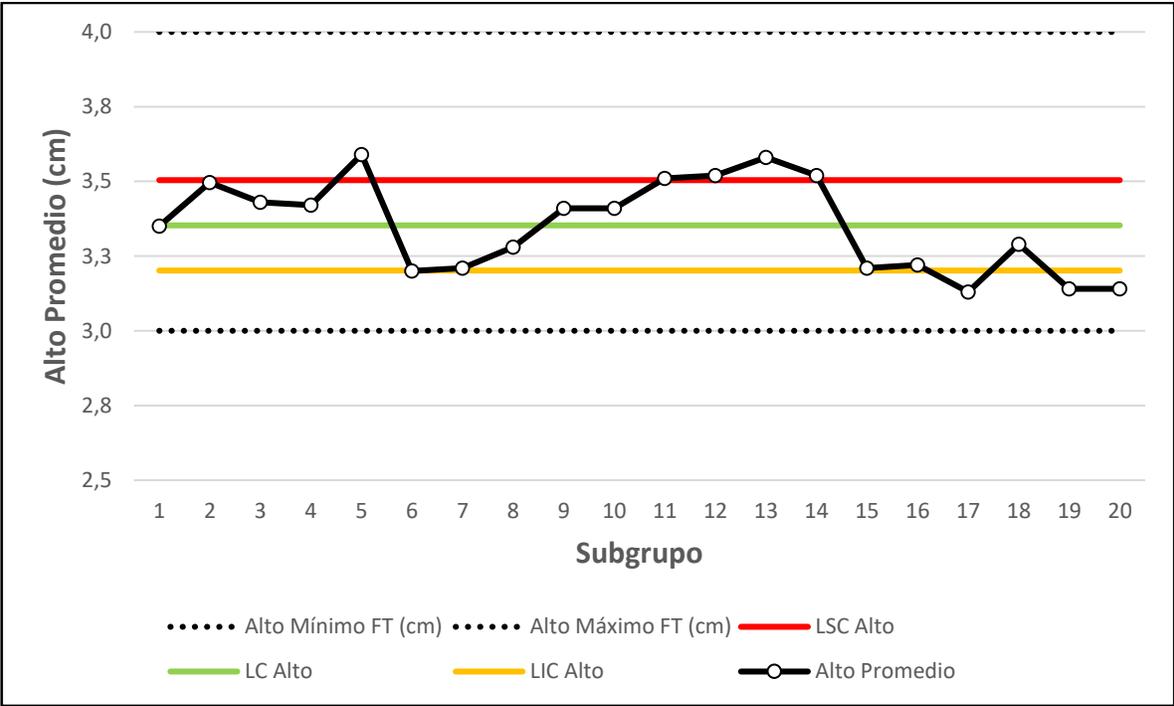


Figura 6.35 Gráfico de promedio: Alto Pan Amasado Grande.

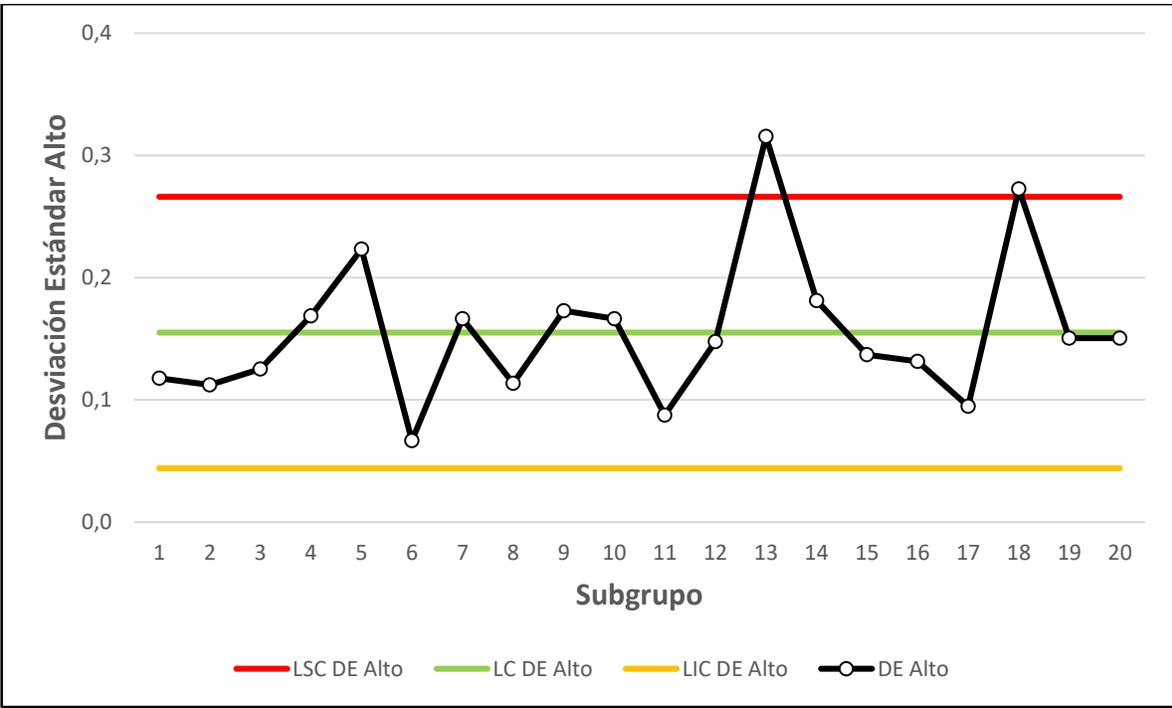


Figura 6.36 Gráfico de desviación estándar: Alto Pan Amasado Grande.

6.5 Establecimiento Plan de Acción (OCAP)

Un plan de acción (OCAP) consiste en diagrama de flujo o una descripción de la secuencia de actividades que debe llevarse a cabo después de una señal o punto fuera de control que presenta los gráficos de control (Montgomery, 2009).

Para los productos Hallulla y Pan Amasado Grande, se determina el siguiente plan de acción para controlar el peso de los productos (figura 6.37). Este diagrama refleja los pasos a seguir para eliminar las causas asignables que provocan que el proceso se encuentre fuera de control estadístico. Cabe recordar que el OCAP es un documento que se puede ir modificando con el tiempo a medida que se tiene más conocimiento y comprensión del proceso.

En primer lugar, al monitorear los gráficos de control de los productos (gráficos de promedio o gráficos de desviación estándar), si se encuentra un punto fuera de los límites de control, revisar si el dato medido fue registrado correctamente en el registro "*Planilla Control PT*". Si los datos fueron ingresados correctamente, se debe observar que gráfico presenta el punto fuera de control de los límites de control. Si el gráfico corresponde al gráfico de control del peso del producto, en primera instancia hay que verificar si las balanzas utilizadas para pesar el producto se encuentran calibradas. Posteriormente, corroborar que el producto crudo cumpla con las especificaciones POE. En caso de que no cumpla las especificaciones, se debe regular el calibrador de la línea de proceso a un rango de valor de presión entre 44 y 48 PSI, tanto para la hallulla como para el Pan Amasado Grande. Esto permite regular la altura del producto y el peso de ambos productos.

Una vez regulado el calibrador, se verifican los parámetros de proceso, tanto en la etapa de fermentación como en la etapa de horneado. Esto aplica para todos los gráficos de control. Para el caso del producto Hallulla, hay que tener énfasis en los parámetros de humedad de fermentación y temperatura de horneado del cuarto horno, ya que afectan significativamente en el peso y altura que adquiere el producto.

Para el caso del Pan Amasado Grande, se deben controlar todos los parámetros de proceso, teniendo un especial control a la temperatura de fermentación y a la temperatura de horneado del primer horno, ya que influyen significativamente en el peso y las dimensiones de este producto.

Al realizar este monitoreo de los parámetros de proceso, se debe registrar toda acción llevada a cabo o situación ocurrida para tener evidencia de lo que se realiza en dicha producción, tanto en los registros de producción como en los registros que maneja el área de calidad.

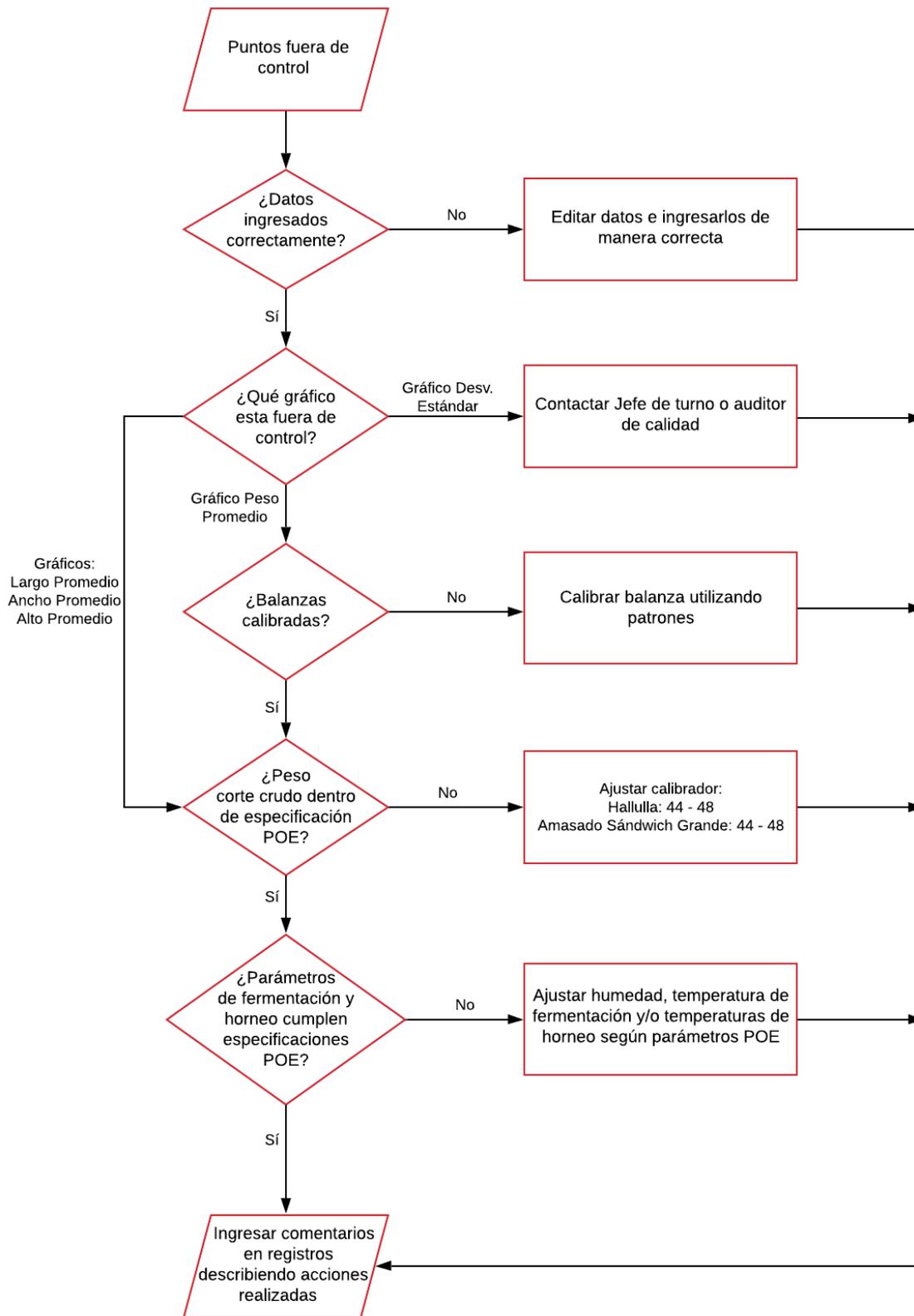


Figura 6.37 Plan de acción (OCAP).

6.6 Capacidad de Proceso

Para el análisis del proceso se utilizan los índices a corto plazo (C_p , C_{pk} , C_{pl} , C_{pu}), y los índices a largo plazo o globales (P_p , P_{pk} , P_{pl} , P_{pu} , C_{pm}), junto con los porcentajes de unidades defectuosas calculados mediante el programa estadístico Minitab 18. Es necesario resaltar que para un proceso que no siga una distribución normal o que no se encuentre en control estadístico, no se puede estimar indicadores de capacidad a corto plazo y solo es posible calcular los índices de capacidad de largo plazo o globales (Mosquera-Artamonov et al., 2014). Según estos índices de capacidad, se puede conocer si el proceso posee la habilidad de cumplir con las especificaciones como se muestra en la tabla 6.21.

Tabla 6.21. Análisis de los indicadores de capacidad de proceso.

	Índice	Interpretación
Cp o Pp	$C_p > 1,33$	Proceso es capaz de cumplir especificaciones.
	$1 < C_p < 1,33$	Cumple especificación, pero requiere control.
	$C_p < 1$	No cumple especificación.
Cpk o Ppk	$C_{pk} > 1,33$	Proceso es capaz de cumplir especificaciones satisfactoriamente.
	$1 < C_{pk} < 1,33$	Cumple especificación, pero requiere control.
	$0 < C_{pk} < 1$	Proceso no cumple con al menos una especificación.
	$C_{pk} < 0$	Proceso descentrado (promedio del proceso está fuera de las especificaciones).
Cpm	$C_{pm} > 1$	Proceso es capaz de cumplir especificaciones.
	$C_{pm} < 1$	Proceso No cumple con especificaciones.

6.6.1 Capacidad Proceso: Hallulla

El primer producto analizado es la Hallulla. Para poder determinar los índices de capacidad se hace la prueba de bondad de ajuste con la cual se determina que función de distribución estadística presenta el mejor ajuste de los datos (tabla 6.22).

Tabla 6.22 Prueba de bondad de ajuste Hallulla.

Distribución	Hallulla			
	P			
	Peso	Largo	Ancho	Alto
Normal	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Transformación Box - Cox	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Lognormal	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Lognormal de 3 parámetros	*	*	*	*
Exponencial	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Exponencial de 2 parámetros	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Weibull	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Weibull de 3 parámetros	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Valor extremo más pequeño	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Valor extremo más grande	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Gamma	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Gamma de 3 parámetros	*	*	*	*
Logística	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Loglogística	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Loglogística de 3 parámetros	*	*	*	*
Transformación de Johnson	-	-	-	-

*Valor faltante; - Transformación de Johnson no realizada

En dicha tabla, el valor p indica que los datos no son normales. Una de las razones es que la potencia de las pruebas de normalidad detecta un sesgo o diferencia minúscula del modelo de normalidad perfecto cuando el tamaño de la muestra es muy grande, siendo una solución a esta problemática utilizar un enfoque no paramétrico o utilizar una muestra representativa para determinar si los datos son normales (Santiago, 2017). Sin embargo, para este caso, se continua el análisis y se asume que los datos siguen una distribución normal (teorema del límite central) debido a que se posee un tamaño de muestra (510 datos) suficientemente grande (Soporte Minitab 18, 2019).

En la figura 6.39 se muestra el análisis de capacidad de proceso para el peso, largo, ancho y alto del producto. En la tabla 6.23 se muestra un resumen de los valores importantes a analizar. Para este análisis de capacidad, se utilizan los datos a partir del subgrupo 60 (510 datos en total) ya que estos se encuentran bajo control estadístico para el peso, largo y ancho del producto. De igual forma, se determina la capacidad del proceso para la altura del producto, analizando su capacidad con los índices de largo plazo P_p y P_{pk} (Montgomery, 2009).

El C_p calculado para el peso de la hallulla es de 0,6. Esto significa que el proceso no cumple las especificaciones (C_p calculado < 1). Por otra parte, el índice C_{pk} (0,3) indica que el proceso no cumple con al menos una especificación. En este caso, el proceso no cumple con la especificación superior, es decir, se están produciendo unidades de mayor peso al especificado ($C_{pu} = 0,3$). Cabe destacar que el proceso no cumple con la especificación inferior, ya que posee un índice de 0,9. Por otro lado, el índice de Taguchi ($C_{pm} = 0,43$) indica que el proceso no cumple las especificaciones por problemas de centrado. Además, el porcentaje de unidades defectuosas o que no cumplen con especificaciones de peso son de 18,75% a corto plazo y de 20, 12% a largo plazo, lo que se traduce a 187500 y 201200 unidades que no cumplen los requisitos por un millón de hallullas elaboradas.

El índice C_p para el largo del producto es de 0,61, lo que significa que el proceso no cumple con las especificaciones. El índice C_{pk} indica que al menos no cumple con una especificación, en este caso, con la especificación superior, ya que el índice C_{pu} posee un valor de 0,07. Cabe destacar que se cumple satisfactoriamente la especificación inferior, debido a que su índice C_{pl} es mayor a 1 ($C_{pL} = 1,15$). El índice C_{pm} es igual a 0,31, indicando que no se cumple las especificaciones y el porcentaje de unidades defectuosas es de un 42,09%.

Para el caso del ancho del producto, el índice de capacidad de proceso C_p es de 0,7. El índice C_{pk} (0,54), indica que al menos no cumple con una especificación, en este caso, con la especificación inferior, porque el C_{pl} posee un valor de 0,54. El índice C_{pm} es igual a 0,54, indicando que no se cumple las especificaciones debido a que el proceso no se encuentra centrado y el porcentaje de unidades defectuosas es de un 5,64%.

Finalmente, el índice P_p para la altura es de 0,59. Además, el índice P_{pk} (0,20) indica que al menos no cumple con una especificación, en este caso, con la especificación inferior. El índice C_{pm} es igual a 0,38, por lo que todos los índices indican que no se cumple con las especificaciones definidas en fichas técnicas. El porcentaje de unidades que no cumple con la especificación es de un 27,65%.

Tabla 6.23 Índices de capacidad de proceso Hallulla.

Dimensión	Corto Plazo			Largo Plazo			
	C_p	C_{pk}	% NC	P_p	P_{pk}	C_{pm}	% NC
Peso	0,6	0,3	18,75%	0,57	0,29	0,43	20,12%
Largo	0,61	0,07	42,09%	0,55	0,06	0,31	42,93
Ancho	0,7	0,54	5,64%	0,58	0,45	0,54	10,34
Alto	0,83	0,28	20,13%	0,59	0,2	0,38	27,65

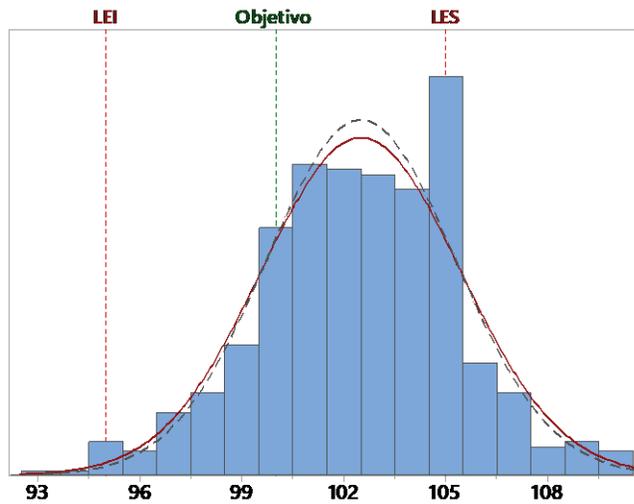
%NC: Porcentaje de producto no conforme a especificación

Procesar datos	
LEI	95
Objetivo	100
LES	105
Media de la muestra	102,494
Número de muestra	510
Desv.Est. (Largo plazo)	2,92657
Desv.Est. (Corto plazo)	2,78342

—	Largo plazo
- - -	Corto plazo

Capacidad largo plazo	
Pp	0,57
PPL	0,85
PPU	0,29
Ppk	0,29
Cpm	0,43

Capacidad corto plazo	
Cp	0,60
CPL	0,90
CPU	0,30
Cpk	0,30



	Rendimiento		
	Observado	Esperado Largo plazo	Esperado Corto plazo
% < LEI	0,39	0,52	0,35
% > LES	11,37	19,59	18,40
% Total	11,76	20,12	18,75

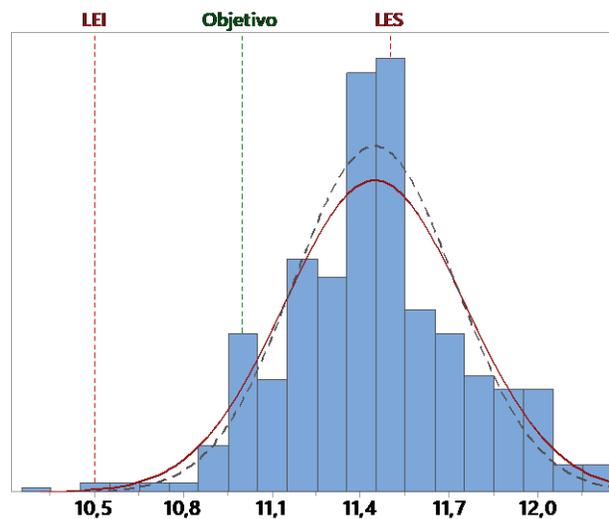
A)

Procesar datos	
LEI	10,5
Objetivo	11
LES	11,5
Media de la muestra	11,4451
Número de muestra	510
Desv.Est. (Largo plazo)	0,304139
Desv.Est. (Corto plazo)	0,274007

—	Largo plazo
- - -	Corto plazo

Capacidad largo plazo	
Pp	0,55
PPL	1,04
PPU	0,06
Ppk	0,06
Cpm	0,31

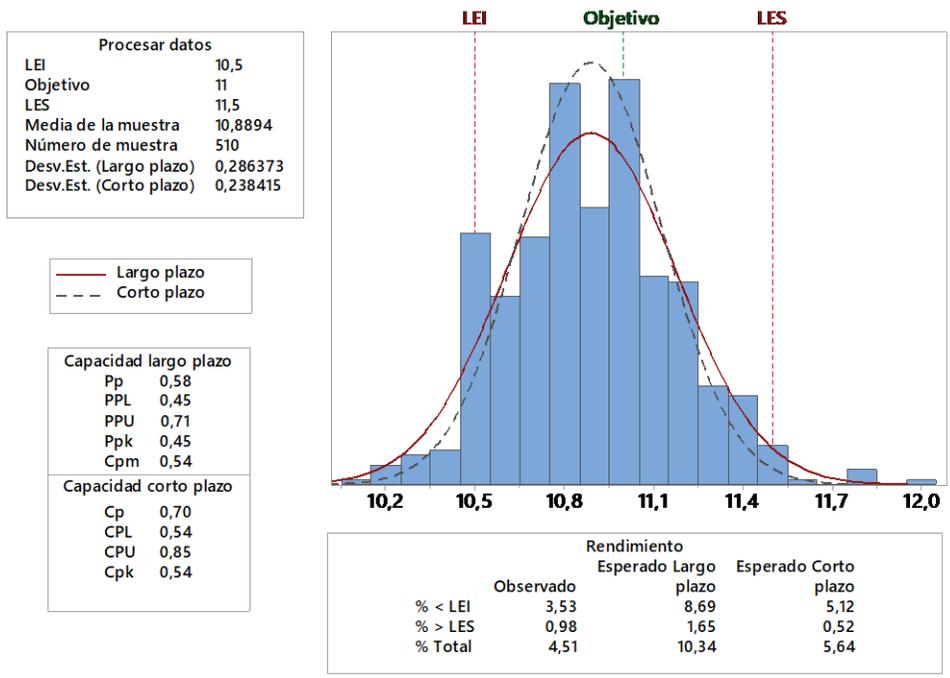
Capacidad corto plazo	
Cp	0,61
CPL	1,15
CPU	0,07
Cpk	0,07



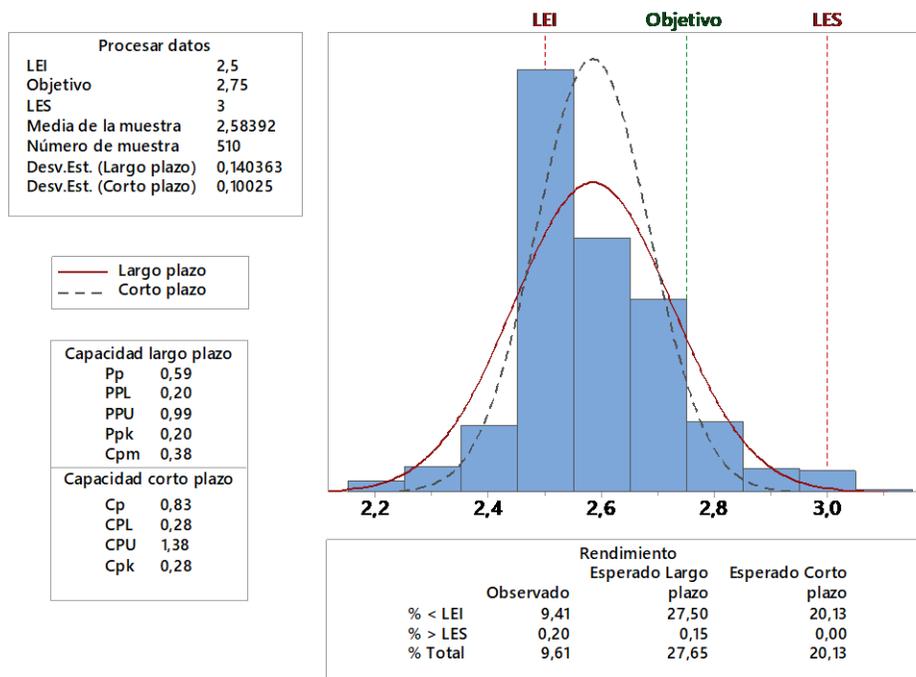
	Rendimiento		
	Observado	Esperado Largo plazo	Esperado Corto plazo
% < LEI	0,20	0,09	0,03
% > LES	30,20	42,84	42,06
% Total	30,39	42,93	42,09

B)

Figura 6.39. Análisis de capacidad de proceso Hallulla. A) Peso, B) Largo, C) Ancho y D) Largo.



C)



D)

Figura 6.39. Análisis de capacidad de proceso Hallulla. A) Peso; B) Largo, C) Ancho y D) Alto (continuación).

6.6.2 Capacidad Proceso: Pan Amasado Grande

El análisis de capacidad de proceso para el producto Pan Amasado Grande se llevó a cabo utilizando los 200 datos recolectados. Para determinar el índice de capacidad, se determina la prueba de bondad de ajuste para los datos (tabla 6.24). Al igual que para el caso anterior, se asume que los datos siguen una distribución normal.

En la figura 6.40 se muestra el análisis de capacidad de proceso para el peso, largo, ancho y alto del producto amasado grande y en la tabla 6.25 el resumen de resultados. El C_p calculado para el peso del amasado es de 0,25, lo que significa que el proceso no cumple las especificaciones. El índice C_{pk} (-0,13) indica que el proceso no cumple con la especificación superior, es decir, se están produciendo unidades de mayor peso al especificado. Por otro lado, el índice de Taguchi ($C_{pm} = 0,15$) indica que el proceso no cumple las especificaciones por problemas de centrado, ya que la curva de la gráfica se encuentra desplazada hacia la derecha del valor objetivo. Además, el porcentaje de unidades defectuosas o que no cumplen con especificaciones de peso son de 68,23% a corto plazo y de 68,31% a largo plazo.

El C_p para el largo del producto es de 0,9, no cumpliendo con las especificaciones. El índice C_{pk} (-0,16) indica que al menos no cumple con una especificación, en este caso, con la especificación superior. Cabe destacar que se cumple satisfactoriamente la especificación inferior, debido a que su índice C_{pl} es mayor a 1 ($C_{pL} = 1,97$). El índice C_{pm} es igual a 0,26, indicando que no se cumple las especificaciones y el porcentaje de unidades defectuosas es de un 68,84% a corto plazo.

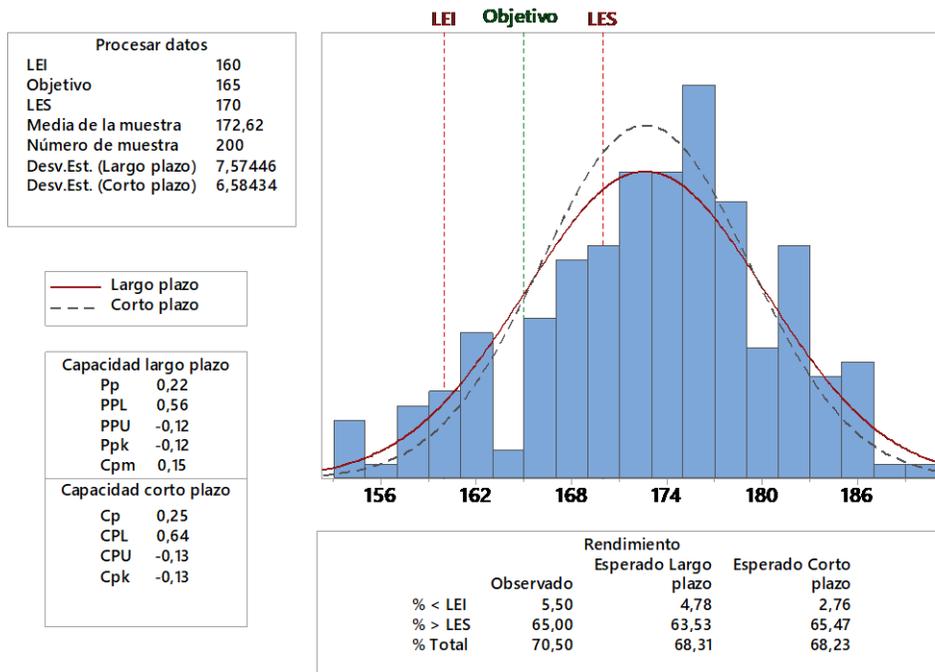
Tabla 6.24 Prueba de bondad de ajuste Pan Amasado Grande.

Distribución	Pan amasado grande			
	P			
	Peso	Largo	Ancho	Alto
Normal	< 0,005	< 0,005	0,039	< 0,005
Transformación Box - Cox	0,17	< 0,005	0,044	< 0,005
Lognormal	< 0,005	< 0,005	0,046	< 0,005
Lognormal de 3 parámetros	*	*	*	*
Exponencial	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Exponencial de 2 parámetros	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Weibull	0,048	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Weibull de 3 parámetros	0,548	< 0,005	0,024	< 0,005
Valor extremo más pequeño	0,015	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Valor extremo más grande	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Gamma	< 0,005	< 0,005	0,046	< 0,005
Gamma de 3 parámetros	*	*	*	*
Logística	< 0,005	< 0,005	0,007	< 0,005
Loglogística	< 0,005	< 0,005	0,008	< 0,005
Loglogística de 3 parámetros	*	*	*	*
Transformación de Johnson	0,177			

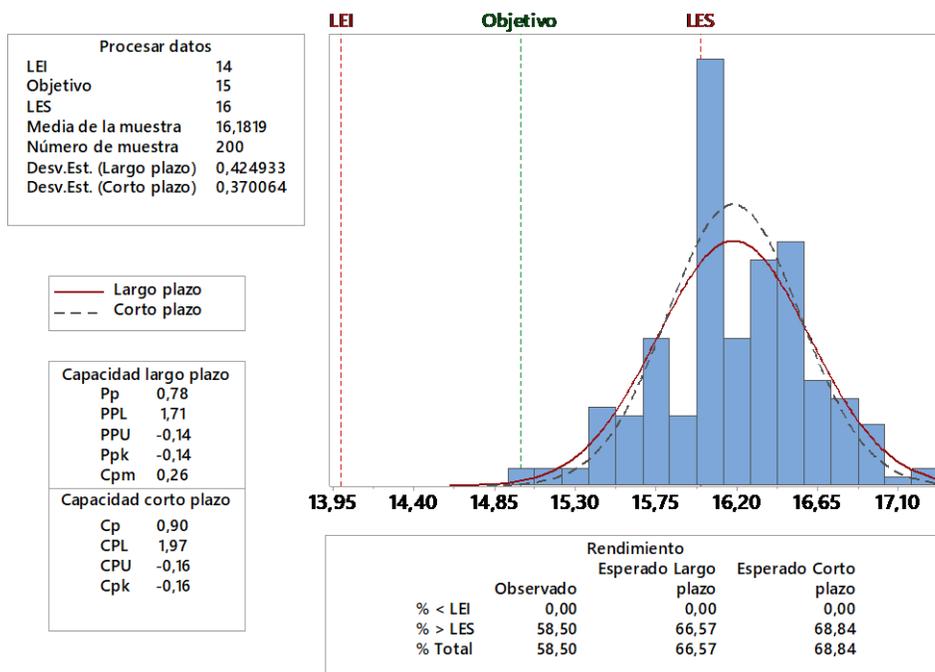
*Valor faltante; - Transformación de Johnson no realizada

Para el ancho, el índice Cp es de 0,74. El índice Cpk (-0,01), indica que al menos no cumple con una especificación, en este caso, con la especificación inferior. Sin embargo, cumple satisfactoriamente con el límite específico superior (Cpu=1,5). El índice Cpm es igual a 0,29, indicando que no se cumple las especificaciones debido a que el proceso no se encuentra centrado. Por último, el porcentaje de unidades defectuosas es de un 51,47%.

Finalmente, el índice Cp para la altura es de 1, indicando que la variabilidad del proceso es igual al rango de las especificaciones. Además, el índice Ck (0,71) indica que el proceso no cumple con la especificación inferior. El índice Cpm (0,63) indican que no se cumple con las ya que el proceso se encuentre descentrado y el porcentaje de unidades que no cumple con la especificación es de un 1,68%.

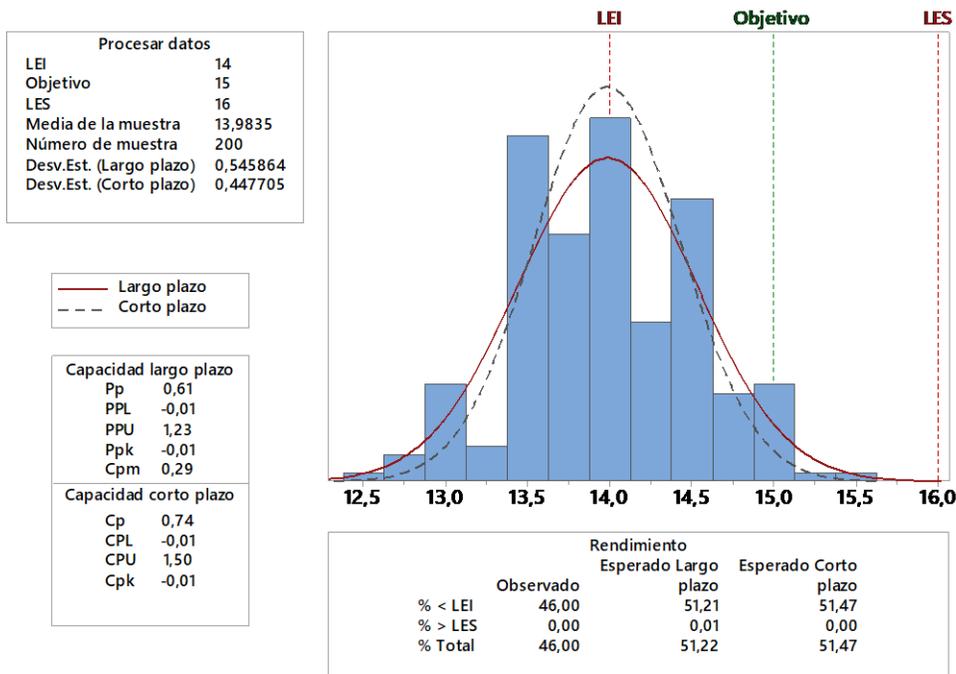


A)

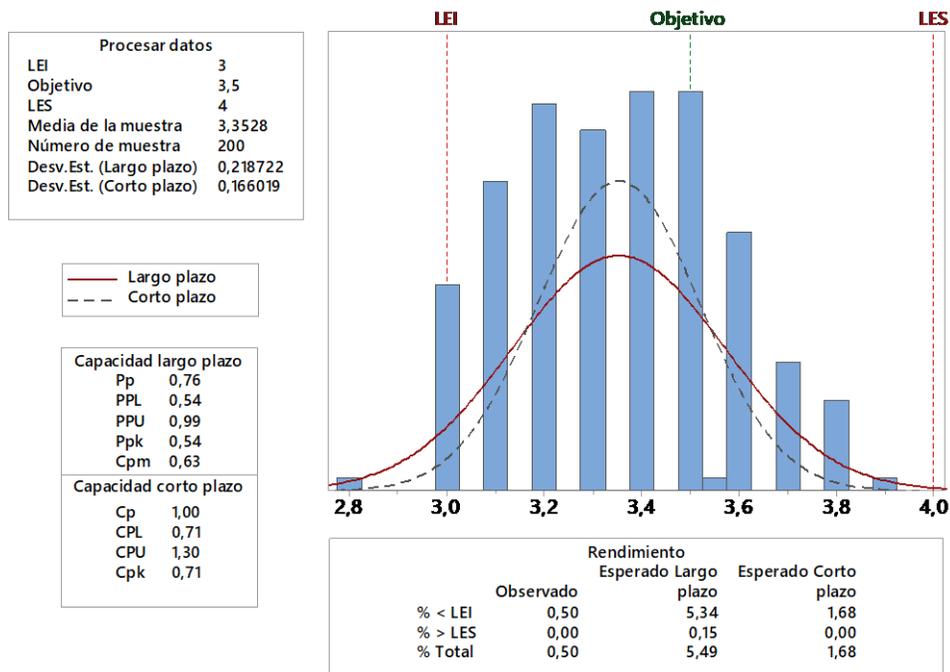


B)

Figura 6.40. Análisis de capacidad de proceso Pan Amasado Grande. A) Peso; B) Largo, C) Ancho y D) Alto.



C)



D)

Figura 6.40. Análisis de capacidad de proceso Pan Amasado Grande. A) Peso; B) Largo, C) Ancho y D) Alto (continuación).

Tabla 6.25 Datos de capacidad de proceso Pan Amasado Grande.

Dimensión	Corto Plazo			Largo Plazo			
	Cp	Cpk	% NC	Pp	Ppk	Cpm	% NC
Peso	0,25	0,13	68,22 %	0,22	-0,12	0,15	68,31%
Largo	0,9	-0,16	68,84 %	0,78	-0,14	0,26	66,56 %
Ancho	0,74	-0,01	51,47 %	0,61	-0,01	0,29	51,22 %
Alto	1	0,71	1,68 %	0,76	0,54	0,63	5,49 %

%NC: Porcentaje de producto no conforme a especificación

6.7 Evaluación de Resultados

6.7.1 Proceso antes y después CEP

La comparación de las gráficas de control (antes y después de la implementación CEP) para las variables peso, largo, ancho y alto del producto hallulla se observa en la figura 6.41. Los gráficos de desviación estándar se encuentran en anexo 5.

Para el caso del producto hallulla, se observa a través de las gráficas de control que, para el periodo del primer semestre, los datos no se encontraban en control estadístico. Sin embargo, tras la implementación del control estadístico de procesos, los promedios de las muestras analizadas se encontraron dentro de los límites de control calculados mostrando un proceso mucho más controlado y estable.

En relación con el producto pan amasado grande, la comparación del proceso antes y después de la implementación CEP se observa en la figura 6.42. Por otra parte, los gráficos de control de desviación estándar se encuentran en anexo 6.

Antes del CEP, se observa un proceso sin control, con puntos fuera de los límites de control establecidos. Una vez utilizando CEP, se observa que el peso y las dimensiones del producto se encuentra dentro de los límites de control calculados, lo que significa que se logró un control estadístico del proceso. Además, cabe mencionar que ambos gráficos indican que las especificaciones del producto no son las adecuadas, ya que el proceso se encuentra alejado de las especificaciones descritas en la empresa.

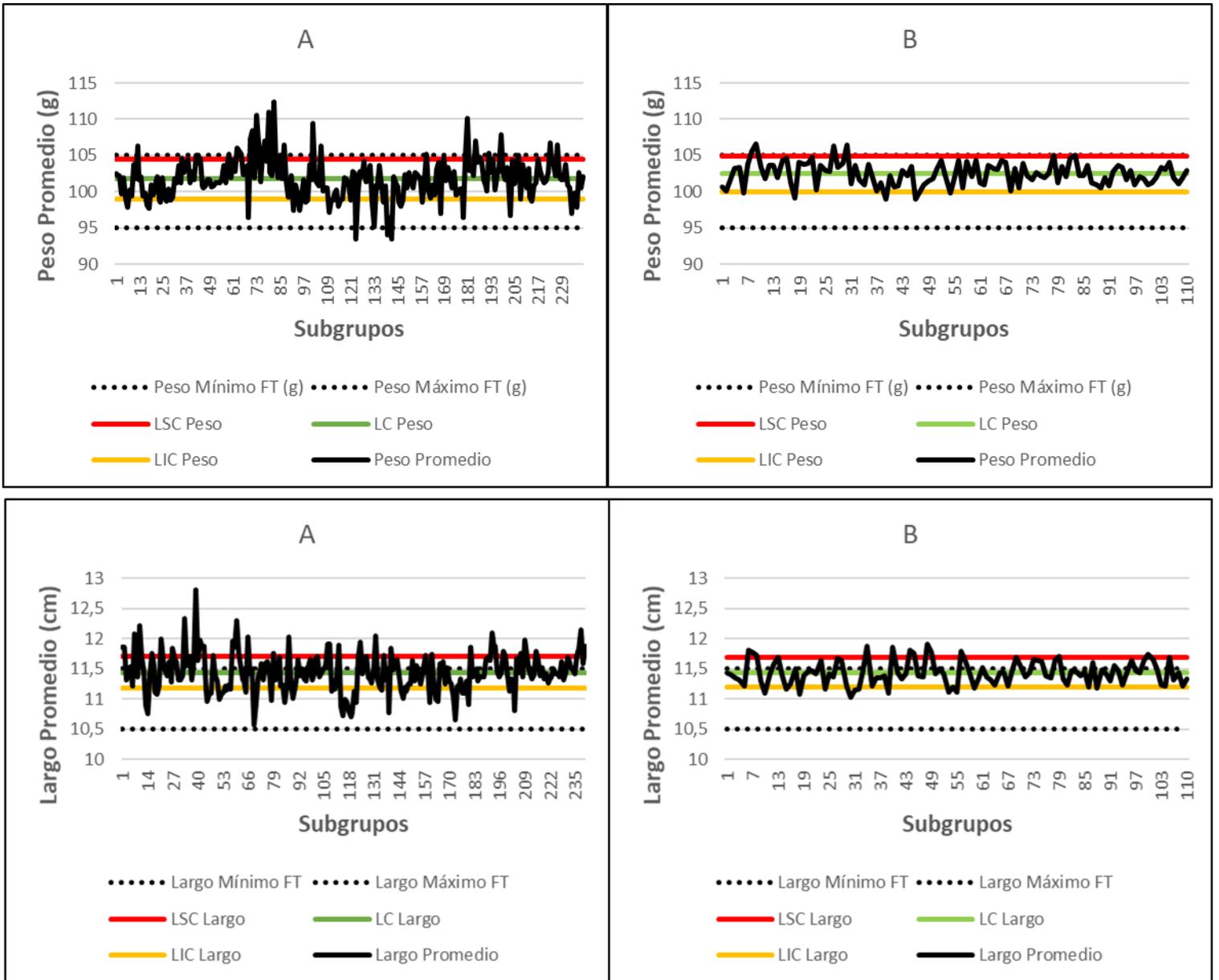


Figura 6.41 Gráficos de control para dimensiones antes (A) y después (B) de CEP: Hallulla.

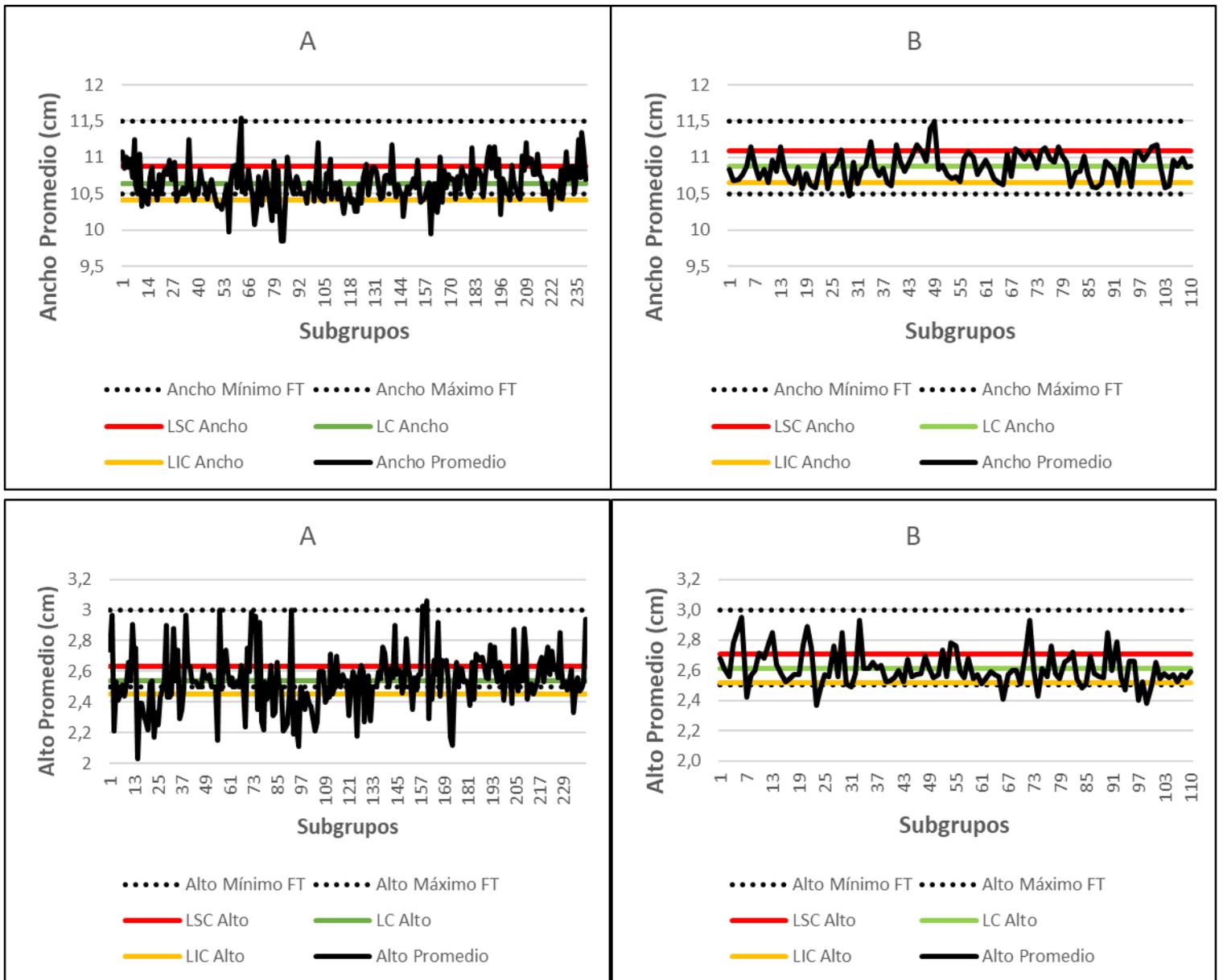


Figura 6.41 Gráficos de control para dimensiones antes (A) y después CEP: Hallulla (continuación).

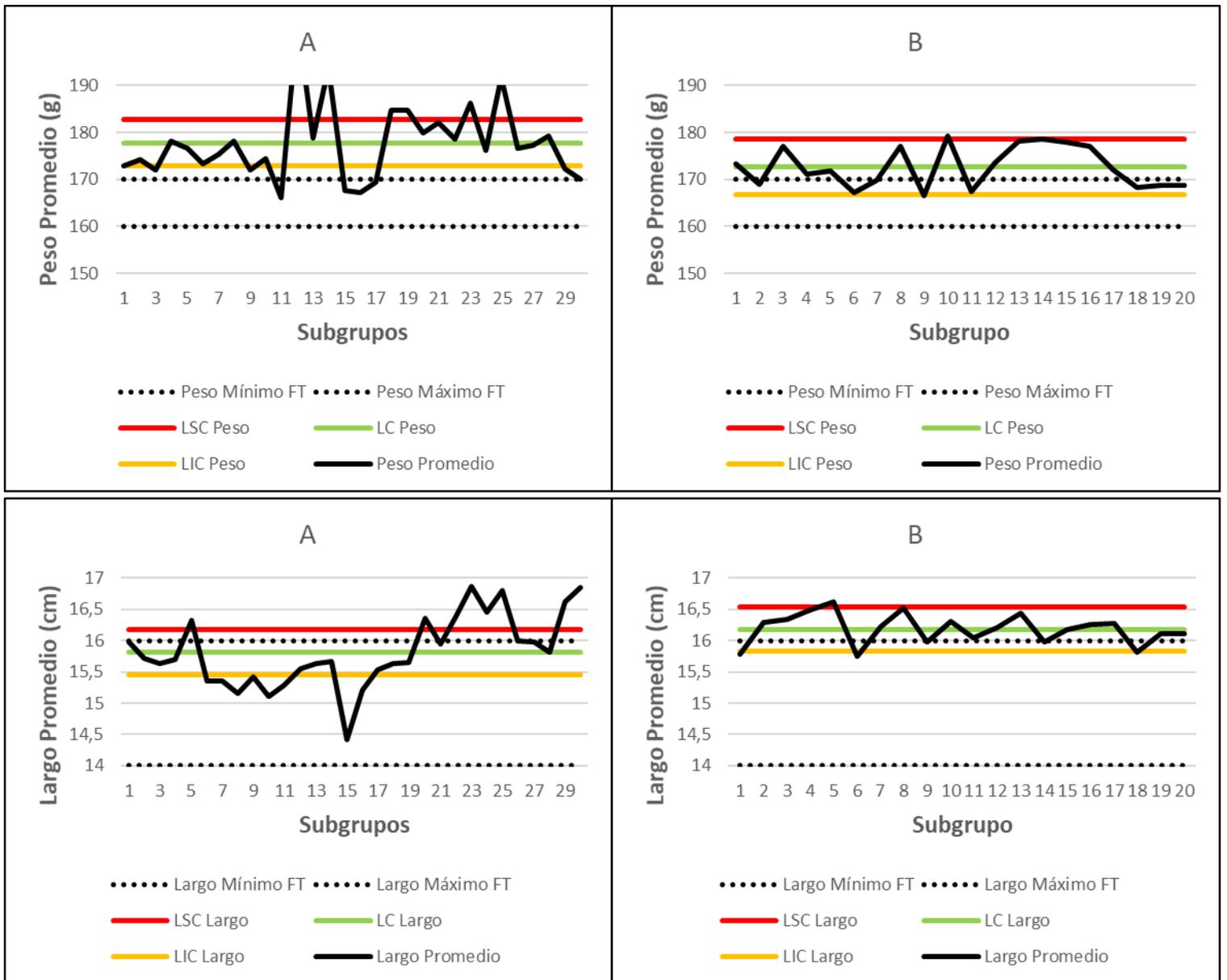


Figura 6.42 Gráficos de control para dimensiones antes (A) y después (B) de CEP: Pan Amasado Grande.

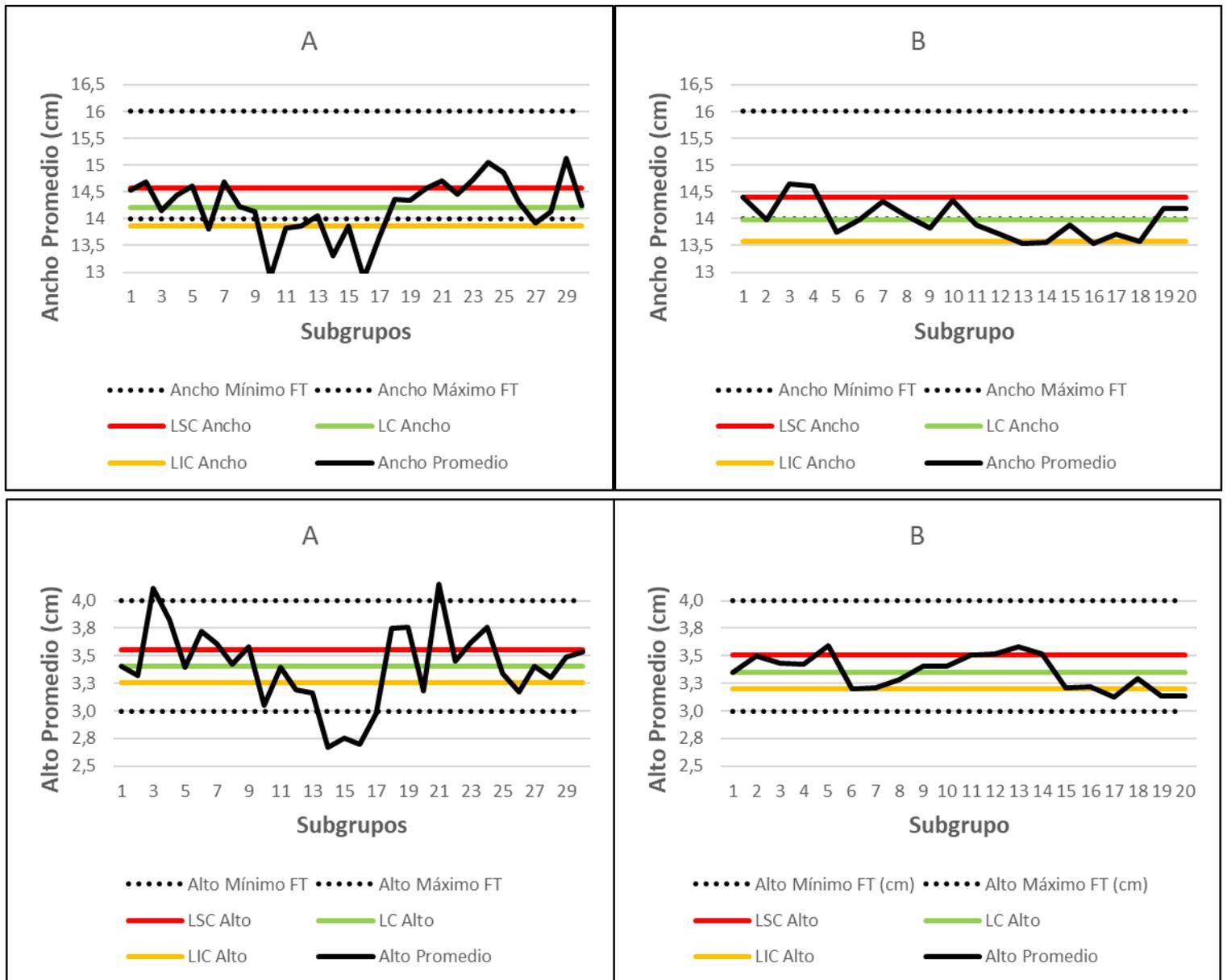


Figura 6.42 Gráficos de control para dimensiones antes(A) y después (B) de CEP: Pan Amasado Grande.

6.7.2 Evaluación especificaciones

De acuerdo con los resultados y basándose en el índice C_{pk} o P_{pk} , el cual es el valor más utilizado para representar la capacidad de proceso, ningún producto cumple con las especificaciones descritas en fichas técnicas.

Según la estrategia para mejorar procesos descritas en la Norma Chilena 2234 – ISO 8258, cuando un proceso está bajo control estadístico y este no es capaz de cumplir con las especificaciones, se debe tomar una decisión, dentro de las cuales se encuentra detener la fabricación del producto, realizar una inspección al producto del 100% o cambiar las especificaciones.

Una posible opción para mejorar la capacidad del proceso para ambos productos es cambiar las especificaciones, ya que en general los datos se encuentran bajo control estadístico. Un rango de especificaciones factible es el que se muestra en la tabla 6.26, donde se muestra la especificación inferior y superior que contiene al 95% de la población. Para determinar este rango de especificaciones, se utilizaron las 510 muestras de hallulla y las 200 muestras de Pan Amasado Grande.

Tabla 6.26 Rango de especificaciones posibles.

Variable	Hallulla		Pan Amasado Grande	
	Especificación Inferior	Especificación Superior	Especificación Inferior	Especificación Superior
Peso (g)	96	109	156	188
Largo (cm)	10,8	12,0	15	17
Ancho (cm)	10	11,5	12,8	15
Alto (cm)	2,3	3,0	2,8	3,8

6.7.3 Porcentaje Producto No Conforme

Por otro lado, se compara el porcentaje de producto no conforme antes y después de la implementación CEP. En la figura 6.43 se observa la gráfica que compara el porcentaje de producto no conforme del primer semestre del 2019 con los datos recolectados en el periodo de estudio (noviembre 2019 a febrero 2020). Estos resultados también se pueden observar en la tabla 6.27.

En cuanto a las dimensiones, el peso de los productos es el principal resultado a observar para ambos productos. Para el caso del producto hallulla, el porcentaje de producto con sobrepeso disminuyó en un 4% promedio, teniendo finalmente un 11% de la producción fuera de las especificaciones superiores descritas en fichas técnicas. En el caso del producto Pan Amasado Grande, el porcentaje de producto con sobrepeso disminuyó en un 11% promedio. Esto indica que la implementación CEP permite obtener resultados satisfactorios para mejorar un proceso.

Tabla 6.27 Producto no conforme antes y después implementación CEP.

Dimen -sión	Hallulla				Pan Amasado Grande			
	Antes CEP		Después CEP		Antes CEP		Después CEP	
	% PT NC Mín.	% PT NC Máx.	% PT NC Mín.	% PT NC Máx.	% PT NC Mín.	% PT NC Máx.	% PT NC Mín.	% PT NC Máx.
Peso	4%	15%	0%	11%	3%	76%	6%	65%
Largo	0%	35%	0%	29%	0%	17%	0%	58%
Ancho	29%	3%	5%	2%	37%	2%	46%	0%
Alto	28%	1%	8%	0%	19%	3%	1%	0%

6.7.4 Estimación reducción de pérdidas

De acuerdo con la función de pérdida de Taguchi, cualquier desviación de las propiedades de un producto, incluso dentro de los límites de tolerancia, tiene un costo asociado. La función de Taguchi se centra en obtener la pérdida promedio por unidad producida como indicador de desempeño del proceso y se representa mediante la siguiente ecuación (Hernández, De la Paz, García, 2015):

$$L(y) = \frac{c}{d^2} * (y - m)^2 \quad (9)$$

Donde:

$L(y)$ = Pérdida en valor monetario sufrida por el consumidor

y = valor de la característica de calidad (peso promedio del producto)

c = Pérdida por unidad producida en el límite de especificación

d = Límite de especificación superior menos su valor nominal (m)

m = valor nominal de y

Utilizando la ecuación de Taguchi, se puede estimar de forma aproximada la pérdida en términos económicos de un producto desviado respecto de su valor nominal (m) antes de la implementación y después de la implementación CEP. En la tabla 6.28 se observa los valores correspondientes de las variables de la ecuación, junto con el resultado de la función de Taguchi.

Tabla 6.28 Resultado función de Taguchi

Productos		c [\$/pan]	d [g]	y [g]	m [g]	$L(y)$ [\$/pan]
Hallulla	Antes	143	5	102	100	\$ 23
	Después	143	5	102,5	100	\$ 36
Pan amasado Grande	Antes	260	5	177,8	165	\$ 1.704
	Después	260	5	172,6	165	\$ 601

A modo de ejemplificar la reducción de las pérdidas, se supone una producción de 10000 unidades y se utilizan los porcentajes de producto no conforme antes y después de la implementación CEP. En la tabla 6.29 se observa el porcentaje de disminución de las pérdidas luego de la implementación CEP, siendo en un 10% para el producto hallulla y 68% para el pan amasado grande.

Tabla 6.29 Reducción de pérdidas tras CEP.

Productos		L(y) [\$/unidad]	Producto No conforme (%)	Unidad defectuosa por 10000 unidades producidas	Pérdida [\$]	Reducción de pérdidas (%)
Hallulla	Antes	\$ 23	19%	1900	\$43.472	10%
	Después	\$ 36	11%	1100	\$39.325	
Pan amasado Grande	Antes	\$ 1.704	79%	7900	\$13.461.094	68%
	Después	\$ 601	71%	7100	\$4.264.998	

7 CONCLUSIÓN

La implementación del Control Estadístico de Procesos permitió identificar los principales factores de variabilidad en la producción de los productos hallulla y pan amasado grande, disminuir la variabilidad del proceso y reducir el porcentaje de producto terminado no conforme.

Los parámetros críticos que afectan significativamente al peso de la hallulla, con un nivel de significancia del 5%, son: humedad de fermentación y temperatura de horneo. Para el caso del pan amasado grande, el parámetro crítico es la temperatura de horneo.

Los parámetros que minimizan el peso de la Hallulla son 36°C de temperatura de fermentación, 68% de humedad de fermentación, 240°C para el horno N°1 y 220°C para el horno N°4. Para el producto pan amasado grande, se minimiza el peso del producto cuando la temperatura de fermentación es de 36°C, 68% de humedad de fermentación y 210°C para el horno N°1.

Se desarrollo el “Dashboard” que permite monitorear el proceso en tiempo real, tanto para los productos estudiados, como el resto de los productos elaborados en la empresa. Por lo tanto, permite actuar y aplicar acciones correctivas a tiempo en caso de observar puntos fuera de control estadístico.

Se estableció un plan de acción en caso de observar puntos fuera de control en los gráficos de control. Los principales puntos del plan consisten en tener presente la calibración de las balanzas, que el rango que marca el calibrador se encuentre entre 44 - 48 PSI de presión para ambos productos y que se cumplan los parámetros de proceso especificados en los documentos POE.

Al comparar los resultados antes y después de la implementación del control estadístico de procesos, se observa un proceso bajo control estadístico. Tras la implementación se ve una disminución del sobrepeso de los productos hallulla y pan amasado grande en un 4% y 11%, respectivamente.

Los índices de capacidad de proceso indican que el proceso no posee la habilidad de cumplir con las especificaciones de fichas técnicas, por lo tanto, se recomienda que el peso y las dimensiones sean analizadas para una posible modificación.

Los resultados de esta implementación sirven como insumo para generar tablas de especificación adecuadas a los diferentes productos elaborados en las líneas de proceso de la empresa.

De acuerdo con la fórmula de pérdida de Taguchi, se observa una reducción de pérdidas en un 10% para hallulla y 68% para el pan amasado grande tras la implementación CEP. Dado los datos y el objetivo de la investigación, no es posible determinar el valor exacto, por lo que es una de las líneas de trabajo posteriores a atender.

Por último, una oportunidad de mejora es utilizar una herramienta de monitoreo (Dashboard) en el área de producción para monitorear el peso y las dimensiones para las etapas de fermentación y horneado de los productos, con la finalidad de tener un proceso más controlado.

8 BIBLIOGRAFÍA

American Society for Quality (2019). *What is Process Capability? Capability Estimates & Studies* [En línea] <<https://asq.org/quality-resources/process-capability>> [Consultado: 17 de julio 2020].

Antony, J. (2003). *Design of Experiments for Engineers and Scientists*. Elsevier.

Carreño, J. (2020). La importancia del pan en Chile. *Revista de la panadería y pastelería tradicional Chilena* N°957. Junio 2020 [en línea] <https://www.indupan.cl/revista/?idElemento_Revista=146> [consultado: 5 de agosto 2020].

Cauvain, S. (2015). *Technology of Breadmaking*. (3ra ed.). Wiley, Reino Unido: Springer.

Collado-Fernández, M. (2003). Breadmaking Processes. En: B. Caballero, P., Finglas y F. Toldra, *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (2da ed.). Maryland, EE.UU: Academic Press. pp. 627 – 634.

Collado-Fernández, M. (2003). Dough Fermentation. En: B. Caballero, P., Finglas y F. Toldra, *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (2da ed.). Maryland, EE.UU: Academic Press. pp. 627 – 634.

Dora, M., Kumar, M., Van Goubergen, D., Molnar, A., & Gellynck, X. (2013). Food quality management system: Reviewing assessment strategies and a feasibility study for European food small and medium-sized enterprises. *Food Control*, 31(2), 607-616.

Equipalim. (2020). Maquinaria para panaderías y pastelerías. [en línea] <<https://www.equivalim.cl/maquinarias-panaderia.html>> [consulta: 5 de agosto de 2020].

Gryna, F., Chua, R. y De Feo, J. (2007). *Método Juran. Análisis y Planeación de la Calidad* (5ta ed.). México: McGraw-Hill/Interamericana.

Gutiérrez Pulido, H., y De la Vara Salazar, R. (2009). *Control estadístico de calidad y Seis Sigma* (2a. ed.). Distrito Federal, México: McGraw-Hill Interamericana.

Hernández, A. B., De la Paz Guillón, M. y García, L. A. (2015). La Metodología de Taguchi en el Control Estadístico de la Calidad. *Revista De La Escuela De Perfeccionismo En Investigación Operativa*, 23 (37), pp. 65-83.

Instituto Nacional de Estadística (2019). Un 96,3 % de los hogares de las principales ciudades de Chile destinan parte de su presupuesto al consumo de pan. [en línea] <<https://www.ine.cl/prensa/2019/09/16/un-96-3-de-los-hogares-de-las-principales-ciudades-de-chile-destinan-parte-de-su-presupuesto-al-consumo-de-pan>> [consulta: 27 de julio 2020].

ISO 9000:2015 – “Sistemas de Gestión de la calidad – Fundamentos y vocabulario”.

Lim, S., Antony, J. y Albliwi, S. (2014). Statistical Process Control (SPC) in the food industry – A systematic review and future research agenda. *Trends in Food Science & Technology*, 37(2), pp.137-151.

Lim, S., Antony, J., Garza-Reyes, J. y Arshed, N. (2015). Towards a conceptual roadmap for Statistical Process Control implementation in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 44(1), pp.117-129.

Maquipan. (2020). División. [en línea] <<https://www.maquipan.cl/panaderia-000/division-000/>> [consulta: 5 de agosto de 2020].

Maquipan. (2020). Dobladora de marraqueta. [en línea] <<https://www.maquipan.cl/product/dobladora-de-marraquetas/>> [consulta: 5 de agosto de 2020].

Maquipan. (2020). Fermentación. [en línea] <<https://www.maquipan.cl/panaderia-000/fermentacion-000/>> [consulta: 5 de agosto de 2020].

Maquipan. (2020). Frío. [en línea] <<https://www.maquipan.cl/panaderia-000/frio-000/>> [consulta: 5 de agosto de 2020].

Maquipan. (2020). Hornos. [en línea] <<https://www.maquipan.cl/panaderia-000/hornos-000/>> [consulta: 5 de agosto de 2020].

Martínez, Karla. (2002). *Modelo de un Sistema para la Implantación y Mantenimiento del Control Estadístico de Procesos* (Tesis de Magister). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, México.

Mesas, J. y Alegre, M. (2002). El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y Tecnología alimentaria*, 3(5), pp. 307-313.

Ministerio de Agricultura (2012). Consumo aparente de principales alimentos en Chile. Chile.

Ministerio de Salud (2019). Reglamento Sanitario de los Alimentos. Decreto N° 977/96. Chile.

Montgomery, Douglas. (2009). *Introduction to statistical quality control*. 7ma ed. New York: John Wiley & Sons.

Mosquera, A., Mosquera, M. y Artamónova, I. (2011). "Indicadores de capacidad aplicados a la deserción en las universidades colombianas". *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. Vol. 21 N° 2 pp. 183-203.

Mosquera-Artamonov, José Daniel, Artamonova, Irina, & Mosquera, Julio César. (2014). Diagnóstico del proceso de inspección mediante índices de capacidad. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 22(1), 53-61.

Mosquera, M., Mosquera, A. y Medina, V. (2010) "Evaluación del índice de capacidad del proyecto de deserción académica en la universidad tecnológica de Pereira (UTP)". Revista en Educación en Ingeniería. Vol. 9, pp. 96-103.

Nadheem, M. (1994). *A STATISTICAL QUALITY CONTROL SUPPORT SYSTEM TO FACILITATE ACCEPTANCE SAMPLING AND CONTROL CHART PROCEDURES* (Master of Science). The Faculty of Russ College of Engineering and Technology Ohio University.

Narotamo, Cripese. (2017). HACCP Manual Revision and Statistical Control of producto in the bakery industry (Tesis de Magister). Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal.

Norma Chilena 2234:1997 ISO 8258. Gráficos de control de Shewhart. Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile, 30 de enero de 1997.

Paiva, C. L. (2013). Quality management: important aspects for the food Industry. In Innocenzo Muzzalupo (Ed.), Food industry. [En línea] < <https://www.intechopen.com/books/food-industry/quality-management-important-aspects-for-the-food-industry> > [consulta: 20 de agosto 2019].

Pierdant Rodríguez, A., y Rodríguez Franco, J. (2009). Control estadístico de la calidad de un servicio mediante Gráficas X y R. *Política y Cultura*, (32), 151-169.

Rosell, C. (2016). Bread: Chemistry of Baking. En: B. Caballero, P. Finglas y F. Toldrá, *Encyclopedia of Food and Health* Maryland: EE.UU: Academic Press. pp 484 - 489.

Santiago, E. (2014). Análisis de Capacidad del Proceso en la Ausencia de Normalidad. [En línea] < <http://www.minitab.com/uploadedFiles/Content/Events/Workshops/An%C3%A1lisis-de-Capacidad-en-la-Ausencia-de-Normalidad.pdf> > [consulta: 6 de junio 2020].

Soporte de Minitab 18. (2019). Análisis de Capacidad con Datos No Normales – MINITAB [En Línea] < <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and->

how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/supporting-topics/distributions-and-transformations-for-nonnormal-data/capability-analyses-with-nonnormal-data/ > [consulta: 6 de junio 2020].

Soporte de Minitab 18 (2019). Qué hacer con datos no normales – MINITAB [En Línea] <<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/what-to-do-with-nonnormal-data/>> [consulta: 6 de junio 2020].

Sousa, S., Rodrigues, N., y Nunes, E. (2017). Application of SPC and Quality Tools for Process Improvement. *Procedia Manufacturing*, 11, 1215-1222.

ANEXOS

Anexo 1. Factores para calcular límites de control.

Observaciones en subgrupo <i>n</i>	Factores para límites de control											Factores para línea central			
	<i>A</i>	<i>A</i> ₂	<i>A</i> ₃	<i>B</i> ₃	<i>B</i> ₄	<i>B</i> ₅	<i>B</i> ₆	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>D</i> ₃	<i>D</i> ₄	<i>c</i> ₄	<i>I/c</i> ₄	<i>d</i> ₂	<i>I/d</i> ₂
2	2.121	1.880	2.659	0.000	3.267	0.000	2.606	0.000	3.686	0.000	3.267	0.7979	1.2533	1.128	0.886 5
3	1.732	1.023	1.954	0.000	2.568	0.000	2.276	0.000	4.358	0.000	2.574	0.8862	1.1284	1.693	0.590 7
4	1.500	0.729	1.628	0.000	2.266	0.000	2.088	0.000	4.698	0.000	2.282	0.9213	1.0854	2.059	0.485 7
5	1.342	0.577	1.427	0.000	2.089	0.000	1.964	0.000	4.918	0.000	2.114	0.9400	1.0638	2.326	0.429 9
6	1.225	0.483	1.287	0.030	1.970	0.029	1.874	0.000	5.078	0.000	2.004	0.9515	1.0510	2.534	0.394 6
7	1.134	0.419	1.182	0.118	1.882	0.113	1.806	0.204	5.204	0.076	1.924	0.9594	1.0423	2.704	0.369 8
8	1.061	0.373	1.099	0.185	1.815	0.179	1.751	0.388	5.306	0.136	1.864	0.9650	1.0363	2.847	0.351 2
9	1.000	0.337	1.032	0.239	1.761	0.232	1.707	0.547	5.393	0.184	1.816	0.9693	1.0317	2.970	0.336 7
10	0.949	0.308	0.975	0.284	1.716	0.276	1.669	0.687	5.469	0.223	1.777	0.9727	1.0281	3.078	0.324 9
11	0.905	0.285	0.927	0.321	1.679	0.313	1.637	0.811	5.535	0.256	1.744	0.9754	1.0252	3.173	0.315 2
12	0.866	0.266	0.886	0.354	1.646	0.346	1.610	0.922	5.594	0.283	1.717	0.9776	1.0229	3.258	0.306 9
13	0.832	0.249	0.850	0.382	1.618	0.374	1.585	1.025	5.647	0.307	1.693	0.9794	1.0210	3.336	0.299 8
14	0.802	0.235	0.817	0.406	1.594	0.399	1.563	1.118	5.696	0.328	1.672	0.9810	1.0194	3.407	0.293 5
15	0.775	0.223	0.789	0.428	1.572	0.421	1.544	1.203	5.741	0.347	1.653	0.9823	1.0180	3.472	0.288 0
16	0.750	0.212	0.763	0.448	1.552	0.440	1.526	1.282	5.782	0.363	1.637	0.9835	1.0168	3.532	0.283 1
17	0.728	0.203	0.739	0.466	1.534	0.458	1.511	1.356	5.820	0.378	1.622	0.9845	1.0157	3.588	0.278 7
18	0.707	0.194	0.718	0.482	1.518	0.475	1.496	1.424	5.856	0.391	1.608	0.9854	1.0148	3.640	0.274 7
19	0.688	0.187	0.698	0.497	1.503	0.490	1.483	1.487	5.891	0.403	1.597	0.9862	1.0140	3.689	0.271 1
20	0.671	0.180	0.680	0.510	1.490	0.504	1.470	1.549	5.921	0.415	1.585	0.9869	1.0133	3.735	0.267 7
21	0.655	0.173	0.663	0.523	1.477	0.516	1.459	1.605	5.951	0.425	1.575	0.9876	1.0126	3.778	0.264 7
22	0.640	0.167	0.647	0.534	1.466	0.528	1.448	1.659	5.979	0.434	1.566	0.9882	1.0119	3.819	0.261 8
23	0.626	0.162	0.633	0.545	1.455	0.539	1.438	1.710	6.006	0.443	1.557	0.9887	1.0114	3.858	0.259 2
24	0.612	0.157	0.619	0.555	1.445	0.549	1.429	1.759	6.031	0.451	1.548	0.9892	1.0109	3.895	0.256 7
25	0.600	0.153	0.606	0.565	1.435	0.559	1.420	1.806	6.056	0.459	1.541	0.9896	1.0105	3.931	0.254 4

Fuente: ASTM, Philadelphia, PA, USA.

Anexo 2. Herramienta Estadística de Monitoreo.

Fecha elaboración

1T 2020

MESSES

2019 2020

DEC ENE FEB MAR ABR MAY JUN

Línea Producción

Halulla Artesano

Artesano Bollería

Bollería Empanada

Empanada Marraqueta

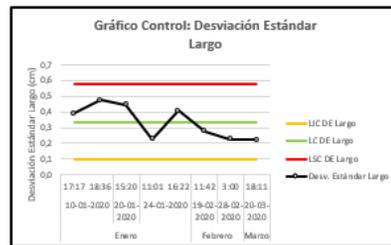
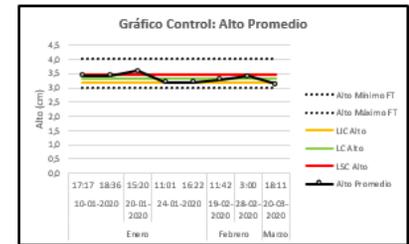
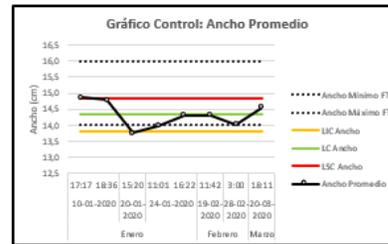
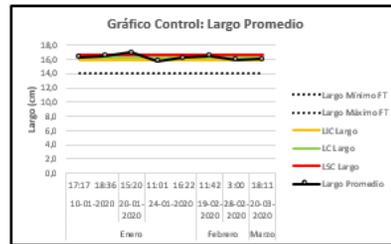
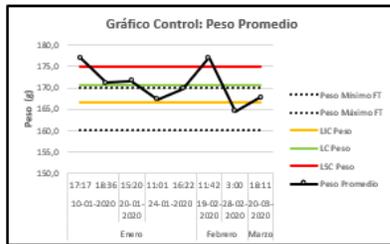
Producto

Amasado Sandwich Grande

Amasado Sandwich Soft

Coliza Especial Media

Coliza Peruana



Anexo 3. Intervalos de tolerancia (95%) para posibles nuevas especificaciones para Hallulla.

Intervalo de tolerancia de 95%

Variable	Método normal	Método no paramétrico	Confianza lograda
Peso	(96,439; 108,549)	(95,000; 109,000)	95,4%
Largo	(10,816; 12,074)	(10,800; 12,100)	95,4%
Ancho	(10,297; 11,482)	(10,300; 11,500)	95,4%
Alto	(2,294; 2,874)	(2,300; 3,000)	95,4%

El nivel de confianza alcanzado se aplica sólo al método no paramétrico

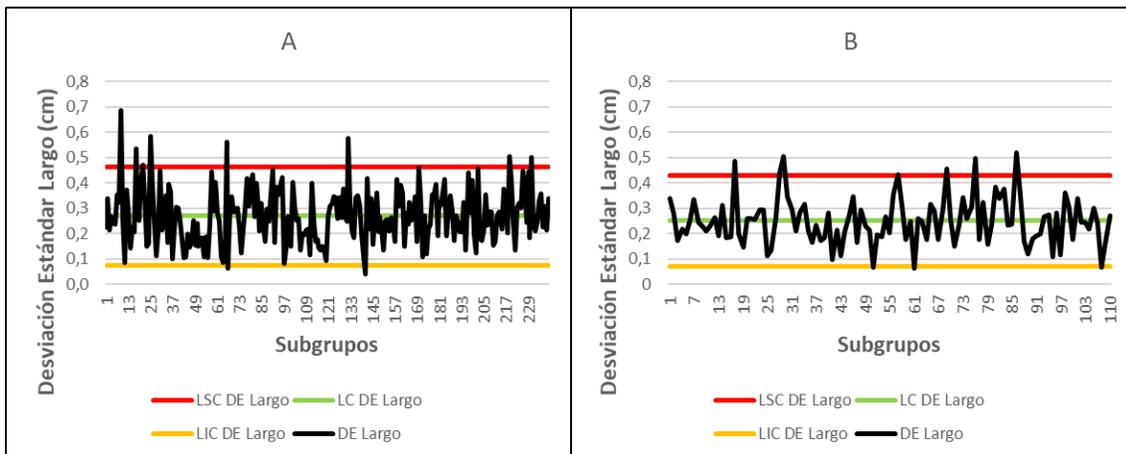
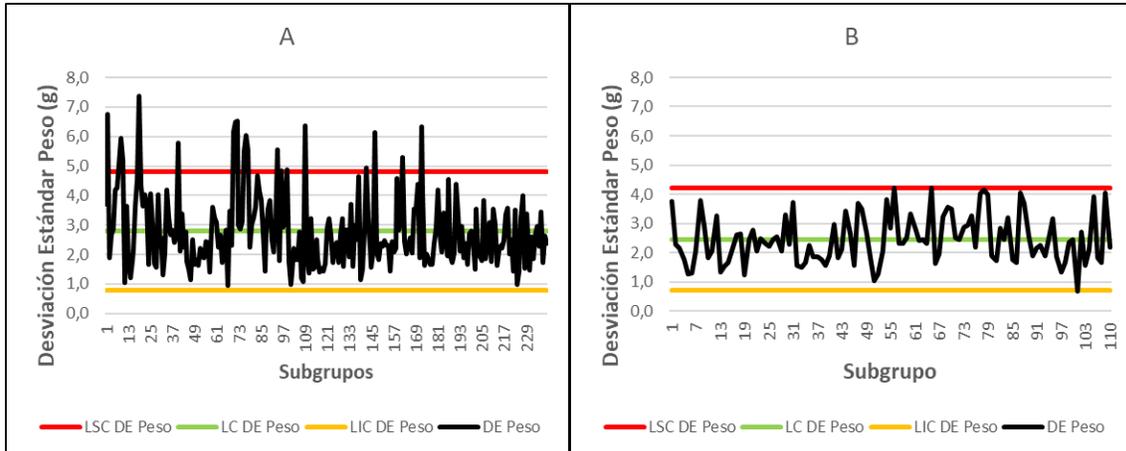
Anexo 4. Intervalos de confianza (95%) para posibles nuevas especificaciones para Pan Amasado Grande.

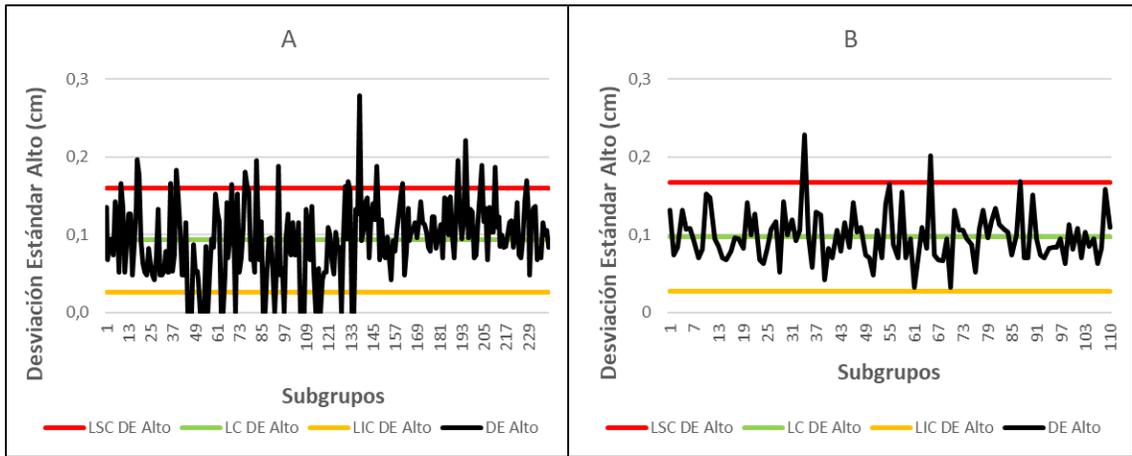
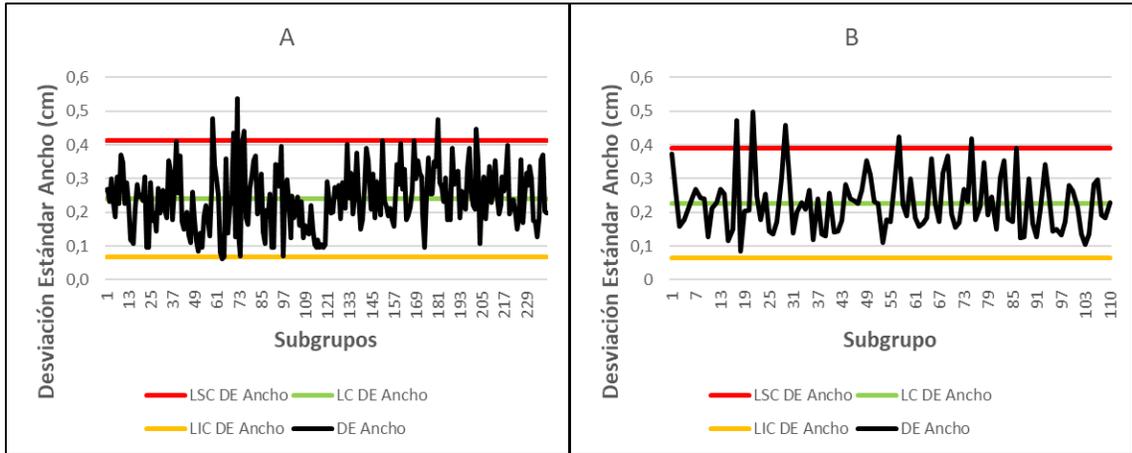
Intervalo de tolerancia de 95%

Variable	Método normal	Método no paramétrico	Confianza lograda
Peso	(156,388; 188,852)	(153,000; 185,000)	97,4%
Largo	(15,271; 17,092)	(15,000; 17,100)	97,4%
Ancho	(12,814; 15,153)	(12,700; 15,000)	97,4%
Alto	(2,884; 3,822)	(3,000; 3,800)	97,4%

El nivel de confianza alcanzado se aplica sólo al método no paramétrico

Anexo 5. Gráficos de control: Desviación Estándar Hallulla antes y después de implementación CEP.





Anexo 6. Gráficos de control: Desviación Estándar Pan amasado grande antes y después de implementación CEP.

