

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE
LA PRODUCCIÓN**

Aplicación de la metodología DMAIC para la reducción de pérdida de
humedad en una línea de producción de alimento balanceado.

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniería Industrial

Presentado por:

Guerra Villalta Melissa Daniela

Reyes Moreira David Esteban

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

Esta tesis es el producto del esfuerzo, no solo mío, sino de mi familia y amigos, es por eso que va completamente dedicada a ellos por su constante respaldo, ya que siempre han sido fuentes de luz en momentos difíciles y a mis profesores cuya orientación ha sido invaluable.

Dedico este logro a mis angelitos en el cielo, quienes siempre me recordaban que los sueños se realizan con perseverancia.

Que este trabajo refleje no solo mi progreso académico, sino también mi determinación para superar obstáculos

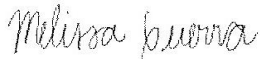
Declaración Expresa

Nosotros, David Esteban Reyes Moreira y Melissa Daniela Guerra Villalta reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 8 de febrero del 2024.



Autor 1



Autor 2

Evaluadores

Msc. Ma. Denise Rodríguez

Profesor de Materia

Msc. Ma. Laura Retamales

Tutor de proyecto

Resumen

El presente proyecto de titulación se lleva a cabo en una empresa de alimento balanceado con el objetivo de reducir la pérdida de producción en la línea multimodal de alimento para peces, generando beneficios económicos, sociales y ambientales.

La metodología aplicada para este proyecto fue la metodología DMAIC. En la primera etapa, donde se define el problema, se identifica que, en el área de secado era la principal fuente de pérdida de producción. Luego, se analizaron las causas utilizando herramientas como el diagrama de Ishikawa, la matriz causa y efecto, análisis de capacidad y cartas de control para medir la variabilidad del proceso. A través de estas herramientas se determinó que la humedad del producto tiene una alta variación en el secador y depende del proceso previo a su ingreso, la extrusión, así también se identificó que el proceso de secado está sesgado y los datos se encuentran alineados al límite inferior de especificación.

En la etapa de análisis, se utilizaron las mismas herramientas, pero adicionando la del “5 ¿Por qué?” para encontrar las causas raíz del problema mencionado, todo en conjunto con el equipo interno del proyecto. Donde las principales fueron: El secador no seco homogéneamente, el producto no se distribuye correctamente en el secador y la temperatura varía en el secador.

En la etapa de mejora, se propusieron soluciones y fueron evaluadas en base a la matriz impacto-esfuerzo, y el análisis financiero de cada una.

Los resultados que se obtuvieron fueron: disminución de la variabilidad del secador, estandarización del arranque de la extrusora, incremento del 1.37% de humedad en el producto terminado lo que genera una ganancia en el volumen de producción y una reducción de trabajo en horas extras al igual que la reducción en el uso del bunker.

Palabras Clave: Reducción de desperdicios, DMAIC, estandarización de procesos, mejora continua.

Abstract

This degree project is carried out in a feed company with the objective of reducing production loss in the multimodal fish feed line, generating economic, social and environmental benefits.

The methodology applied for this project was the DMAIC methodology. In the first stage, where the problem is defined, it is identified that the drying area was the main source of production loss. Then, the causes were analyzed using tools such as the Ishikawa diagram, the cause and effect matrix, capacity analysis and control charts to measure the variability of the process. Through these tools, it was determined that the humidity of the product has a high variation in the dryer and depends on the process prior to its entry, extrusion, and it was also identified that the drying process is biased and the data are aligned to the limit. lower than specification.

In the analysis stage, the same tools were used, but adding the “5 Why?” to find the root causes of the mentioned problem, all in conjunction with the internal project team. Where the main ones were: The dryer did not dry homogeneously, the product was not distributed correctly in the dryer and the temperature varied in the dryer.

In the improvement stage, solutions were proposed and evaluated based on the impact-effort matrix, and the financial analysis of each one.

The results obtained were: decrease in dryer variability, standardization of extruder start-up, 1.37% increase in humidity in the finished product, which generates a gain in production volume and a reduction in overtime work. as well as the reduction in the use of the bunker.

Keywords: *Waste reduction, DMAIC, process standardization, continuous improvement.*

Índice

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Índice.....	III
Abreviaturas.....	VI
Simbología.....	VII
Índice de Figuras.....	VIII
Índice de Tablas.....	XIII
Capítulo 1.....	1
1. Introducción.....	2
1.1 Descripción del Problema.....	3
1.2 Variables de Interés.....	5
1.3 Alcance del Proyecto.....	8
1.4 Restricciones.....	9
1.5 Justificación del Problema.....	11
1.6 Objetivos.....	12
1.6.1 Objetivo General.....	12
1.6.2 Objetivos Específicos.....	12
1.7 Marco Teórico.....	13
1.7.1 La metodología Six Sigma.....	13
1.7.2 Método DMAIC.....	13
1.8 Herramienta para mejorar proceso.....	16
1.8.1 Diagrama SIPOC.....	16

1.8.2 Diagrama OTIDA.....	17
1.8.3 Diagrama de Pareto	18
1.8.4 Métricas Six Sigma	18
1.8.5 Proceso de elaboración de alimento balanceado en piensos extruidos	19
Capítulo 2	23
2. Metodología	24
2.1 Definición	24
2.2 Medición.....	25
2.2.1 Plan de Recolección de datos.....	25
2.2.2 Esquema de Muestreo	27
2.2.3 Recolección y Confiabilidad de los Datos	28
2.2.4 Graficas de Control del Proceso.....	43
2.2.5 Análisis de Capacidad del Proceso	45
2.2.6 Estratificación	46
2.2.7 Diámetro del Extruso	47
2.2.8 Total de Controles con desviación	48
2.2.9 Porcentaje de Controles con desviación.....	50
2.3 Problema Enfocado	53
2.4 Analizar	54
2.4.1 Lluvia de Ideas	54
2.4.2 Diagrama de Ishikawa.....	55
2.4.3 Matriz Causa y Efecto	57

2.4.4 Matriz de Control de Impacto	60
2.4.5 Verificación de Causas.....	62
2.5 Análisis de 5 Por qué.....	77
2.5.1 Causa Potencial 1: El producto no se seca homogéneamente.....	77
2.5.2 Causa Potencial 2: La temperatura fluctúa en el proceso de secado.....	77
2.5.3 Causa Potencial 3: El producto no se distribuye uniformemente cuando ingresa a los secadores.....	78
2.5.4 Enfoque de la solución	86
Capítulo 3.....	95
2.6 Plan de Control.....	96
3. Resultados y Análisis	97
3.1 Control.....	102
3.1.1 Prueba de Normalidad.....	102
3.2 Cartas de Control	104
3.3 Análisis de Capacidad	107
Capítulo 4.....	112
4. Conclusiones y recomendaciones.....	113
4.1 Conclusiones.....	113
4.2 Recomendaciones	113
Referencias.....	114

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
BPM	Buenas Prácticas de Manufactura
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs y Customers
LPM	Litros por minuto
LWL	Low Water Level
VOC	Voice of Costumers
CTQ	Critical to Quality

Simbología

mil	milésima de pulgada
ml	Mililitro
Tn	Toneladas
m	Metro
mV	Milivoltio
Hz	Hertz
Gal	Galones
A	Amperio

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Triple Bottom Line del proyecto</i>	5
Figura 2 <i>CTQ Tree</i>	6
Figura 3 <i>Gráfico de Promedio de humedad del producto terminado vs Lote (Enero- Septiembre 2023)</i>	7
Figura 4 <i>Diagrama SIPOC</i>	9
Figura 5 <i>Diagrama OTIDA</i>	10
Figura 6 <i>Actividades del OTIDA</i>	10
Figura 7 <i>Conclusiones del OTIDA</i>	11
Figura 8 <i>Explicación de herramienta SIPOC</i>	17
Figura 9 <i>Explicación de herramienta OTIDA</i>	18
Figura 10 <i>Procesos de la primera etapa de la línea de producción del producto balanceado</i>	20
Figura 11 <i>Procesos de la segunda etapa de la línea de producción del producto balanceado</i>	21
Figura 12 <i>Prueba de Normalidad del Porcentaje de Humedad de la Materia Prima Enero- septiembre 2023</i>	31
Figura 13 <i>Gráfica de Cajas del Porcentaje de Humedad de la Materia Prima</i>	32
Figura 14 <i>Prueba de Normalidad del Porcentaje de la Humedad en la Extrusora Enero- Septiembre 2023</i>	33
Figura 15 <i>Gráfica de Cajas del Porcentaje de Humedad de la Extrusora</i>	34
Figura 16 <i>Prueba de Normalidad del Porcentaje de la Humedad en el secador 2 enero- Septiembre 2023</i>	35
Figura 17 <i>Gráfica de Cajas del Porcentaje de Humedad del secador 2 de Enero – Octubre 2023</i>	36

Figura 18 <i>Prueba de Normalidad del Porcentaje de la Humedad en el Secador 3 Enero- Octubre 2023</i>	37
Figura 19 <i>Gráfica de Cajas del Porcentaje de Humedad del secador 3 Enero-Octubre 2023</i>	38
Figura 20 <i>Gráfica de Cajas de la Diferencia de Humedad del Producto Terminado enero a septiembre 2023</i>	40
Figura 21 <i>Prueba de Normalidad de la densidad aparente del producto en la extrusora Enero-Septiembre 2023</i>	41
Figura 22 <i>Gráfica de Cajas de la Densidad aparente a la salida de la extrusora</i>	42
Figura 23 <i>Análisis de normalidad del porcentaje de humedad de producto terminado</i>	43
Figura 24 <i>Gráfica I-MR del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado enero a septiembre 2023</i>	44
Figura 25 <i>Gráfica I-MR del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado estabilizado</i>	45
Figura 26 <i>Análisis de Capacidad del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado Enero-Septiembre 2023</i>	45
Figura 27 <i>Diagrama de Pareto del Volumen de Producción según el diámetro del producto Enero-Septiembre 2023</i>	48
Figura 28 <i>Diagrama de Pareto del Total de muestreos con desviación según el diámetro Enero-Septiembre 2023</i>	50
Figura 29 <i>Prueba de Normalidad del porcentaje de humedad de los productos con diámetro de 4mm</i>	52
Figura 30 <i>Prueba de Normalidad del porcentaje de humedad de los productos con diámetro de 7mm</i>	53
Figura 31 <i>Modelo de definición y enfoque de la variable respuesta</i>	54
Figura 32 <i>Lluvia de ideas para las causas del problema</i>	55

Figura 33 <i>Diagrama Ishikawa para el producto de 4mm</i>	56
Figura 34 <i>Diagrama Ishikawa para el producto de 7mm</i>	56
Figura 35 <i>Diagrama de Pareto de las Causas Potenciales con mayor efecto en la variable Y</i>	59
Figura 36 <i>Matriz de impacto y esfuerzo para las causas potenciales</i>	60
Figura 37 <i>Gráfica de normalidad de Porcentaje de Humedad del Secador 2 Noviembre 2023</i>	63
Figura 38 <i>Gráfica I-MR del Porcentaje de Humedad del Secador 2 Noviembre 2023</i>	63
Figura 39 <i>Resultados del ANOVA del porcentaje de humedad vs ubicación en el secador 2</i> .64	
Figura 40 <i>Gráfica de intervalos de porcentaje de humedad vs Ubicación en el secador 2</i>	65
Figura 41 <i>Gráfica de normalidad de Porcentaje de Humedad del Secador 3 Noviembre 2023</i>	66
Figura 42 <i>Gráfica I-MR del Porcentaje de Humedad del Secador 3 Noviembre 2023</i>	66
Figura 43 <i>Resultados del ANOVA del porcentaje de humedad vs ubicación en el secador 3</i> .67	
Figura 44 <i>Gráfica de intervalos de porcentaje de humedad vs Ubicación en el secador 3</i>	67
Figura 45 <i>Validación Gemba del muestreo en las descargas del secador 2 y 3</i>	68
Figura 46 <i>Gráfica de caja del Porcentaje de Humedad de los Secadores 2 y 3</i>	69
Figura 47 <i>Serie de Tiempo de la temperatura dentro del secador 2</i>	70
Figura 48 <i>Grafica de dispersión del secador 2 en el mes de septiembre</i>	70
Figura 49 <i>Grafica de Control de la variable temperatura en el secador 2</i>	71
Figura 50 <i>Grafica de Control estable de la variable temperatura en el secador 2</i>	72
Figura 51 <i>Grafica dispersión en el secador 3 vs. tiempo</i>	72
Figura 52 <i>Grafica de control en el secador 3</i>	73
Figura 53 <i>Grafica de control estable en el secador 3</i>	74

Figura 54 *Temperatura en el secador 2 vs Temperatura en el secador 3 en el producto de 4 mm*.....74

Figura 55 *Prueba de hipótesis para Temperatura en el secador 2 vs Temperatura en el secador 3*.....75

Figura 56 *Como se debería ver dentro del secador*.....76

Figura 57 *Producto aglomerado en el área central dentro del secador 2*.....76

Figura 58 *Elaboración de la herramienta “5 ¿Por qué? Para la causa 1*77

Figura 59 *Elaboración de la herramienta “5 ¿Por qué? Para la causa 2*78

Figura 60 *Elaboración de la herramienta “5 ¿Por qué? Para la causa 3*78

Figura 61 *Matriz Beneficio-Esfuerzo para soluciones*.....82

Figura 62 *Análisis financiero para las soluciones propuestas*83

Figura 63 *Puntuación y parámetros para la matriz de soluciones*84

Figura 64 *Distribuidor interno del secador 2*86

Figura 65 *Parte interna del secador 3*87

Figura 66 *Simulación del secador con el mecanismo de distribución para el secador 3*.....87

Figura 67 *Válvula proporcional requerida para la solución*.....88

Figura 68 *Parámetros con los que fueron realizado las pruebas*90

Figura 69 *Resultados de las muestras de humedad obtenidas*.....90

Figura 70 *Resultados de Resumen del modelo en MiniTab*90

Figura 71 *Coefficientes de modelos estimados para Relaciones en MiniTab*.....91

Figura 72 *Efectos principales para Relaciones SN en minitab*91

Figura 73 *Tabla de respuesta para relaciones de señal a ruido, en Minitab*92

Figura 74 *Gráfica de efectos principales para medias de datos*93

Figura 75 *Respuestas principales para medias de datos*93

Figura 76 *Implementación de distribuidor interno del secador*97

Figura 77	<i>Gráfica de intervalo de porcentajes de humedad en el secador 2 vs ubicación</i>	98
Figura 78	<i>Análisis de varianza del secador 2</i>	98
Figura 79	<i>Gráfica de intervalo de porcentajes de humedad en el secador 3 vs ubicación</i>	99
Figura 80	<i>Análisis de varianza del secador 3</i>	99
Figura 81	<i>Gráfica de disminución de humedad en arranque de extrusora</i>	100
Figura 82	<i>Gráfica de incremento de humedad final en el producto terminado de 4mm</i>	101
Figura 83	<i>Gráfica de incremento de humedad final en el producto terminado de 7mm</i>	101
Figura 84	<i>Gráfica de resultados del Tripple Buttom Line</i>	102
Figura 85	<i>Gráfica de probabilidad del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado de 4 mm</i>	103
Figura 86	<i>Gráfica de probabilidad del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado de 7 mm</i>	104
Figura 87	<i>Gráfica de control del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado en el secador 2</i>	105
Figura 88	<i>Gráfica de control del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado en el secador 3</i>	105
Figura 89	<i>Gráfica de control del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado en el secador 2</i>	106
Figura 90	<i>Gráfica de control del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado en el secador 3</i>	107
Figura 91	<i>Análisis de capacidad del secador 2</i>	108
Figura 92	<i>Análisis de capacidad del secador 2</i>	108
Figura 93	<i>Capacidad del proceso de Humedad del Producto terminado en 7mm</i>	109
Figura 94	<i>Análisis de estadísticas en Minitab</i>	110
Figura 95	<i>Análisis de estadísticas en Minitab</i>	110

Figura 96 <i>Análisis de estadísticas en Minitab</i>	111
Figura 97 <i>Análisis de estadísticas en Minitab</i>	111
Figura 98 <i>Análisis de estadísticas en Minitab</i>	111

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Voice of Customer</i>	4
Tabla 2 <i>Plan de Recolección de Datos</i>	26
Tabla 3 <i>Datos Históricos del Porcentaje de Humedad de la Materia Prima Enero-septiembre 2023</i>	30
Tabla 4 <i>Tabla del Porcentaje de Humedad a la salida de la Extrusora por control</i>	32
Tabla 5 <i>Datos Históricos de la Diferencia de Humedad del Producto Terminado enero a septiembre 2023</i>	39
Tabla 6 <i>Volumen de Producción por diámetro Enero-Septiembre 2023</i>	47
Tabla 7 <i>Total de muestreos realizados con desviación según el diámetro del producto</i>	49
Tabla 8 <i>Porcentaje de muestreos con desviación del total según el diámetro</i>	50
Tabla 9 <i>Resumen del resultado de estratificación</i>	51
Tabla 10 <i>Escala de calificación para las causas potenciales en la matriz causa y efecto</i>	57
Tabla 11 <i>Nomenclatura según el actor consultado</i>	57
Tabla 12 <i>Matriz Causa-Efecto de las posibles causas del producto de 4mm</i>	58
Tabla 13 <i>Matriz Causa-Efecto de las posibles causas del producto de 7mm</i>	59
Tabla 14 <i>Causas Potenciales con mayor impacto en la variable respuesta</i>	60
Tabla 15 <i>Plan de Verificación de Causas Potenciales</i>	61
Tabla 16 <i>Soluciones propuestas para las causas raíz encontradas</i>	81
Tabla 17 <i>Matriz de impacto esfuerzo y costo para soluciones potenciales</i>	83
Tabla 18 <i>Plan de implementación de soluciones</i>	85
Tabla 19 <i>Factores que influyen en el arranque de extrusion</i>	89

Capítulo 1

1. Introducción

El segmento empresarial dedicado a la producción de alimento balanceado está conformado por aproximadamente 351 compañías en el país, según datos de la Asociación Ecuatoriana de Fabricantes de Alimento Balanceado para Animales (2023) y la Asociación de Productores de Alimentos Balanceados (2023)

Para la producción del alimento balanceado se necesita producto seco (micro y macro nutrientes) y un porcentaje de humedad determinado según el tipo y tamaño del producto, el cual se incorpora como vapor dándole más consistencia y peso al pienso. Por eso, en este ámbito es frecuente encontrar variaciones en el porcentaje de humedad necesario para el producto en cada fase del proceso, lo que impacta negativamente en la productividad. Diariamente, se consideran muchos kilogramos de piensos como “secos” porque su porcentaje de humedad es menor al rango establecido, lo que provoca producir más de lo planificado para completar el peso del pedido dando resultados insatisfactorios que se ven reflejada en pérdidas financieras en el área de producción

Motivada por esta problemática, una de estas empresas, ubicada en la ciudad de Durán busca reducir el nivel de pérdida de humedad para alcanzar su objetivo de mantener una humedad 10% en el producto final. Esta compañía se especializa en la producción de alimento balanceado para mascotas, peces y caballos para mercados locales e internacionales. El proceso de producción se divide en ocho áreas: Dosificación, Mezclado, trituración y molienda, pre acondicionado y Extrusión, Secado, enfriado, engrasado y empaçado.

La planta se enfoca principalmente en el uso de macro y micro ingredientes con un porcentaje de humedad entre 4% a 7% para que el producto final tenga una humedad de 10% a 12%, dependiendo del producto, y esos puntos ganados sean ganancia en el volumen de producción. El proceso inicia con la dosificación donde se recibe la materia prima, que son los

ingredientes secos. Luego, se mezclan para ser triturados y pulverizados. Sigue el proceso de pre acondicionado donde se agrega otros aditivos y se da la extrusión con el diámetro requerido según el producto. A continuación, se realiza el secado a una temperatura establecida y el producto se va al área de enfriamiento. Finalmente, se aplica un recubrimiento de aceite y se empaca. Cabe recalcar que, para aumentar la temperatura en los procesos de secado y cocción es necesario agregar vapor, los operadores regular el flujo de vapor de forma manual.

1.1 Descripción del Problema

La compañía establece un rango de humedad permitido para el producto terminado, el cual es entre 8% y 12%, fuera de esto el producto va a reproceso y en casos extremos, es considerado como desperdicio. Actualmente, el porcentaje de humedad promedio es de 7.35% en piensos para peces, reflejando poca ganancia de volumen de producción. Este indicador se supervisa mediante informes diarios elaborados por los operarios de cada máquina, detallando la cantidad de muestras tomadas y el porcentaje de humedad en las diferentes áreas. También los desperdicios ocurridos en la planta.

Con el propósito de obtener una comprensión más profunda de las operaciones de la empresa, se llevaron a cabo diversas entrevistas con el personal de la planta, incluyendo al supervisor de producción, al analista de procesos, supervisor de calidad, operador de extrusión y al jefe de planta. Estas entrevistas dieron lugar a la creación de un VOC (Voz del Cliente, por sus siglas en inglés). A través de este documento, se presentan los descubrimientos surgidos de las percepciones y comentarios del cliente interno de la empresa, como se detalla a continuación.

Tabla 1*Voice of Customer*

No.	Identidad del cliente	Voz del cliente
1		Los dos secadores en ciertas ocasiones retienen producto húmedo en la base, lo que genera producto tostado y cambio de color (PNC)
2	Supervisor de producción	Barajas se descalibran debido a producto húmedo del arranque que se acumula y compacta en los secadores
3		Descargas no programadas de los secadores liberando producto con alto porcentaje de humedad al siguiente proceso (no se cumple el ciclo completo de secado)
4		La adición de filax al producto no está estandarizada y no existe un método eficaz de dosificación y control continuo
5		Generación de PNC con porcentajes muy bajos de humedad (< 5%).
6	Analista de procesos	Presión de vapor interna en tuberías es irregular debido a la condensación lo que genera incremento de humedad
7		Heterogeneidad en el proceso de secado (presencia de extrusos húmedos y rescos)
8		Existe un delta entre el porcentaje de humedad del producto saliente entre los dos secadores
9	Jefe de planta	Plan de adherencia de producción no se cumple, la adherencia de la línea modular es menor que las demás líneas de producción
10		Los bajos niveles de humedad disminuyen el rendimiento de la producción y desequilibran el balance de masa mensual.
11		Clientes finales reportan presencia de hongos en productos extruidos para peces, ocurre con mayor frecuencia en etapa invernal
12		Existe un proceso de recirculación entre los secadores y el enfriador dificultando regular la temperatura de secado
13	Operador de extrusión	Errores de dosificación altera el color característico de la mezcla y la apariencia después del proceso de secado
14		La baja humedad en el producto terminado consume más vapor y combustible en el área de la caldera.
15		Contaminación cruzada durante el cambio de producto en la línea de producción
16	Supervisor de Calidad	Presencia de hongos en productos extruidos para peces, se presenta con mayor frecuencia en la etapa invernal
17		Actualmente se manejan rangos de humedad inferiores a los establecidos por el control de calidad debido a la heterogeneidad del secado.

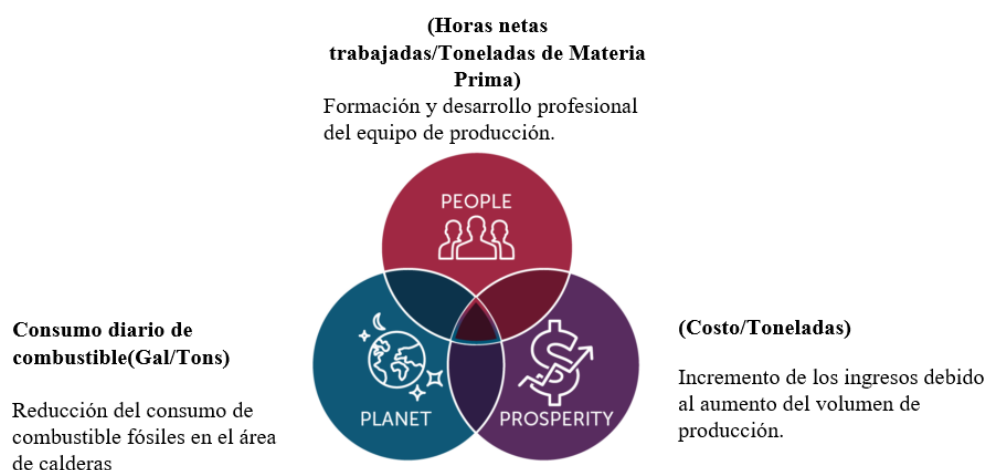
Nota: Información levantada con el equipo de trabajo de la planta.

Gracias a esta interacción con el equipo, se logró una mayor comprensión sobre el funcionamiento de los procesos, identificando posibles fallos en cada uno de ellos y abordando las preocupaciones expresadas por los miembros de la empresa que buscan mejoras.

Otra herramienta que se utiliza es el Triple Bottom Line o Triple impacto, la cual contribuye a evaluar la sostenibilidad del proceso a través de tres aspectos fundamentales: económico, social y ambiental.

Figura 1

Triple Bottom Line del proyecto



Nota: La sostenibilidad, respaldándose en los tres pilares esenciales para las empresas, fomentando una toma de decisiones más equitativa y responsable.

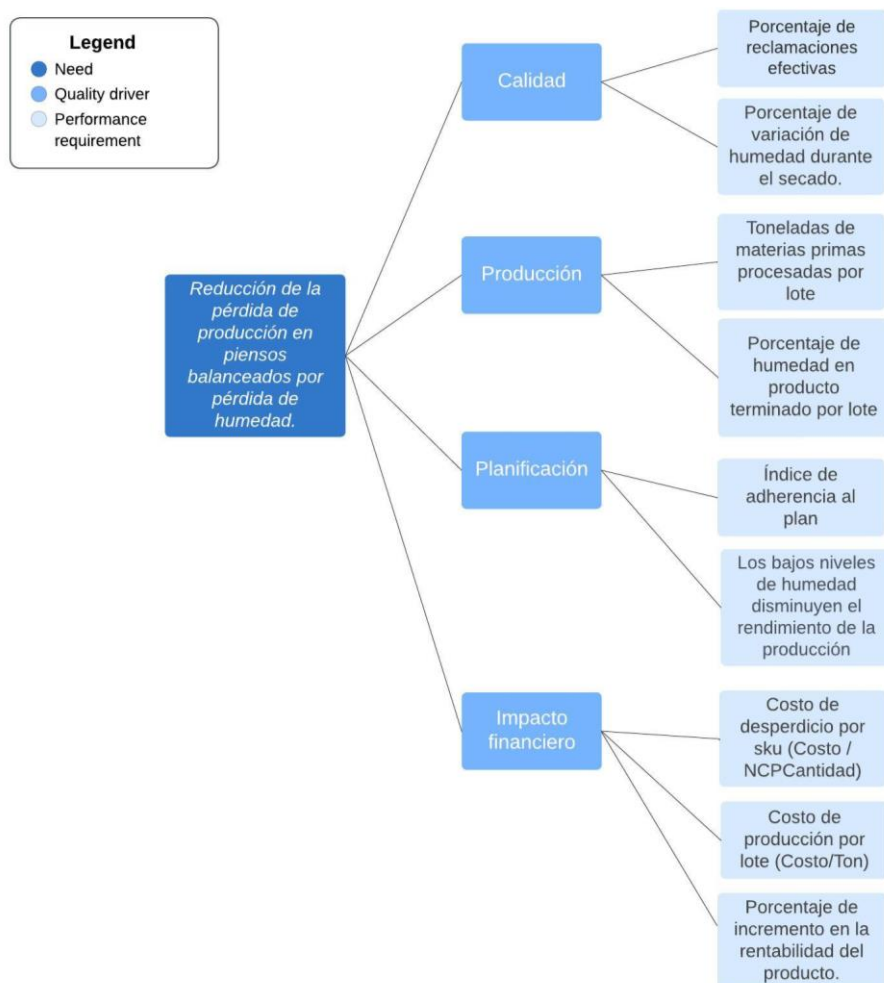
El proyecto se centrará en la minimizar de pérdida de producción a través de reducción de la merma por pérdida de humedad contribuyendo a obtener un mayor margen de beneficio financiero, fomentando el desarrollo personal y profesional de los colaboradores y la eficiencia energética de combustibles fósiles.

1.2 Variables de Interés

Utilizando las herramientas implementadas en el presente proyecto, se desarrolló el árbol de la calidad que se presenta en la Figura 2.

Figura 2

CTQ Tree



Nota: Información levantada con el Key Customer y equipo de planta.

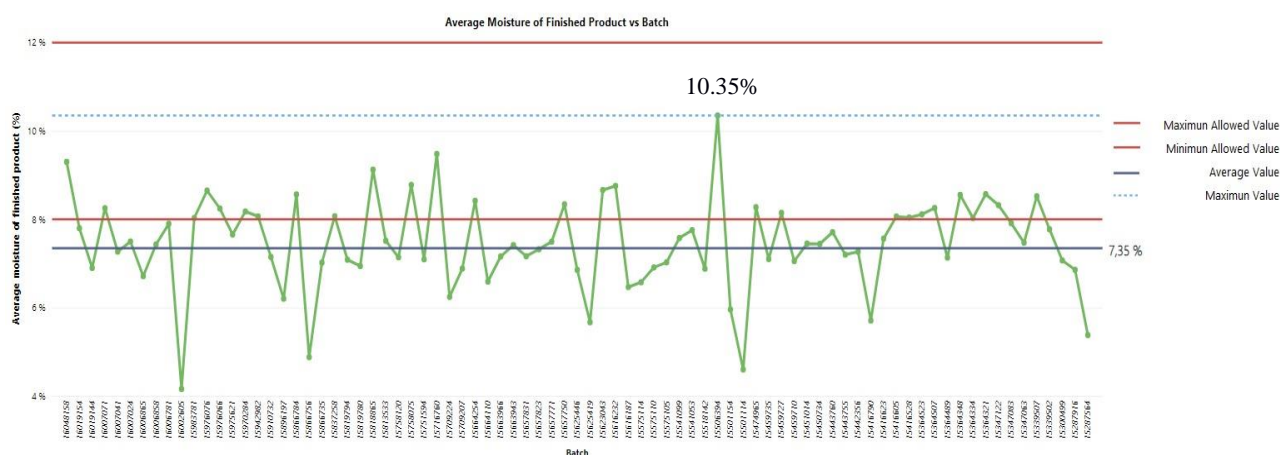
Basándonos en la Figura 2, se examinaron detalladamente todas las variables CTQ, y se optó por el porcentaje de humedad en el producto terminado por lote, ya que es el aspecto que el cliente desea incrementar y que representaría un incremento directo en el volumen de producción.

El departamento de aseguramiento y control de la calidad de la organización ha establecido límites de especificación para el porcentaje de humedad, siendo de 8% a 12% la humedad en el producto terminado, sin embargo, a inicios del año 2023 el límite máximo de

especificación se ha establecido a 10% para minimizar la presencia de desviaciones de calidad por humedad alta.

Figura 3

Gráfico de Promedio de humedad del producto terminado vs Lote (Enero-Septiembre 2023)



Nota: Serie de tiempo del porcentaje promedio de humedad del producto terminado por lote de fabricación de enero a septiembre del 2023.

En la Figura 3 se muestra una serie de tiempo que considera el porcentaje de humedad del producto terminado por lote siendo 7.35% el valor promedio de humedad en las producciones de peces de la línea multimodal, dicho valor se encuentra por debajo del límite inferior que es 8%. El valor máximo observado es 10.35% y el valor mínimo 4.13%, en otras palabras, existe una merma del volumen de producción debido a una pérdida porcentual de humedad.

Para obtener el promedio de la humedad del producto final se debe promediar el porcentaje de las muestras tomadas por lote, de las cuales, para obtener el porcentaje de humedad se debe colocar una muestra en la termobalanza, aquí la humedad se evapora y pesa el material seco, la diferencia será el resultado de esta variable. Estas muestras son tomadas durante varios tiempos del proceso de secado y varían según el tamaño del lote.

$$\text{Formula para el porcentaje de humedad} = 100\% - \text{Material seco} \% \quad (1.1)$$

$$\text{Promedio de humedad en el producto final} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Porcentaje de humedad } i \quad (1.2)$$

Por lo tanto, se define el problema como:

“El porcentaje promedio de humedad en el producto terminado en la línea de producción de alimentos multimodales para peces de la compañía, de enero a septiembre de 2023, es de 7.35 % por lote. El rango permitido debe estar entre el 8% y el 12% y el objetivo establecido es del 10%”

1.3 Alcance del Proyecto

Considerando las limitaciones temporales para visualizar los resultados y brindar un enfoque más preciso, se emplea la herramienta SIPOC para obtener una visión general del proceso realizado en la planta, específicamente en la elaboración de alimento balanceado para peces. En la Figura 4, se presenta el SIPOC correspondiente al proceso de producción desde su etapa inicial hasta la etapa final de envasado y etiquetado.

Figura 4

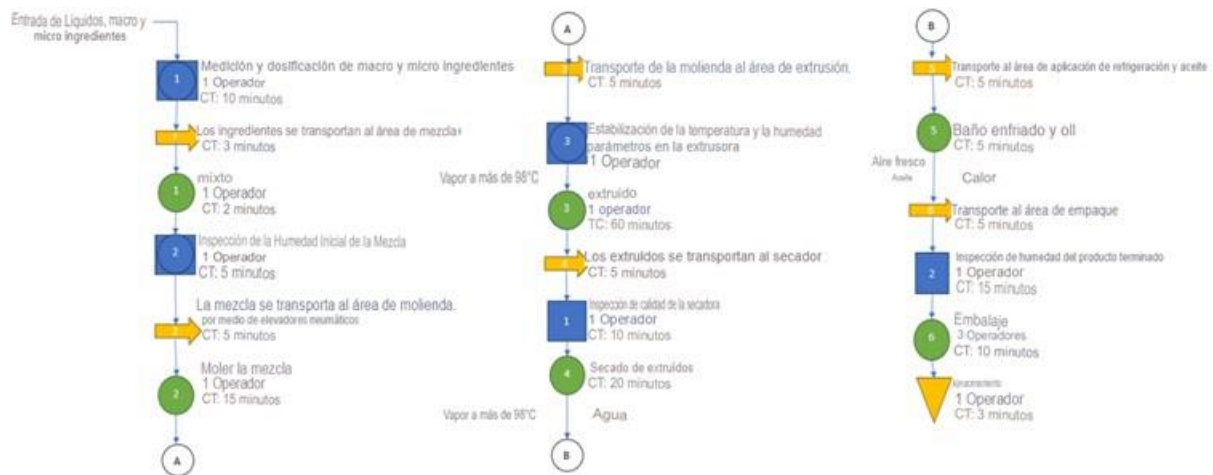
Diagrama SIPOC



Nota: SIPOC del proceso de producción de alimento balanceado para peces.

1.4 Restricciones

Además de analizar el proceso con la herramienta SIPOC para ver detalladamente cómo funciona en cada una de sus etapas, se realizó un OTIDA para complementar la información y lograr identificar las actividades que se realizan durante el proceso de producción de la línea multimodal y como observaciones relevantes se obtuvo lo siguiente:

Figura 5*Diagrama OTIDA*

Nota: OTIDA del proceso de fabricación de alimento balanceado para peces

En la Figura 5 podemos destacar los principales procesos que influyen directamente en el porcentaje de humedad del producto terminado se puede destacar el proceso de secado previo a la aplicación de aceite y posterior al proceso de extrusión donde se le da la forma característica al pellet, así mismo las actividades predominantes son las de transporte y operación.

Figura 6*Actividades del OTIDA*

Nota: Resumen de la categorización de actividades del proceso de producción.

En la Figura 6 se observa el resumen de las actividades que se realizan para completar el proceso productivo, siendo el 33% las actividades que agregan valor al proceso y el 39%

representan las actividades que no agregan valor, pero son necesarias, en su mayoría son de transporte entre procesos.

Figura 7

Conclusiones del OTIDA



Nota: Principales hallazgos de la realización del OTIDA.

En la Figura 7 se observa las principales conclusiones que se obtuvieron en la realización y análisis del OTIDA, entre las que destacan la presencia de un cuello de botella en extrusión debido a un alto nivel de inventario en las tolvas de almacenamiento previo a este proceso, característica propia de los sistemas de producción de alimento balanceado.

1.5 Justificación del Problema

La planta productora de alimento balanceado, especialmente de piensos para peces, tiene la necesidad de reducir la pérdida de volumen de producción para así también mejorar la eficiencia y productividad del proceso. Esta se ha visto que, desde inicios de año, no se logra estabilizar el porcentaje de humedad del producto terminado.

Cabe recalcar que la pérdida de humedad en el alimento balanceado puede representar una pérdida en la producción por varias razones. Primero, la humedad contribuye significativamente al peso total del producto. Si hay una pérdida sustancial de humedad durante el proceso de producción, el peso del producto final será menor, lo que puede afectar negativamente los rendimientos y la rentabilidad.

Además, la humedad desempeña un papel crucial en la estabilidad y rendimiento en campo del alimento balanceado. Una pérdida excesiva de humedad puede afectar la frescura, la textura y la calidad del producto, lo que puede resultar en una disminución de la aceptación por parte de los consumidores y, en última instancia, en una pérdida de ventas.

Asimismo, la humedad también puede influir en la vida útil del producto. Si el alimento balanceado se seca demasiado, puede volverse quebradizo o propenso a la oxidación, lo que reduce su tiempo de almacenamiento y puede generar desperdicio. Por otro lado, si el alimento balanceado excede su límite de humedad puede crearse la contaminación por hongos y demás micropartículas de manera rápida, por lo que no será un plazo considerado para el consumo que establecen los consumidores.

1.6 Objetivos

Se puede notar como esta humedad final es muy variable e incluso el promedio (7.35%) está por debajo de la humedad permitida. Esto, además de ser un problema para la calidad del producto, es un obstáculo para el área de producción ya que la materia prima generalmente ingresa con una humedad máxima de 10 %, por lo tanto, no estaría incrementando el porcentaje de humedad como se requiere.

Para establecer el valor objetivo del proyecto, se ha dialogado con el cliente clave y se llegó al compromiso de reducir esta merma de humedad entre 1 a 3 puntos porcentuales.

1.6.1 Objetivo General

Aumentar la humedad del producto terminado de 7.35% a 10% por lote en la línea para peces del alimento balanceado multimodal, en 4 meses.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Analizar las causas raíz de la variabilidad de la humedad de los piensos extruidos para peces en la línea de producción multimodal.

- Implementar mejoras y crear estándares operacionales para lograr un mayor rendimiento de producción.
- Establecer indicadores clave de rendimiento "KPIs" para detectar desviaciones y tomar medidas preventivas en los procesos críticos de producción.

1.7 Marco Teórico

1.7.1 La metodología Six Sigma

En el ámbito de las metodologías de mejora continua, aparece Six Sigma, una metodología robusta y ampliamente adoptada en la gestión de calidad, la cual se distingue por su enfoque disciplinado para la mejora continua y la reducción de variabilidad en los procesos empresariales con el uso de las técnicas estadísticas. (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2009)

La metodología Six Sigma y el método DMAIC no solo ofrecen un enfoque estructurado para la mejora continua, sino que también promueven una cultura organizacional basada en datos y resultados cuantificables, lo que contribuye a la toma de decisiones informada y a la sostenibilidad a largo plazo de las mejoras implementadas. (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2009)

1.7.2 Método DMAIC

Un componente esencial de Six Sigma es el método DMAIC, un acrónimo de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

Seis Sigma (también conocido por su nombre en inglés Six Sigma o Lean Six Sigma) es un programa destinado para mejorar la calidad de los procesos de una organización. (Montgomery, 2019)

1.7.2.1 Definir.

En la fase de Definir, se establecen claramente los objetivos del proyecto, tanto general como específicos y se definen los problemas clave. Para esto se utiliza el siguiente orden de aplicación con las respectivas herramientas:

- Preguntas “3W-2H”: Donde se responde ¿Qué? ¿Cuándo? ¿Dónde? ¿Cómo? ¿Por qué? Acerca de la problemática.
- Estas preguntas se responden luego de realizar una investigación o estudio por medio de la herramienta Voz del cliente (VOC Por sus siglas en ingles Voice of customer).
- Se realiza un diagrama de afinidad para reconocer los recursos, procesos y las personas que participan.
- Para finalizar se realiza el árbol critico de la calidad (CTQ Tree, por sus siglas en ingles Critical To Quality Tree) para mostrar las variables de respuestas obtenidas.

1.7.2.2 Medición.

La fase de Medición implica la recopilación de datos reales y relevantes para validar la situación actual y cuantificar la magnitud del problema. Se debe tomar en cuenta la totalidad de la cadena de valor relacionada con el proceso, destacando las actividades que agregan y no agregan valor. El objetivo principal en esta etapa consiste en identificar y cuantificar las causas (variables x) que están dando lugar al problema (Variable Y).

(Montgomery, 2019)

Por esto se recomienda:

- Emplear herramientas estadísticas para la variable de salida (Y) y elaborar gráficos de control y evaluar la capacidad del proceso (X) para validar la fiabilidad de los datos.
- Utilizar diagramas de Pareto para analizar y centrarse en la problemática específica.
- Creación de diagramas de flujo o mapas del proceso.

1.7.2.3 Análisis.

La fase de Analizar se centra en identificar las causas raíz de los problemas mediante herramientas estadísticas y de análisis tales como el diagrama causa y efecto, análisis Pareto y análisis de capacidad, por lo cual es muy importante la participación del equipo ya que son los que tienen información que ayuda en la realización de la lluvia de ideas. (Montgomery, 2019)

Se realiza el diagrama Ishikawa para encontrar las causas y los efectos que afectan a la variable de salida (Y). La siguiente herramienta es la matriz causa y efecto, un diagrama de Pareto y la matriz de impacto y control para concentrarnos en las causas potenciales. Para finalizar, se realiza un plan de verificación de estas causas, por medio de métodos estadísticos para luego realizar la metodología de “ Los 5 ¿Por qué? ” y obtener la causa raíz. (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2009)

1.7.2.4 Mejorar.

Una vez identificadas estas causas críticas, la fase de Mejorar se concentra en implementar soluciones y mejoras en el proceso. Para escoger aquellas soluciones, se realiza una matriz de impacto y esfuerzo, donde no se consideran las de alto esfuerzo y poco impacto. También, se realiza un análisis financiero y una matriz de priorización para escoger soluciones potenciales. Es esencial simular si las acciones propuestas serán sostenibles a lo largo del tiempo y aplicar la estadística necesaria para validar los resultados. (Montgomery, 2019)

1.7.2.5 Controlar.

Finalmente, la fase de Controlar se enfoca en establecer procedimientos y medidas para monitorear, mantener y retroalimentar los cambios realizados, asegurando que los procesos sigan siendo efectivos a lo largo del tiempo. En este paso, es necesario confirmar

que la solución implementada ha alcanzado los objetivos previstos haciendo uso de los KPIs y a su vez confirmar que no ha generado efectos secundarios adversos. (Montgomery, 2019)

1.8 Herramienta para mejorar proceso

Un diagrama de procesos es una representación gráfica que muestra la secuencia de pasos, actividades o tareas que componen un proceso específico. Se utiliza para visualizar y comprender la secuencia de eventos dentro de un proceso, identificar posibles áreas de mejora, comunicar eficazmente los procedimientos y estandarizar las operaciones. (Weske , 2019)

1.8.1 Diagrama SIPOC

El diagrama SIPOC es una herramienta que estructura y visualiza las fases esenciales de un proceso, abarcando desde los proveedores hasta los clientes. Ayuda en la identificación de insumos y resultados, destaca las conexiones con las partes interesadas, y establece un fundamento para el análisis de riesgos y oportunidades.

Como se muestra en la Figura 8 su representación gráfica simplifica la comunicación entre equipos y constituye un punto de partida crucial para proyectos de mejora continua, facilitando la detección y solución de problemas en los procesos organizativos.

Figura 8

Explicación de herramienta SIPOC



Nota: Ejemplo de elaboración de SIPOC.

Fuente: (Weske , 2019)

1.8.2 Diagrama OTIDA

Este diagrama de flujo o curso de proceso se diferencia del diagrama sinóptico al abordar un proceso con un nivel de detalle más amplio. Se representa gráficamente la "circulación o sucesión de los hechos en un proceso", y así buscar un enfoque que no solo muestra la secuencia de operaciones, sino que también proporciona información adicional, como el tiempo necesario y la distancia recorrida durante el proceso o procedimiento.

(Montgomery, 2019)

Por esta razón, ahora se definen las actividades fundamentales que pueden desarrollarse en un proceso, en un gráfico para su mejor entendimiento:

Figura 9

Explicación de herramienta OTIDA

Simbología ISO	
Operación	
Transportación	
Demora	
Decisión	
Entrada	
Almacenamiento	
Inspección y medición	

Nota: Nomenclatura empleada en el diagrama OTIDA

Fuente: (Montgomery, 2019)

1.8.3 Diagrama de Pareto

Tal como menciona Goetsch & Davis (2022) un gráfico de Pareto es una representación visual que ordena las barras en orden descendente según la magnitud de sus contribuciones, destacando las categorías más significativas. Su utilidad radica en identificar y priorizar las principales fuentes de problemas o causas en un conjunto de datos. Al enfocarse en las categorías más relevantes, permite a los profesionales tomar decisiones informadas para abordar eficientemente los problemas más críticos, optimizando así los recursos y mejorando el rendimiento general.

1.8.4 Métricas Six Sigma

1.8.4.1 Índice de capacidad del proceso

Es una métrica fundamental que evalúa la capacidad de un proceso para producir productos o servicios dentro de especificaciones, desde el punto de vista de la calidad. En líneas generales, evaluaremos la amplitud de la variación natural de un proceso para una característica de calidad dada. (Montgomery, 2019)

Representado comúnmente por Cp y Cpk, mide la dispersión y el centrado del proceso en relación con los límites de tolerancia. Un Cp alto indica baja variabilidad, mientras que un Cpk alto señala que el proceso está centrado en la especificación. Ambos índices son esenciales para garantizar que los resultados del proceso cumplan consistentemente con los estándares de calidad, siendo una parte esencial de la metodología Six Sigma orientada a la mejora continua. (Montgomery, 2019)

El **índice Z** es una medida crucial que evalúa la capacidad del proceso para mantenerse dentro de los límites de especificación. Representa la cantidad de desviaciones estándar entre la media del proceso y los límites de tolerancia. Un índice Z más alto indica un mejor rendimiento del proceso, ya que hay menos superposición entre la distribución del proceso y los límites de especificación. (Witte & Witte , 2016)

En la metodología Six Sigma, se busca alcanzar un índice Z de al menos 3.0, lo que implica que solo 0.27 partes por millón están fuera de especificación, asegurando una calidad excepcionalmente alta y consistente.

1.8.5 Proceso de elaboración de alimento balanceado en piensos extruidos

Los piensos extruidos desempeñan un papel crucial en la alimentación balanceada de animales, ya que ofrecen una combinación precisa de nutrientes esenciales. Estos alimentos procesados a alta presión y temperatura garantizan una mezcla homogénea de ingredientes, mejorando la digestibilidad y absorción de nutrientes.

En la Figura 10 mostraremos la primera etapa del proceso, adecuado a la empresa donde se está realizando el proyecto

Figura 10

Procesos de la primera etapa de la línea de producción del producto balanceado



Nota: Primera fase del proceso de producción de alimento balanceado

La **dosificación** precisa en la línea de producción del alimento balanceado es esencial para garantizar la calidad y consistencia del producto final. Utilizando sistemas avanzados de dosificación, se logra la mezcla exacta de ingredientes, incluyendo proteínas, grasas, vitaminas y minerales. Esta precisión no solo optimiza la salud y el rendimiento de los animales, sino que también reduce el desperdicio de ingredientes.

El proceso de **mezclado** en la línea de producción del alimento balanceado es crucial para asegurar una distribución homogénea de nutrientes esenciales. A través de sistemas de mezcla eficientes, se logra una combinación uniforme de ingredientes, como granos, vitaminas y minerales.

La **molienda y pulverización** en la línea de producción del alimento balanceado desempeñan un papel esencial al transformar materias primas como granos y cereales en partículas más pequeñas y uniformes. Este proceso aumenta la superficie de contacto, facilitando la digestión y absorción de nutrientes por parte de los animales. La tecnología moderna de molienda garantiza la consistencia del tamaño de partícula.

El **pre-acondicionado** y la **extrusión** en la línea de producción del alimento balanceado son procesos cruciales que potencian la calidad nutricional y la digestibilidad.

Durante el pre-acondicionado, las materias primas son sometidas a calor y humedad controlados, mejorando la textura y facilitando la posterior extrusión. La extrusión, a través de calor y presión, transforma los ingredientes en una masa cohesiva que se expande al salir de la matriz. Este proceso no solo destruye anti nutrientes, sino que también mejora la palatabilidad y la absorción de nutrientes. El resultado es un alimento balanceado de alta calidad, fácilmente digerible y beneficioso para la salud animal.

En la segunda etapa de la línea de producción se tienen los siguientes procesos:

Figura 11

Procesos de la segunda etapa de la línea de producción del producto balanceado



Nota: Segunda etapa del proceso de producción de alimento balanceado

El proceso de secado desempeña un papel importante para garantizar la durabilidad y estabilidad del producto final. Después de la extrusión, donde la humedad se eleva, el secado reduce la humedad a niveles óptimos, evitando el crecimiento de microorganismos y manteniendo la calidad nutricional. La tecnología de secado controlada asegura que los piensos mantengan su forma, textura y contenido nutricional deseado. Este paso es esencial para preservar la frescura, la vida útil y la calidad microbiológica del alimento, contribuyendo así a la producción de piensos balanceados de alta calidad.

El enfriado en la línea de producción del alimento balanceado es un paso crucial para consolidar la calidad del producto. Después del secado, los piensos extruidos pasan por un proceso de enfriado controlado que estabiliza la temperatura y asegura la rigidez adecuada. Este enfriado rápido preserva la integridad estructural y la frescura del alimento, garantizando que los nutrientes críticos no se vean comprometidos. La eficiencia en el enfriado contribuye a la estabilidad física del pienso.

El empaquetado en la línea de producción del alimento balanceado es la etapa final que asegura la preservación y la distribución eficiente del producto. Los piensos cuidadosamente procesados y acondicionados son empacados en envases resistentes y herméticos. Este proceso no solo protege el alimento de la humedad, la luz y el deterioro, sino que también facilita su manejo y transporte. El empaquetado garantiza que los consumidores reciban un producto de alta calidad, listo para su uso, mientras mantiene la frescura y la integridad nutricional del alimento balanceado.

Capítulo 2

2. Metodología

Aplicar de manera correcta la metodología permite establecer un enfoque estructurado y sistemático para el levantamiento, procesamiento y análisis de la información. En el presente proyecto se empleó la metodología de mejora de procesos Six Sigma DMAIC con el haciendo uso de sus 5 etapas: Definición, Medición, Análisis, Implementación y Control.

En el capítulo anterior se definió el problema, los actores involucrados, los objetivos con estructura Smart, así también se elaboró un VOC y CTQ enfocados a los criterios de calidad de los clientes internos de la organización para conocer las necesidades, expectativas y preferencias. Se definió la variable de respuesta para cuantificar el rendimiento del proceso y monitorear los resultados al finalizar el proyecto a través de un enfoque objetivo y preciso.

2.1 Definición

En esta etapa se sientan las bases para el resto del proceso que vamos a mejorar. Se identificó y definió claramente el problema para establecer los objetivos del proyecto, delimitando el alcance y direccionándonos a los criterios objetivos.

Se identificó el equipo con el que se va a trabajar dentro de la empresa y el cliente clave. Como clientes internos tenemos al equipo de producción, a cargo de la línea de producción multimodal, junto al equipo de producción y calidad encargado de evaluar los parámetros físicos y bromatológicos del producto.

- Supervisor de producción
- Analista de procesos
- Supervisor de calidad
- Operador de extrusión
- Jefe de planta

Nuestro cliente estratégico es el jefe de planta, ya que con él tenemos contacto directo para cualquier duda o modificación que ocurra en la planta, además que conoce muy bien el producto dada la experiencia que tiene dentro del área.

Para lograr entender las necesidades del cliente utilizamos la herramienta Voice Of Customer (VOC) donde cada uno de los clientes internos daba al menos dos ideas de porque se da la problemática, respondiendo a la pregunta ¿Por qué existen problemas con el alimento balanceado para peces durante los procesos? Luego, se realizó el diagrama de afinidad y el árbol CTQ donde se obtuvo la variable de respuesta: Porcentaje de humedad en el producto final por lote.

Antes de hablar de nuestra variable de respuesta, debemos contextualizar un poco acerca de nuestro producto. La materia prima ingresa a la línea con cierto porcentaje de humedad el cual ha pesar de variar debido a los procesos por los que pasa, debe incrementarse, siendo la humedad final mayor que la inicial. Ya que esto está directamente relacionado al volumen de la producción.

La variable de respuesta Y es el porcentaje de humedad en el producto terminado por lote que es el promedio de las humedades del producto terminado.

$$\text{Porcentaje de humedad de producto terminado} = \frac{1}{n} \sum \text{Porcentaje de humedad } i \quad (2.1)$$

2.2 Medición

2.2.1 Plan de Recolección de datos

A través del plan de recolección de datos realizado en la etapa de Definición se levantó la información de las variables independientes o X que tienen relación con la variable respuesta Y, se establecieron las unidades de medida, el origen de los datos, la relevancia y los responsables

Tabla 2*Plan de Recolección de Datos*

Variable	¿Qué?			Tamaño de Muestra	Factores de Estratificación	¿Cuándo?	¿Donde?	¿Como?	¿Por qué?	¿Quién?	Estado
	Significado Operativo	Unidad de Medida	Tipo de Dato			Fecha	Punto de Origen	Método de Recolección	Uso futuro	Responsable	
X1	Humedad Inicial	Porcentaje por control	Cuantitativo-Continuo	36	Materia prima por lote de producción y diámetro	Enero-Septiembre 2023	Proceso de Secado	Datos Históricos	Verificar el porcentaje de humedad perdida	Líderes de proyecto	Realizado
X2	Humedad de Extrusora	Porcentaje por control	Cuantitativo-Continuo	36	Por lote de producción	Enero-Septiembre 2023	Proceso de Extrusión	Datos históricos	Verificar la variabilidad de la humedad en el proceso	Líderes de proyecto	Realizado
X3	Humedad del secador 2	Porcentaje por control	Cuantitativo-Continuo	36	Después del secador 2 por lote de producción	Enero-Septiembre 2023	Proceso Secado	Datos históricos	Verifique la diferencia de humedad después de ambas secadoras	Líderes de proyecto	Realizado
X4	Humedad del secador 3	Porcentaje por control	Cuantitativo-Continuo	36	Después del secador 3 por lote de producción	Enero-Septiembre 2023	Proceso Secado	Datos históricos	Verifique la diferencia de humedad después de ambas secadoras	Líderes de proyecto	Realizado
X5	Humedad pérdida	Porcentaje por control	Cuantitativo-Continuo	36	Por lote de producción	Enero-Septiembre 2023	Proceso Secado	Datos históricos	Cuantificar el porcentaje de humedad perdida	Líderes de proyecto	Realizado
X6	Promedio de la densidad del producto	Por control	Cuantitativo-Continuo	36	Por lote de producción y diámetro	Enero-Septiembre 2023	Proceso Secado	Datos históricos	Verificar la variabilidad del porcentaje de humedad	Líderes de proyecto	Realizado

Nota: Resumen de la información levantada a través de la herramienta VOC

Los datos históricos fueron obtenidos bajo autorización por la organización y pertenecen a los registros del sistema de monitoreo continuo del departamento de producción. Con el propósito de comprender las diferentes etapas del proceso de producción se empleó herramientas como el GEMBA, cuyo objetivo es ir al lugar de los hechos, entrevistas con los operarios y análisis estadísticos para validar los datos históricos y reales, tales como la prueba de normalidad, el control chart y el análisis de capacidad.

De esta manera se levantaron los datos históricos desde el mes de enero a septiembre del 2023 para las producciones de peces con diámetros de 4 mm y 7mm.

Según el plan de recolección de datos se requiere levantar información de las variables que influyen en la variable respuesta, las cuales son:

- Porcentaje de Humedad de la Materia Prima por control
- Porcentaje de Humedad a la salida de la Extrusora por control
- Porcentaje de Humedad a la salida del secador 2 por control
- Porcentaje de Humedad a la salida del secador 3 por control
- Porcentaje de Humedad Pérdida en Producto Terminado por control
- Densidad promedio del producto en la extrusora por control

Los datos se trataron previamente para eliminar los valores aberrantes u outlier en las diferentes bases de datos. Las cifras de volumen de producción se han multiplicado por una constante “c” para garantizar la confidencialidad de la información.

2.2.2 Esquema de Muestreo

La base de datos histórica a inicios de enero y finales de septiembre señalan que se han realizado aproximadamente 550 diferentes controles de calidad o muestras, en los cuales se han levantado datos referentes a los porcentajes de humedad de la materia prima, salida de la extrusora, salida de los secadores 2 y 3, así también la densidad del producto a la salida de la extrusora y producto terminado.

$$N = \frac{(Z * S_{550})^2}{(e * M_{550})^2} \quad (2.2)$$

Donde:

Z = Parámetro estadístico que depende del Nivel de Confianza

S = Desviación estándar de la población

M = Media de la población

e = error de estimación máximo aceptado

N = Tamaño de muestra

$$N = \frac{(1.96 * 1.136)^2}{(0.05 * 7.405)^2}$$

$$N = 36.16$$

$$N = 36$$

2.2.3 Recolección y Confiabilidad de los Datos

A través de la validación de datos se puede conocer la precisión y confiabilidad de la información para tomar decisiones informadas y correctas. Se procedió a realizar una comparación de medias entre los datos históricos y la muestra obtenida posterior a la etapa de análisis.

Previo a la comparación de medias es necesario determinar la distribución de los datos ya que para datos normales se emplea la prueba t de medias y para datos no normales se recomienda usar pruebas no paramétricas tales como la prueba U de Mann-Whitney.

$$X_1 = \text{Porcentaje de Humedad de la Materia Prima por control}$$

El porcentaje de humedad de la materia prima es una variable clave dentro del proceso de extrusión ya que una alta variación del porcentaje de humedad en la materia prima puede afectar la estabilidad del proceso de extrusión. En términos productivos un porcentaje de humedad alto en la materia prima representa una merma porcentual de la humedad y en términos de calidad puede comprometer la integridad de los nutrientes e inocuidad del

producto. Los datos del porcentaje de humedad de la materia prima fueron tomados desde enero a septiembre del 2023.

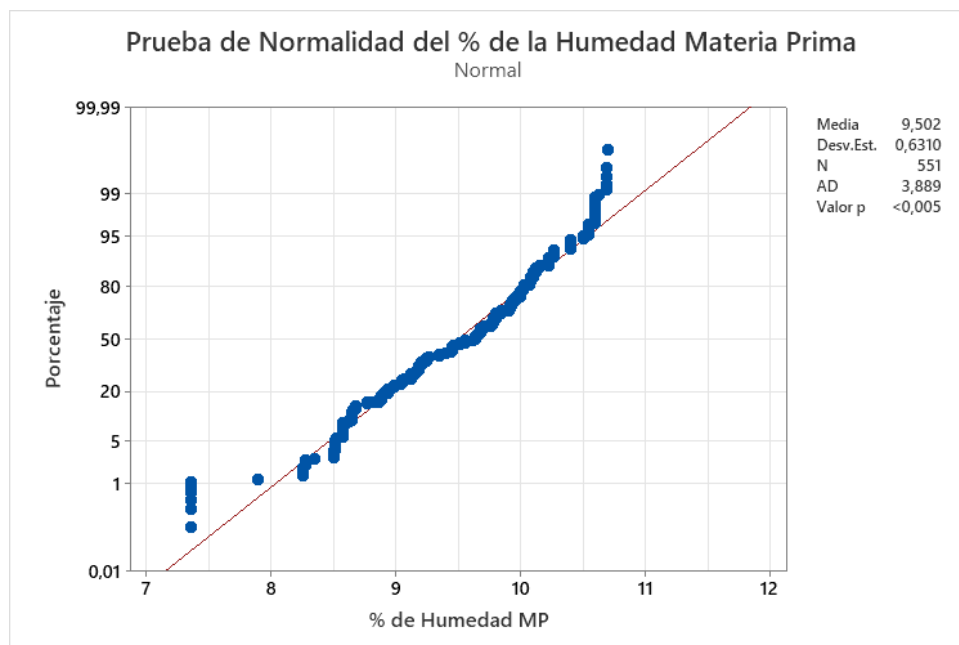
Tabla 3*Datos Históricos del Porcentaje de Humedad de la Materia Prima Enero-septiembre 2023*

Producto	Clasificación	Fecha de Producción	N° de muestra	Hora	Lote	Humedad MP
T-280	7	03/01/2023	1	22:20	15300499	10,40
T-320	4	05/01/2023	2	8:30	15339502	10,80
T-280	5	06/01/2023	1	12:20	15339507	8,99
T-280	5	06/01/2023	1	6:30	15347063	11,70
T-240	5	07/01/2023	3	10:20	15347122	10,40
T-280	7	07/01/2023	1	20:30	15347083	10,90
T-320	4	14/01/2023	2	4:30	15364321	10,20
T-320	4	15/01/2023	3	18:30	15364334	8,83
T-280	7	01/16/2023	1	14:30	15364507	10,80
T-280	10	01/16/2023	2	2:30	15364523	9,56
T-320	4	01/17/2023	1	12:30	15364348	11,80
T-320	4	01/17/2023	2	6:30	15416528	9,76
T-280	5	01/19/2023	3	2:30	15416605	12,20
T-280	5	01/20/2023	4	10:30	15416623	9,10
T-240	5	01/20/2023	1	18:30	15416790	9,28
T-280	7	01/20/2023	1	2:30	15442356	9,90
T-280	7	01/20/2023	1	10:30	15443753	8,10
T-280	10	01/20/2023	2	12:30	15443755	8,28
T-320	4	01/22/2023	1	14:30	15443760	11,40
T-320	4	01/25/2023	2	14:30	15451014	9,36
T-280	7	01/25/2023	3	0:30	15459710	8,72
T-280	5	01/26/2023	1	18:30	15459727	9,39
T-280	5	01/27/2023	1	8:30	15459735	9,45
T-360	7	01/02/2023	2	12:30	15501114	9,31
T-280	5	02/02/2023	1	4:30	15506394	8,86
T-240	5	04/02/2023	2	20:30	15518142	8,50

Nota: Datos históricos del porcentaje de humedad de la materia prima por lote desde enero a septiembre del 2023

Figura 12

Prueba de Normalidad del Porcentaje de Humedad de la Materia Prima Enero-septiembre 2023



Nota: Prueba de normalidad de los datos del porcentaje de humedad de la materia prima

Tal como se observa en la Figura 12 el valor p es menor a 0,05 por lo que se puede afirmar que los datos no presentan una distribución normal, de esta manera es recomendable emplear la prueba U de Mann-Whitney para establecer si sus medianas son estadísticamente iguales.

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	168017,00	0,000
Ajustado para empates	168017,00	0,000

La prueba de Mann-Whitney es una prueba no paramétrica para comparar dos muestras independientes que tienen una distribución no normal. Las hipótesis nula y alternativa para esta prueba son las siguientes:

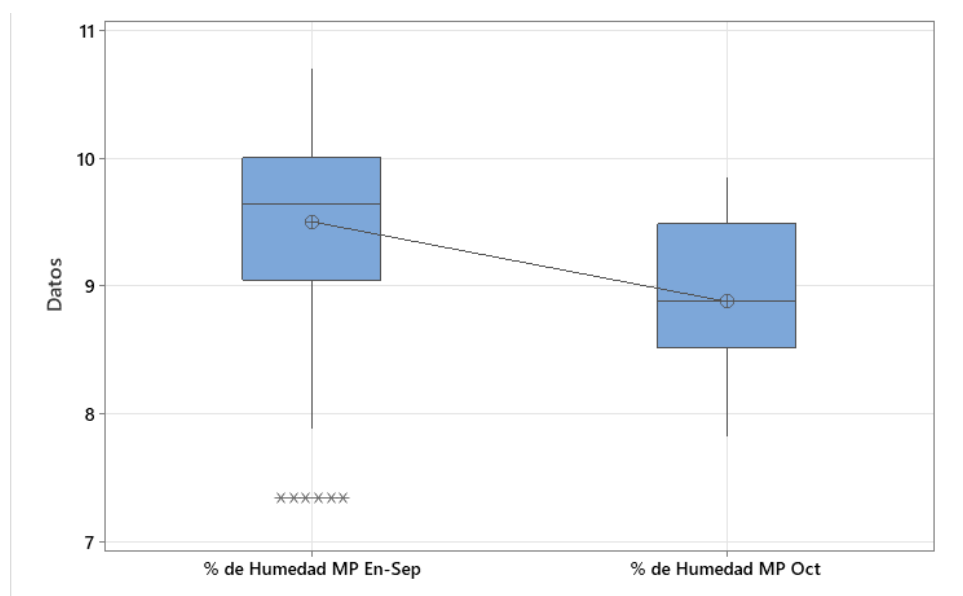
- Hipótesis nula (H0): No hay diferencia significativa entre las medianas de las dos muestras.

- Hipótesis alternativa (H1): Existe una diferencia significativa entre las medianas de las dos muestras.

La prueba U de Mann-Whitney realizada señala que el valor p es igual a cero por lo que no se puede aceptar la hipótesis nula y se puede concluir las medianas de ambas muestras son diferentes. Esta variación significativa en el porcentaje de humedad de la materia prima se debe a la alta rotación de ingredientes con procedencia de distintos proveedores.

Figura 13

Gráfica de Cajas del Porcentaje de Humedad de la Materia Prima



Nota: Gráfico de cajas para comparar la mediana porcentual de la humedad de los datos históricos de enero a septiembre vs los datos levantados en el mes de octubre

$$X_2 = \text{Porcentaje de Humedad a la salida de la Extrusora por control}$$

Tabla 4

Tabla del Porcentaje de Humedad a la salida de la Extrusora por control

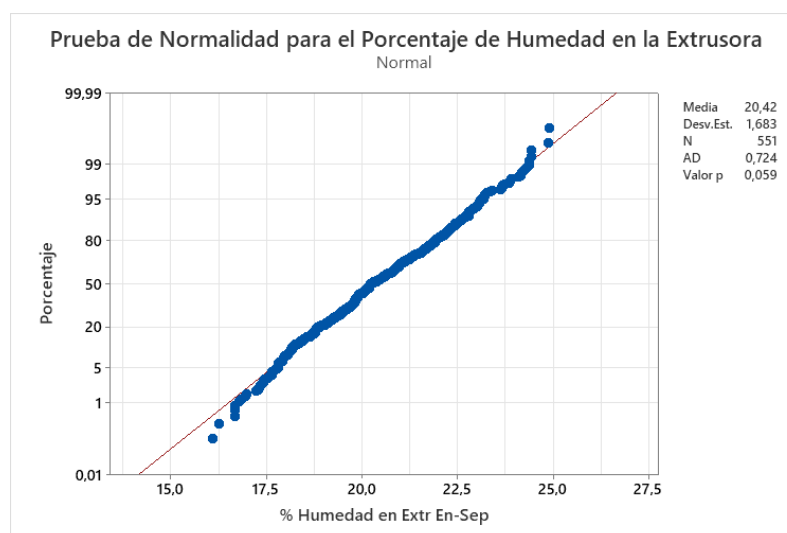
Producto	Clasificación	Fecha de Producción	Nº de muestra	Hora	Lote	H. Etr2
T-280	7	03/01/2023	1	22:20	15300499	21,47
T-320	4	05/01/2023	2	8:30	15339502	20,75

T-280	5	06/01/2023	1	12:20	15339507	22,72
T-280	5	06/01/2023	1	6:30	15347063	21,06
T-240	5	07/01/2023	3	10:20	15347122	20,78
T-280	7	07/01/2023	1	20:30	15347083	21,94
T-320	4	14/01/2023	2	4:30	15364321	21,18
T-320	4	15/01/2023	3	18:30	15364334	20,00
T-280	7	01/16/2023	1	14:30	15364507	17,37
T-280	10	01/16/2023	2	2:30	15364523	19,94
T-320	4	01/17/2023	1	12:30	15364348	21,36
T-320	4	01/17/2023	2	6:30	15416528	23,66
T-280	5	01/19/2023	3	2:30	15416605	23,74
T-280	5	01/20/2023	4	10:30	15416623	23,76
T-240	5	01/20/2023	1	18:30	15416790	22,83
T-280	7	01/20/2023	1	2:30	15442356	22,13
T-280	7	01/20/2023	1	10:30	15443753	19,94
T-280	10	01/20/2023	2	12:30	15443755	21,38
T-320	4	01/22/2023	1	14:30	15443760	24,25
T-320	4	01/25/2023	2	14:30	15451014	18,74
T-280	7	01/25/2023	3	0:30	15459710	19,61
T-280	5	01/26/2023	1	18:30	15459727	21,44

Nota: Fragmento de los datos históricos del porcentaje de humedad a la salida de la extrusora desde enero a septiembre del 2023

Figura 14

Prueba de Normalidad del Porcentaje de la Humedad en la Extrusora Enero-Septiembre 2023



Nota: Prueba de normalidad del porcentaje de humedad a la salida de la extrusora desde enero a septiembre del 2023

El valor p obtenido es 0,059 siendo mayor a 0,005 por lo que se puede afirmar que los datos presentan una distribución normal, de esta manera se puede emplear la prueba t student para comparar las medias de las muestras con datos continuos.

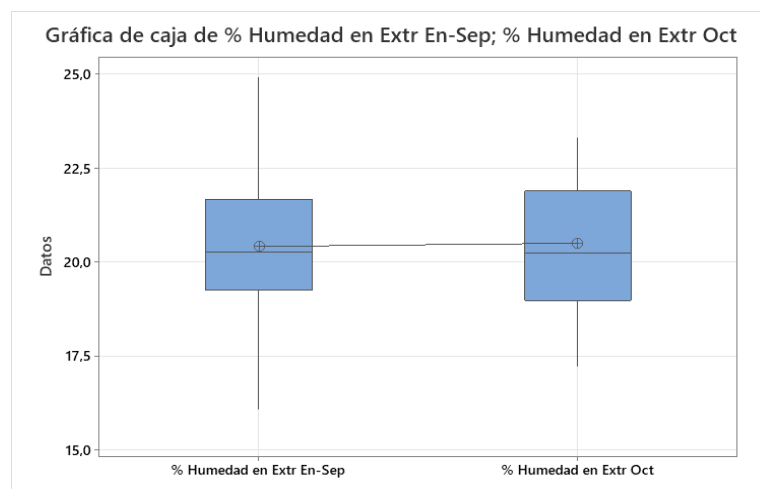
En este caso, las hipótesis nula y alternativa para comparar las medias de dos muestras de humedad en la extrusora utilizando la prueba t de Student serían:

- Hipótesis nula (H0): No hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de humedad en la extrusora.
- Hipótesis alternativa (H1): Existe una diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de humedad en la extrusora.

El valor p calculado es igual a 0,765 por lo que es mayor al valor de significancia establecido en la prueba t de Student para medias, significa que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. En otras palabras, no se puede concluir que exista una diferencia significativa entre las medias de las dos muestras en estudio. Esto sugiere que cualquier diferencia observada puede ser atribuida al azar o al error muestral.

Figura 15

Gráfica de Cajas del Porcentaje de Humedad de la Extrusora



Nota: Gráfico de cajas del porcentaje de humedad a la salida de la extrusora desde enero a septiembre del 2023

$X_3 = \text{Porcentaje de Humedad a la salida del secador 2 por control}$

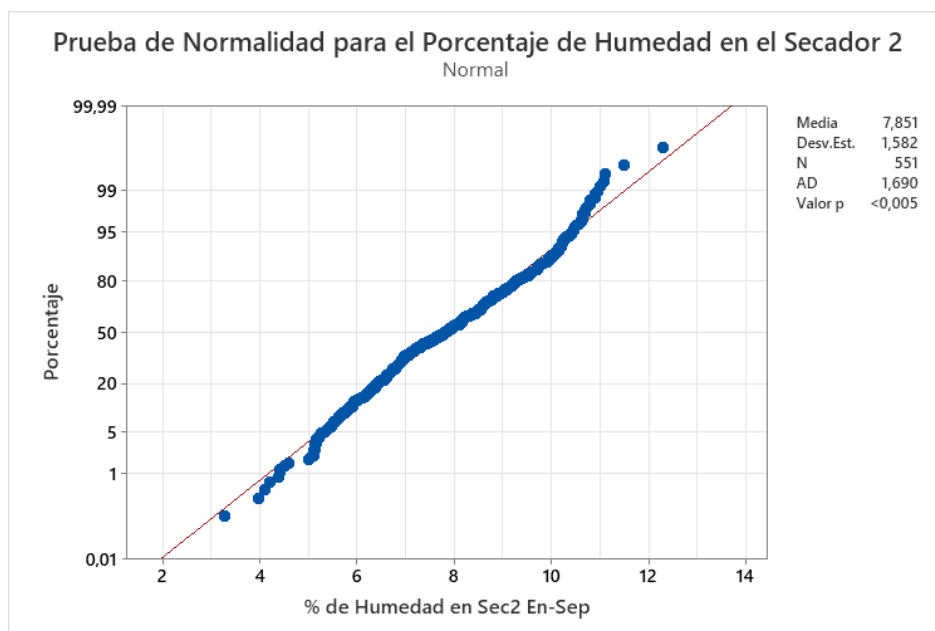
Se procedió a analizar la distribución de los datos del porcentaje de humedad del secador 2 y se establecieron las siguientes hipótesis.

Las hipótesis nula y alternativa para analizar la distribución de datos normales para el porcentaje de humedad del secador 2 serían las siguientes:

- Hipótesis nula (H0): La distribución de los datos del porcentaje de humedad del secador 2 sigue una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H1): La distribución de los datos del porcentaje de humedad del secador 2 no sigue una distribución normal.

Figura 16

Prueba de Normalidad del Porcentaje de la Humedad en el secador 2 enero-Septiembre 2023



Nota: Prueba de normalidad del porcentaje de humedad en el secador 2

Ya que el valor p obtenido es menor al nivel de significancia se puede afirmar que los datos no presentan una distribución normal.

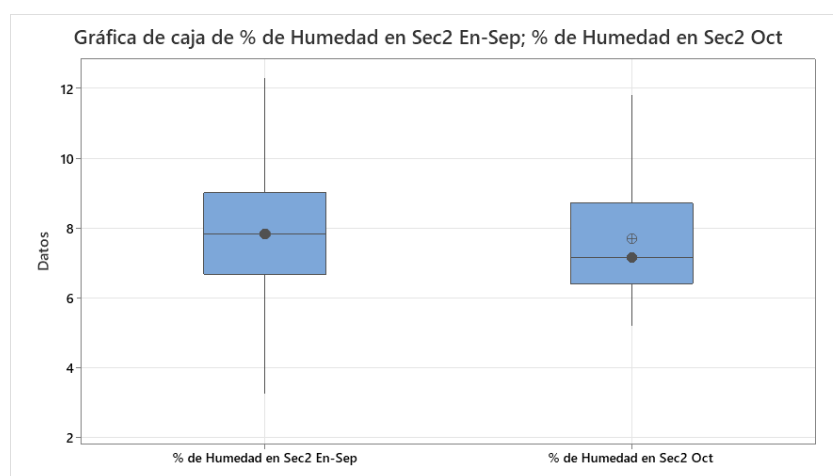
La prueba de Mann-Whitney es una prueba no paramétrica para comparar dos muestras independientes que tienen una distribución no normal tal como los datos del porcentaje de humedad del secador 2. Las hipótesis nula y alternativa para esta prueba son las siguientes:

- Hipótesis nula (H0): No hay diferencia significativa entre las medianas de las dos muestras del porcentaje de humedad del secador 2.
- Hipótesis alternativa (H1): Existe una diferencia significativa entre las medianas de las dos muestras del porcentaje de humedad del secador 2.

El valor p es igual 0,392 por lo que es mayor al nivel de significancia establecido en la prueba de Mann-Whitney para la comparación de medianas del porcentaje de humedad en el secador 2, y se puede afirmar que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. En otras palabras, no se encontró evidencia estadística para afirmar que hay una diferencia significativa en el comportamiento del porcentaje de humedad entre las dos muestras evaluadas en el secador 2.

Figura 17

Gráfica de Cajas del Porcentaje de Humedad del secador 2 de Enero – Octubre 2023



Nota: Gráfico de cajas del porcentaje de humedad en el secador 2

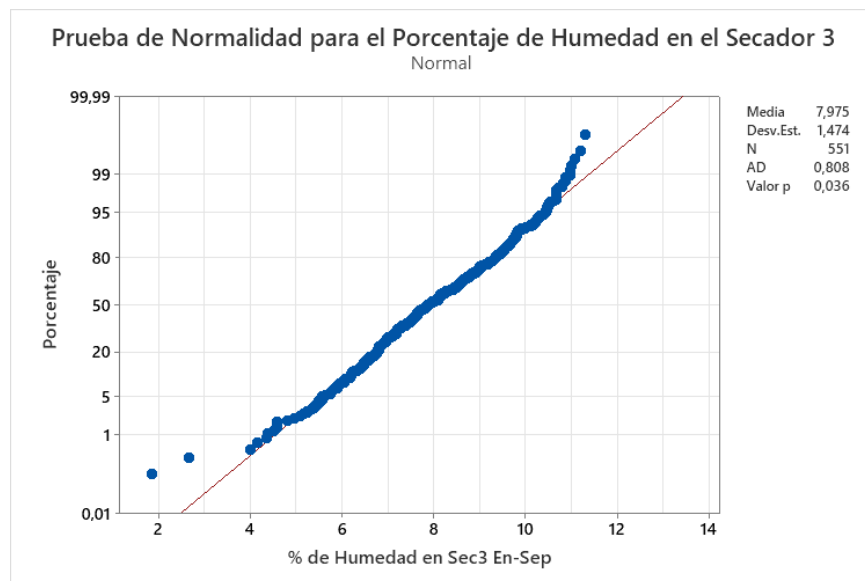
$X_4 = \text{Porcentaje de Humedad a la salida del secador 3 por control}$

Se procedió a analizar la distribución de los datos del porcentaje de humedad del secador 3 y se establecieron las siguientes hipótesis. Las hipótesis nula y alternativa para analizar la distribución de datos normales para el porcentaje de humedad del secador 3 serían las siguientes:

- Hipótesis nula (H0): La distribución de los datos del porcentaje de humedad del secador 3 sigue una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H1): La distribución de los datos del porcentaje de humedad del secador 3 no sigue una distribución normal.

Figura 18

Prueba de Normalidad del Porcentaje de la Humedad en el Secador 3 Enero-October 2023



Nota: Prueba de normalidad del porcentaje de humedad en el secador 3

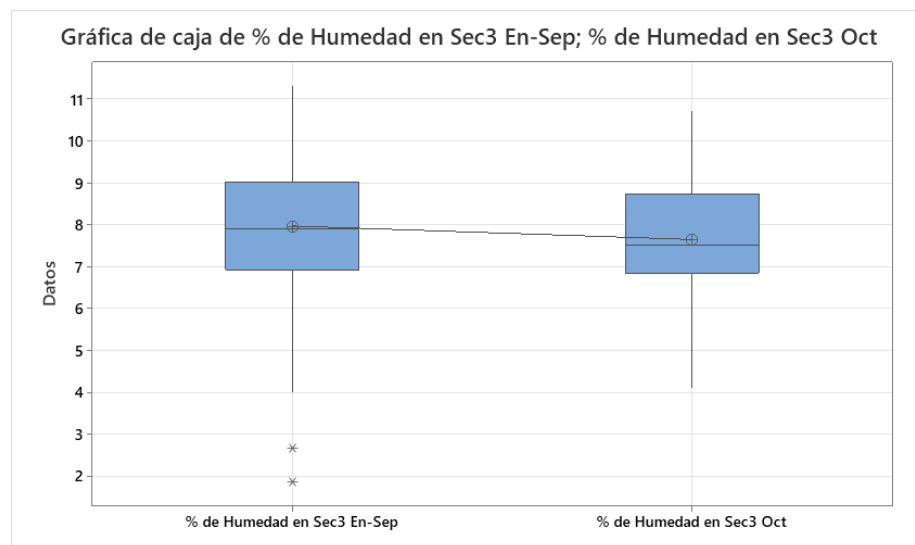
El valor p para la prueba de normalidad es igual a 0,036, dado que el valor p es menor que el nivel de significancia establecido (0,05), se puede rechazar la hipótesis nula y concluir que los datos no siguen una distribución normal.

- Hipótesis nula (H0): No hay diferencia significativa entre las medianas de las dos muestras del porcentaje de humedad del secador 3.
- Hipótesis alternativa (H1): Existe una diferencia significativa entre las medianas de las dos muestras del porcentaje de humedad del secador 3.

El valor p es igual 0,271 por lo que es mayor al nivel de significancia establecido en la prueba de Mann-Whitney para la comparación de medianas del porcentaje de humedad en el secador 3. Es decir, no se encontró evidencia estadística para afirmar que hay una diferencia significativa en el comportamiento del porcentaje de humedad entre las dos muestras evaluadas en el secador 3.

Figura 19

Gráfica de Cajas del Porcentaje de Humedad del secador 3 Enero-Octubre 2023



Nota: Gráfico de cajas del porcentaje de humedad en el secador 3

$$X_5 = \text{Porcentaje de Humedad Pérdida en Producto Terminado por control}$$

Para obtener la variable Porcentaje de Humedad Pérdida en Producto Terminado por control se realizó la diferencia entre el porcentaje de humedad de la materia prima y el porcentaje de humedad del producto terminado.

Tabla 5

Datos Históricos de la Diferencia de Humedad del Producto Terminado enero a septiembre 2023

Producto	Clasificación	Fecha de Producción	Lote	Humedad Mezcla	Humedad Termobalanza	Diferencia
T-240	5	23/02/2023	15625419	9,26	6,32	-2,94
T-320	4	03/03/2023	15657750	9,94	7,33	-2,61
T-280	7	09/03/2023	15709207	10,22	7,51	-2,71
T-320	4	11/03/2023	15716760	8,67	9,69	1,02
T-280	7	01/04/2023	15819780	8,64	7,49	-1,15
T-280	5	02/04/2023	15837258	9,16	9,46	0,30
T-320	4	03/04/2023	16006781	9,61	8,25	-1,36
T-280	5	05/13/2023	16019154	8,49	5,35	-3,14
T-280	5	05/19/2023	16054076	8,22	7,32	-0,90
T-360	7	05/19/2023	16048158	9,38	9,3	-0,08
T-320	4	26/05/2023	16064799	7,35	6,9	-0,45
T-280	5	11/06/2023	20159478	7,89	5,24	-2,65
T-280	7	14/06/2023	20189061	8,27	5,8	-2,47
T-280	7	14/06/2023	20124239	8,35	6,21	-2,14

Nota: Fragmento de los datos históricos del porcentaje de humedad de la mezcla y el producto terminado

Fuente: Elaboración propia

Las hipótesis nula y alternativa para comparar las medias de las muestras de la diferencia porcentual de humedad entre el producto terminado y la humedad de la materia prima serían las siguientes:

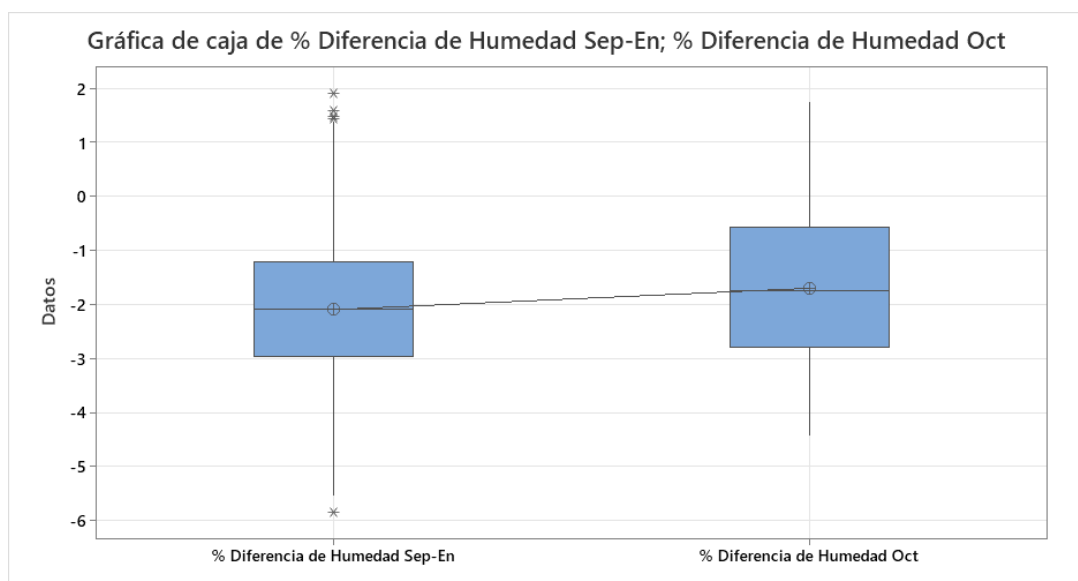
- Hipótesis nula (H0): No hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de la diferencia porcentual de humedad.
- Hipótesis alternativa (H1): Existe una diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de la diferencia porcentual de humedad.

El valor p obtenido en la prueba de comparación de medias es 0,088, esto indica que hay una probabilidad del 8,8% de obtener una diferencia en las medias tan grande o más grande que la observada en las muestras si la hipótesis nula fuera verdadera. Dado que el

valor p es mayor que el nivel de significancia establecido (por ejemplo, 0,05), no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, no se puede afirmar que exista una diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de la diferencia porcentual de humedad.

Figura 20

Gráfica de Cajas de la Diferencia de Humedad del Producto Terminado enero a septiembre 2023

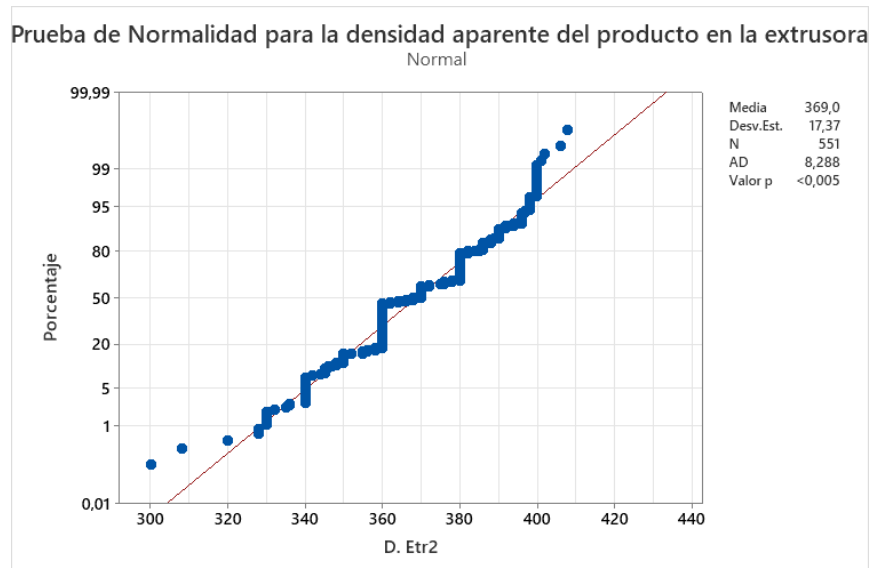


Nota: Gráfico de cajas de la diferencia de humedad entre la materia prima y el producto terminado

$X_6 =$ Densidad del producto en la salida de la extrusora por control

Figura 21

Prueba de Normalidad de la densidad aparente del producto en la extrusora Enero-Septiembre 2023



Nota: Prueba de normalidad de la densidad aparente del producto terminado

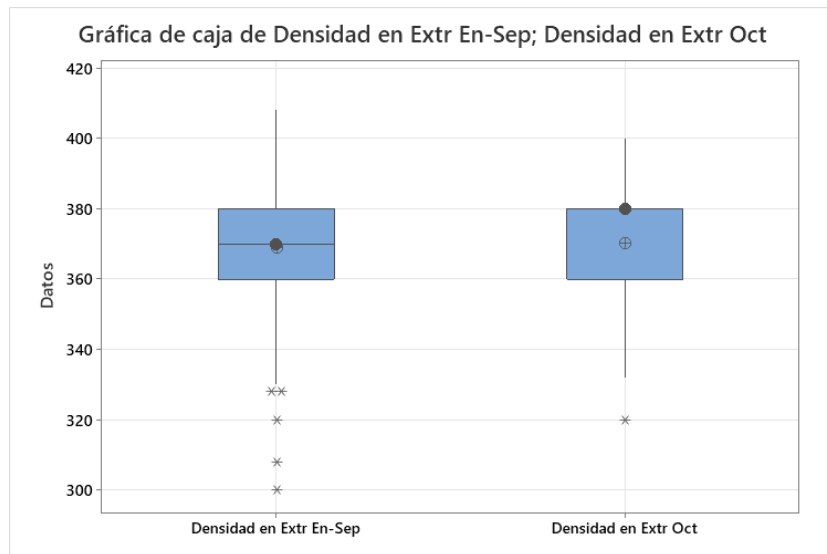
El valor p obtenido es menor al nivel de significancia se puede afirmar que los datos no presentan una distribución normal.

De esta manera se aplicará la prueba de Mann-Whitney para datos no paramétricos.

Las hipótesis nula y alternativa para esta prueba son las siguientes:

- Hipótesis nula (H0): No hay diferencia significativa entre las medianas de las dos muestras de las densidades del producto a la salida la extrusora.
- Hipótesis alternativa (H1): Existe una diferencia significativa entre las medianas de las dos muestras de las densidades del producto a la salida extrusora.

El valor p es igual 0,474 por lo que es mayor al nivel de significancia establecido en la prueba de Mann-Whitney para la comparación de medianas. Es decir, no se encontró evidencia estadística para afirmar que hay una diferencia significativa en el comportamiento de las densidades del producto a la salida de la extrusora.

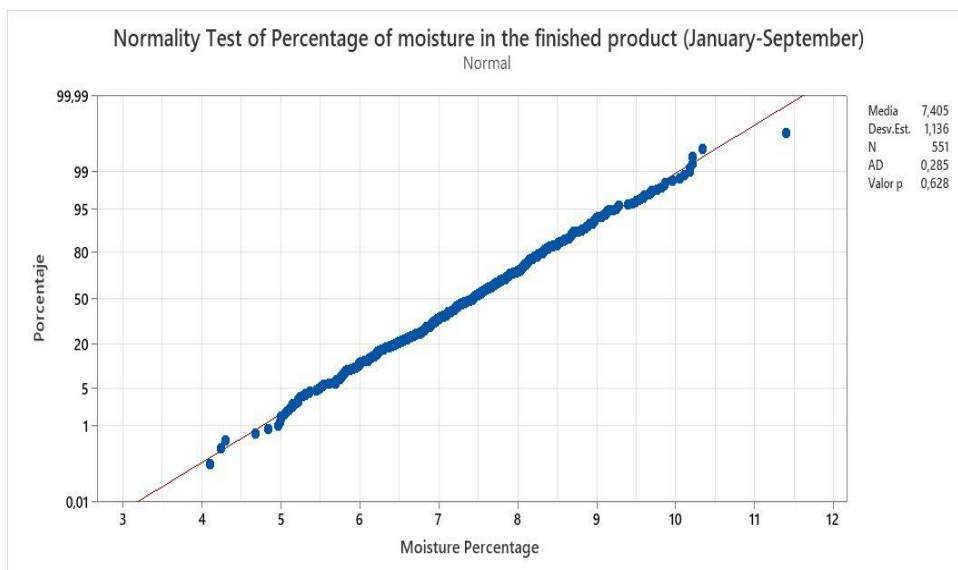
Figura 22*Gráfica de Cajas de la Densidad aparente a la salida de la extrusora*

Nota: Gráfico de cajas de la densidad aparente entre los datos históricos de enero a septiembre y los datos levantados en octubre del 2023

La distribución de datos sobre la densidad del producto en la extrusora no es normal. Se utilizó la prueba U de Mann Whitney. El valor de p es de 0,480, por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula, y se concluye que no existe diferencia significativa entre las medianas.

Figura 23

Análisis de normalidad del porcentaje de humedad de producto terminado



Nota: Prueba de normalidad de los datos históricos del porcentaje de humedad del producto terminado

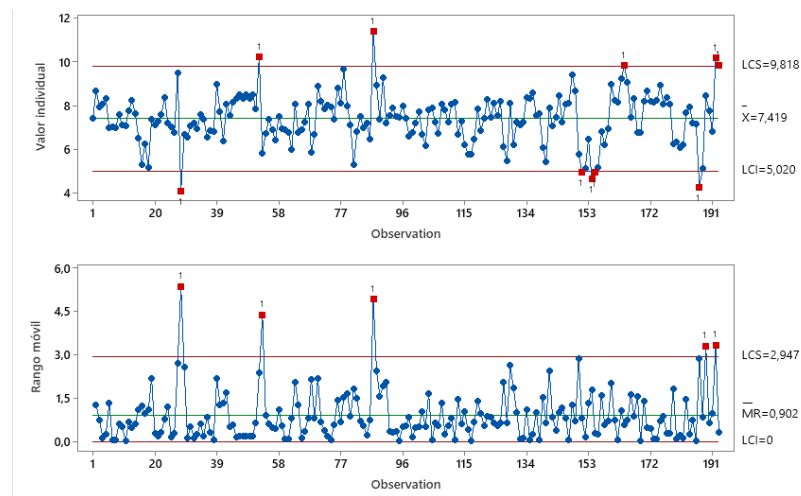
El valor de p es mayor al nivel de significancia establecido de 0.05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que los datos históricos del porcentaje de humedad en producto terminado de enero a septiembre de 2023 tienen una distribución normal.

2.2.4 Graficas de Control del Proceso

Previo a realizar el análisis de capacidad es importante determinar si el proceso se encuentra estable y no existe causas especiales que puedan afectar la estabilidad y el rendimiento del proceso. Identificar estos puntos antes del análisis de capacidad permite detectar problemas, mejorar la estabilidad del proceso y promover la mejora continua. Al abordar estas problemáticas, se puede garantizar la confiabilidad de los resultados y aumentar la capacidad del proceso para producir productos dentro de las especificaciones establecidas. En la Figura 24 se puede observar la identificación de puntos de color rojo que se encuentran por fuera de los límites de control superior e inferior del proceso.

Figura 24

Gráfica I-MR del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado enero a septiembre 2023



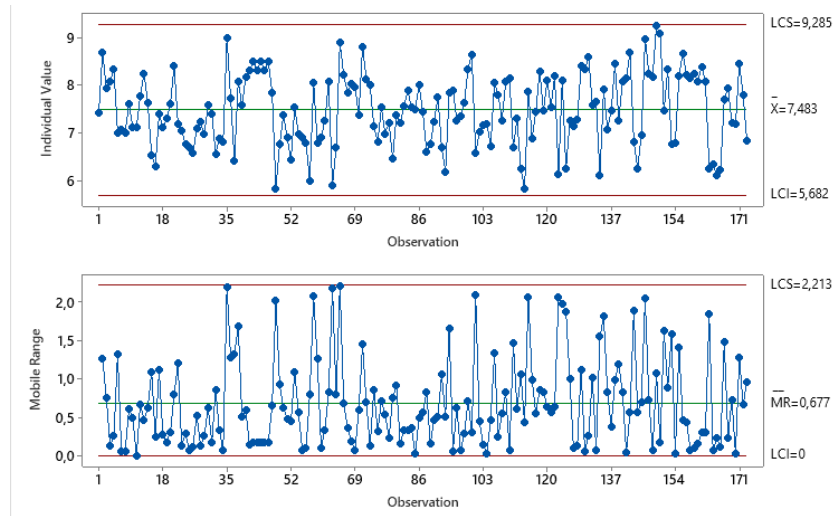
Nota: Gráfica I-MR de los datos históricos del porcentaje de humedad del producto terminado con causas especiales de variabilidad

Los puntos 24, 52 y 87 presentan un alto porcentaje de humedad debido a una caída de presión de vapor por falla en el área de calderas. Los puntos 160, 162 y 163 tienen bajo porcentaje de humedad debido a una falla en la válvula proporcional de vapor. Los artículos 173, 201 y 202 fueron causados por una fuga en los radiadores del secador 2.

Al eliminar dichos puntos causados por causas especiales se estabiliza el proceso y se mantiene bajo control estadístico tal como se puede observar en la Figura 25.

Figura 25

Gráfica I-MR del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado estabilizado



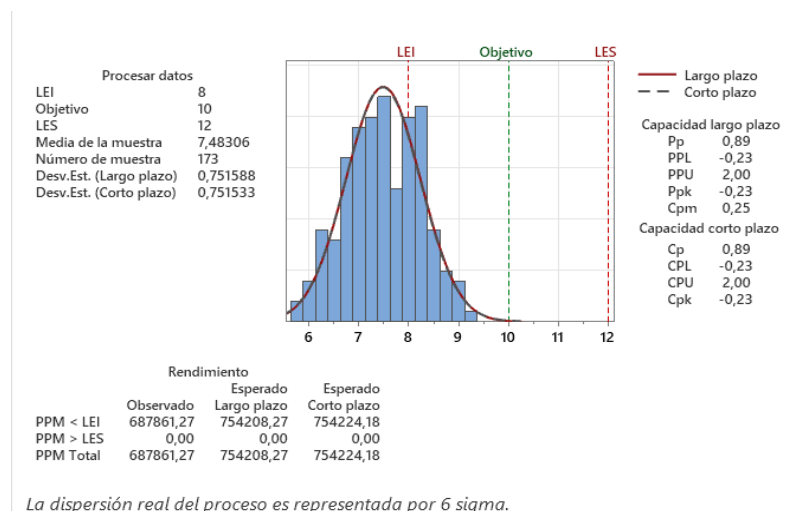
Nota: Grafico I-MR de los datos históricos sin causas especiales de variación

2.2.5 Análisis de Capacidad del Proceso

Se procedió a realizar el análisis de capacidad del proceso después de haber eliminado los puntos aberrantes causados por causas especiales de variabilidad dentro del proceso.

Figura 26

Análisis de Capacidad del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado Enero-Septiembre 2023



Nota: Análisis de capacidad de los datos históricos del porcentaje de humedad del producto terminado.

En la Figura 26 podemos observar que el valor Cp y Pp obtenidos en el análisis de capacidad son ambos iguales a 0,89, se puede concluir que el proceso evaluado tiene una capacidad de producción aceptable. Pero el valor de Cpk negativo (-0,23 en este caso) indica que el proceso no está completamente bajo control y que hay una falta de capacidad para cumplir con las especificaciones de calidad. Así mismo, hay que considerar que un valor de Cp y Pp igual o superior a 1 indica que el proceso es capaz de producir productos dentro de las especificaciones establecidas.

Cpk, Cpl y Cpu sugieren que se requieren mejoras para reducir la variabilidad y centrar el proceso en alrededor del valor objetivo.

2.2.6 Estratificación

Los factores por considerar en las diferentes producciones para peces en la línea multimodal de la planta de alimento balanceado:

- Porcentaje de Proteína
- Diámetro del extruso (4 mm, 5 mm, 7 mm, 10 mm)
- Densidad del producto según el diámetro

El porcentaje de proteína no influye en el proceso de secado ya que es un proceso físico que no depende la composición bromatológica del extruso, sin embargo, el diámetro del extruso si determina el porcentaje de humedad. Ya que define el tiempo de los ciclos de secado, así también los intervalos de tiempo para la descarga del producto al siguiente proceso una vez completado el proceso de secado.

Se consideraron diferentes criterios de selección. El primero fue analizar de que diámetro se produce más alimento balanceado, luego por la cantidad de controles (muestras)

tomadas por cada diámetro de los que analizamos cuantos estaban por debajo del 8% de humedad final.

Posterior a la realización del Diagrama de Pareto del producto de peces, para la estratificación del problema, se concluyó que se ha considerado todos los productos de diámetro de 4 mm y 7 mm, donde se emplean 2 secadores industriales en paralelo.

La organización para garantizar a sus clientes la más alta calidad ha establecido controles de proceso cada dos horas. Durante este proceso de análisis y control se evalúan diferentes etapas del proceso de producción donde se miden parámetros físicos y bromatológicos.

Los criterios de estratificación fueron los siguientes:

2.2.7 Diámetro del Extruso

Tabla 6

Volumen de Producción por diámetro Enero-Septiembre 2023

Diámetro del Producto	Volumen de Producción (Tn)
4 mm	5554
5 mm	2787
7 mm	2577
10 mm	847

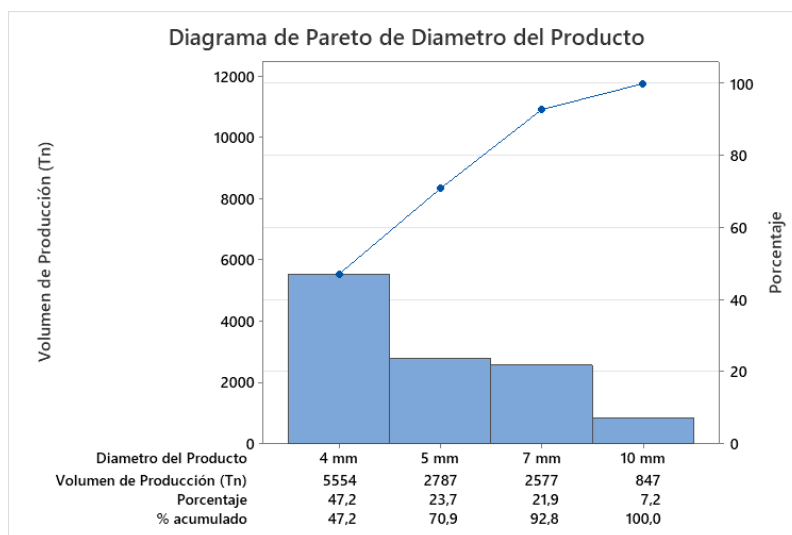
Nota: Volumen de producción modificado con una constante según el tipo de diámetro de enero a septiembre del 2023

Fuente: Elaboración propia

Los volúmenes de producción por diámetro han sido multiplicados por una constante “c” para salvaguardar la confidencialidad e integridad de la información de la organización. Tal como se puede observar en la Tabla 7 los productos con diámetro de 4 mm y 5 mm representan el 70,9% de la producción para peces.

Figura 27

Diagrama de Pareto del Volumen de Producción según el diámetro del producto Enero-Septiembre 2023



Nota: Diagrama de Pareto del volumen de producción por diámetro según los datos históricos.

Ya que el número de controles es proporcional al volumen de producción se procedió a estratificar según el volumen de producción.

2.2.8 Total de Controles con desviación

En la Tabla 8 se ilustra el número total de controles o muestras realizadas a cada producto por su diámetro que fue de 1351 muestras, así como también el número de controles donde se detectó un porcentaje de humedad del producto terminado por debajo del mínimo establecido (8%) que fue de 880 muestras o controles. Esto representa un 63,3% de controles con una desviación del porcentaje de humedad.

Tabla 7

Total de muestreos realizados con desviación según el diámetro del producto

Diámetro del Producto	Total, de Muestras realizadas	Total de Controles con desviación
4 mm	654	339
5 mm	313	213
7 mm	363	289
10 mm	60	39

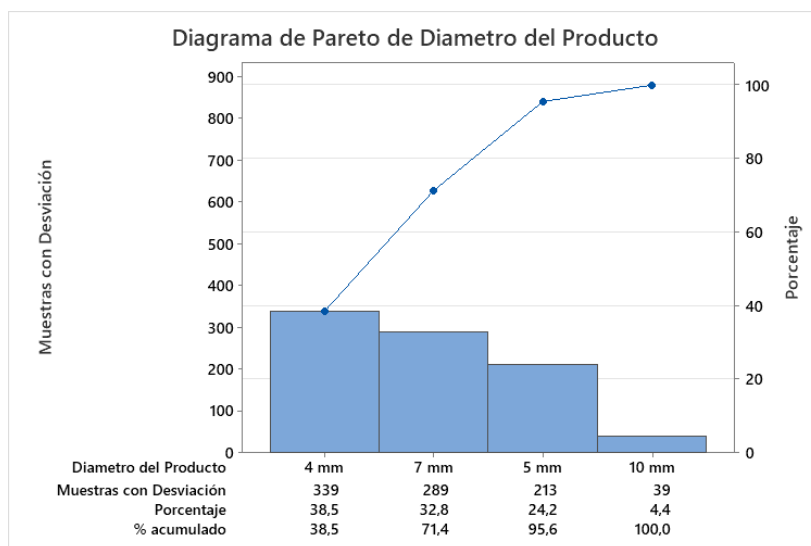
Nota: Total de controles que presentan desviación por variación del porcentaje de humedad según el diámetro del extruso.

Fuente: Elaboración propia

Según la estratificación previamente establecida y haciendo uso de la herramienta del diagrama de Pareto el mayor número de muestras con desviación (porcentaje de humedad menor al 8%) del total de muestreos con novedad se da en producciones con diámetro de 4 mm y 7 mm

Figura 28

Diagrama de Pareto del Total de muestreos con desviación según el diámetro Enero-Septiembre 2023



Nota: Diagrama de Pareto según el número de muestras que presentan desviación en el porcentaje de humedad según el diámetro.

2.2.9 Porcentaje de Controles con desviación

Si realizamos una comparación entre cada producto por su diámetro según el número de controles o muestras con desviación tenemos los siguientes datos.

Tabla 8

Porcentaje de muestreos con desviación del total según el diámetro

Dímetro del Producto	Porcentaje de Controles con desviación
4 mm	68%
5 mm	58%
7 mm	80%
10 mm	65%

Nota: Diagrama de Pareto según el porcentaje de muestras que presentan desviación en el porcentaje de humedad del total según el diámetro.

En la Tabla 8 podemos observar que los productos con diámetro de 7 mm y 5 mm son los que mayor novedad o desviación presentan con respecto al total de muestras o controles realizados.

Para cada criterio de estratificación se han seleccionado solamente dos categorías según el diámetro del producto con una ponderación de 1 y 0.9

Tabla 9

Resumen del resultado de estratificación

Diámetro del Producto	Volumen	Controles con Desviación	Porcentaje de Controles con desviación
4 mm	1	1	1
5 mm	1	0	0
7 mm	0	1	1
10 mm	0	0	0

Nota: Tabla de decisión según los tres criterios de estratificación.

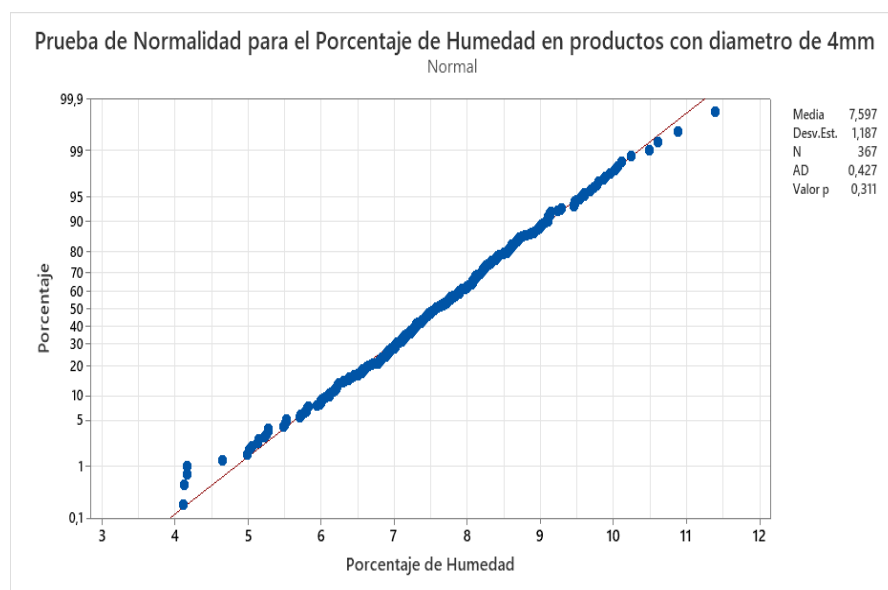
Los productos de diámetro de 4 mm y 7 mm obtuvieron una puntuación global de 3 y 2 puntos respectivamente, mientras que los productos de 5mm y 10 mm obtuvieron una puntuación global de 1 y 0 puntos respectivamente. Por lo tanto, el enfoque se realizará en productos con los diámetros de 4mm y 7mm, ya que tienen un volumen de producción significativo y también presentan oportunidades para mejorar el porcentaje de humedad. Esto te permitiría maximizar el impacto en términos de volumen y mejorar la calidad del producto al mismo tiempo.

Se realizó la prueba de normalidad para los datos de porcentaje de humedad en los productos de 4mm. Los datos históricos corresponden al periodo de Enero a Septiembre del 2023. Se establecieron las siguientes hipótesis:

- La hipótesis nula (H_0) para la prueba de normalidad del porcentaje de humedad de los productos con diámetro de 4 mm es que la distribución del porcentaje de humedad sigue una distribución normal.
- La hipótesis alternativa (H_1) es que la distribución del porcentaje de humedad no sigue una distribución normal.

Figura 29

Prueba de Normalidad del porcentaje de humedad de los productos con diámetro de 4mm



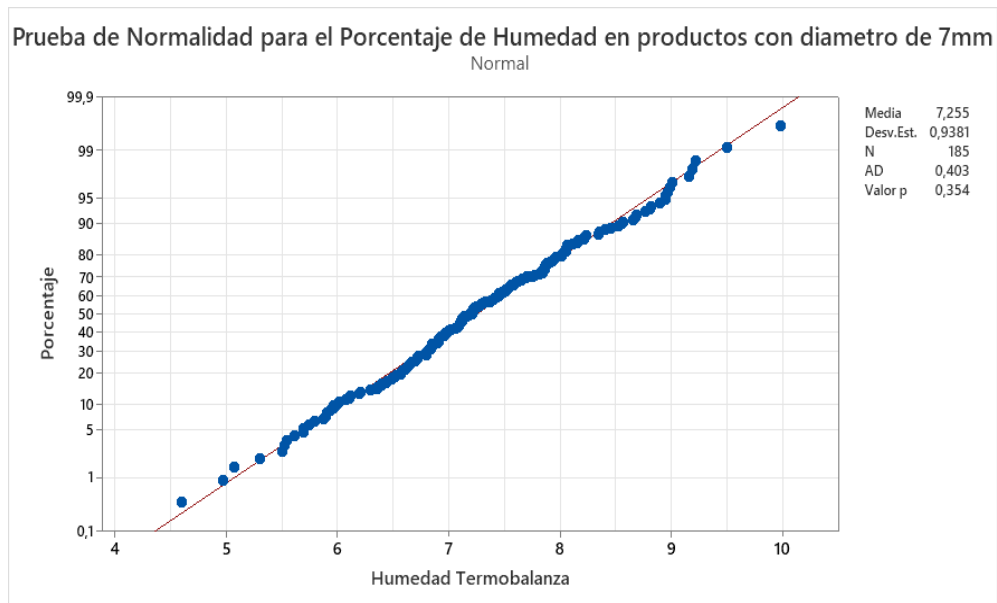
Nota: Prueba de normalidad de los datos históricos del porcentaje de humedad del producto terminado en diámetros de 4mm

Fuente: Elaboración propia

Dado que el valor p obtenido es 0.311, y considerando un nivel de significancia típico de 0.05, no tenemos suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, podemos concluir que no hay suficiente evidencia para afirmar que el porcentaje de humedad de los productos con diámetro de 4 mm no sigue una distribución normal.

Figura 30

Prueba de Normalidad del porcentaje de humedad de los productos con diámetro de 7mm



Nota: Prueba de normalidad de los datos históricos del porcentaje de humedad del producto terminado en diámetros de 7mm

Fuente: Elaboración propia

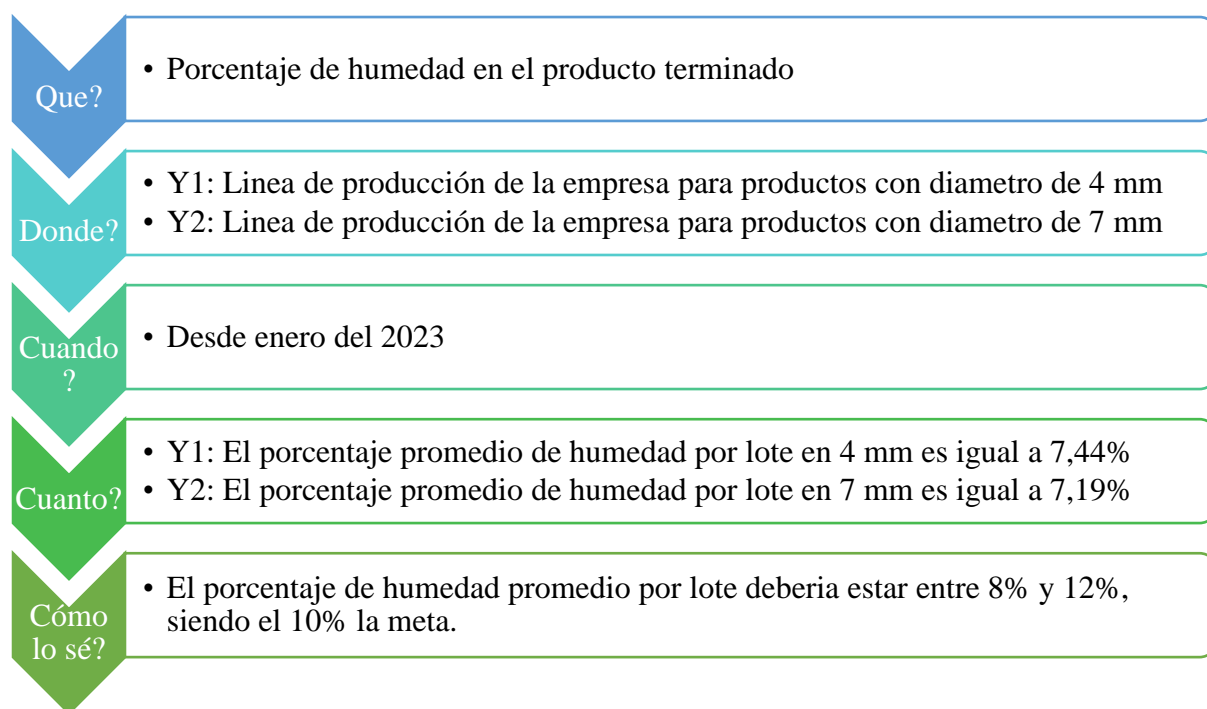
Dado que el valor p obtenido es 0.354, y considerando un nivel de significancia establecido de 0.05, no tenemos suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula y se concluye que los datos presentan una distribución normal.

2.3 Problema Enfocado

El problema enfocado según el criterio de estratificación estaría formulado de la siguiente manera.

Figura 31

Modelo de definición y enfoque de la variable respuesta



Nota: Definición y enfoque de la variable respuesta según el diámetro del producto

Y1: “El porcentaje promedio de humedad en el producto terminado en la línea de producción de alimentos para peces de 4 mm de la empresa, desde enero de 2023, es del 7,44% por lote. El rango permitido debe estar entre el 8% y el 12% y el objetivo es el 10%”.

Y2: “El porcentaje promedio de humedad en el producto terminado en la línea de producción de alimentos para peces de 7 mm de la empresa, desde enero de 2023, es del 7,19% por lote. El rango permitido debe estar entre el 8% y el 12% y el objetivo es el 10%”.

2.4 Analizar

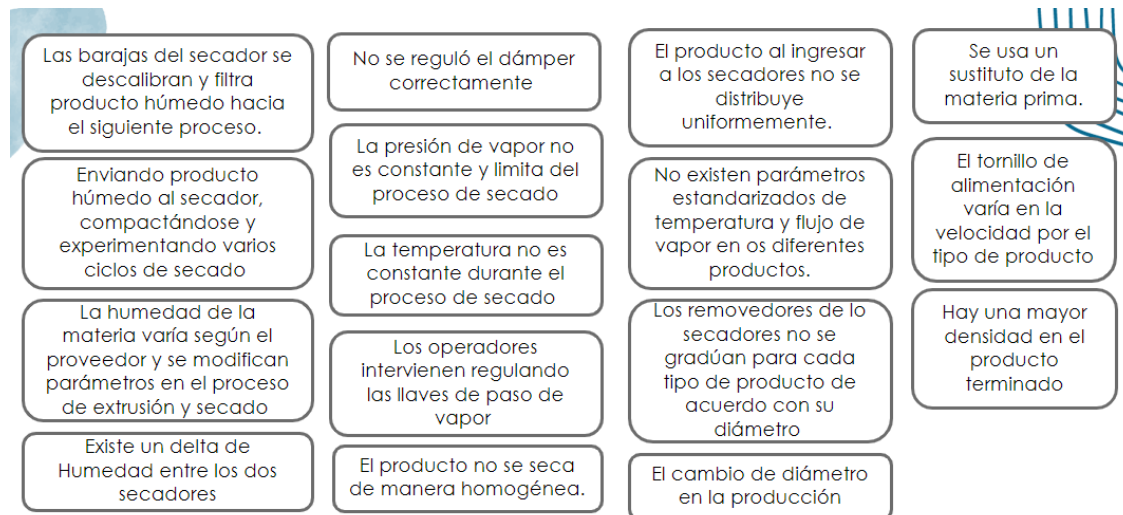
2.4.1 Lluvia de Ideas

La lluvia de ideas es una de las herramientas con mayor alcance y versatilidad para el análisis de causas potenciales para los problemas enfocados, ya que pasan en su mayoría por el mismo proceso, solo cambia a partir del proceso de extrusión, ya que es sencilla y rápida

de implementar. Se realizó de manera conjunta con los clientes internos de la organización: Supervisor de Producción, Analista de Procesos, Operador de la línea y supervisor de calidad.

Figura 32

Lluvia de ideas para las causas del problema



Nota: Lluvia de ideas realizada con el equipo de producción, calidad y mantenimiento para identificar las causas potenciales.

Fuente: Elaboración propia

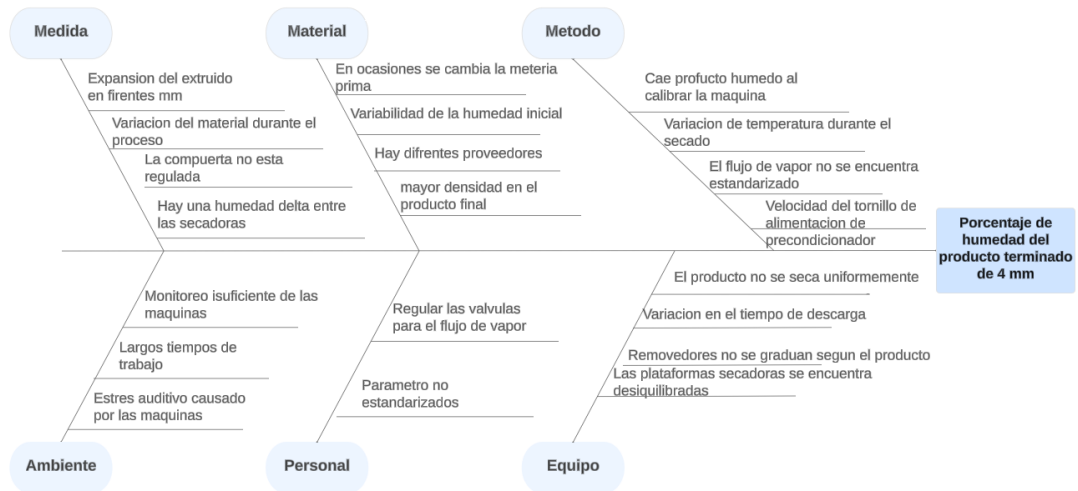
Las diferentes ideas fueron escritas en post-it de carácter anónimo para no sesgar todas las posibles causas potenciales. Posteriormente se categorizaron en 6 tipos: Método, Medición, Máquina, Mano de Obra, Materiales y Medio Ambiente.

2.4.2 Diagrama de Ishikawa

Se empleó el diagrama de Ishikawa para identificar y analizar las causas de los problemas enfocados, se colocaron las diferentes causas potenciales que se identificaron en la lluvia de ideas. Además, que es una herramienta que permite fomentar el trabajo en equipo y la colaboración multidisciplinaria entre los distintos departamentos de la organización.

Figura 33

Diagrama Ishikawa para el producto de 4mm

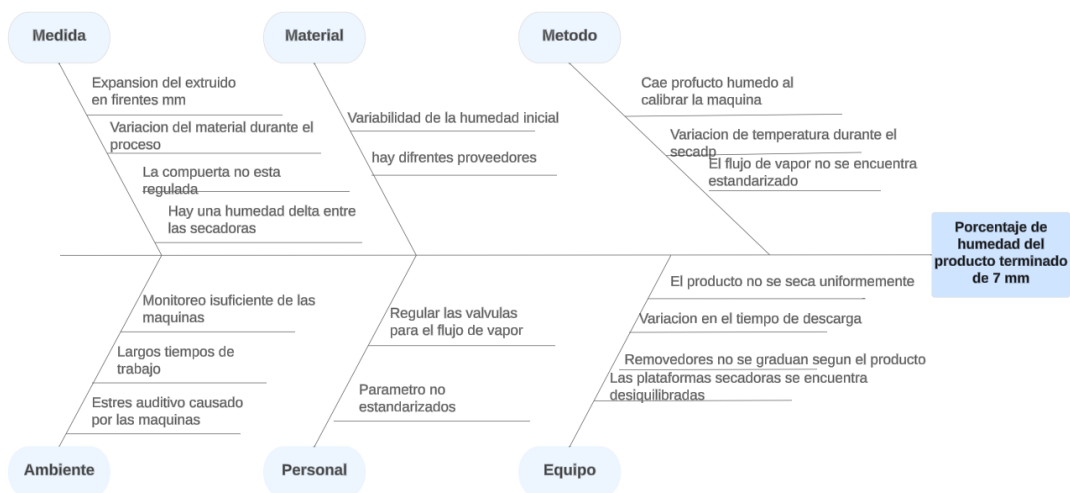


Nota: Diagrama de Ishikawa para categorizar las causas potenciales en el bajo porcentaje de humedad del producto terminado en diámetros de 4mm

Fuente: Elaboración propia

Figura 34

Diagrama Ishikawa para el producto de 7mm



Nota: Diagrama de Ishikawa para categorizar las causas potenciales en el bajo porcentaje de humedad del producto terminado en diámetros de 7mm

Claramente se ve que las causas que varían entre un proceso y el otro, son 3:

1. Mayor densidad en el producto terminado de 4mm
2. Muchas veces la materia prima es cambiada para el producto de 4mm
3. La velocidad del tornillo de Pre-acondicionado

2.4.3 Matriz Causa y Efecto

Con el propósito de establecer los niveles de influencia de las diferentes causas potenciales consideradas en la etapa anterior se realizó la matriz causa efecto de manera conjunta con los clientes internos de la empresa. Se asignó una nomenclatura para cada actor y una ponderación para cada causa potencial.

A continuación, se especifica la escala y nomenclatura.

Tabla 10

Escala de calificación para las causas potenciales en la matriz causa y efecto

Calificación Escala de Impacto	
0	Sin relevancia
3	Poca relevancia
6	Media relevancia
9	Alta relevancia

Nota: Escala de puntuación para las causas potenciales

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

Nomenclatura según el actor consultado

Nomenclatura	Personal
A1	Operador de la línea
A2	Líder de envasado
A3	Analista de Procesos
A4	Supervisor de Producción
A5	Supervisor de Calidad

Nota: Nomenclatura empleada para identificar los principales actores consultados

Fuente: Elaboración propia

A través de la matriz causa e impacto se identificó, analizó y asigno un valor numérico a cada una de las causas potenciales según el criterio de cada uno de los clientes internos.

Tabla 12

Matriz Causa-Efecto de las posibles causas del producto de 4mm

Causa #	Posibles causas	A1	A2	A3	A4	A5	Total
1	Flujo de vapor no esta estandarizado	9	6	3	9	3	27
2	Producto húmedo ingresa al secador cuando se calibra la extrusora	9	6	6	9	6	36
3	Existe un delta entre los dos secadores	6	3	3	9	3	24
4	El producto no se distribuye uniformemente en los secadores	9	3	6	6	9	33
5	Existe una variabilidad en la humedad inicial	9	0	6	3	6	24
6	Pocos proveedores de materia prima	9	0	6	3	6	24
7	El producto no se seca uniformemente	9	6	3	6	6	30
8	Variación de temperatura durante el proceso de secado.	6	6	9	9	6	36
9	Las Barajas de los secadores están descalibradas	6	6	3	3	9	27
10	Expansión de los extrusos en diferentes diámetros	3	0	6	6	3	18
11	Variación de Humedad durante el cambio de producto	3	3	6	0	3	15
12	Velocidad del tornillo de alimentación del preacondicionador	6	3	6	6	3	24
13	Vigilancia insuficiente de las máquinas.	0	3	6	3	0	12
14	Extensos periodos de Trabajo continuo	3	3	0	3	0	9
15	Operator stressed by machines sounds	3	3	3	0	0	9
16	Regular manualmente las válvulas para el flujo de vapor.	9	3	6	0	3	15
17	El damper no esta regulado	3	3	6	0	3	15
18	Alta densidad del producto terminado	6	3	0	6	3	18
19	Variación del tiempo de descarga del secador según el diámetro.	3	0	0	3	0	6
20	Los removedores no están graduados por producto	9	3	3	3	3	21
21	Cambios de materias primas en la formulación	3	6	3	3	6	21

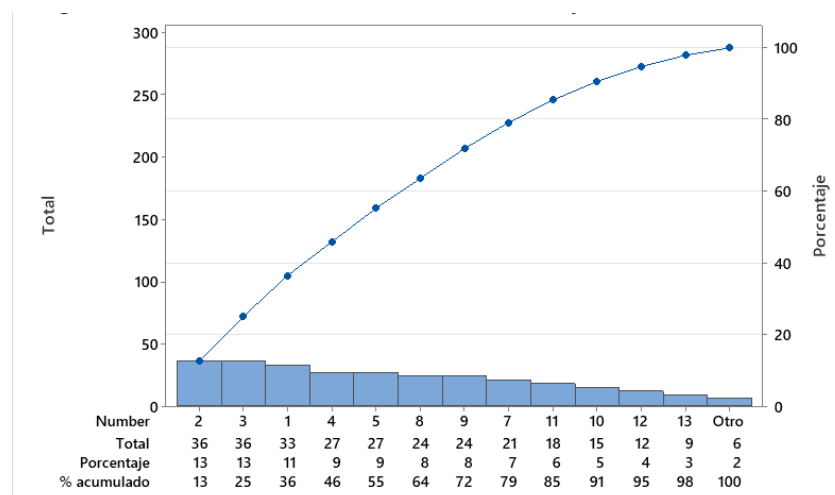
Tabla 13

Matriz Causa-Efecto de las posibles causas del producto de 7mm

Case #	Possible causes	A1	A2	A3	A4	A5	Total
1	Steam flow is not standardized	9	6	3	9	3	27
2	Wet product falls when calibrating the machine	9	6	6	9	6	36
3	There is a Moisture delta between dryers	6	3	3	9	3	24
4	The product is not distributed evenly when drying	9	3	6	6	9	33
5	Variability in Initial Moisture	9	0	6	3	6	24
6	There are some suppliers	9	0	6	3	6	24
7	The product does not dry evenly	9	6	3	6	6	30
8	Temperature variation during drying process	6	6	9	9	6	36
9	The dryer decks become uncalibrated	6	6	3	3	9	27
10	Expansion of the extrude in the different mm	3	0	6	6	3	18
11	Moisture variation during product change	3	3	6	0	3	15
12	Insufficient monitoring of machines	0	3	6	3	0	12
13	Long work times	3	3	0	3	0	9
14	Operator stressed by machines sounds	3	3	3	0	0	9
15	Regulate manually the valves for steam flow	9	3	6	0	3	15
16	The damper is not regulated	3	3	6	0	3	15
17	Dryer discharge time variation by the diameter	3	0	0	3	0	6
18	Removers are not graduated by product	9	3	3	3	3	21

Figura 35

Diagrama de Pareto de las Causas Potenciales con mayor efecto en la variable Y



Empleando la herramienta de diagrama de Pareto tal como se puede ver en la Figura 14 las causas potenciales con mayor impacto en la variable de respuesta son la número 2, 3,1, 4, 5, 8, 9 y 7 con un impacto de 79% en comparación con las otras causas potenciales. Las causas potenciales seleccionadas fueron las siguientes:

Tabla 14

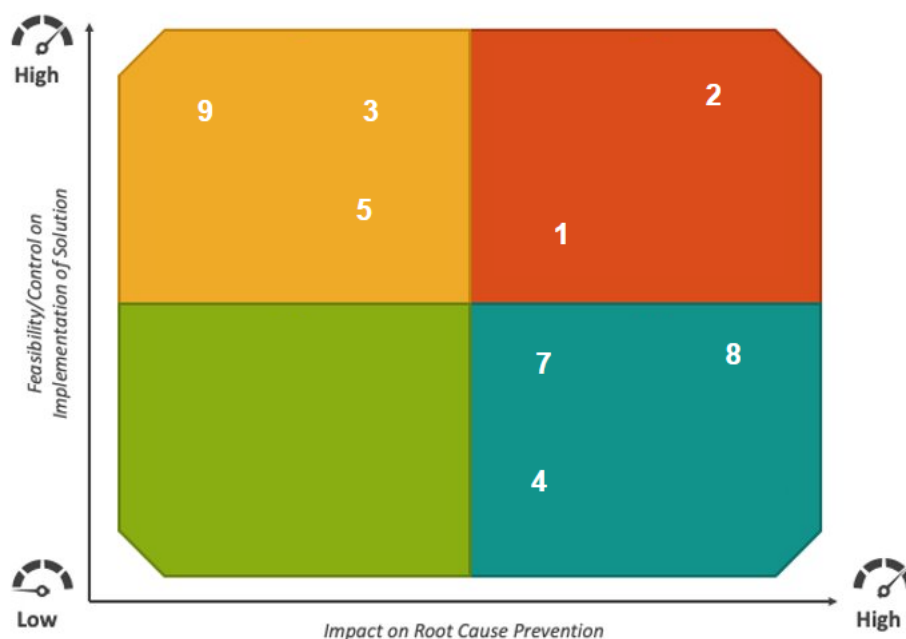
Causas Potenciales con mayor impacto en la variable respuesta

Case	Posibles causas
2	Wet product falls when calibrating the machine
8	Temperature variation during drying process
4	The product is not distributed evenly when drying
1	The steam flow is not standardized
9	The dryer decks become uncalibrated
5	Variability in initial MP moisture
3	There is a Moisture delta between dryers
7	The product does not dry evenly

2.4.4 Matriz de Control de Impacto

Figura 36

Matriz de impacto y esfuerzo para las causas potenciales



Las causas potenciales con mayor relevancia fueron catalogadas dentro de la matriz de control de impacto para considerar su nivel de complejidad en la implementación y el impacto que tendría. Las causas potenciales seleccionadas son aquellas que tiene un gran impacto y su nivel de implementación o control es bajo. Las causas potenciales seleccionadas se detallan en el Plan de Verificación de causas en la Tabla 15.

Tabla 15

Plan de Verificación de Causas Potenciales

Xn	Causas Potenciales Xn	Teoría sobre el impacto	Como Verificarlo
X17	El producto no se seca uniformemente	Los removedores de los secadores no distribuyen el producto de forma homogénea dentro del secador, por lo que la transferencia de calor es ineficiente, por lo que habrá extrusores con un menor porcentaje de Humedad.	Validación Gemba, Carta de Control
X10	La temperatura varía en el proceso de secado	La cantidad de producto es variable ya que depende de la densidad específica del extrusor y de su diámetro. Cuando se realizan cambios de producto, los parámetros de la secadora se configuran para el nuevo producto.	Gráficos de dispersión, Cartas de control
X18	El producto no se distribuye uniformemente al entrar en el secador	El producto húmedo proveniente de la etapa de extrusión ingresa por la parte superior de los secadores, aglomerándose en las plataformas y compactándose y pasando por varios ciclos de secado, reduciendo la Humedad del producto terminado.	Validación Gemba

Haciendo uso del plan de verificación de causas se puede determinar las posibles razones subyacentes que han influido en el problema enfocado de la situación actual del proceso.

2.4.5 Verificación de Causas

A través del plan de verificación de causas se garantiza que las causas raíz hayan sido identificadas y no solamente los efectos o síntomas causados por estas. Así mismo se validan o modifican las hipótesis previamente planteadas. Se procedió a verificar las tres causas potenciales establecidas en el plan de verificación de causas.

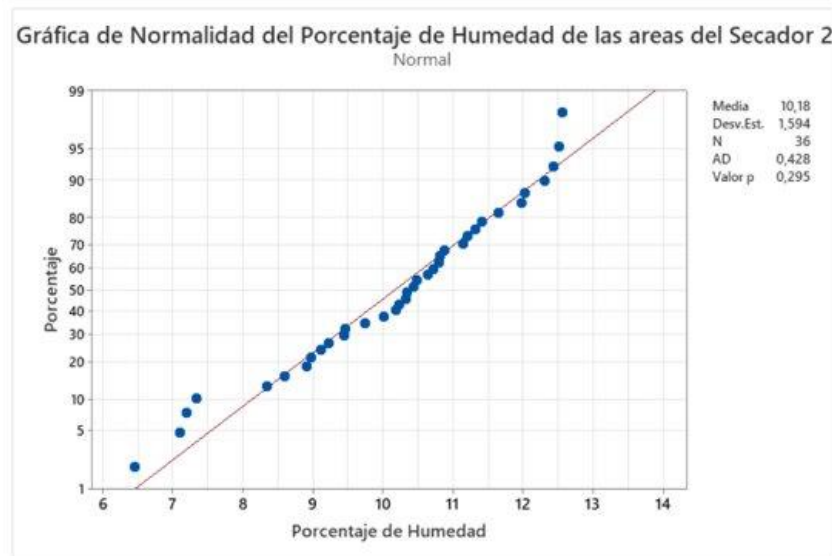
2.4.5.1 Causa Potencial 1: El producto no se seca uniformemente

Esta causa se verificó a través de la validación Gemba y haciendo uso de cartas de control con el software de Minitab. La hipótesis planteada sugiere que debido al proceso de generación de niveles durante el ciclo de secado existe una diferencia entre el porcentaje de humedad de la capa inferior, media y superior. Este fenómeno se atribuye al efecto de estratificación que ocurre durante el secado, donde la capa superior está expuesta menos tiempo al calor, lo que conduce a una evaporación más lenta del agua, mientras que el producto que se encuentra en la capa inferior se expone más tiempo, lo que resulta en una retención de humedad relativamente menor.

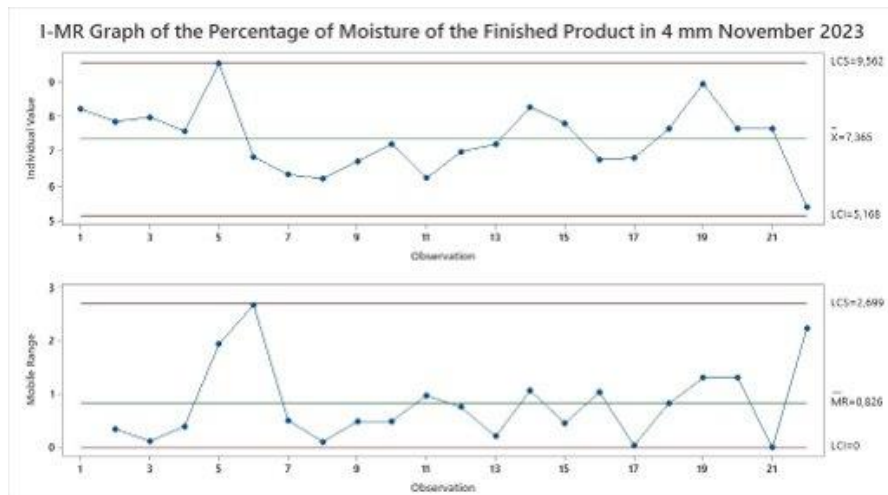
Los secadores cuentan sensores de nivel que permiten controlar de manera automática las descargas del producto hacia las tolvas de descarga donde el producto permanece temporalmente mientras es descargado a través de una válvula rotativa por un ducto.

Figura 37

Gráfica de normalidad de Porcentaje de Humedad del Secador 2 Noviembre 2023

**Figura 38**

Gráfica I-MR del Porcentaje de Humedad del Secador 2 Noviembre 2023



Al activarse el sensor de nivel, la descarga del secador comienza con el producto de la capa inferior, seguido por el de la capa media y finalmente el de la capa superior. Conscientes de esto, se implementó un método de muestreo que tomara en cuenta esta secuencia, asegurando la representatividad de las muestras obtenidas durante la producción de alimento balanceado para peces con diámetro de 4 mm y 7 mm.

Tal como se observa en la Figura 29 se realizó un análisis de normalidad para comprobar que los datos presenten una distribución normal, el valor p obtenido fue de 0.295 y de esta manera se concluye que presentan una distribución normal por lo que es factible realizar un análisis de varianzas o ANOVA. La Figura 30 muestra que el proceso de secado del secador 2 se encuentra bajo control y no existen causas especiales de variación, es decir las condiciones básicas del proceso se encuentran estables.

Haciendo uso de la prueba de igualdad de varianzas se concluyó que son estadísticamente iguales ($P= 0.290$) por lo que el principio de homocedasticidad se cumple y es factible emplear una prueba ANOVA para determinar si las medias de humedad en los diferentes niveles son iguales.

ANOVA de un factor: Porcentaje de Humedad vs Ubicación en el secador 2

Se plantean la hipótesis nula y alterna de la siguiente manera:

- Hipótesis nula (H_0): No hay diferencia significativa en el porcentaje de humedad promedio en los diferentes niveles (inferior, media y superior) del secador 2.
- Hipótesis alternativa (H_1): Existe una diferencia significativa en el porcentaje de humedad promedio en los diferentes niveles (inferior, media y superior) del secador 2.

Figura 39

Resultados del ANOVA del porcentaje de humedad vs ubicación en el secador 2

Análisis de Varianza

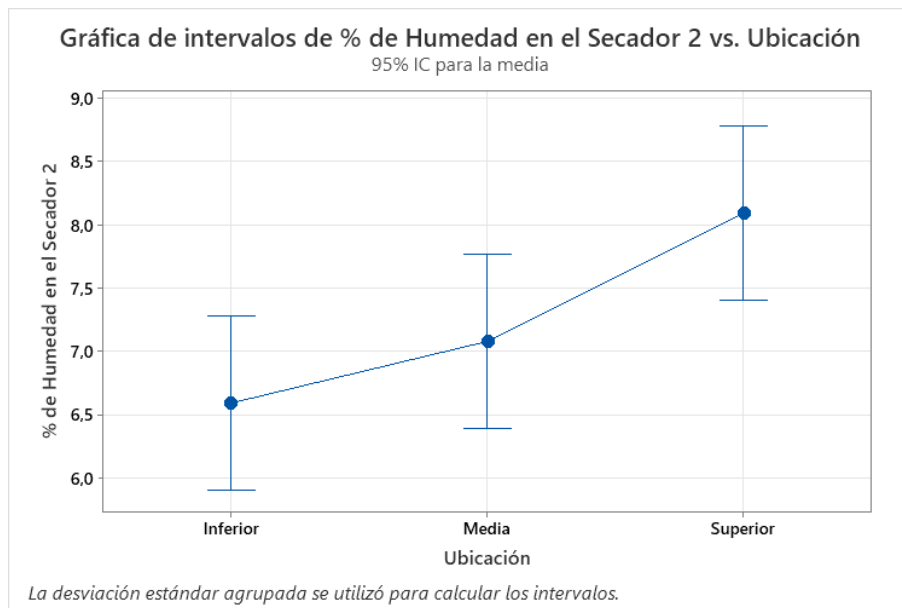
<u>Fuente</u>	<u>GL</u>	<u>SC Ajust.</u>	<u>MC Ajust.</u>	<u>Valor F</u>	<u>Valor p</u>
Ubicación	2	13,97	6,987	5,06	0,012
Error	33	45,55	1,380		
Total	35	59,52			

Tal como se puede apreciar en la Figura 31 el análisis de varianza del factor ubicación en el secador 2 con 3 niveles (inferior, medio y superior) se obtuvo un valor $p = 0.012$, por lo

que rechazamos la hipótesis nula y concluimos que existe una diferencia significativa en el porcentaje promedio de humedad en los diferentes niveles del secador 2.

Figura 40

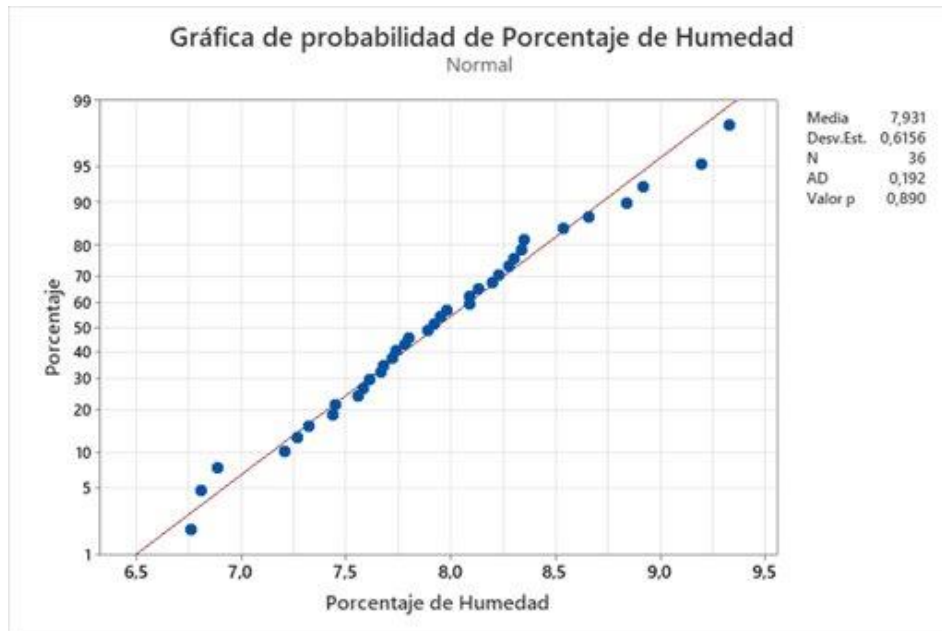
Gráfica de intervalos de porcentaje de humedad vs Ubicación en el secador 2



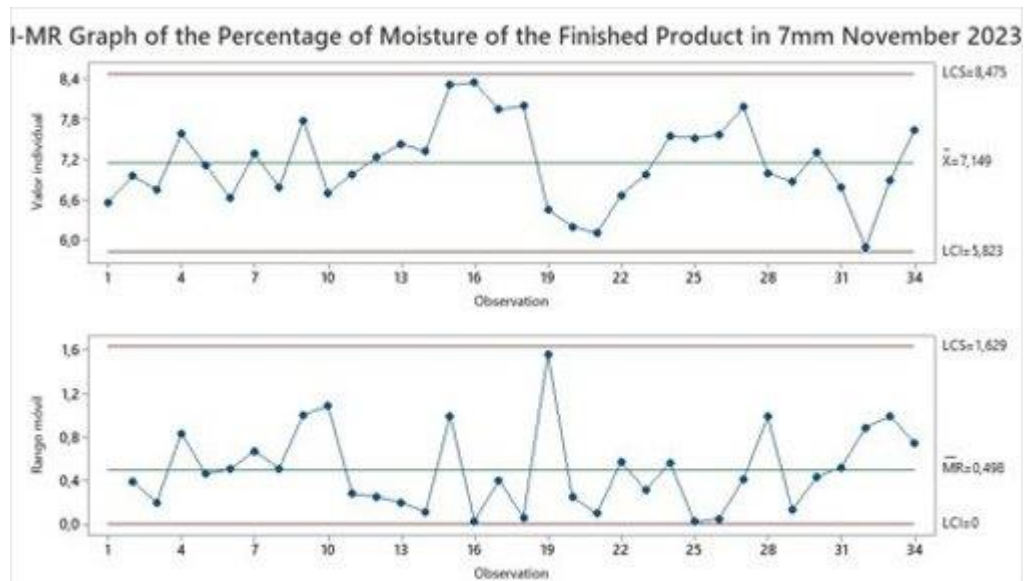
En la figura 32 muestra los diferentes intervalos de confianza que existe para las medias según la ubicación en el secador 2. La capa inferior presenta un porcentaje promedio de humedad de 6,59 %, la capa media tiene un porcentaje promedio de humedad de 7,08% y la capa superior tiene un porcentaje promedio de humedad de 8,09% Por lo tanto, se comprueba que el secador 2 no seca uniformemente.

Figura 41

Gráfica de normalidad de Porcentaje de Humedad del Secador 3 Noviembre 2023

**Figura 42**

Gráfica I-MR del Porcentaje de Humedad del Secador 3 Noviembre 2023



Se procede a muestrear los porcentajes de humedad en los 3 diferentes niveles del secador 3. Previamente comprobamos que los datos tienen una distribución normal ($p = 0.890$) y las varianzas son iguales ($p = 0.573$) para realizar el ANOVA de un factor.

Figura 43

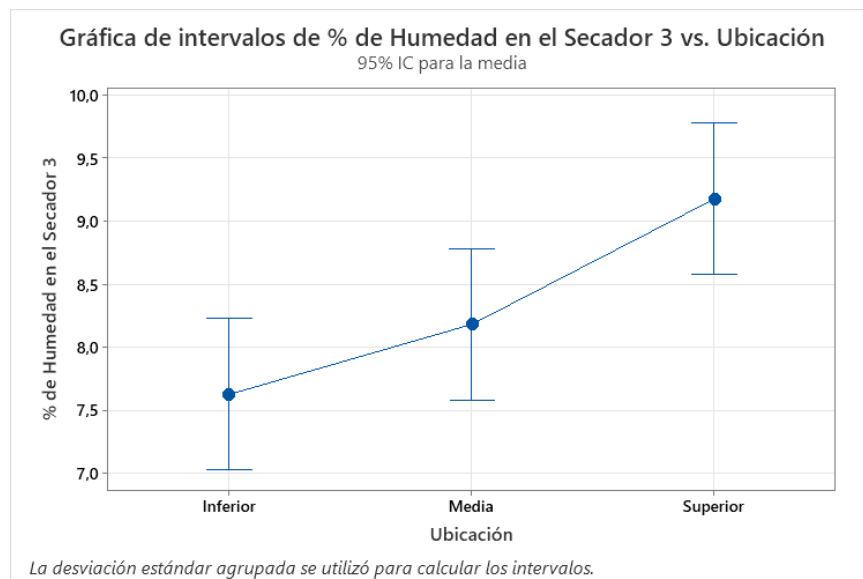
Resultados del ANOVA del porcentaje de humedad vs ubicación en el secador 3

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ubicación	2	14,72	7,360	7,07	0,003
Error	33	34,38	1,042		
Total	35	49,10			

Figura 44

Gráfica de intervalos de porcentaje de humedad vs Ubicación en el secador 3



Tal como se puede observar en la Figura 36 el nivel inferior del secador 3 presenta un porcentaje de humedad promedio igual a 7,62 %, el nivel medio es igual a 8,18 % y el nivel superior es igual a 9,17 %.

Concluimos que la hipótesis nula: Todas las medias porcentuales de humedad según los niveles del secador 3 son iguales es rechazada ya que podemos observar en la Figura 35 el

valor p obtenido es 0.003. Por lo tanto, se comprueba que el secador 3 no seca de manera uniforme.

Las cartas de control del porcentaje de humedad de los secadores 2 y 3 fueron elaboradas mediante el levantamiento de información en el mes de noviembre del 2023 y se obtuvieron bajo el método de termobalanza. Las Figuras 30 y 34 muestran que el proceso de secado de ambos secadores se encuentra bajo control y no presentan puntos aberrantes causados por causas especiales, no obstante, los límites de control superior e inferior en el secador 2 son más permisivos en comparación con el secador 3, esto puede representar la salida no conforme de producto por humedad baja.

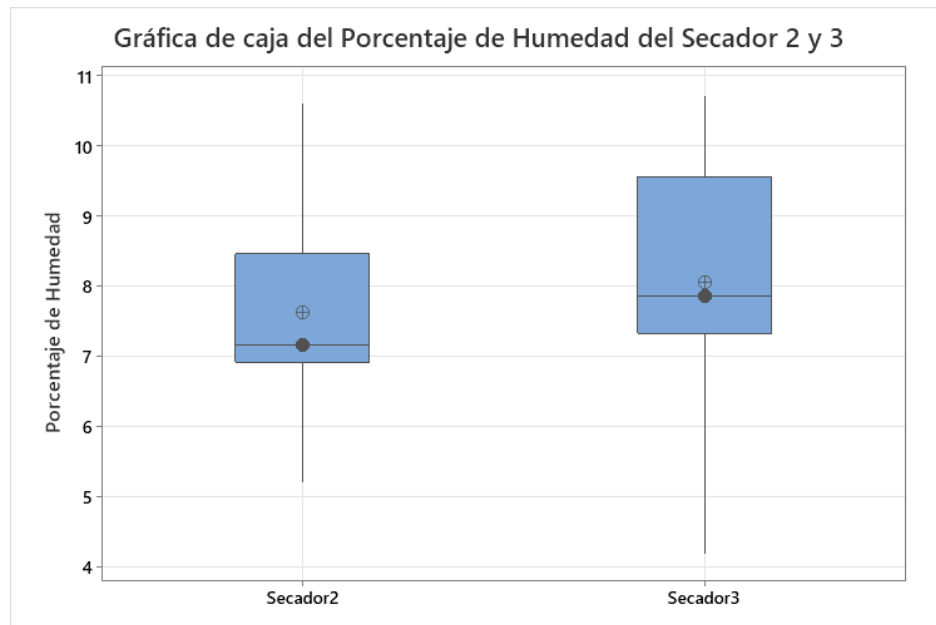
Figura 45

Validación Gemba del muestreo en las descargas del secador 2 y 3



Figura 46

Gráfica de caja del Porcentaje de Humedad de los Secadores 2 y 3

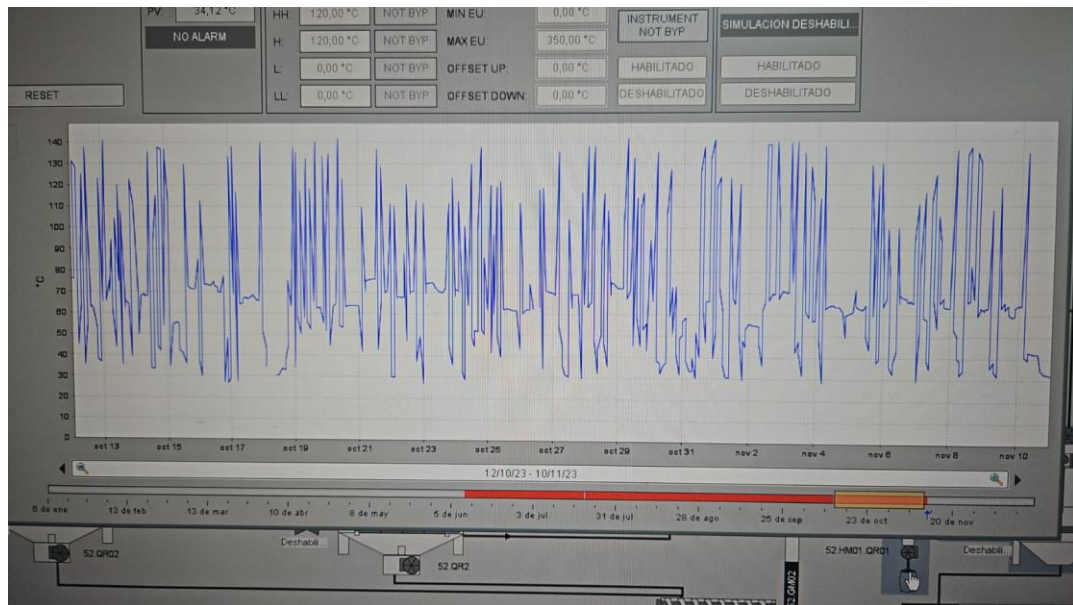


2.4.5.2 Causa Potencial 2: La temperatura fluctúa en el proceso de secado

La información de la temperatura se registra en tiempo real en el sistema integrado de la planta como se observa en la Figura 39, se obtuvo autorización previa para acceder al sistema y visualizar la tendencia de la temperatura dentro de las recamaras de los secadores. La temperatura de los secadores tiene valores máximos de 140 grados y valores mínimos de 40 grados. Hay una alta variabilidad de temperatura.

Figura 47

Serie de Tiempo de la temperatura dentro del secador 2

**Figura 48**

Grafica de dispersión del secador 2 en el mes de septiembre

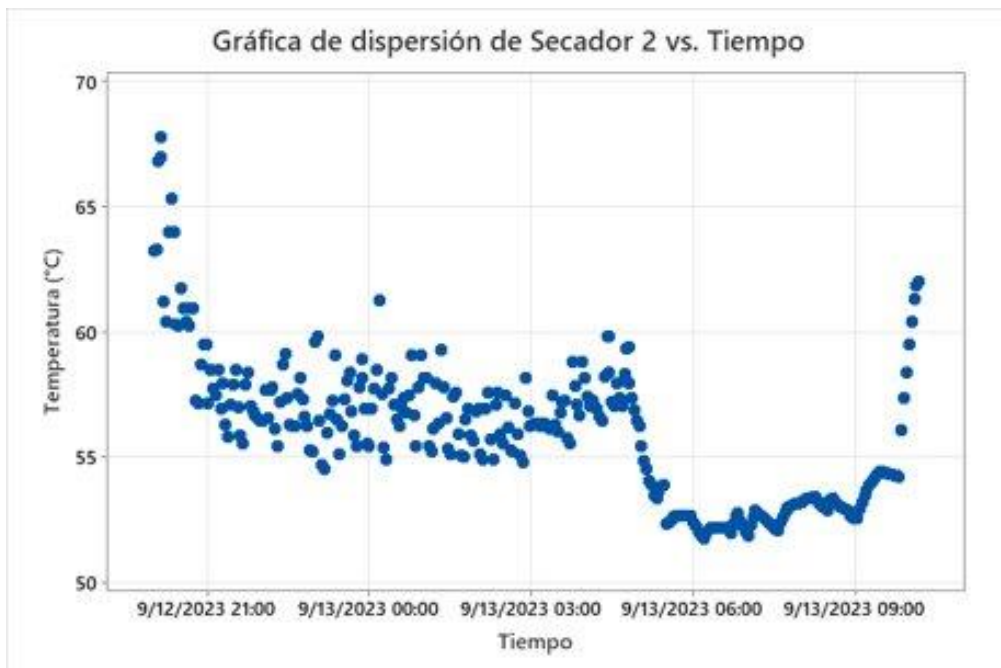
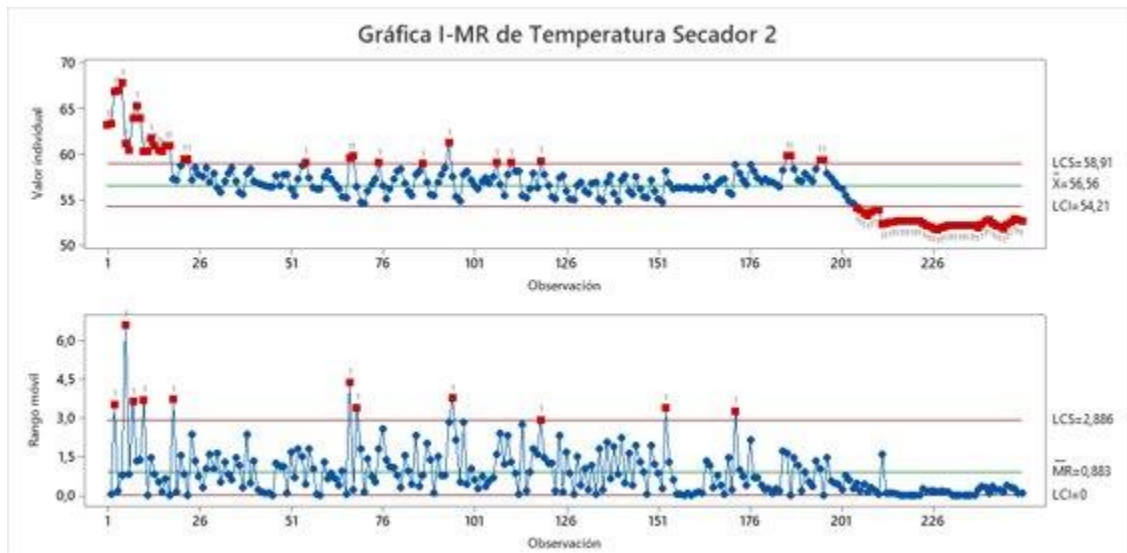


Figura 49

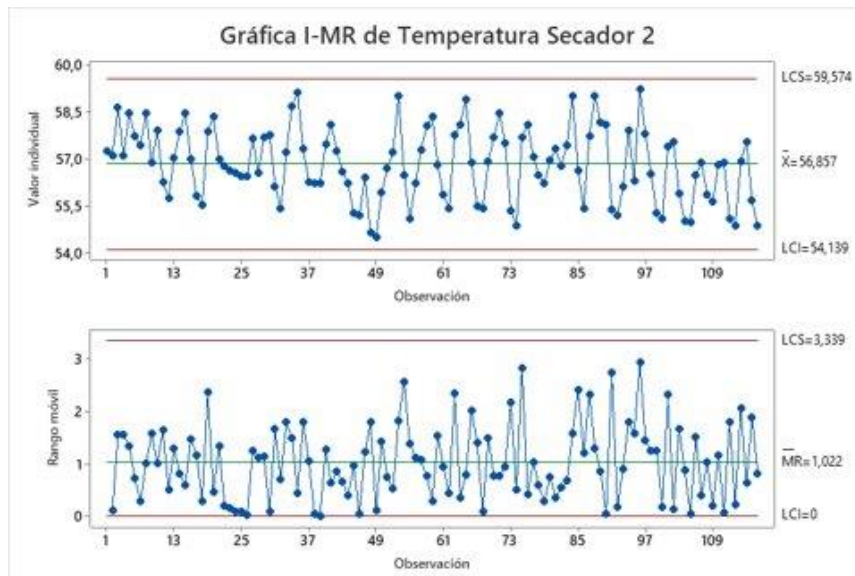
Grafica de Control de la variable temperatura en el secador 2



La temperatura es tomada cada 30 segundos, se puede ver como varia durante el proceso del mismo lote, en este caso siendo una producción de 12 horas. Al inicio y al final del proceso varía mucho ya que se producen cambios de producción, pero el secador no cuenta con producto en esos momentos.

Figura 50

Grafica de Control estable de la variable temperatura en el secador 2



Se eliminaron las variaciones por causas especiales al inicio y final del proceso. De igual manera se puede ver cómo, a pesar de que el proceso está bajo control, varía la temperatura en el secador

Figura 51

Grafica dispersión en el secador 3 vs. tiempo

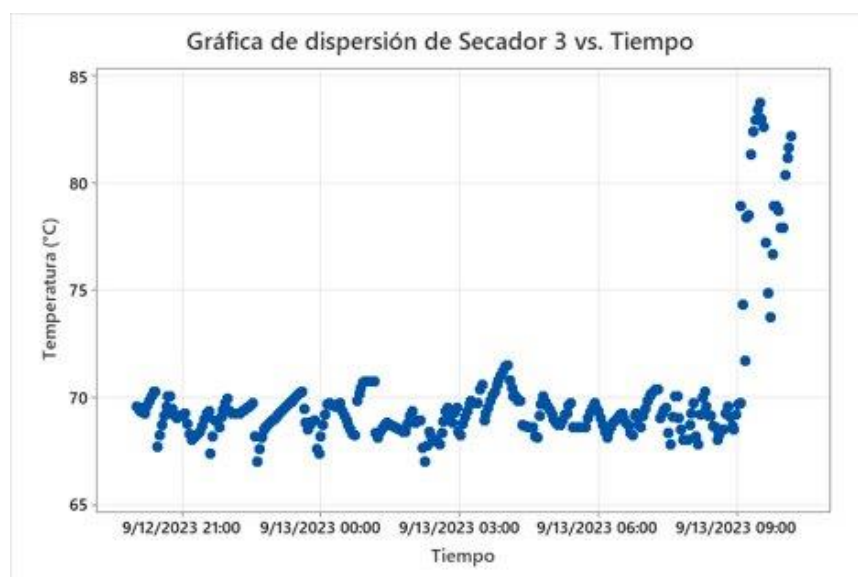
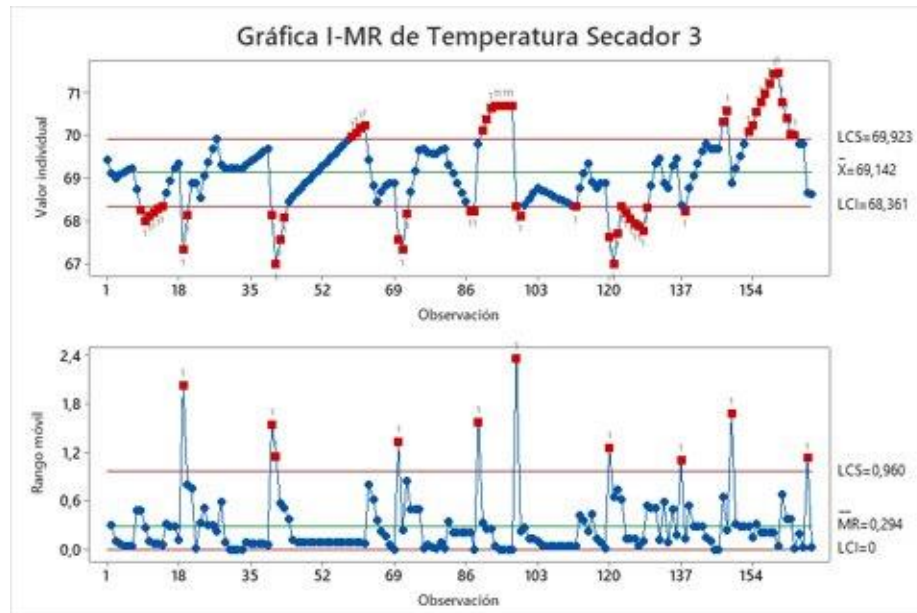


Figura 52

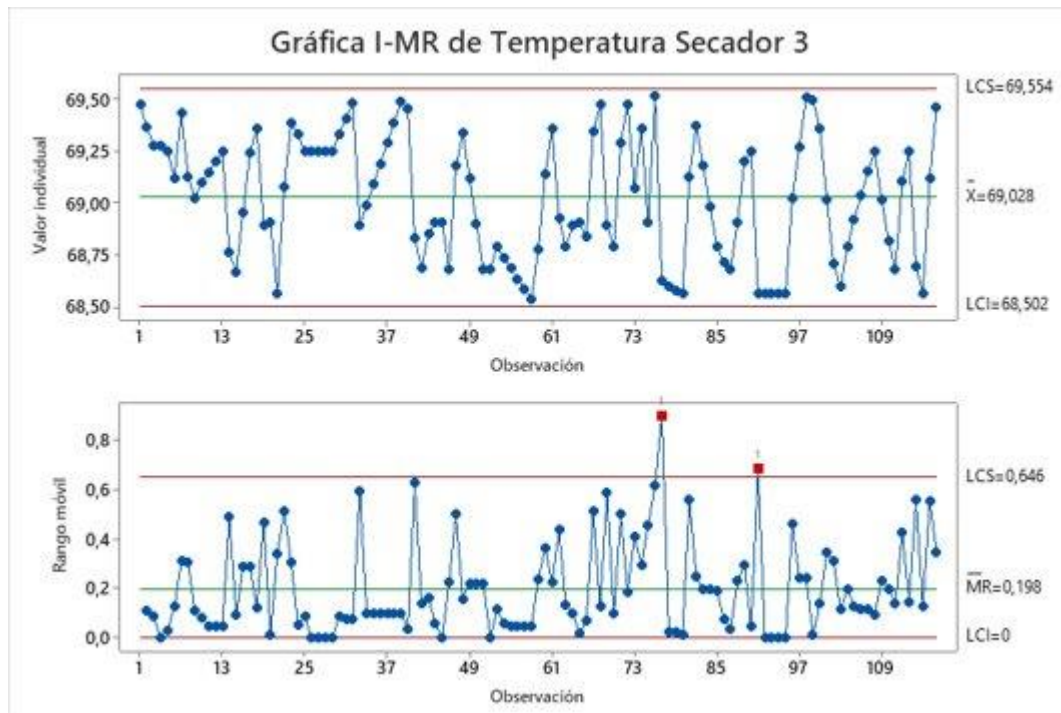
Grafica de control en el secador 3



La temperatura es tomada cada 30 segundos, se puede ver como varía durante el proceso del mismo lote e incluso es diferente con respecto al secador 2, en este caso siendo una producción de 12 horas. Al inicio y al final del proceso se producen cambios de producción, pero el secador no cuenta con producto en esos momentos.

Figura 53

Grafica de control estable en el secador 3



Se eliminaron las variaciones por causas especiales al final del proceso. De igual manera se puede ver cómo, a pesar de que el proceso está bajo control, varía la temperatura en el secador e incluso muestra puntos sobre los límites tanto inferior como superior.

Figura 54

Temperatura en el secador 2 vs Temperatura en el secador 3 en el producto de 4 mm

Estadísticas descriptivas

	Muestra	N	Mediana
Temperatura Secador 2	154		56,9044
Temperatura Secador 3	117		69,0384

Figura 55

Prueba de hipótesis para Temperatura en el secador 2 vs Temperatura en el secador 3

Prueba		
Hipótesis nula	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$	
<u>Método</u>	<u>Valor W</u>	<u>Valor p</u>
No ajustado para empates	11935,00	0,000
Ajustado para empates	11935,00	0,000

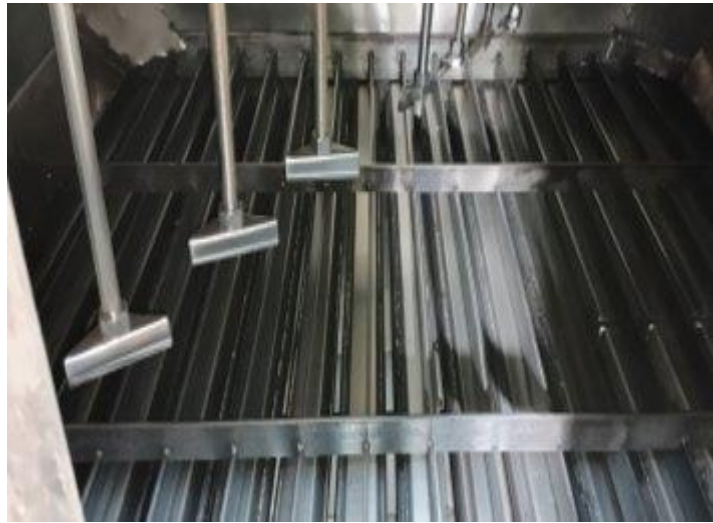
Se comparó ambos secadores para analizar si existía diferencia de la temperatura. Se puede observar que las medianas son distintas por más de 10 grados y el valor P es cero, lo que indica que la hipótesis nula de que los secadores tienen la misma temperatura es rechazada.

2.4.5.3 Causa Potencial 3: El producto no se distribuye uniformemente cuando ingresa a los secadores

Para validar esta causa fue necesario realizar un Gemba en el área de secado de la línea 2 y observar mediante las ventanillas de los secadores la distribución del producto dentro de los secadores 2 y 3. Tal como se puede apreciar en la Figura 28 el producto se encuentra aglomerado en una área dentro del secador 2, esta distribución dispareja de puede causar que el producto experimente varios ciclos de secado generando un bajo porcentaje de humedad en parte del producto y creando una heterogeneidad en el proceso de secado.

Figura 56

Como se debería ver dentro del secador

**Figura 57**

Producto aglomerado en el área central dentro del secador 2



El producto no es distribuido, ni siquiera, al momento de estar dentro del secador.

Luego de haber completado el plan de verificación de causas se aplica una herramienta que ayuda a encontrar la causa raíz y también potencial de las causas planteadas.

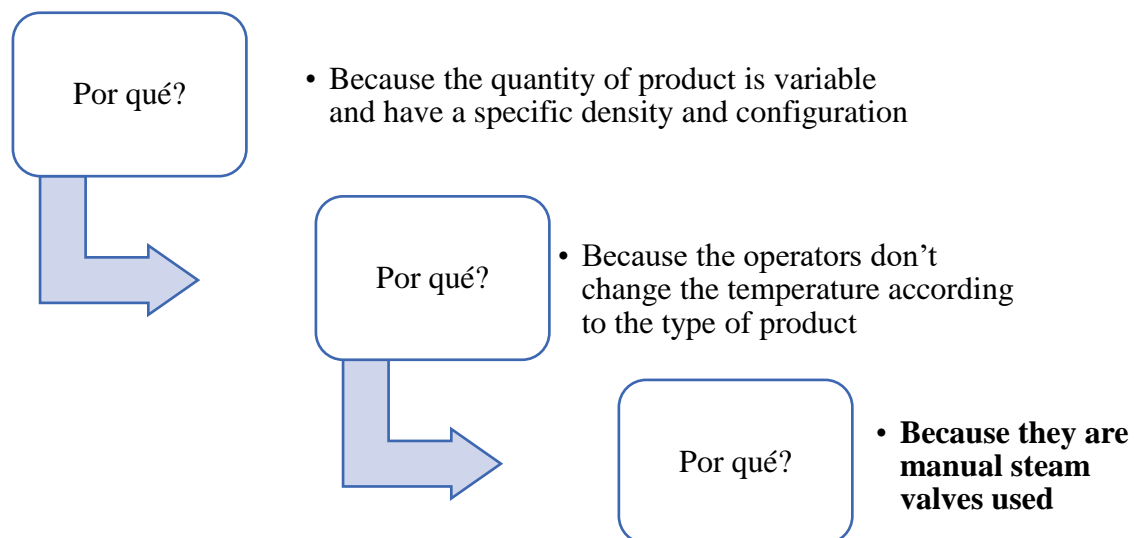
2.5 Análisis de 5 Por qué

2.5.1 Causa Potencial 1: El producto no se seca homogéneamente

La herramienta de “5 Por qué” nos permitió abordar las causas fundamentales del problema analizado y de esta manera tener una mayor comprensión de la causa estudiada. En este caso en particular se determinó que el producto no se secaba uniformemente ya que al formarse una “cama” de extrusos dentro del secador los que se encontraban en la parte inferior tenían un tiempo de permanencia mayor a aquellos extrusos que estaban en la parte superior. De igual manera los removedores se encontraban a 60 cm por arriba de la base del secador minimizando el proceso de dispersión y distribución homogénea del producto dentro de los secadores.

Figura 58

Elaboración de la herramienta “5 ¿Por qué? Para la causa 1

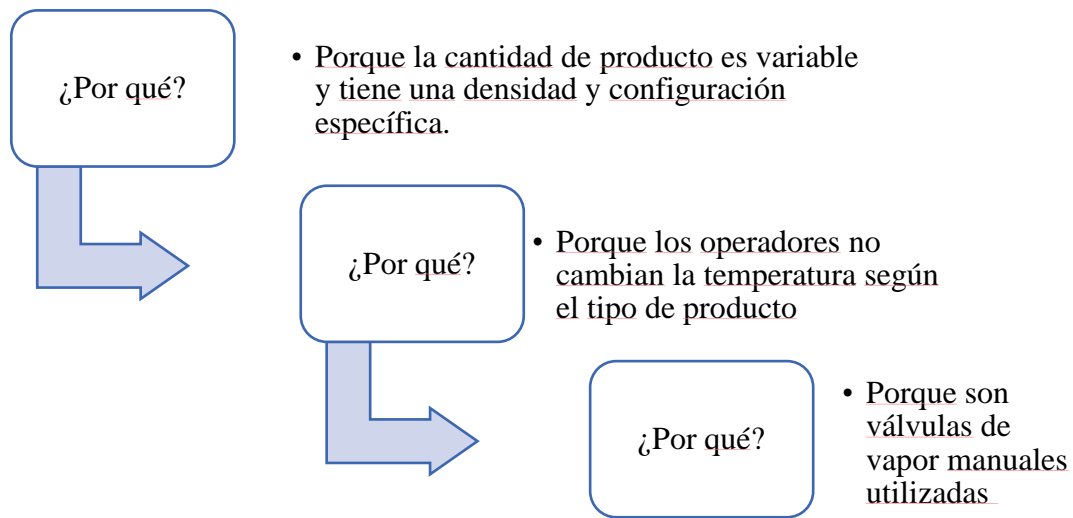


2.5.2 Causa Potencial 2: La temperatura fluctúa en el proceso de secado

Se determinó que cada producto por su diámetro presenta una densidad y tamaño diferente por lo que estas características determinan el tiempo de permanencia en los secadores, así también variables como la temperatura y la configuración de los ventiladores, válvulas de vapor y rejillas de regulación de flujo de aire.

Figura 59

Elaboración de la herramienta “5 ¿Por qué? Para la causa 2

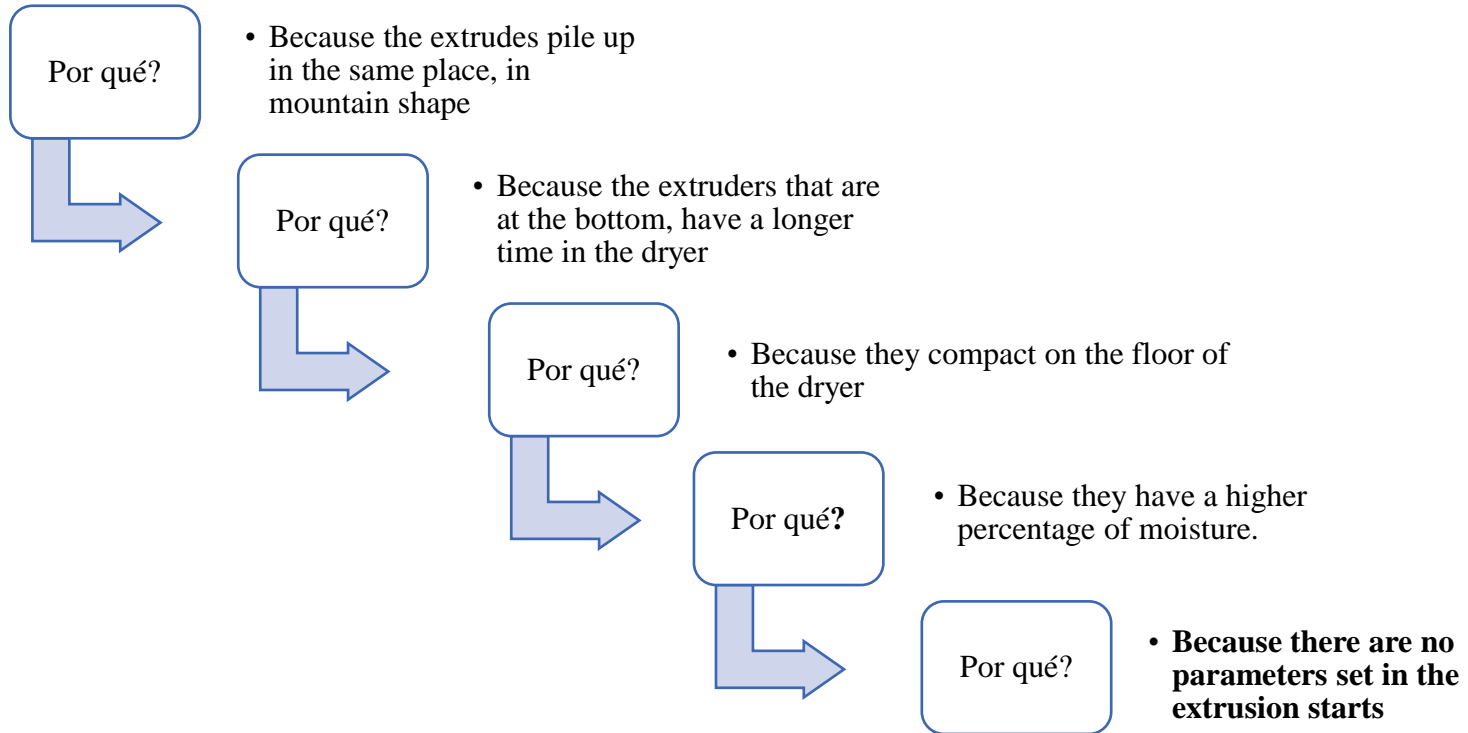


2.5.3 Causa Potencial 3: El producto no se distribuye uniformemente cuando ingresa a los secadores

El diseño mecánico de los secadores contempla para el secador 2 una plancha de distribución lateral del producto, que a su vez distribuye mayor cantidad de producto hacia un lado. Por otro lado, el secador 3 no tiene ningún mecanismo de distribución a la entrada superior y el producto ingresa con una humedad alta (alrededor del 20%) y por acción de la gravedad se precipita hacia la base del secador por lo que se aglomera y se compacta al empezar el proceso de secado.

Figura 60

Elaboración de la herramienta “5 ¿Por qué? Para la causa 3



Se realizaron diversas propuestas de soluciones para las causas raíz encontradas.

Tabla 16

Soluciones propuestas para las causas raíz encontradas

Problema Enfocado	Causas Raíz	Soluciones Propuestas
“El porcentaje promedio de humedad en el producto terminado en la línea de producción de alimentos para peces de 4 mm y 7 mm de la empresa, desde enero de 2023, es del 7,44 % y del 7,19 % por lote. El rango permitido debe estar entre el 8% y el 12% y el objetivo es el 10%.	Porque no tiene ningún método de dispersión de extruidos en la entrada del secador.	1. Colocar un distribuidor de producto en la entrada de los secaderos.
	Porque son válvulas de vapor manuales utilizadas	2. Instalación de una válvula proporcional en la secadora 3 3. Implementar controles visuales para rangos de temperatura por producto.
	Porque no hay parámetros establecidos en los arranques de extrusión.	4. Estandarizar parámetros para el proceso de inicio de extrusión para que el producto húmedo no se pegue en el secador. 5. Mantenimiento preventivo para que el producto no se pegue

Otras soluciones posibles que pueden ayudar de manera general a las causas encontradas fueron:

1. Estandarizar la altura de los removedores según los productos y que sean regulables.
2. Rediseño de la secadora 3
3. Estandarizar parámetros para el proceso de secado.

Luego, se analizó por medio de la matriz impacto-esfuerzo para descartar soluciones que tengan pocos beneficios, todo esto junto a los clientes internos.

Figura 61

Matriz Beneficio-Esfuerzo para soluciones

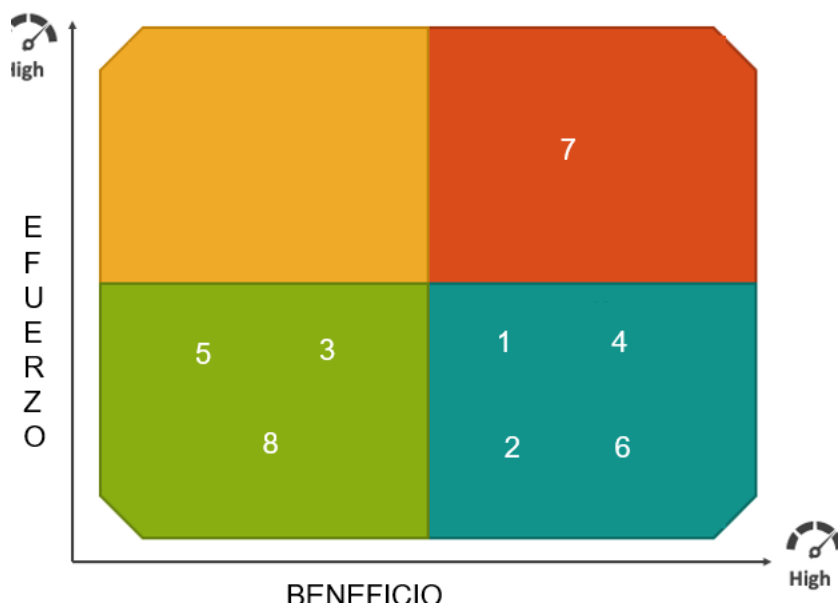


Figura 62

Análisis financiero para las soluciones propuestas

Solución	Horas de implementación	Costo de materiales (\$)	Costo de implementación (\$)	Costo total (\$)
1. Colocar un distribuidor de producto en la entrada de los secaderos	12-20	sombreros chinos \$640	\$60 - \$90	\$700 - \$730
2. Instalación de una válvula proporcional en el secador 3	12-24	Válvula proporcional \$1000-\$2500	\$100 - \$150	\$1100-\$2650
3. Implementar controles visuales para rangos de temperatura por producto	6	Material necesario para la implementación. \$25-\$100	\$0	\$25-\$100
4. Estandarizar la altura de los removedores según los productos y que sean regulables	1 mes	Material necesario para estandarizar \$200	\$1100	\$1300
5. Mantenimiento preventivo para que el producto no se pegue	12	Material necesario para el mantenimiento. \$400-\$500	\$1300	\$1700-\$1800
6. Estandarizar parámetros para el proceso de inicio de extrusión para que el producto húmedo no se pegue en el secador.	2 meses	Material necesario para el mantenimiento. \$1600	\$200	\$1800
7. Estandarizar parámetros para el proceso de secado.	4 meses	Material necesario para estandarizar \$1800	\$3552	\$5352
8. Rediseño de la secadora 3	3 meses	Rediseño e instalación. \$2000	\$1000	\$3000

De manera conjunta con el departamento de mantenimiento, proyectos y contratistas que brindan servicios a la organización se realizó varias cotizaciones formales para evaluar financieramente el costo aproximado de la implementación de las soluciones propuestas. La instalación de la válvula proporcional para el secador presenta uno de los periodos de tiempo más extensos debido a que su adquisición se realiza por medio del proveedor directo en el extranjero y el arribo del equipo por vía marítima puede tardar hasta 4 meses.

Tabla 17

Matriz de impacto esfuerzo y costo para soluciones potenciales

Solución	Impacto	Esfuerzo	Costo	Total
1. Colocar un distribuidor de producto en la entrada de los secaderos.	7	5	7	19
2. Instalación de una válvula proporcional en la secadora 3	7	7	5	19
4. Estandarizar la altura de los removedores según los productos y que sean regulables.	5	7	5	17

6. Estandarizar parámetros para el proceso de inicio de extrusión para que el producto húmedo no se pegue en el secador.	7	7	5	19
7. Estandarizar parámetros para el proceso de secado.	7	3	3	13

Figura 63

Puntuación y parámetros para la matriz de soluciones

IMPACTO	COSTO	ESFUERZO
Alto Impacto (7)	Alto costo (3) : \$100-\$1000	Alto esfuerzo (3)
Medio Impacto (5)	Medio costo (5) : \$1001-\$2700	Medio esfuerzo (5)
Bajo Impacto (3)	Bajo costo (7) : \$2701	Bajo esfuerzo (7)

Donde se escogen las siguientes 3 soluciones y se crea también el plan de implementación.

Tabla 18*Plan de implementación de soluciones*

Soluciones	Por qué	Cómo	Dónde	Cuándo	Responsable	Costo
1. Colocar un distribuidor de producto en la entrada de los secaderos.	El objetivo es distribuir el producto a medida que cae y no se amontona.	Haz un sombrero chino personalizado. Explicar a mantenimiento y diseñar uno.	A la entrada de ambos secadores	Enero12, 2024	Líderes de proyecto	\$730
2. Instalación de una válvula proporcional en la secadora 3	La temperatura tiende a aumentar a pesar de no realizar cambios en la válvula de vapor.	Explicar al gerente de mantenimiento y planta, se debe comprar e implementar.	Secadores	Enero24, 2024	Líderes de proyecto	\$2650
6. Estandarizar parámetros para el proceso de inicio de extrusión para que el producto húmedo no se pegue en el secador.	Tienen una altura fija que simula el diámetro de producción del importador, y provoca que se acumule el producto.	Realizar un DOE con diferentes inicios en el proceso de extrusión. Explicar a los operadores y al gerente de planta para estandarizar.	En el área de extrusión	Enero3, 2024	Líderes de proyecto	\$1800

2.5.4 Enfoque de la solución

2.5.4.1 Colocar un distribuidor de producto en la entrada de la secadora

Causa en el secador 2: Cuando el producto entra por un conducto a través de una válvula rotativa, se desintegra en una dirección dentro de la cámara de secado, lo que hace que el producto acabe con 3 porcentajes diferentes de humedad.

Figura 64

Distribuidor interno del secador 2



Causa en el secador 3: Cuando el producto entra por un conducto, no tiene válvula rotativa y está centralizado, no se desintegra dentro de la cámara de secado, lo que significa que el producto experimenta un proceso de secado heterogéneo y se observa principalmente en las diferencias significativas del porcentaje de humedad.

Figura 65

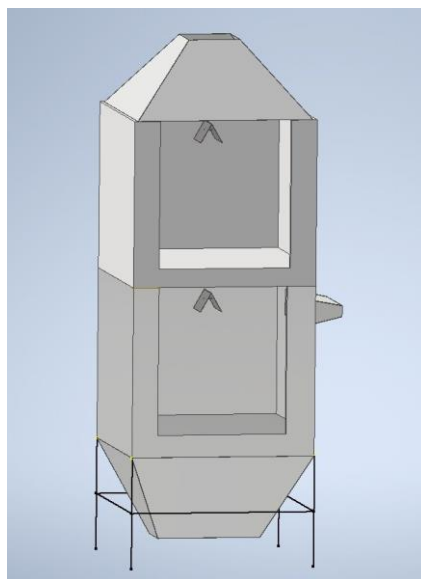
Parte interna del secador 3



Para mejorar esta situación, la inclusión de un sombrero chino en la boquilla del conducto de entrada mejorará la forma en que se dosifica la balanza dentro de la cámara. Esta pieza debe estar sometida a una humedad del 20% al 30% y cumplir con las normas de seguridad, por lo que puede optar por aceros inoxidable como el AISI 316 o el AISI 304, estos aceros son fácilmente disponibles en el mercado ecuatoriano.

Figura 66

Simulación del secador con el mecanismo de distribución para el secador 3



2.5.4.2 Colocar una válvula proporcional en la secadora 2

Las válvulas proporcionales permiten un control más preciso del flujo de vapor, lo que facilita el mantener una temperatura constante en dentro de la recámara del secador. La capacidad de ajustar la apertura de la válvula en función de la temperatura deseada ayuda a minimizar las variaciones y garantizar unas condiciones de secado óptimas. El control preciso de la válvula proporcional puede contribuir a una gestión más eficiente de la calidad de la energía y del producto y a una mayor vida útil del equipo

Figura 67

Válvula proporcional requerida para la solución



2.5.4.3 Estandarizar parámetros para ambos procesos en la extrusión

Las producciones se planifican entre 3 y 4 veces al mes con los mínimos arranques posibles. El diseño de experimentos de Taguchi se utiliza para identificar los factores clave que afectan a la puesta en marcha y conseguir el porcentaje de humedad óptimo para minimizar la adherencia del producto en las barajas de los secadores, dicho valor es igual a 23,60%. El valor nominal ideal del porcentaje de humedad que minimiza la adherencia del producto se obtuvo como el porcentaje promedio de humedad del producto en condiciones operativas de la línea de producción.

Como primer paso se definieron los factores que afectan directamente a la variable respuesta, la cual es el porcentaje de humedad del producto a la salida de la extrusora en los arranques. Haciendo uso del GEMBA y entrevistas a los diferentes operadores de extrusión por turno se definieron los siguientes factores.

Factores:

Velocidad de la extrusora, el cual se mide en Hertz o Hz y es la frecuencia del tornillo de alimentación de la extrusora.

Nivel del caudalímetro del preacondicionador, mide el flujo de agua en litros por minuto que ingresan al preacondicionador en el proceso de cocción previo al extruido.

Nivel del caudalímetro de la extrusora, mide el flujo de agua en litros por minuto que ingresan a la extrusora.

Experiencia del operador, el cual se mide en años de experiencia operando extrusoras.

Podemos observar los diferentes factores, unidad de medida, escala y niveles.

Tabla 19

Factores que influyen en el arranque de extrusion

Factores	Medida	Niveles	
Velocidad de la Extrusora	Hz	0	1
		Baja Capacidad	Alta Capacidad
Nivel del Flujo del Preacondicionador	LPM	20	24
		0	1
Nivel del Flujo de la Extrusora	LPM	Bajo	Alto
		12	20
Operador	Años	0	1
		Bajo	Alto
		1	4
		0	1
		Aprendiz	Experimentado
		1	2

Según el método de Taguchi, el uso de matrices ortogonales es necesario para organizar los diferentes factores y sus niveles. Se emplea principalmente para diseño de experimentos con baja disponibilidad de suceso o alto costo de experimentación.

Figura 68

Parámetros con los que fueron realizado las pruebas

Velocidad Extrusora	Flujometro Pre-acondicionado	Flujometro Extrusora	Experiencia
15	12	1	1
15	12	4	2
15	20	1	2
15	20	4	1
24	12	1	2
24	12	4	1
24	20	1	1
24	20	4	2

De esta manera se minimizó el número de corridas a 8, así mismo la recolección de datos se realizó en tres turnos y se tomaron tres muestras por cada corrida.

Figura 69

Resultados de las muestras de humedad obtenidas

M1	M2	M3	Media
20,38	19,78	20,56	20,24
21,39	20,78	22,35	21,51
25,09	25,22	24,4	24,90
24,76	23,75	24,92	24,48
21,15	22,52	21,76	21,81
24,5	23,98	24,33	24,27
23,6	23,09	23,89	23,53
26,9	26,63	25,78	26,44

Utilizando el software Minitab, el modelo alcanzó un 84,70% de confiabilidad.

Figura 70

Resultados de Resumen del modelo en MiniTab

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)
1,2269	84,70%	64,29%

A continuación, se presenta el resumen del modelo donde se puede observar que los datos presentan un R-Cuadrado (ajustado) de 64,29% es decir que los factores seleccionados y la interacción de estos explican en 64,29% la variable respuesta que en este caso es el porcentaje de humedad del producto a la salida de la extrusora al momento de arrancar y calibrar la máquina.

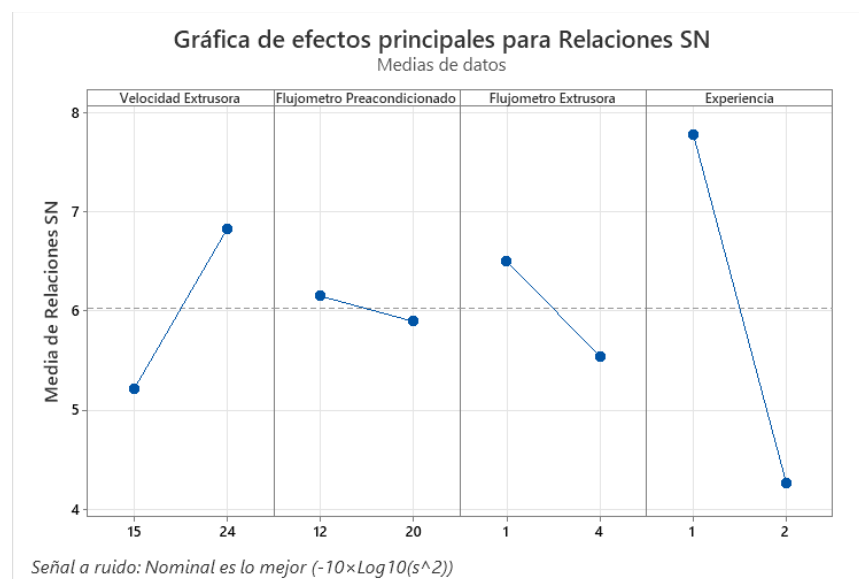
Figura 71

Coefficientes de modelos estimados para Relaciones en MiniTab

Coefficientes de modelos estimados para Relaciones SN

Término	Coef	EE del coef.	T	P
Constante	6,0242	1,222	4,929	0,016
Velocida 15	-0,8044	1,222	-0,658	0,557
Flujomet 12	0,1280	1,222	0,105	0,923
Flujomet 1	0,4794	1,222	0,392	0,721
Experien 1	1,7539	1,222	1,435	0,247

Figura 72 Efectos principales para Relaciones SN en minitab



Realizando un análisis preliminar de la Figura podemos observar que los factores candidatos a afectar la variabilidad del porcentaje de humedad del producto a la salida de la extrusora en los arranques de producción son la velocidad de la extrusora y la experiencia del operador.

Figura 73

Tabla de respuesta para relaciones de señal a ruido, en Minitab

Tabla de respuesta para relaciones de señal a ruido

Nominal es lo mejor ($-10 \times \log_{10}(s^2)$)

Nivel	Velocidad	Flujometro		Experiencia
	Extrusora	Preacondicionado	Extrusora	
1	5,220	6,152	6,504	7,778
2	6,829	5,896	5,545	4,270
Delta	1,609	0,256	0,959	3,508
Clasificar	2	4	3	1

Análisis de Varianza de Relaciones SN

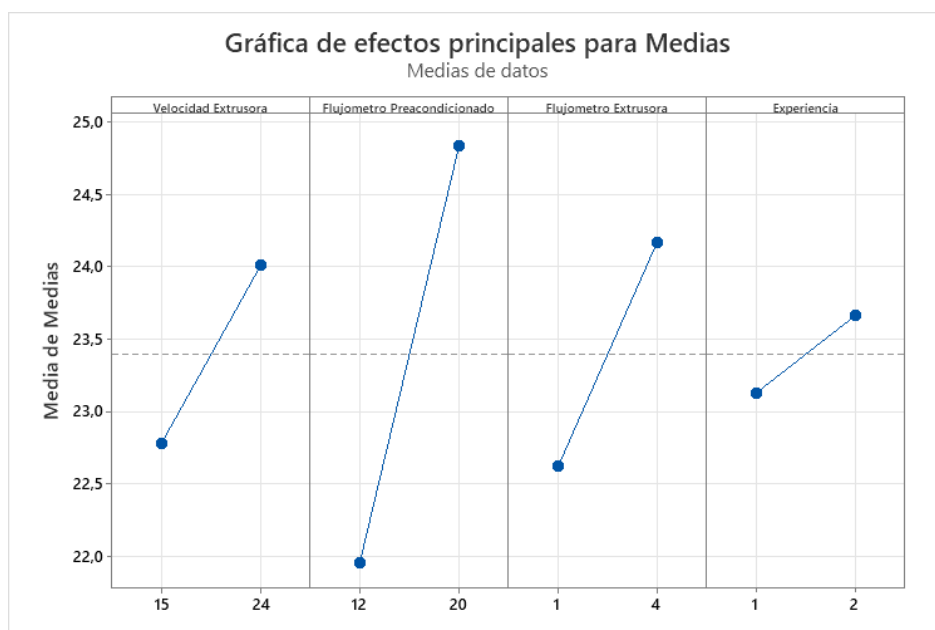
Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Velocidad Extrusora	1	5,177		5,177	5,177	0,68	0,446
Experiencia	1	24,608		24,608	24,608	3,25	0,131
Error residual	5	37,814		37,814		7,563	
Total	7	67,599					

Analizando el valor p obtenido en el análisis de varianza de las relaciones señal ruido podemos observar en la Tabla que tanto la velocidad de la extrusora y la experiencia del operador tiene un valor p mayor al valor de significancia establecido de 0.05, de esta manera podemos concluir que estadísticamente estos factores no están afectando directamente la variabilidad del proceso de arranque del extrusor.

Como podemos observar en la Figura, se tiene el nivel del caudalímetro del extrusor como factor crítico durante el proceso de arranque del extrusor para conseguir la humedad deseada.

Figura 74

Gráfica de efectos principales para medias de datos



Los caudalímetros del preacondicionador y del extrusor miden la cantidad de agua en litros por minuto que ingresa a cada equipo respectivamente. Es razonable y lógico concluir que estos dos factores determinen o afecten en gran medida al porcentaje de humedad del producto extruido a la entrada de los secadores durante el proceso de arranque de la extrusora.

Figura 75

Respuestas principales para medias de datos

Tabla de respuesta para medias

Nivel	Velocidad Extrusora	Flujometro Preacondicionado	Flujometro Extrusora	Flujometro Experiencia
1	22,78	21,96	22,62	23,13
2	24,01	24,84	24,17	23,66
Delta	1,23	2,88	1,55	0,54
Clasificar	3	1	2	4

En la Figura podemos observar los valores de clasificación son 1 y 2 para los factores conocidos como flujometro del preacondicionador y flujometro de la extrusora

respectivamente. De esta manera se concluye que los niveles adecuados para que cada factor alcance un porcentaje de humedad cercano al valor nominal de 23.60% son arrancar el extrusor con una capacidad alta de 24 Hz, 12 LPM como nivel bajo en el medidor de flujo del preacondicionador y 4 LPM como nivel alto en el medidor de flujo del extrusor.

Capítulo 3

2.6 Plan de Control

Solución	¿Quién lo va a revisar?	¿Cómo lo puedo revisar?	¿Cuándo lo voy a revisar?	Frecuencia de revisión	¿Qué voy a revisar?	¿Por qué lo voy a revisar?	Estado
1.- Diseño e implementación de un distribuidor interno en los secadores	Operador de la línea de producción	Revisión mensual según la planificación de mantenimiento	Mensual	1 vez/mes	Verificación GEMBA de la uniformidad del producto dentro de los secadores. Funcionamiento, limpieza y estado operativo de los distribuidores.	Para asegurar la homogeneidad del proceso de secado.	Implementado
2.- Diseño de Experimento del proceso de arranque de la extrusora (etapa previa al secado)	Analista de Procesos	Revisión semanal del check list de arranque en extrusión	Al inicio del turno	1 vez/semana	El operador de la línea ingrese los valores parametrizados para el arranque de la extrusora. Revisión visual de los niveles de los flujómetros de la extrusora y preacondicionador.	Para minimizar el ingreso de producto húmedo dentro de los secadores. Para garantizar los parámetros físicos del producto terminado.	Implementado

3. Resultados y Análisis

Se diseñó e implementó un distribuidor interno en cada secador.

Se diseñó una herramienta de distribución interna llamada coloquialmente como sombrero chino. Las medidas fueron establecidas por el equipo del Proyecto y se implementó con la ayuda del equipo de mantenimiento.

Figura 76

Implementación de distribuidor interno del secador



Se estandarizaron los parámetros para el arranque de la extrusora

Con los parámetros obtenidos en el diseño experimental de Taguchi, se realizó una tabla que los operarios deben llenar cada vez que se realice un arranque para así evaluar el porcentaje de humedad en los diferentes procesos.

Parámetro	Unidad
Humedad en Extrusora	Porcentaje (%)
Humedad en Secador 2 y 3	Porcentaje (%)
Densidad Producto Terminado	g/ml
Humedad Producto Terminado	Porcentaje (%)

Se redujo la variabilidad en ambos secadores, con un valor P de 0,76 en el secador 2 y un valor P de 0,36. Indicando que no se encontró diferencia estadísticamente significativa en el porcentaje de humedad del producto extruido entre las tres ubicaciones.

Figura 77

Gráfica de intervalo de porcentajes de humedad en el secador 2 vs ubicación

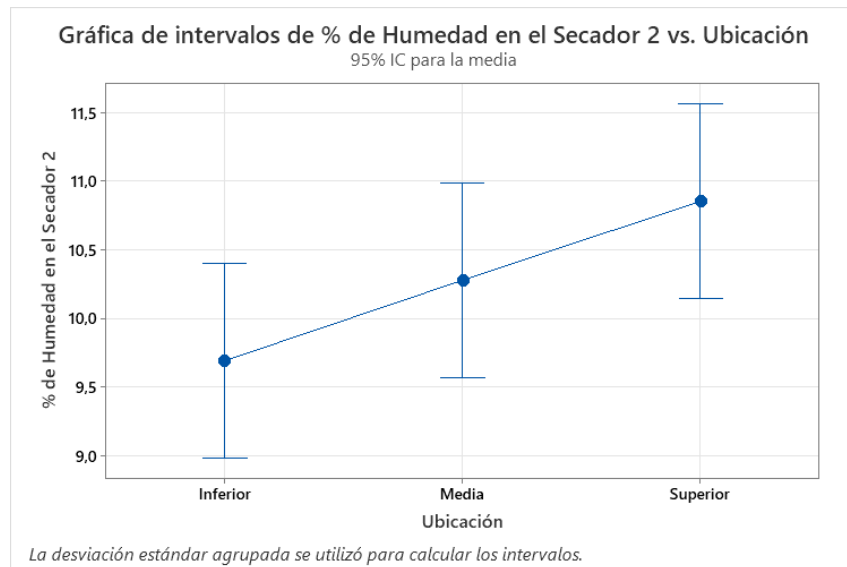


Figura 78

Análisis de varianza del secador 2

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ubicación	2	8,039	4,020	2,78	0,076
Error	33	47,643	1,444		
Total	35	55,682			

Figura 79

Gráfica de intervalo de porcentajes de humedad en el secador 3 vs ubicación

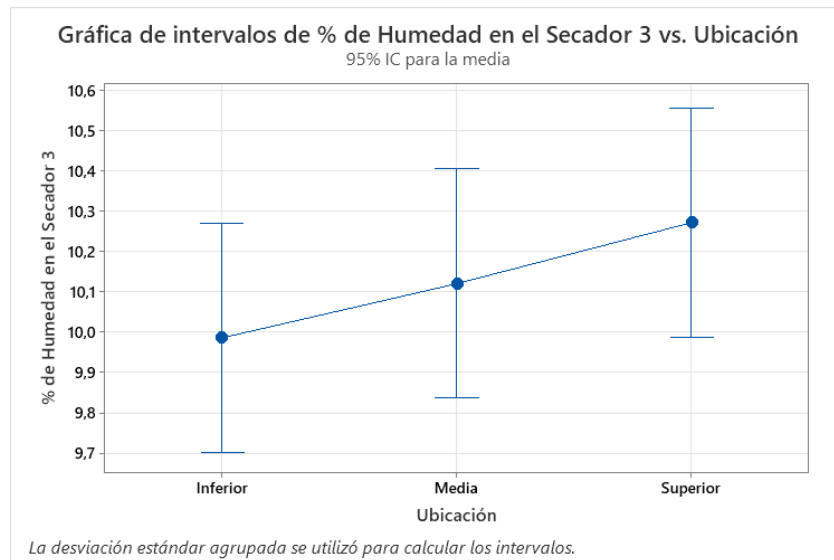


Figura 80

Análisis de varianza del secador 3

Análisis de Varianza

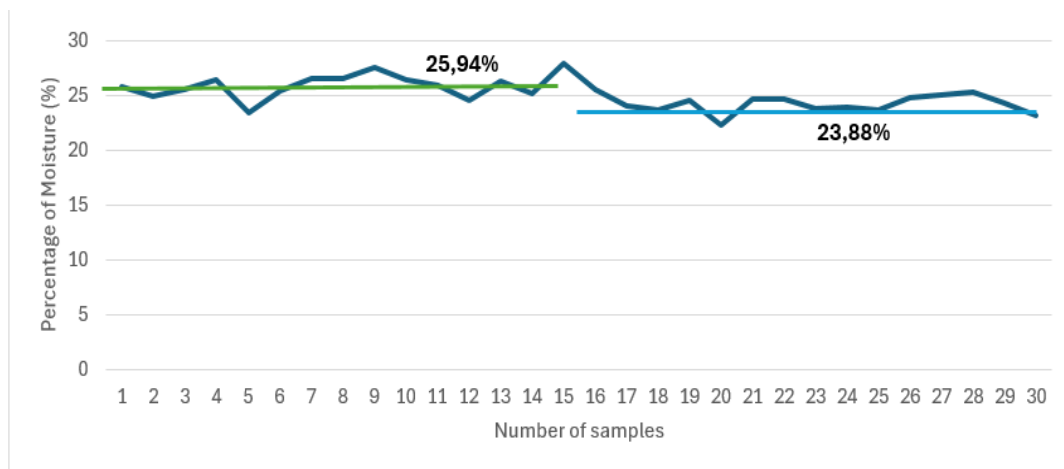
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ubicación	2	0,4879	0,2440	1,05	0,363
Error	33	7,6987	0,2333		
Total	35	8,1866			

En el ANOVA realizado se obtuvo un valor p igual a 0,363 por lo que no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que estadísticamente los porcentajes promedios de humedad en los diferentes niveles del secador 3 son iguales. De esta manera se garantiza que el proceso de secado sea homogéneo minimizando la variación porcentual de humedad en el producto terminado.

Se consiguió disminuir el exceso de humedad en el arranque de la extrusora, de 25,94% a 23,60%. Así el producto ya no se compactará en el piso del secador y se evita que pase por varios ciclos de secado.

Figura 81

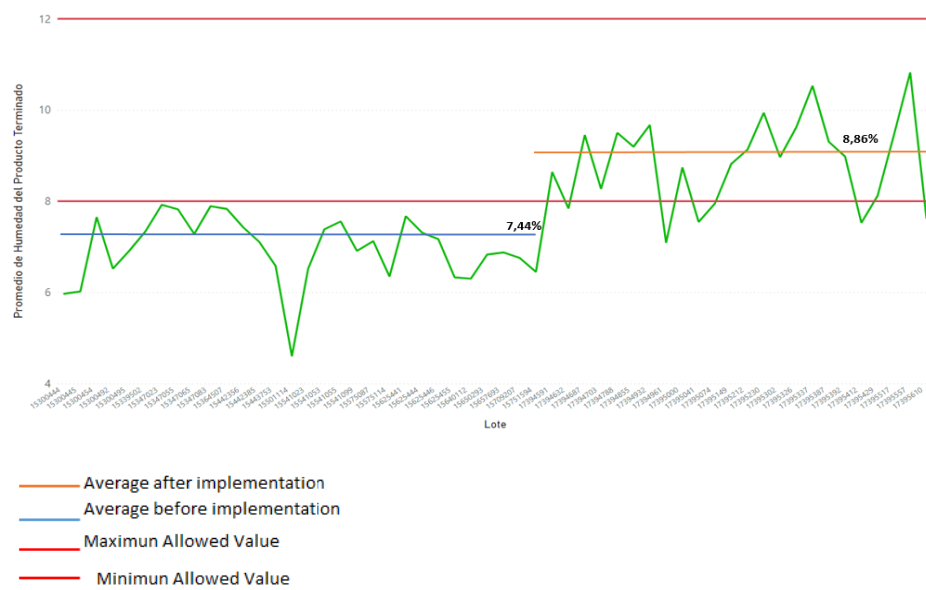
Gráfica de disminución de humedad en arranque de extrusora



4. Se establece con el Key Customer que la implementación de la válvula proporcional en el secador 2, se instalará en un periodo después debido al tiempo que se demora en importar y se considera también la mejora ganada con las otras dos soluciones
5. En la humedad final del producto terminado de 4mm se consigue incrementar el promedio de 7.44% a 8.86%

Figura 82

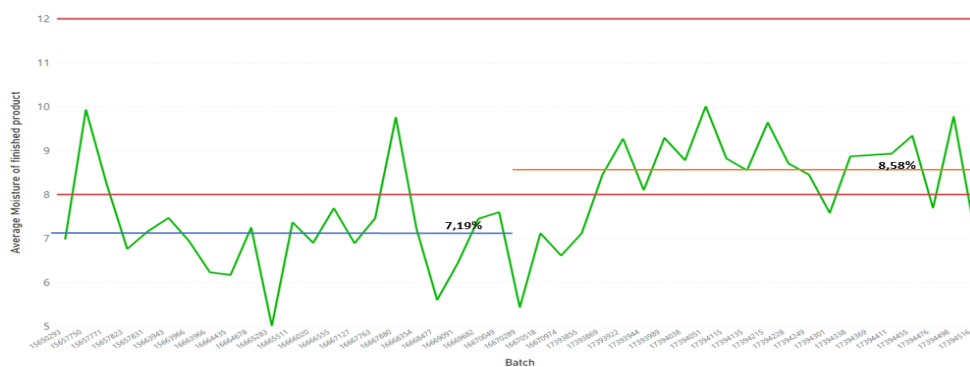
Gráfica de incremento de humedad final en el producto terminado de 4mm



- En la humedad final del producto terminado de 7mm se consigue incrementar el promedio de 7.19% a 8.58%

Figura 83

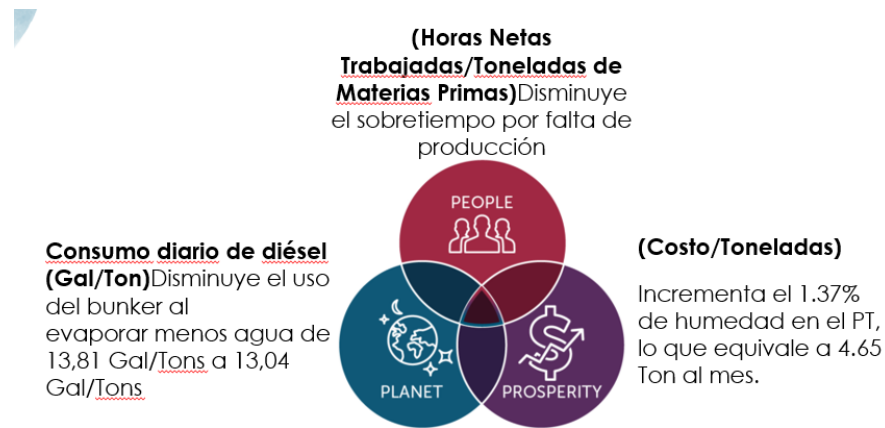
Gráfica de incremento de humedad final en el producto terminado de 7mm



- Se cumple con resultados positivos para el triple botón line metrics

Figura 84

Gráfica de resultados del Tripple Buttom Line



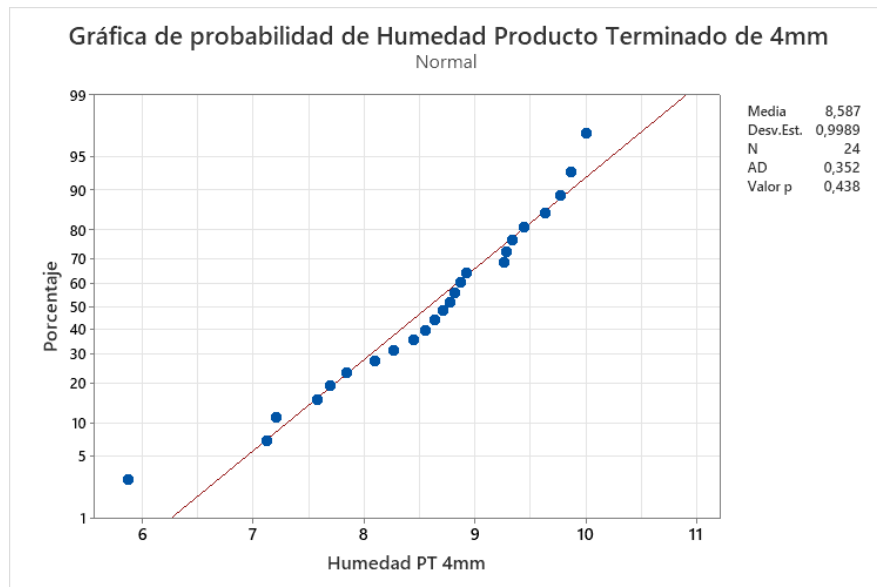
3.1 Control

3.1.1 Prueba de Normalidad

Se procedió a analizar la distribución de los datos obtenidos del porcentaje de humedad del producto terminado para las producciones de 4 mm posterior a la implementación de las mejoras propuestas. Tal como se observa en la Figura 40 el valor p es igual a 0,438 por lo que no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos del porcentaje de humedad del producto terminado tienen una distribución normal.

Figura 85

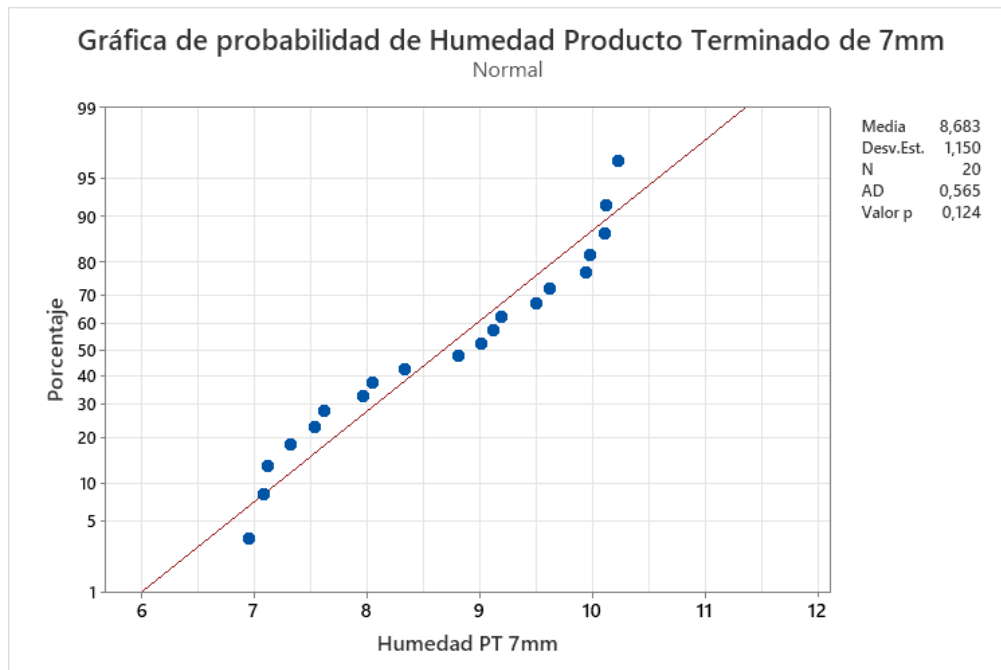
Gráfica de probabilidad del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado de 4 mm



De manera similar se evaluó la distribución de los datos para el porcentaje de humedad del producto terminado en producciones de 7 mm. Como se puede observar en la Figura 41 el valor p obtenido de la prueba de normalidad fue de 0,438 por lo que no se rechaza la hipótesis nula y se determina que los datos tienen una distribución normal.

Figura 86

Gráfica de probabilidad del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado de 7 mm



3.2 Cartas de Control

Previo a la realización de un análisis de capacidad es necesario considerar la estabilidad del proceso y detectar posibles causas especiales. En la Figura 42 y 43 se puede observar que el proceso de secado de los secadores 2 y 3 para las producciones de 4 mm se encuentra estable.

Figura 87

Gráfica de control del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado en el secador 2

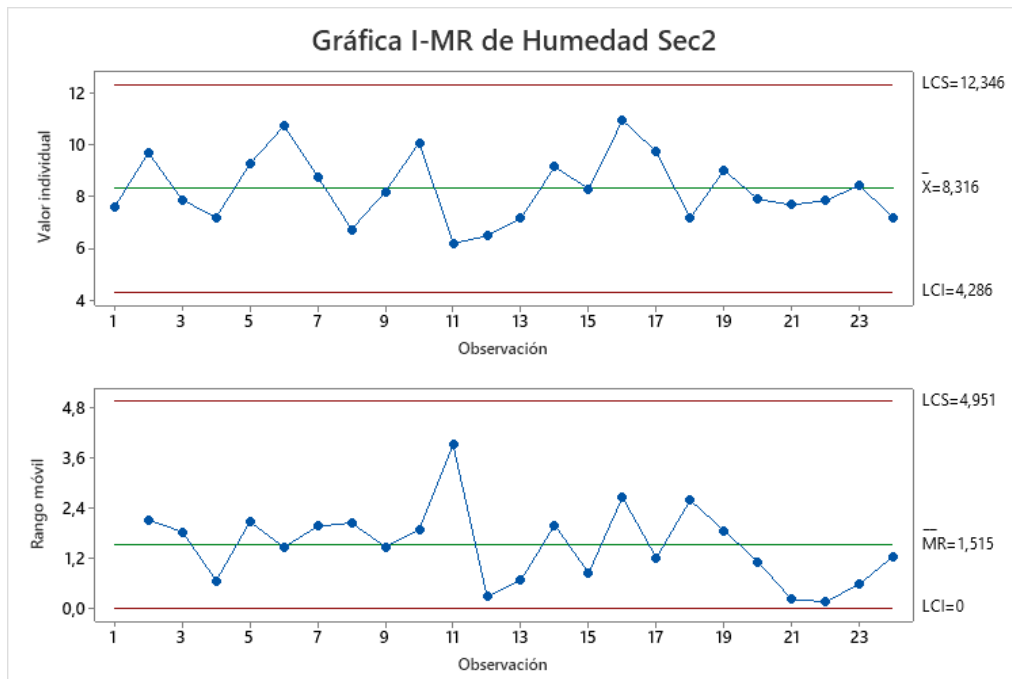
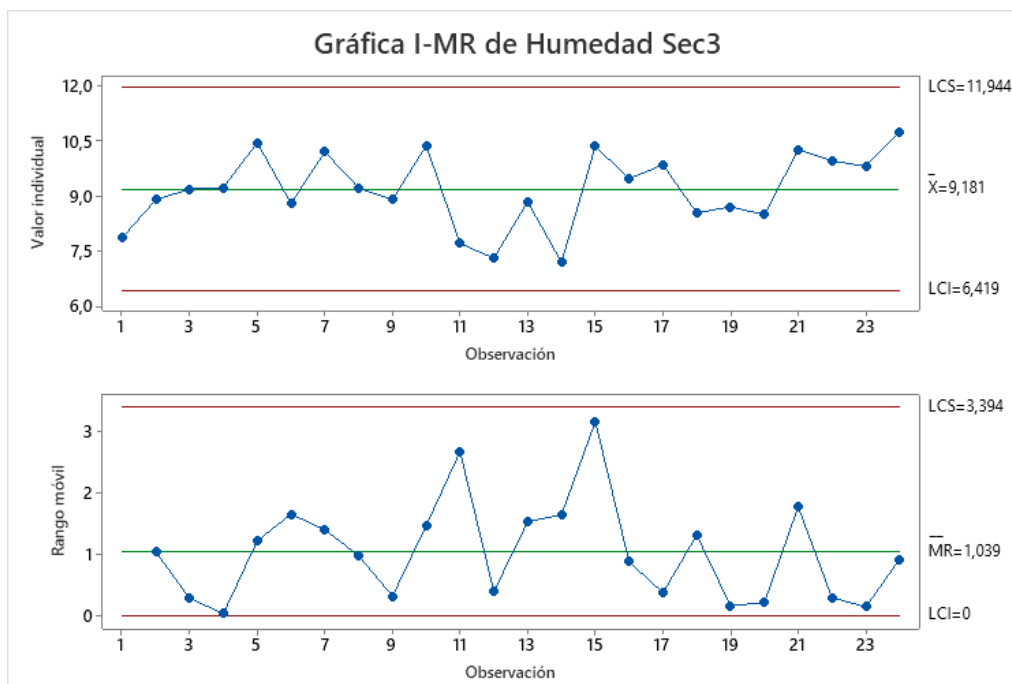


Figura 88

Gráfica de control del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado en el secador 3



De igual manera se evaluó la estabilidad del proceso de secado en los secadores 2 y 3 en las producciones de 7 mm, de esta manera se descarta que no existan causas especiales de variación.

Figura 89

Gráfica de control del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado en el secador 2

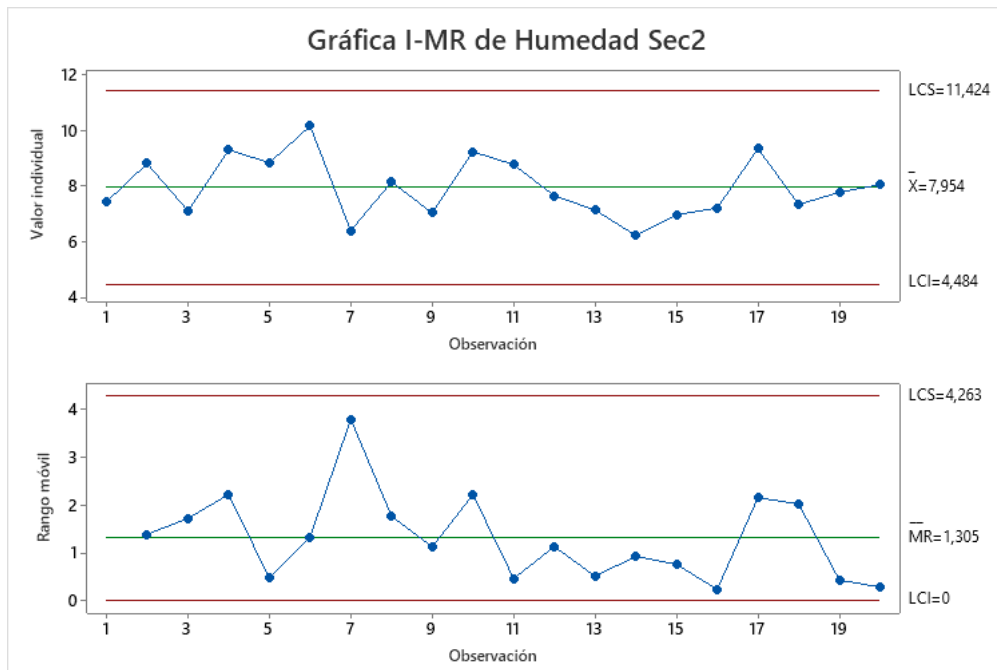
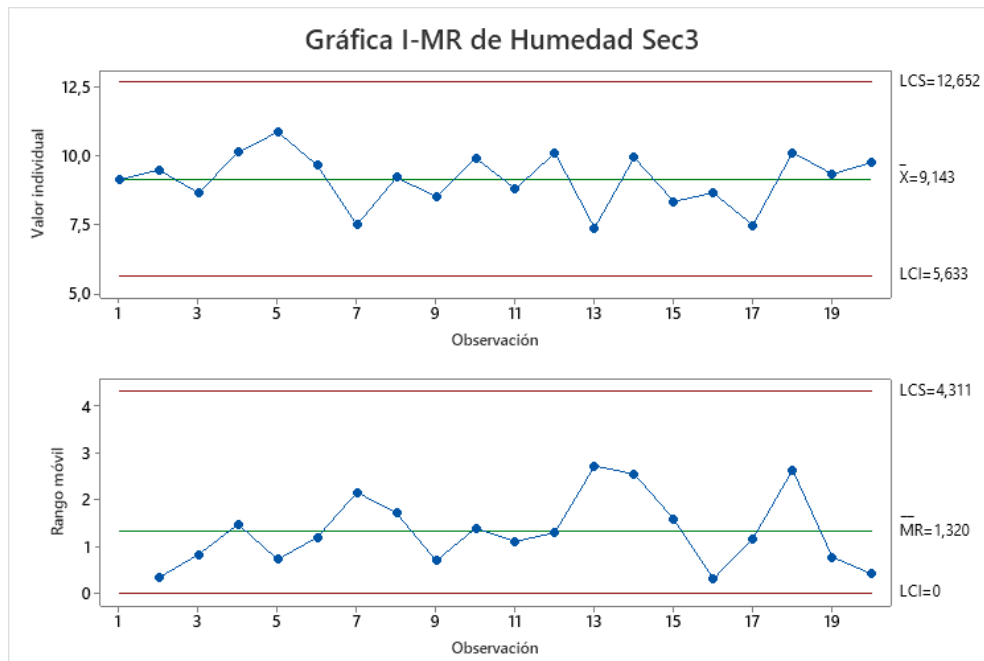


Figura 90

Gráfica de control del Porcentaje de Humedad del Producto Terminado en el secador 3



Como se puede observar en las Figuras 43 y 44 el proceso de secado en las producciones de 7 mm se encuentra bajo control y no existen causas especiales de variabilidad.

3.3 Análisis de Capacidad

Al realizar la comparación entre los datos históricos previo al proceso de implementación de mejoras en el área de los secadores en la línea de producción de alimento balanceado para peces con diámetro 4 mm y los datos recolectados posterior a la estandarización de los arranques y la instalación del distribuidor de producto dentro de los secadores. El tamaño de muestra fue de 24 tratamientos para las producciones de peces con diámetro de 4 mm.

Figura 91

Análisis de capacidad del secador 2

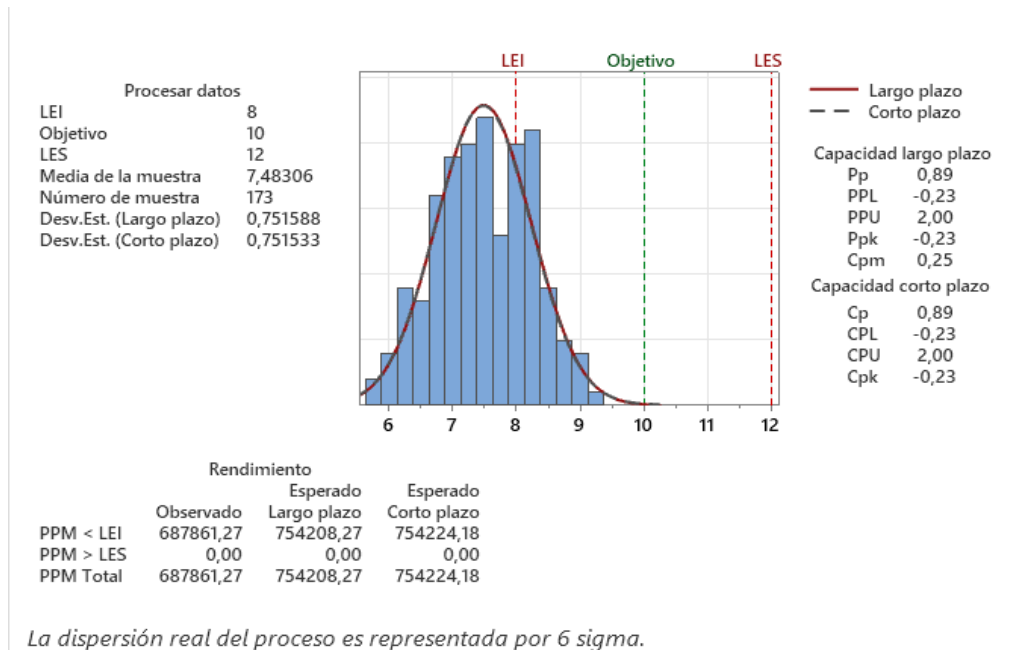
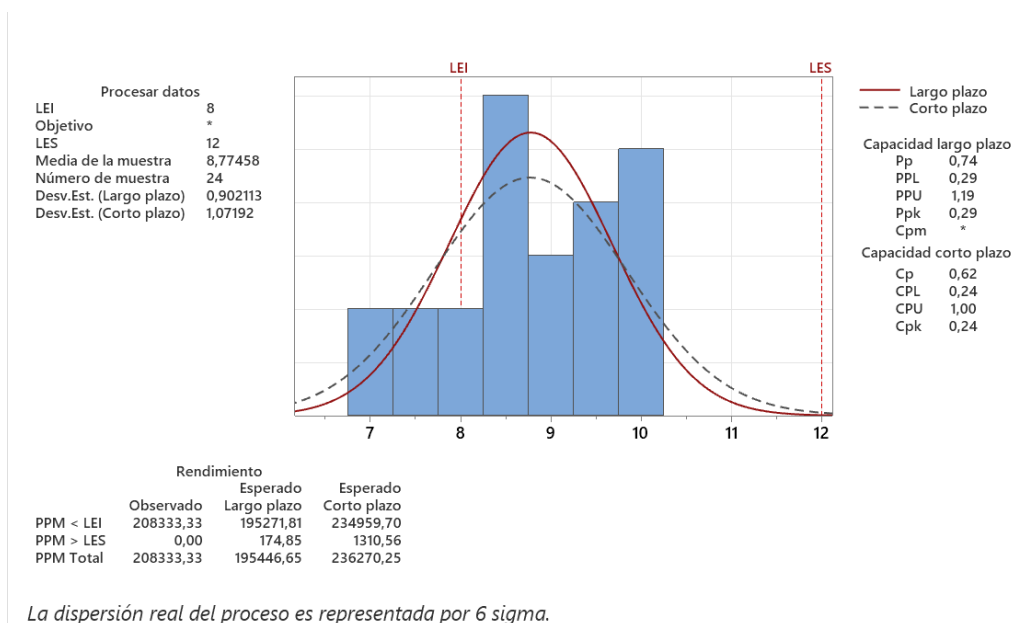


Figura 92

Análisis de capacidad del secador 2



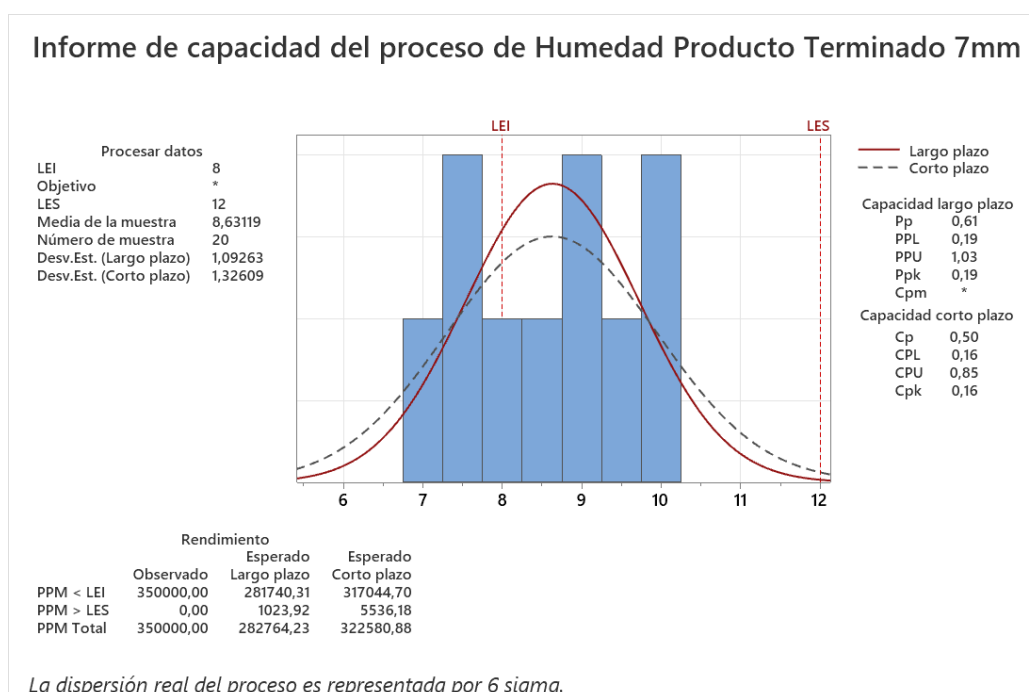
Como se puede observar en las Figuras 95 y 96, la capacidad a largo plazo mejoro con respecto a la capacidad de corto plazo, no obstante, el valor de Cp disminuyo 0.27 y el valor

Pp disminuyo 0.15. Por otro lado, el valor Cpk que se encontraba en negativo con -0.23 se incrementó a 0.24 mostrando una mejor capacidad para producir alimento balanceado dentro de los límites de especificación establecidos.

De igual manera se evaluó la capacidad del proceso en las producciones de 7 mm, el tamaño de muestra fue de 20 tratamientos. Tal como se puede observar en la Figura 47 el valor Cp obtenido fue de 0,5 por lo que disminuyo 0,39 y el valor Pp descendió 0,28. Así mismo el valor Cpk que se encontraban en negativo -0,23 se incrementaron a 0,16.

Figura 93

Capacidad del proceso de Humedad del Producto terminado en 7mm



3.3.1.1 Prueba T student Pareada

Para las producciones de peces con diámetro de 7 mm se llevo a cabo un muestreo aleatorio de los datos históricos para obtener 24 tratamientos y poder realizar una prueba t student pareada con el propósito de evaluar si existe una diferencia significativa entre las medias de las muestras.

Para las producciones de 4 mm se obtuvo los siguientes resultados tal como se observa en la Figura

Figura 94

Análisis de estadísticas en Minitab

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Humedad Historica 4mm	24	7,891	1,309	0,267
Humedad Producto Terminado 4mm	24	8,775	0,902	0,184

Figura 95

Análisis de estadísticas en Minitab

Prueba

Hipótesis nula H_0 : diferencia_μ = 0

Hipótesis alterna H_1 : diferencia_μ ≠ 0

Valor T Valor p

-2,32 0,029

En resumen, con un valor p de 0,029, tendríamos suficiente evidencia para afirmar que existe una diferencia significativa entre las medias porcentuales de humedad del producto terminado previo a la implementación y post implementación son diferentes y que esta diferencia no es el resultado del azar, lo que respaldaría la hipótesis alternativa de que hay una diferencia entre las medias.

Figura 96*Análisis de estadísticas en Minitab***Estadísticas descriptivas**

<u>Muestra</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desv.Est.</u>	<u>Error estándar de la media</u>
Humedad Historica 4mm	24	7,891	1,309	0,267
Humedad Producto Terminado 4mm	24	8,587	0,999	0,204

Figura 97*Análisis de estadísticas en Minitab***Estadísticas descriptivas**

<u>Muestra</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desv.Est.</u>	<u>Error estándar de la media</u>
Humedad Historica 7mm	20	7,354	1,087	0,243
Humedad Producto Terminado 7mm	20	8,631	1,093	0,244

Figura 98*Análisis de estadísticas en Minitab***Prueba**Hipótesis nula H_0 : diferencia_μ = 0Hipótesis alterna H_1 : diferencia_μ ≠ 0Valor T Valor p

-3,72 0,001

El valor p es igual a 0,001 por lo que se puede concluir que hay suficiente evidencia para afirmar que existe una diferencia significativa entre las medias y que esta diferencia no es producida por el azar.

Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

- Se cumplió con las especificaciones de calidad debido a que el incremento del porcentaje promedio de humedad por lote de 7,35% a 8,72% ,valor que se encuentra dentro del rango de especificaciones de calidad (mínimo 8% y máximo 12%).
- Se identificó que la relación entre humedad y volumen de producción ya que el aumento del porcentaje de humedad promedio en la producción de alimento balanceado para peces con talla de 4mm y 7mm permite alcanzar un mayor rendimiento productivo. El incremento del porcentaje de humedad de 1.37% garantiza que el volumen de producción mensual se incremente aproximadamente en 4,64 Toneladas.
- Se determinó la variabilidad del secado gracias a la heterogeneidad del proceso de secado en los secadores 2 y 3 se redujo, ya que la desviación estándar del porcentaje de humedad en el secador 2 disminuyó de 1,47 a 0,94, mientras que en el secador 3 bajo de 1,22 a 0,90.
- Se realizó el plan piloto de estandarización de parámetros para el correcto arranque de la extrusora en la línea multimodal en las producciones de alimento balanceado para peces.

4.2 Recomendaciones

- Implementar el método de colorimetría para evaluar la apariencia física del producto a la salida del proceso de secado.
- Establecer una planificación de mantenimiento mensual para los sensores de nivel y sondas de temperatura PT100 que se encuentran ubicadas en los radiadores y cámaras internas de los secadores 2 y 3.

- Evaluar los límites de especificación máximos de humedad para las producciones de alimento balanceado para peces.
 - Elaborar un check list de arranque de extrusora en la línea multimodal para estandarizar el proceso a largo plazo.
-

Referencias

- Asociación de Productores de Alimentos Balanceados. (2023). Obtenido de <https://aprobal.com/tag/agricultura/>
- Asociación Ecuatoriana de Fabricantes de Alimento Balanceado para Animales. (2023).
- Goetsch, D., & Davis, S. (2022). *Quality Management for Organizational Excellence: Introduction to Total Quality*. Pearson.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2009). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*. México, D.F.: Mc Graw Hill.
- Montgomery, D. (2019). *Introduction to Statistical Quality Control*. John Wiley & Sons.
- Obtenido de <https://www.sydle.com/es/blog/seis-sigma-62bf36de35e2a6758ff946ab>
- Weske, M. (2019). *Business Process Management Concepts, Languages, Architectures*.
- Witte, R., & Witte, J. (2016). *Statistics*.