

**UNIVERSIDAD CENTRAL
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**REDUCCIÓN DEL NIVEL DE RECLAMOS POR CALIDAD DE
PRODUCTOS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA
METODOLOGÍA DMAIC EN LA EMPRESA INDUSTRIAL DE
OLEAGINOSAS AMERICANAS**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

ESTUDIANTE: CARMEN YESENIA ALVARADO JIMÉNEZ

TUTOR: ING. JOEL PICADO SANABRIA

SEDE METROPOLITANA, COSTA RICA

ABRIL, 2024

CÉDULA DE IDENTIDAD

CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL LECTOR

''

,

CARTA DE ENTENDIMIENTO

CONTENIDO

DECLARACIÓN JURADA.....	I
CÉDULA DE IDENTIDAD	II
SOLICITUD DE DEFENSA.....	III
CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL LECTOR.....	V
CERTIFICADO DEL FILÓLOGO	VI
CARTA DE ENTENDIMIENTO	VII
CONTENIDO.....	VIII
TABLAS	XII
FIGURAS	XIV
DEDICATORIA.....	XVII
AGRADECIMIENTOS.....	XVIII
EPÍGRAFE	XIX
RESUMEN	XX
CAPÍTULO I. PROBLEMA.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.4 ANTECEDENTES	4
1.4.1 Antecedentes nacionales	4
1.4.2 Antecedentes internacionales.....	6
1.5 PROYECCIONES.....	7
1.5.1 Alcances	8
1.5.2 Limitaciones	9
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES.....	11
2.1.1 DMAIC	11

2.1.2 Pareto Chart.....	12
2.1.3 Gráficas de control	13
2.1.4 Box Plot Chart	15
2.1.5 Capacidad de Proceso	15
2.1.6 Regression Test	17
2.1.7 Mood's Median Test	18
2.1.8 Levene Test	18
2.1.9 Friedman Test	19
2.1.10 ANOVA	19
2.1.11 FMEA.....	20
2.1.12 Project Charter	23
2.1.13 Root Causes Analysis	24
2.1.14 Action Plan.....	24
2.1.15 Control Plan	24
2.1.16 Prioritization Matrix.....	25
2.1.17 PESTEL	25
2.1.18 Stakeholder	26
2.1.19 CTQ.....	26
2.1.20 SIPOC.....	26
2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA	27
2.2.1 Visión/misión	27
2.2.2 Antecedentes históricos	28
2.2.3 Ubicación geográfica.....	29
2.2.4 Estructura organizacional	29
2.2.5 Cantidad de empleados.....	31
2.2.6 Tipos de productos.....	31
2.2.7 Mercado de exportación	31
2.2.8 Descripción general del proceso productivo.....	32
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	39
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	40
3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	40

3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN	41
3.3.1 Sujetos de información	42
3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS	43
3.5 INSTRUMENTOS	46
3.5.1 Entrevista	46
3.5.2 Documentación de los sistemas de gestión	46
3.5.3 Observaciones	46
3.5.4 Recorridos.....	47
3.5.5 Técnica grupal (reuniones)	47
3.5.6 Fichas técnicas	47
3.5.7 Registros históricos	47
3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	47
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS	50
4.1 DEFINIR.....	51
4.2 MEDIR.....	63
4.2.1 Proteína baja en las harinas	64
4.2.2 Sedimentos en el aceite crudo.....	69
4.2.3 Residual de aceite bajo en la cascarilla	72
4.2.4 Olor no característico en el aceite crudo.....	74
4.2.5 Disponibilidad de la harina fermentada.....	77
4.3 ANALIZAR.....	77
CAPÍTULO V. PROPUESTA.....	83
5.1 MEJORAR.....	84
5.1.1 Proteína baja en las harinas	84
5.1.2 Sedimentos en el aceite crudo.....	90
5.1.3 Residual de aceite bajo	91
5.1.4 Olor no característico en el aceite crudo.....	94
5.1.5 Disponibilidad del producto.....	98
5.1.6 Action Plan.....	99
5.2 CONTROLAR.....	102
5.2.1 Proteína baja en las harinas	104

5.2.2 Sedimentos en el aceite crudo.....	109
5.2.3 Residual de aceite en la cascarilla.....	109
5.2.4 Olor no característico en el aceite crudo.....	112
5.2.5 Recálculo del FMEA.....	115
5.2.6 Resumen de los costos, beneficios y retorno de la inversión	118
5.2.7 Verificación de la meta	119
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	121
CONCLUSIONES.....	122
RECOMENDACIONES.....	124
REFERENCIAS.....	126
APÉNDICES.....	136
APÉNDICE 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS	137
APÉNDICE 2: INFORMACIÓN HISTÓRICA DE QUEJAS	138
APÉNDICE 3: RESULTADOS DE LABORATORIO	140
APÉNDICE 4: CRITERIOS PARA LA MATRIZ DE PRIORIZACIÓN.....	146

TABLAS

Tabla 2.1: Severidad.....	21
Tabla 2.2: Ocurrencia	22
Tabla 2.3: Detección.....	23
Tabla 2.4: Prioridad	23
Tabla 2.5: Cantidad de empleados por área de Industrial de Oleaginosas Americanas	31
Tabla 3.1: Variables de la investigación por objetivo específico	45
Tabla 4.1: Partes interesadas de Industrial Oleaginosa Americana	54
Tabla 4.2: SIPOC de Industrial Oleaginosa Americana	56
Tabla 4.3: Capacidad de Proceso HS, primer semestre del año 2023.....	65
Tabla 4.4: Capacidad de Proceso HI, primer semestre del año 2023	68
Tabla 4.5: Capacidad de Proceso: residual de aceite en la cascarilla, primer semestre del año 2023	74
Tabla 4.6: Regresión de las variables analizadas, primer semestre del año 2023	77
Tabla 4.7: Análisis de modo y efecto de la falla (FMEA) de Industrial Oleaginosa Americana	78
Tabla 4.8: Análisis de causa raíz de Industrial Oleaginosa Americana	80
Tabla 5.1: Friedman Test.....	97
Tabla 5.2: ANOVA dos vías con repetición	98
Tabla 5.3: ANOVA una vía con covariable	99
Tabla 5.4: Action Plan de Industrial de Oleaginosas Americanas	100
Tabla 5.5: Control Plan de Industrial Oleaginosa Americana.....	102
Tabla 5.6: Capacidad de Proceso HS, segundo semestre del año 2023	106
Tabla 5.7: Capacidad de Proceso HI, segundo semestre del año 2023.....	108
Tabla 5.8: Capacidad de Proceso: Residual de aceite en la cascarilla, segundo semestre del año 2023	111
Tabla 5.9: Mood's Test del contenido de hexano semestral	113
Tabla 5.10: Levene Test del contenido de hexano semestral	114
Tabla 5.11: Análisis de modo y efecto de la falla (FMEA) de Industrial Oleaginosa Americana	117

Tabla 5.12: Proyectos de mejora	118
Tabla A2.1: Historial de reclamos de los clientes, primer semestre del año 2023	138
Tabla A2.2: Historial de reclamos de los clientes, segundo semestre del año 2023.....	139
Tabla A3.1: Proteína en la harina de soya por semestre, 2023	140
Tabla A3.2: Proteína en la harina integral por semestre del año 2023.....	141
Tabla A3.3: Resultados del aceite crudo de soya por semestre del año 2023	142
Tabla A3.4: Residual de cascarilla por semestre del año 2023.....	143
Tabla A3.5: Efecto de las variables que afectan la vida útil del aceite crudo de soya .	144
Tabla A3.6: Vida útil del aceite crudo con respecto al tipo y nivel de antioxidante	144
Tabla A3.7: Tipo de antioxidante y niveles de concentración	145
Tabla A3.8: Tiempos de incubación y proteína obtenida, con pH covariable	145
Tabla A4.1: Criterios para la matriz de priorización	146

FIGURAS

Figura 2.1: Etapas DMAIC	11
Figura 2.2: Método en DMAIC	12
Figura 2.3: Herramientas Six Sigma.....	12
Figura 2.4: Ejemplo de un diagrama de Pareto	13
Figura 2.5: Reglas del gráfico de control.....	14
Figura 2.6: Gráfico Cpk>1	16
Figura 2.7: Gráfico Cpk=1	16
Figura 2.8: Gráfico Cpk=Cpu<1	16
Figura 2.9: Gráfico Cpk y Cp<1.....	16
Figura 2.10: Gráfico Cpk=Cpu<1	17
Figura 2.11: Mapa satelital de Industrial de Oleaginosas Americanas	29
Figura 2.12: Organigrama de Industrial de Oleaginosas Americanas	30
Figura 2.13: Diagrama de flujo de Industrial de Oleaginosas Americanas	32
Figura 3.1: Plan de un proyecto de Industrial de Oleaginosas Americanas	43
Figura 3.2: Diagrama de flujo del proceso para la recolección y análisis de datos.....	48
Figura 4.1: Análisis del entorno PESTEL de Industrial Oleaginosa Americana	51
Figura 4.2: Partes interesadas de Industrial Oleaginosa Americana.....	55
Figura 4.3: Árbol crítico de la calidad de Industrial Oleaginosa Americana.....	58
Figura 4.4: Tendencia de las quejas de clientes.....	61
Figura 4.5: Número de reclamos por tipo de producto.....	62
Figura 4.6: Motivos de los reclamos.....	63
Figura 4.7: I Chart: proteína HS, primer semestre del año 2023.....	64
Figura 4.8: MR Chart: proteína HS, primer semestre del año 2023	64
Figura 4.9: Capacidad de Proceso: proteína HS, primer semestre del año 2023.....	65
Figura 4.10: I Chart: proteína HI, primer semestre del año 2023	66
Figura 4.11: MR Chart: proteína HI, primer semestre del año 2023.....	67
Figura 4.12: Capacidad de Proceso: proteína HI, primer semestre del año 2023	67
Figura 4.13: Concentración de hierro en el aceite crudo, primer semestre del año 2023	69

Figura 4.14: Tanque y bomba	70
Figura 4.15: Tanque y membrana del filtro	70
Figura 4.16: Sedimento de gomas en aceite crudo	71
Figura 4.17: Toma de la descarga del tanque	71
Figura 4.18: I Chart: residual de aceite en la cascarilla, primer semestre del año 2023	72
Figura 4.19: MR Chart: residual de aceite en la cascarilla, primer semestre del año 2023	72
Figura 4.20: Capacidad de Proceso: residual de aceite en la cascarilla, primer semestre del año 2023	73
Figura 4.21: Hexano en aceite crudo, primer semestre del año 2023	75
Figura 4.22: OSI del aceite crudo, primer semestre del año 2023	76
Figura 5.1: Equipo espectrofotómetro de infrarrojo cercano (NIR)	85
Figura 5.2: Medición del NIR en la línea de producción.....	86
Figura 5.3: Balance de masa de la proteína y la cascarilla	88
Figura 5.4: Balance de masa de la proteína y el polvillo.....	89
Figura 5.5: Tanque con fondo cónico y acople para purgar	91
Figura 5.6: Equipo de resonancia magnética nuclear (RMN)	92
Figura 5.7: Equipo Stripper	94
Figura 5.8: Principio de funcionamiento de un Stripper	95
Figura 5.9: I Chart: proteína HS, segundo semestre del año 2023	104
Figura 5.10: MR Chart: proteína HS, II semestre del año 2023	105
Figura 5.11: Capacidad de Proceso: proteína HS, segundo semestre del año 2023	105
Figura 5.12: I Chart: proteína HI, segundo semestre del año 2023.....	107
Figura 5.13: MR Chart: proteína HI, II semestre del año 2023.....	107
Figura 5.14: Capacidad de Proceso: proteína HI, segundo semestre del año 2023.....	108
Figura 5.15: Concentración de hierro en el aceite crudo, segundo semestre del año 2023	109
Figura 5.16: I Chart: residual de aceite en la cascarilla, segundo semestre del año 2023	110
Figura 5.17: MR Chart: residual de aceite en la cascarilla, segundo semestre del año 2023	110

Figura 5.18: Capacidad de Proceso: residual de aceite en la cascarilla, segundo semestre del año 2023	111
Figura 5.19: Hexano en aceite crudo, segundo semestre del año 2023	112
Figura 5.20: Gráfico Box Plox del contenido de hexano semestral	114
Figura 5.21: OSI del aceite crudo, segundo semestre del año 2023.....	115
Figura 5.22: Resultado de la Prioritization Matriz	119
Figura 5.23: Tendencia de las quejas de los clientes	120

DEDICATORIA

A mis hermanos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ing. Erick Sibaja Alvarado, por darme la autorización de realizar el proyecto en la empresa Industrial de Oleaginosas Americanas.

Al personal del Departamento de Calidad y del Departamento de Harinas, por la entrega de la información requerida para el desarrollo de este proyecto.

Agradezco a mi familia por el apoyo en todo este proceso de mi formación académica.

A la tutora del proyecto, Joel Picado Sanabria, y al personal docente de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad Central, por formar profesionales y compartir conocimientos en cada área, además de aconsejarme en esta etapa de mi vida.

A mi Dios, por guiarme cada paso de mi vida profesional y convertirme en lo que hoy soy.

EPÍGRAFE

“No puedo entender por qué la gente está asustada de las nuevas ideas.
Yo lo estoy de las viejas”.

John Cage

RESUMEN

El presente trabajo se enfocó en desarrollar mejoras para la reducción del nivel de quejas de los clientes en la empresa Industrial de Oleaginosas Americanas, mediante la aplicación de la metodología DMAIC.

Según el registro de quejas reportado en los últimos tres años, existe una tendencia creciente de los reclamos, teniendo un incremento considerable en el primer semestre del 2023. Esto motivó a la empresa a buscar una metodología que le permitiera eliminar errores y defectos con el fin de aumentar el valor percibido de los productos. Así, se inició con la realización de un análisis situacional de quejas, por lo que se revisaron las áreas productivas donde más se generaban inconvenientes con el cumplimiento de la calidad y también se identificaron sus causas. Luego, se efectuó el análisis de datos y acciones correctivas mediante la metodología Lean Six Sigma y, con ello, se desplegaron las etapas del DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar), usando diversas herramientas estadísticas que permitieron llegar a la causa raíz del problema y plantear soluciones que perduraran en el tiempo.

Se determinó que los productos con mayores reclamos fueron los utilizados como insumo para la nutrición animal (harina de soya, harina integral, harina fermentada, cascarilla y aceite crudo de soya), los cuales se producían en las plantas extractoras. Para solventar los problemas de calidad, se realizaron cambios operacionales con los cuales se pudieron disminuir significativamente las quejas, cumpliendo la meta de reducir en un 50 % los reclamos de clientes para el segundo semestre del 2023. Son necesarias inversiones en equipos para dar una solución sostenible en el tiempo, con un monto estimado en \$ 390 000. Las inversiones propuestas tendrían ahorros anuales cercanos al \$ 1 700 000 y contribuirían al aumento de la productividad en varias secciones de la planta.

Palabras claves: Lean Six Sigma, DMAIC, Project Charter, PESTEL, Stakeholder, SIPOC, CTQ, FMEA, Root Causes Analysis, Action Plan, Control Plan, Prioritization Matrix, gráfico I MR, DOE, Mood's Test, Levene Test, Friedman Test, ANOVA, Regression Test, NIR, RMN, Stripper, métrica, miscela, desolventizador, fosfátidos y OSI.

CAPÍTULO I. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estudio de investigación se realiza en la empresa Industrial de Oleaginosas Americanas, ubicada en Barranca de Puntarenas, cerca de la costa Pacífica de Costa Rica.

La empresa actualmente cuenta con normativas como la FSSC 22000 y la ISO 17025, las cuales registran reclamos por cliente. Al respecto, en el registro de quejas que poseen estos sistemas de gestión, se ha observado un incremento de las mismas en los últimos años, generando como consecuencias pérdidas de dinero y clientes, así como devoluciones del producto.

Sin embargo, estos sistemas también brindan mucha información valiosa referente a los procesos y productos, pero no se ha aprovechado para resolver satisfactoriamente las causas que ocasionan los reclamos de los clientes.

Por lo tanto, se lleva a cabo un estudio de las posibles variables que intervienen en las inconformidades de los productos, contemplando la información que ya proporcionan los sistemas de gestión. De este modo, por medio de la metodología DMAIC, se analiza la información y se proponen acciones concretas que mejoren la calidad de los productos y, con ello, mitigar los reclamos de los clientes.

Debido a lo expuesto, se formula la siguiente pregunta, con el propósito de que al final de este proyecto se obtengan respuestas viables para dicha problemática:

¿Cuáles son las mejoras específicas para mitigar las causas fundamentales de los reclamos en la planta Industrial de Oleaginosas Americanas, mediante la implementación de la metodología DMAIC?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Reducir el nivel de reclamos de productos en la empresa Industrial de Oleaginosas Americanas, mediante la aplicación de la metodología DMAIC, para cumplir con los requerimientos de calidad establecidos por la organización.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar las causas que generan la mayor cantidad de reclamos que afectan significativamente el indicador de quejas.
- Proponer mejoras en los procesos para eliminar las causas que provocan los inconvenientes de calidad de los productos.
- Evaluar el impacto financiero de las inversiones planteadas que logren cumplir los requerimientos de calidad establecidos.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La empresa cuenta con un laboratorio acreditado bajo la norma ISO 17025/2017, lo que garantiza análisis confiables de las materias primas, productos en proceso y productos terminados; además de un sistema de gestión basado en la norma de inocuidad alimentaria FSSC 22000. Sin embargo, la gran cantidad de información generada por los ensayos realizados en el laboratorio y el sistema de gestión no es aprovechada para efectuar un análisis detallado con el cual se puedan optimizar las operaciones de las plantas.

En cuanto a esto, Merkel y Wegener (2013) mencionan que las empresas pueden tomar decisiones 5 veces más rápido que su competencia si las basan en el análisis de datos. Por lo tanto, con el análisis de la información y propuestas de mejora, se brindan los insumos necesarios para reducir los reclamos por calidad de productos que se han incrementado con el pasar de los años.

En un mercado *commodity*, como son los aceites vegetales, el cual está libre de aranceles, es de vital importancia diferenciarse de la competencia con la calidad de sus productos. Como bien lo indica Ramos (2023):

[...] la calidad en las empresas es indispensable para mantener un buen nivel de competitividad. El compromiso con la calidad de los productos y servicios que se ofrecen a los clientes es un factor decisivo a la hora de elegir una empresa u otra (p. 10).

Por consiguiente, la presente investigación se dedica al estudio del proceso de manufactura de aceite crudo de soya, harina de soya, harina integral, harina fermentada y cascarilla de soya en las plantas extractoras de la empresa Industrial de Oleaginosas

Americanas, cuyo fin es identificar los procesos que requieren de ajustes operativos para llegar a su nivel óptimo y los que requieren de inversión para obtener la mejora sostenida a lo largo del tiempo. Lo anterior permite cumplir con el objetivo de disminuir las quejas y, con ello, mejorar la satisfacción y lealtad de los clientes, aspectos estratégicos para la continuidad del negocio.

1.4 ANTECEDENTES

1.4.1 Antecedentes nacionales

La metodología DMAIC es muy utilizada en trabajos de investigación, su fin es mejorar la calidad de productos y servicios. En el caso de Costa Rica, no existen aplicaciones DMAIC en empresas dedicadas a la extracción de aceites a nivel comercial; sin embargo, esta herramienta se puede encontrar en otro tipo de actividades industriales. A continuación, se indican algunas empresas nacionales con proyectos de mejora que emplean la metodología DMAIC.

De este modo, Hernández (2022) utilizó la herramienta DMAIC en la empresa Boston Scientific, en Global Park de Heredia, para reducir la variabilidad en la estación de Controlador en la línea New Horizont. La tesis se asemeja a la presente en la utilización de un cuadro de variables con los mismos ítems dados en este proyecto. El parámetro de presión de la prensa de palanca se analizó mediante el gráfico I-MR, misma herramienta utilizada en el proyecto. El análisis demostró que usando una prensa de palanca se elimina el 7 % de los defectos que causa esta estación y mejoraría en un porcentaje similar la productividad en la línea de producción.

Además, Pérez y García (2014) mejoraron la eficiencia en la línea de envasado de *pet* en la Fábrica Nacional de Licores (Fanal) empleando la metodología DMAIC, pues esta línea no estaba operando a su máxima capacidad. El proyecto de mejora coincide con la presente tesis en la utilización de herramientas como Project Chart, análisis de interesados, Stakeholders Analysis y matriz de proveedores-entradas-procesos-salidas-clientes SIPOC. Con las mejoras propuestas se logró pasar de un OEE (eficiencia general de los equipos) de un 47 % a un 80 %. Estas mejoras se enfocaron en automatizaciones de algunos subprocesos, creación de planes de mantenimiento y capacitación al personal.

La investigación realizada por Quant (2022) en la empresa TE medical, sobre el proceso de extrusión, se parece a la presente tesis en que la etapa de la definición del problema utiliza un diagrama Pareto, un SIPOC con el suplidor y cliente planteado de la misma forma que en este trabajo, así como un Project Charter con los mismos ítems. A partir de las herramientas estadísticas, como el gráfico de control y Capacidad de Proceso, se determinó que las no conformidades son por inconvenientes en las dimensiones. La causa raíz fue debido a la variación de la presión durante el proceso de extrusión y se propusieron controles que aseguraron la calidad del proceso y del producto; también se efectuó una inversión en una nueva extrusora con un costo de \$ 253 000, la cual tendría un TIR del 223 %.

La reducción del tiempo en el cambio de molde en la empresa Bridgestone de Costa Rica fue hecha por Astúa (2018). La tesis se asemeja en que utilizó un diagrama de Pareto en la etapa de “medir” del DMAIC, con la que estimó que el Departamento de Programación generó un promedio diario de 432 horas de demoras al Departamento de Vulcanización, siendo esto un 54 % del total de demoras. Con la realización de un Características Críticas de Calidad (CTQ) en el proceso de cambio del molde, se establecieron propuestas operacionales mediante las cuales se pudo reducir el tiempo del cambio del molde en un 60 %. También se planteó la inversión en una prensa Kobelco, con una inversión de 107 millones de colones y un TIR del 100 %.

En cuanto a temas relacionados de servicio, Zárata (2022) llevó a cabo una mejora en la gestión de cobros del grupo ICE. El proyecto de investigación se asemeja a la presente tesis en la utilización de herramientas como el diagrama de Pareto para establecer las causas más significativas dentro del proceso de cobro judicial. Por medio de la metodología DMAIC, se determinó que los atrasos en los cobros fueron los que no se asignaron al Departamento de Gestión de Cobros y como medida el Departamento de TI realizó un programa con el cual se puede identificar la deuda y trasladarse al departamento correcto. Asimismo, se implementaron propuestas para arreglos de pagos con los cuales 40 clientes pagaron la deuda, lo cual implicó una recuperación de 8 millones de colones.

1.4.2 Antecedentes internacionales

Algunos de los antecedentes internacionales son los siguientes:

En la investigación realizada por Herrera (2016), se aplicó la metodología DMAIC para mejorar el proceso de matrícula en la Universidad Autónoma de Perú. Esta tesis se parece al presente trabajo en que utilizó un Pareto para dar priorización a los procesos, así como un Project Charter para declarar el problema, los objetivos y metas. También un Stakeholder para establecer las partes interesadas y un análisis de Capacidad de Proceso. Logró demostrar que se podía aumentar el porcentaje de matrícula por la vía web y un aumento del valor de Sigma inicial de 0,5 a 1,8. Además, se reducirían las colas de espera en el proceso de registro de matrícula presencial.

Por su parte, Díaz (2018) implementó un DMAIC para la solución de reclamos de calidad en un laboratorio farmacéutico. La tesis se asemeja al presente trabajo en la utilización de herramientas como gráfico de control y Capacidad de Proceso en el parámetro de mayor queja, el cual corresponde al torque de la tapa de los envases. Realizado un FMEA en el producto genérico metamizol sódico (poseía la mayor cantidad de reclamos), los resultados evidenciaron un aumento de Cp y Cpk, así como una disminución del riesgo de calidad, el costo por fallas externas y de evaluación.

Adicional, Matta (2022) evaluó reclamos por calidad de productos en la empresa Texcope. El trabajo de investigación se parece al presente en la utilización de un Pareto para constatar que los reclamos se debían en un 99 % al incumplimiento de especificaciones técnicas. Además, al efectuar un análisis de CTQ, un SIPOC al proceso de Compras y Recepción, así como un FMEA, se obtuvieron mejoras por medio de las cuales no se manifestaron reclamos en el primer trimestre del año 2022 y los costos de no calidad se redujeron en un 78 %.

En otro antecedente, Jurado y Naranjo (2019) estudiaron los tiempos de espera en el Departamento de Servicio al Cliente en una empresa del sector *retail*. El trabajo de investigación se asemeja en la utilización de un gráfico de control con el cual se determinó que el 42 % de los servicios no cumplieron con el tiempo máximo permitido de 5 minutos de espera. Asimismo, con un Pareto se identificó que el 87 % del incumplimiento del tiempo de espera era debido al cambio de producto, el canje de puntos y los convenios Gift Card. Una vez identificadas las causas, se plantearon

medidas y, con ello, los tiempos de espera llegaron a 3,25 minutos en promedio y el costo de atención por cliente disminuyó en \$ 777 mensuales.

Por último, Tovar (2014) implementó una aplicación de Six Sigma en una empresa de comercialización de autopartes no originales. La tesis se asemeja en la realización de un SIPOC con el cual se concluyó que las devoluciones de clientes provienen de las compras hechas a los proveedores porque es la entrada para las mercancías que se comercializan y en los lotes de producción se reciben algunas piezas con defecto. Mediante un diagrama de Pareto, se mostró que el 75 % de las devoluciones proceden de la línea EAGLE. Las fallas potenciales se identificaron por medio de FMEA, misma en donde también se establecieron soluciones a dichas fallas. Con lo anterior, se disminuyó en un 35 % la cantidad de piezas devueltas durante el periodo de enero a marzo del 2013, el nivel de calidad sigma pasó de 3,8 a 3,96 y se estimó una disminución en los costos de calidad por \$ 695 384.

1.5 PROYECCIONES

La metodología DMAIC aplicada a la empresa Industrial de Oleaginosas Americanas se enfoca en establecer las variables que intervienen en los reclamos de los clientes, con el fin de reducir los mismos.

Los logros por obtener son los relacionados a las variables que median en los reclamos del cliente. Las justificaciones son:

- Mitigar los inconvenientes que se presentan por proteína baja en los productos de harina de soya y harina integral, además de proponer alternativas para que el proceso sea capaz de no exceder la especificación máxima de proteína, pues esto provoca pérdidas económicas para la empresa.
- Atenuar los sedimentos en el fondo del tanque de almacenamiento que disminuyen la vida útil del aceite.
- Disminuir el incumplimiento del residual de aceite en la cascarilla y, a la vez, estabilizar el proceso para que no se tengan mermas por la pérdida excesiva de almendra en la cascarilla.

- Eliminar olores no característicos en el aceite crudo debido a residuos de solvente que permanecen en el aceite crudo durante el proceso de extracción y a rancidez por descomposición del aceite crudo.
- Aumentar la disponibilidad de la harina fermentada en una planta que actualmente está topada y no puede abastecer el pedido a clientes nuevos. El cambio operacional propuesto pretende aumentar la productividad y, de esta manera, cumplir con entregas del producto.

Los parámetros se analizan con ayuda de herramientas Six Sigma para que las conclusiones obtenidas sean las más objetivas posibles.

Por su parte, las propuestas son cambios en la parte operacional de la planta y en algunos casos se requiere de inversión para cumplir las acciones correctivas.

Si la propuesta contempla inversión, se determina la tasa de retorno para establecer si se justifica o no la adquisición del equipo sugerido.

1.5.1 Alcances

El estudio se realiza en la planta extractora de la empresa Industrial de Oleaginosas Americanas. A esta planta se le conoce como INOLA y actualmente existen tres: INOLA 1 produce harina integral (llamada también *full fat*), INOLA 2 produce harina de soya y aceite crudo, e INOLA 3 produce aceite crudo y harina fermentada.

Industrial de Oleaginosas Americanas posee más procesos productivos que no están en el alcance del estudio, como lo es el refinado del aceite crudo de soya, el refinado de aceite crudo de girasol, el fraccionado del aceite refinado de palma, la planta de lecitina de soya, la planta de envases plásticos y las líneas de envasado.

Las harinas producidas y el aceite crudo de soya son para consumo animal. Al respecto, los clientes son empresas dedicadas a la elaboración de alimentos exclusivamente para animales, como Porcina Americana, Concentrados de Dos Pinos, Cargill, Biomar, El Norte, El Surco e Itacol, Aceipal, ADM, Alimentos El General, ALMOSI, AVICULA GAP, Montes de Oro, Cerdos El Cerro, El Diamante, El Tizate, Inversiones OSO, INZOOSA, Industria Cerdas, Porcina Americana, Proveedora, Quinagro, Ricura, Sagitarios, SM San Carlos, Ternarina, Inversiones Veyvy y Zeledón Maffio.

El beneficio que se pretende conseguir es la reducción de quejas por incumplimientos en la calidad de los productos, también evitar los costos por reproceso y aumentar la satisfacción de los clientes.

1.5.2 Limitaciones

No se visualizaron limitaciones durante el desarrollo del presente estudio.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES

Seguidamente se detallan las herramientas y conceptos ingenieriles que se tomaron en cuenta para el desarrollo del presente estudio.

2.1.1 DMAIC

La metodología DMAIC es una herramienta que se centra en identificar las variables relevantes en una situación difícil y en mapear posibles soluciones (Gestión, 2023).

Se conforma de 5 fases: definir, medir, analizar, mejorar y controlar, y se incluye dentro de las herramientas de la filosofía Six Sigma. Cada etapa está pensada para seguir una secuencia lógica en la búsqueda de una mejora continua en un proceso determinado.

En las distintas etapas del DMAIC, se pueden usar diversas herramientas, por ejemplo, en las siguientes figuras se detallan algunas de estas:

Figura 2.1: Etapas DMAIC



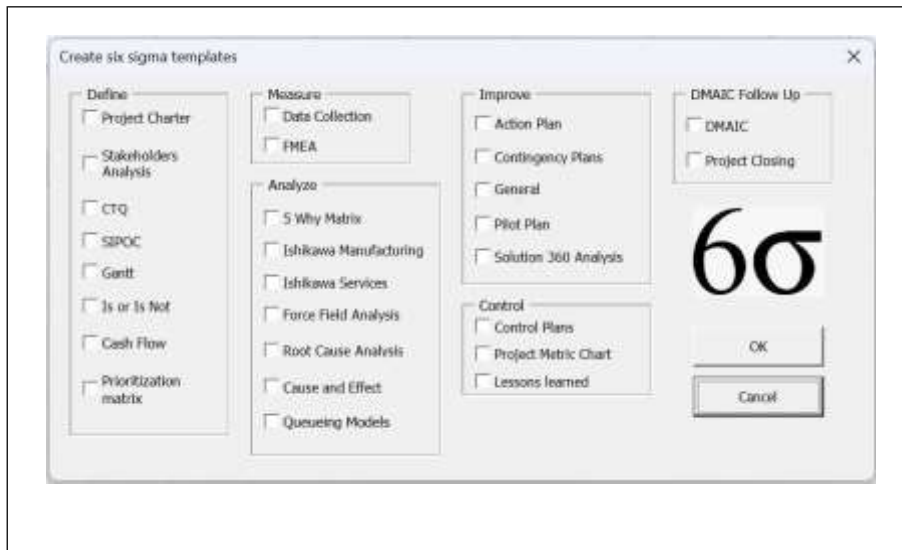
Fuente: Pierce, 2022.

Figura 2.2: Método en DMAIC

Definir	Medir	Analizar	Mejorar	Controlar
Carta del Proyecto	Estadística descriptiva	Inferencia estadística	Diseño de experimentos	Diagrama de control
Costo de Análisis de calidad	Evaluación del sistema de medición	Diagrama Ishikawa	Comprobación de errores	Procedimientos de operación estándar
Diagrama de Pareto	Análisis de capacidad del proceso	Análisis de modos de falla y efectos	Pensamiento esbelto	
Mapeo de Procesos de alto nivel	Benchmarking	Análisis de causa raíz	Ciclo de Deming	

Fuente: Anderson, 2008.

Figura 2.3: Herramientas Six Sigma



Fuente: Stats Solver, 2024.

Esta última es capturada de un *software* estadístico y es un ejemplo de los muchos que existen en el mercado donde ya se poseen plantillas establecidas que ayudan al llenado de la información.

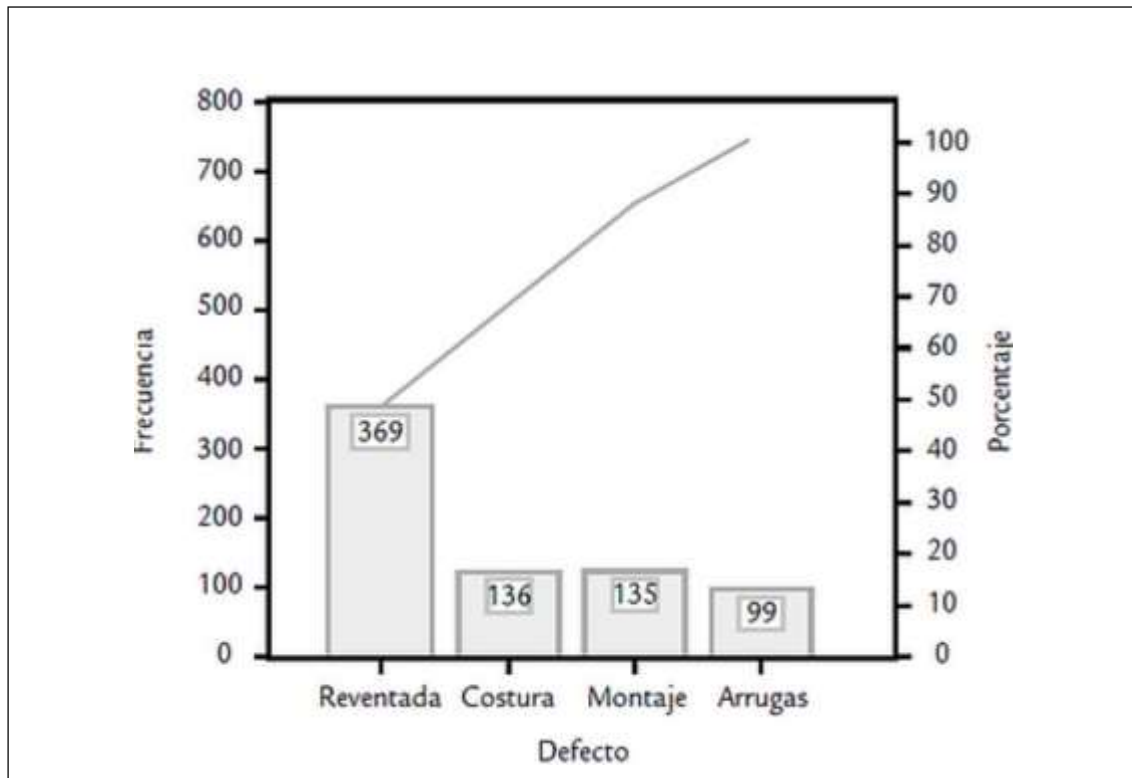
2.1.2 Pareto Chart

De acuerdo con Gutiérrez y De la Vara (2004), el diagrama de Pareto es un gráfico de barras que ayuda a localizar problemas vitales y sus principales causas.

El diagrama se respalda por el principio de Pareto o “Ley 80-20” o “pocos vitales, muchos triviales”; este principio indica que el 20 % (pocos elementos) genera la mayor parte del efecto (80 %), mientras el resto de los elementos propicia un efecto menor total. Así, más del 80 % de la problemática en una organización se debe al 20 % de las

causas que actúan de manera permanente sobre los procesos (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

Figura 2.4: Ejemplo de un diagrama de Pareto



Fuente: Control Estadístico de la Calidad, 2017.

2.1.3 Gráficas de control

Un gráfico de control es una representación gráfica de una característica de calidad, medida o calculada a partir de muestras del producto, en función del número de las muestras o el tiempo. Además, TCM Consultares (2015) señala:

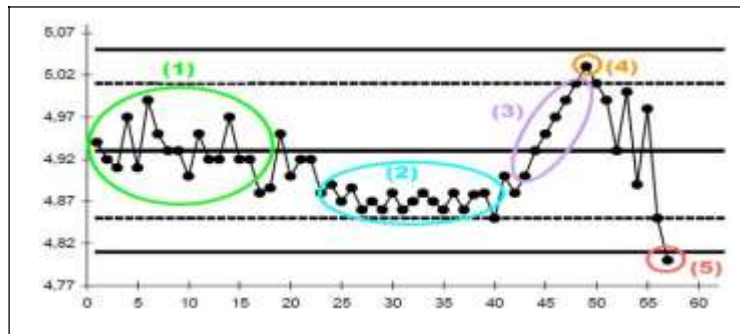
El establecimiento de los límites de control superior e inferior enmarcando la línea central permite establecer un intervalo en el cual se considera que el proceso está bajo control. Cualquier alteración, tendencia o desajuste aparecerá reflejado, permitiendo actuar sobre él anticipadamente, reduciendo los costes de las posibles desviaciones.

De este modo, la gráfica tiene una línea central que representa el valor medio de la característica de calidad correspondiente al estado bajo control (causas no asignables).

En la gráfica se muestran también otras dos líneas horizontales, llamadas límite superior de control (LSC) y límite inferior de control (LIC). Mientras los puntos se encuentren entre los límites de control, se considera que el proceso está bajo control y no es necesario tomar ninguna acción. Sin embargo, un punto que se encuentre fuera de los límites de control se interpreta como una evidencia de que el proceso está fuera de control, por lo tanto, son necesarias acciones correctivas para encontrar y eliminar la causa o causas asignables a este comportamiento. Adicional, se acostumbra a unir los diferentes puntos muestrales en el diagrama de control mediante segmentos rectilíneos con objeto de visualizar mejor la evolución de la secuencia de los puntos a lo largo del tiempo (Montgomery, 1991).

Las reglas del gráfico de control se aprecian en la siguiente figura:

Figura 2.5: Reglas del gráfico de control



Fuente: Montgomery, 1991.

La interpretación de los puntos se indica a continuación:

- **La oscilación aleatoria de objetivo:** La curva de los resultados varía de forma aleatoria a cada lado del valor objetivo entre los límites de control, esto significa que el método analítico está bajo control y los resultados son “fieles”.
- **Una tendencia superior o inferior:** Esto quiere decir que se observan varios puntos consecutivos por encima o por debajo de la media.
- **Una tendencia creciente o decreciente:** Se observan los puntos consecutivos aumentando o disminuyendo de manera constante.
- **Un punto entre los límites de los límites de control y vigilancia:** Se debe tener precaución en el siguiente punto de control.

- **Este último tuvo un límite de control:** Se debe confirmar este resultado y, si es necesario, aplicar las medidas correctoras adecuadas. Esto significa que hay un problema.

El gráfico de control que se utilizó en este proyecto es el X – RM (para individuos y rangos móviles), el cual es el único gráfico de control que puede incluir límites de especificación.

2.1.4 Box Plot Chart

“El diagrama de caja y bigotes (Box and Whisker Plot en inglés) es un tipo de gráfico que muestra un resumen de una gran cantidad de datos en cinco medidas descriptivas, además de intuir su morfología y simetría” (Montes, 2018, párr. 1).

Este diagrama ayuda a visualizar si la distribución de una variable es asimétrica o se aleja de la distribución normal. También facilita el comparar distribuciones entre grupos, aunque es necesario usar técnicas estadísticas para establecer la significación de las diferencias percibidas.

2.1.5 Capacidad de Proceso

“Evaluar la habilidad o Capacidad de Proceso (Cp) consiste en conocer la amplitud de la variación natural de este para una característica de calidad dada, lo cual permitirá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria” (Gutiérrez, 2009, p. 100). Al respecto, la definición matemática de Cp es la siguiente:

$$Cp = \frac{\text{Variación tolerancia}}{\text{Variación real}} = \frac{ES - EI}{6\sigma}$$

Con ES como la “especificación superior” y EI como la “especificación inferior”.

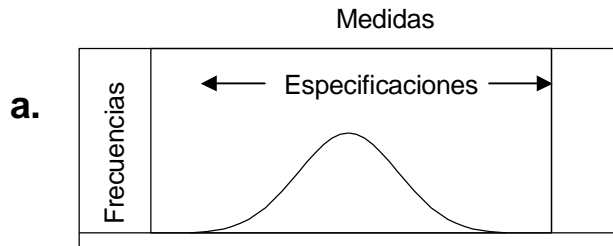
Para tomar en cuenta el centrado del proceso, se tiene el índice de Capacidad Real de Proceso (Cpk). Su cálculo se efectúa con la siguiente fórmula:

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

Los valores del Cpk, con su representación gráfica hecha por Wortman (2010), son:

Figura 2.6: Gráfico Cpk>1

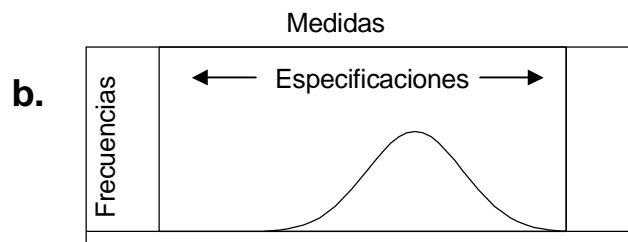
Promedio aceptable
Desviación estándar
aceptable. $C_{pk} > 1$



Fuente: Wortman, 2010.

Figura 2.7: Gráfico Cpk=1

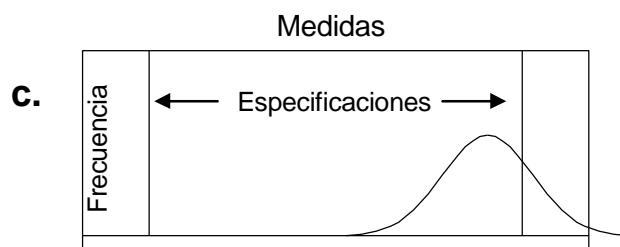
Promedio aún aceptable
Desviación estándar
aceptable. $C_{pk} = 1$



Fuente: Wortman, 2010.

Figura 2.8: Gráfico Cpk=Cpu<1

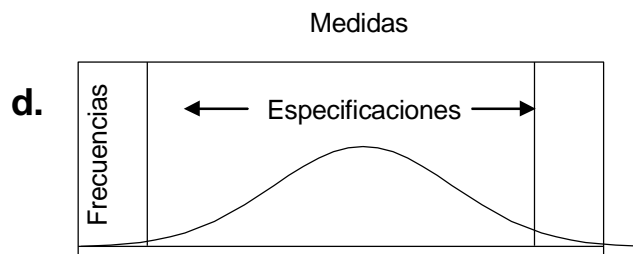
Promedio muy alto
Desviación estándar
potencialmente aceptable
 $C_{pk} = C_{pu} < 1$



Fuente: Wortman, 2010.

Figura 2.9: Gráfico Cpk y Cp<1

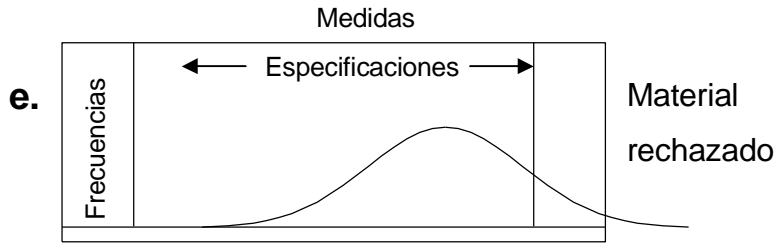
Promedio aceptable
Desviación estándar
muy grande
 C_{pu} y $C_p < 1$



Fuente: Wortman, 2010.

Figura 2.10: Gráfico $C_{pk}=C_{pu}<1$

Promedio muy alto
Desviación estándar muy grande
 $C_{pk} = C_{pu} < 1$



Fuente: Wortman, 2010.

Si el proceso en estado de control estadístico presenta un C_{pk} inferior a 1, significa que la decisión debe tomarse por la alta gerencia porque las causas de este comportamiento pueden estar en algunas de estas alternativas:

- Especificaciones mal establecidas.
- El procedimiento de operación no es adecuado para obtener los requerimientos exigidos.
- La tecnología utilizada no es apropiada para el efecto esperado.

Son decisiones que involucran la reorientación de procesos, las inversiones económicas fuertes o el acuerdo con los clientes de modificar las especificaciones.

Ahora bien, si la capacidad de proceso se presenta entre los valores 1,0 y 1,33, significa que la dispersión del proceso puede ser igual a la dispersión esperada (especificación), pero puede haber puntos por fuera de los límites de control. Si este es el caso, se debe verificar el centrado del proceso, recalcular los límites de control, continuar el control por medio de los gráficos y proponer mejoras en el proceso para lograr mejores metas de calidad y aumento de la productividad.

Por último, si el proceso posee un C_{pk} igual o mayor de 1,33, el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones establecidas por el cliente.

2.1.6 Regression Test

En estadística, la regresión o ajustes lineales es un modelo matemático usado para aproximar la relación de dependencia entre una variable dependiente con variables independientes y un término aleatorio. La regresión lineal es de dos tipos, la simple y la múltiple.

El modelo de regresión lineal simple solo está conformado por dos variables estadísticas y considera una única variable independiente o explicativa con una variable dependiente o respuesta, asumiendo que la relación entre ambas es lineal.

El modelo de regresión lineal múltiple establece la relación entre dos o más variables por medio de ecuaciones.

Las características de este modelo son las siguientes:

- La regresión lineal permite predecir el comportamiento de una variable (dependiente o predicha) a partir de otra (independiente o predictora).
- Tiene presunciones como la linealidad de la relación, la normalidad, la aleatoriedad de la muestra y homogeneidad de las varianzas.
- La regresión no prueba causalidad.
- Un artículo que usa regresión debe mencionar o mostrar que se analizó la “nube de puntos” y que se hizo un análisis de los residuales.
- La línea de regresión no debe extenderse más allá de los datos obtenidos (Dagnino, 2014, p. 143).

2.1.7 Mood’s Median Test

Odiase y Ogbonmwan (2011) mencionan que “la prueba de la mediana de Mood se usa para comparar las medianas de dos muestras para averiguar si son diferentes”. También se utiliza para estimar si la mediana de dos muestras independientes cualesquiera son igual. Por lo tanto, la prueba de hipótesis no paramétrica mediana de Mood es una alternativa al ANOVA unidireccional.

Esta prueba funciona cuando la variable dependiente es continua o discreta, y las variables independientes son discretas con dos o más atributos. Es más útil para tamaños de muestra más pequeños, cuando los datos contienen pocos valores atípicos, porque esta prueba solo se centra en el valor mediano en lugar de los rangos.

2.1.8 Levene Test

La prueba de Levene se emplea con el propósito de verificar que las varianzas sean iguales para todas las muestras cuando sus datos provienen de una distribución no

normal. La hipótesis nula es que las varianzas son iguales y la hipótesis alternativa es que las varianzas no son iguales.

La prueba de Levene ofrece una alternativa más robusta, esto significa que “será menos probable que rechace una verdadera hipótesis de igualdad de varianzas solo porque las distribuciones de las poblaciones muestreadas no son normales” (Correa, Iral y Rojas, 2006, p. 59).

2.1.9 Friedman Test

Esta prueba se utiliza para establecer si existe o no una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de tres o más grupos en los que aparecen los mismos sujetos en cada grupo. De igual manera, “La prueba examina los rangos de los datos generados en cada periodo de tiempo para determinar si las variables comparten la misma distribución continua de su origen” (Berlanga y Rubidio, 2012, p. 104).

Se basa en los rangos y, por lo tanto, requiere que las muestras igualadas estén por lo menos en escala ordinal. Adicional, a “Esta prueba se le considera como un análisis de varianza no paramétrico para un diseño experimental en bloques” (Badi, Guillen, Araiza, Cerna, Valenzuela y Landeros, 2012, p. 148).

2.1.10 ANOVA

El análisis de varianza (ANOVA) es un método estadístico para probar la hipótesis nula (H_0) de que tres o más medias poblacionales son iguales frente a la hipótesis alternativa (H_a) de que al menos una de las medias es diferente.

Existe el ANOVA de una vía y de dos vías. Para Dagnino (2014), la ANOVA de una vía o factor es cuando se tiene una sola variable independiente para clasificar a los sujetos y dos o más niveles (que definen los grupos) de esta.

Por su parte, según Amat (2016), la ANOVA de dos vías sirve para estudiar la relación entre una variable dependiente cuantitativa y dos variables independientes cualitativas (factores), cada una con varios niveles. El ANOVA de dos vías permite estudiar cómo influyen por sí solos cada uno de los factores sobre la variable dependiente (modelo aditivo), así como la influencia de las combinaciones que se pueden dar entre ellas (modelo con interacción).

Una covariable es cualquier variable continua, que usualmente no se controla durante la recogida de datos. Incluyendo las covariables, el modelo posibilita incluir y adaptar las variables de entrada que se midieron, pero no se aleatorizaron o controlaron en el experimento.

2.1.11 FMEA

El FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) se define como “un procedimiento para la detección de riesgos a partir del análisis de fallas potenciales, lo que permite la implementación de acciones que eviten que las fallas se presenten y se mejore la calidad” (Betancourt, 2020, párr. 5).

Para efectuar un FMEA, se debe responder a cada una de las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es el paso del proceso?
2. ¿De qué maneras puede fallar dicho paso del proceso?
3. ¿Cuál es el impacto de las variables de los pasos clave cuando hay un fallo?
4. ¿Qué causa que el paso clave falle?
5. ¿Cuáles son los controles existentes y procedimientos preventivos?
6. ¿Cuáles son las acciones para reducir la ocurrencia o mejorar la detección?
7. ¿Quién es el responsable de las acciones recomendadas?

El análisis FMEA puede ser funcional (centrado en la funcionalidad total del sistema), de procesos (centrado en el análisis de los procesos de producción y montaje) o realizado aún en la fase de diseño/proyecto (principalmente para la gestión de riesgos).

Se recomienda llevar a cabo un nuevo análisis siempre que se hace un nuevo producto o haya cambios en el funcionamiento de la empresa (cambios en la producción, nuevos reglamentos, entre otros) y cuando el *feedback* de los clientes informe de un problema recurrente.

Con los controles existentes se debe estimar el riesgo, según los criterios dados en las tablas que más adelante se muestran. Luego, una vez implementadas las acciones, se vuelve a medir el riesgo con los mismos criterios.

La severidad, la ocurrencia y la detección de la falla se determinan en escalas; al respecto, los criterios y la escala utilizados pueden variar. Estas escalas normalmente

se encuentran de 1 a 5 o también de 1 a 10. La comúnmente usada es la indicada por Toral y Burgos (2013), a saber, la escala de 1 a 10, mostrada en las siguientes tablas:

Tabla 2.1: Severidad

Efecto	Rango	Criterio
No	1	Sin efecto.
Muy poco	2	Cliente no molesto. Poco efecto en el desempeño del artículo o sistema.
Poco	3	Cliente algo molesto. Poco efecto en el desempeño del artículo o sistema.
Menor	4	El cliente se siente algo insatisfecho. Efecto moderado en el desempeño del artículo o sistema.
Moderado	5	El cliente se siente algo insatisfecho. Efecto moderado en el desempeño del artículo o sistema.
Significativo	6	El cliente se siente algo inconforme. El desempeño del artículo se ve afectado, pero es operable y está a salvo.
Mayor	7	El cliente está insatisfecho. El desempeño del artículo se ve seriamente afectado, pero es funcional y está a salvo.
Extremo	8	El cliente está muy insatisfecho. Artículo inoperable, pero a salvo. Sistema inoperable.
Serio	9	Efecto de peligro potencial. Capaz de discontinuar el uso sin perder tiempo, dependiendo de la falla. Se cumple con el reglamento del gobierno en materia de riesgo.
Peligro	10	Efecto peligroso. Seguridad relacionada-falla repentina. Incumplimiento con el reglamento del gobierno.

Fuente: Toral y Burgos, 2013.

Tabla 2.2: Ocurrencia

Ocurrencia	Rango	Criterio	Probabilidad de falla
Remota	1	Falla improbable. No existen fallas asociadas con este proceso o con un producto casi idéntico.	<1 en 1 500 000
Muy poca	2	Solo fallas aisladas asociadas con este proceso o con un proceso casi idéntico.	1 en 150 000
Poca	3	Fallas aisladas asociadas con procesos similares.	1 en 30 000
Moderada	4	Este proceso o uno similar ha tenido fallas ocasionales.	1 en 4 500
	5		1 en 800
	6		1 en 150
Alta	7	Este proceso o uno similar ha fallado a menudo.	1 en 50
	8		1 en 15
Muy alta	9	La falla es casi inevitable.	1 en 6
	10		>1 en 3

Fuente: Toral y Burgos, 2013.

Tabla 2.3: Detección

Probabilidad	Rango	Criterio	Detección falla
Alta	1	El defecto es una característica funcionalmente obvia.	99,99 %
Medianamente alta	2 -5	Es muy probable detectar la falla. El defecto es una característica obvia.	99,70 %
Baja	6- 8	El defecto es una característica fácilmente identificable.	98 %
Muy baja	9	No es fácil detectar la falla por métodos usuales o pruebas manuales. El defecto es una característica oculta o intermitente.	90 %
Improbable	10	La característica no se puede checar fácilmente en el proceso.	Menor que 90 %

Fuente: Toral y Burgos, 2013.

La prioridad se obtiene de multiplicar la severidad, ocurrencia y detección.

Tabla 2.4: Prioridad

500 – 1000	Alto riesgo de falla
125 – 499	Riesgo de falla medio
1 – 124	Riesgo de falla bajo

Fuente: Toral y Burgos, 2013.

2.1.12 Project Charter

“El Project Charter o acta de constitución del proyecto es una presentación de alto nivel de los objetivos, el alcance y las responsabilidades del proyecto para obtener la aprobación de las partes interesadas clave al inicio del proyecto” (Martins, 2024, párr. 3).

Contempla los siguientes aspectos: caso concreto del negocio, declaración del problema/ oportunidad, meta, enfoque/limitaciones/supuestos y un plan preliminar de ejecución.

2.1.13 Root Causes Analysis

De acuerdo con Tableau (2024):

El análisis causa raíz (Root Cause Analysis, RCA) es el proceso de descubrir las causas raíz de problemas para poder identificar soluciones adecuadas. El RCA entiende que es mucho más efectivo prevenir y resolver de manera sistemática los problemas subyacentes en lugar de simplemente tratar los síntomas *ad hoc* y buscar soluciones temporales (p. 2).

Asimismo, contempla el planteamiento del problema, posible causa raíz, propuesta de solución, acción tomada y responsable de la acción.

2.1.14 Action Plan

En el Action Plan, se describe con precisión cómo planear y lograr los objetivos. “Es la mejor alternativa para abordar los objetivos de manera sistemática y mantener al equipo centrado en la meta” (Raeburn, 2022).

En este plan se indica qué acciones tomar, cómo se llevarán a cabo, cuándo iniciarán y finalizarán, dónde se desarrollarán, quién es el responsable y la justificación de la implementación.

2.1.15 Control Plan

Respecto a esta herramienta, SPC Group (2014) establece:

Control Plan es una descripción escrita y resumida de los sistemas usados para minimizar la variación del producto y el proceso en cada etapa de este y que incluye las inspecciones de recibo, las áreas de material en proceso y material en salida (párr. 3).

El plan está constituido por nombre del proceso/descripción del paso, equipo de operación, producto, proceso, especificación/tolerancia, técnica de medición, tamaño de la muestra, frecuencia del análisis, método de control y plan de reacción.

2.1.16 Prioritization Matrix

“Una matriz de prioridades ordena las tareas o los proyectos según un conjunto definido de variables, como la urgencia y el esfuerzo necesario. Con esta herramienta, los miembros del equipo pueden determinar rápidamente de qué ocuparse primero” (Asana, 2022).

Esta matriz posee los siguientes criterios para su confección:

- Esfuerzo: inversión, requerimiento de carga de trabajo, tiempo para la implementación y complejidad.
- Impacto: ahorro, satisfacción al cliente, importancia estratégica, mejora de la calidad, satisfacción de los empleados y aprovechamiento de los beneficios más allá del proyecto.
- Riesgo: probabilidad de éxito e impacto al fracaso.

Estos criterios son necesarios para dar una correcta priorización a un proyecto, es decir, no son suficientes solo los criterios comunes como es el costo del proyecto y el ahorro que se pueda obtener.

2.1.17 PESTEL

El análisis PESTEL es un método descriptivo usado para conocer el contexto de una empresa. Busca profundizar en los elementos que rodean a un negocio, por ejemplo: aspectos económicos, políticos, ambientales, socioculturales, psicológicos o legales.

Quiroa (2020) fundamenta y agrega a lo expuesto:

[...] es una herramienta utilizada en el análisis estratégico que define el entorno de una empresa, por medio del análisis de un conjunto de factores externos.

La razón de la aplicación del análisis PESTEL es poder hacer una descripción del contexto o ambiente donde opera una empresa. Para ello se consideran aspectos relevantes del entorno externo que resultan vitales para el desempeño de la organización. El análisis del entorno externo es fundamental para cualquier empresa, puesto que le facilita la toma de decisiones importantes. Especialmente cuando se trata de desarrollar estrategias de corto, mediano y largo plazo (párr. 1-2).

2.1.18 Stakeholder

En cuanto a esta herramienta, Cárdenas (2023) describe:

Stakeholder es un término compuesto por dos palabras en inglés: *stake*, que significa ‘apuesta’, y *holder*, que puede ser traducido como ‘poseedor’. Una traducción directa del término al español haría referencia a aquellas personas que han apostado en favor (o en contra) de una persona u organización y que, por tanto, están interesadas en su desempeño.

Es común que a los *stakeholders* se les conozca, por ello, como “grupos de interés” o como “partes involucradas” en un negocio (párr. 5-6).

Los grupos de interés normalmente son: cliente, empleados, propietario, proveedores, sociedad, comunidad, gobierno, acreedores, distribuidores y competidores. El análisis involucra una matriz donde se incorpora el nivel de influencia e interés; luego, se establece el cuadrante compuesto por: monitorear, mantener satisfechos, involucrar y mantener informados.

2.1.19 CTQ

El CTQ (Critical-to-Quality) corresponde a “las características clave medibles de un producto o proceso cuyos estándares de rendimiento o límites de especificación deben cumplirse para satisfacer al cliente” (Rath & Strong Management Consultants, 2022, p. 18).

El *software* Stats Solver establece que un árbol CTQ está formado por tres componentes: necesidad, que se refiere a la necesidad del cliente que se está satisfaciendo con el producto o servicio; impulsores, los cuales son los elementos o características que consideran los clientes al juzgar la calidad de su producto o servicio y los requisitos, que son los requisitos del proceso o producto necesarios para hacer que esos impulsores cumplan con los estándares de calidad del cliente.

2.1.20 SIPOC

De acuerdo con Bahena y Reyes (2016), “Es una herramienta de mapeo del proceso de alto nivel. SIPOC corresponde a las siglas de *Supplier* (proveedor), *Input* (entrada), *Process* (proceso), *Output* (salida) y *Customer* (cliente)” (p. 50).

Los proveedores se encargan de proporcionar los productos, las entradas son los recursos o insumos requeridos en el proceso, el proceso se refiere a cada actividad que se encarga de transformar esos recursos o insumos en el resultado final, la salida es el producto o servicio que termina siendo el resultado de un proceso y los clientes son las partes interesadas, las cuales indican qué productos o servicios requieren.

2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

La Industrial de Oleaginosas Americanas es una empresa líder en la producción y comercialización de aceites vegetales, lecitina de soya y harina como insumo para nutrición animal; por otra parte, está consciente de su papel en el desarrollo económico y social de Costa Rica.

La empresa, ubicada en Puntarenas (una ciudad con vista al océano Pacífico), ofrece un ambiente de trabajo seguro que brinda confianza a sus trabajadores y a la comunidad en donde opera, además se caracteriza por su capacidad de crecer en forma saludable y sostenible.

La innovación y la mejora continua de los procesos, la pasión y la capacidad de adaptarse de inmediato a los cambios del mercado, los clientes como prioridad principal, la calidad y la búsqueda de la excelencia, son los valores que han permitido a la empresa obtener la licencia de la marca nacional “Esencial Costa Rica”, un signo distintivo de la empresa y sus productos en el país centroamericano y en el resto del mundo.

2.2.1 Visión/misión

La visión y misión de la empresa se muestran seguidamente.

Visión

“Ser líder regional de productos de alto valor agregado” (Sistemas de Gestión de Industrial de Oleaginosas Americanas, 2024).

Misión

“Proveer harina de soya para nutrición animal, aceites comestibles y otros productos competitivos de alta calidad para satisfacer a nuestros clientes, brindando servicio de excelencia y compromiso de producción segura y sostenible” (Sistemas de Gestión de Industrial de Oleaginosas Americanas, 2024).

2.2.2 Antecedentes históricos

Industrial de Oleaginosas Americanas es una empresa radicada en Costa Rica que inició sus operaciones en el año 1986, siendo su principal actividad la producción y distribución de productos derivados del frijol de soya, harina, lecitina y aceites.

El objetivo general de Industrial de Oleaginosas Americanas es crecer en forma sana y sostenible aportando beneficios a sus accionistas, a sus empleados y a la sociedad como un todo. Las operaciones de la empresa se realizan de manera directa y por medio de sus distribuidores en la región que comprende desde México hasta Panamá.

Uno de los principios fundamentales que rigen el funcionamiento de la empresa es la utilización de tecnología de punta. Con ello, Industrial de Oleaginosas Americanas se asegura de ofrecer productos de excelente calidad que satisfagan las necesidades y gustos de sus clientes. La constante inversión en nuevos equipos, la capacitación de sus colaboradores, el uso de las mejores materias primas y los estrictos controles de calidad distinguen a las plantas de producción.

Industrial de Oleaginosas Americanas ha sido reconocida por la Asociación Americana de Soya como una de las plantas procesadoras de frijol de soya más eficientes y modernas en toda América Latina. Asimismo, el Departamento de Control de Calidad recibió desde el año 2001 el *status* de Químico Aprobado, el cual es extendido por la A.O.C.S (American Oil Chemists Society), que garantiza la certificación a nivel internacional del laboratorio de control de calidad.

Por otra parte, atendiendo los requerimientos del mercado, Industrial de Oleaginosas Americanas invierte en su propia planta de plásticos, lo que permite la diversificación de presentaciones e incrementa su competitividad. Además de ser una fuente de empleo y producción para la sociedad costarricense, también contribuye a mejorar la calidad de

vida de los habitantes del país al fomentar el deporte, la educación y la salud, para mantener el equilibrio que posibilita una vida sana.

Cuenta con equipos de alta tecnología que le permiten tener la capacidad de procesar 1250 toneladas métricas (TM) de frijol de soya al día. Entre los principales productos está el aceite de soya para consumo doméstico, industrial e institucional; adicional, produce lecitina de soya y harina de soya para consumo animal.

El proceso productivo inicia con la importación de frijol de soya de Estados Unidos de Norteamérica y continúa con la preparación del frijol para ser finalmente procesado y refinado.

2.2.3 Ubicación geográfica

La planta de producción de Industrial de Oleaginosas Americanas se ubica en Barranca, Puntarenas, cerca de la costa pacífica de Costa Rica en Centroamérica.

Figura 2.11: Mapa satelital de Industrial de Oleaginosas Americanas



Fuente: Google Maps, 2024.

2.2.4 Estructura organizacional

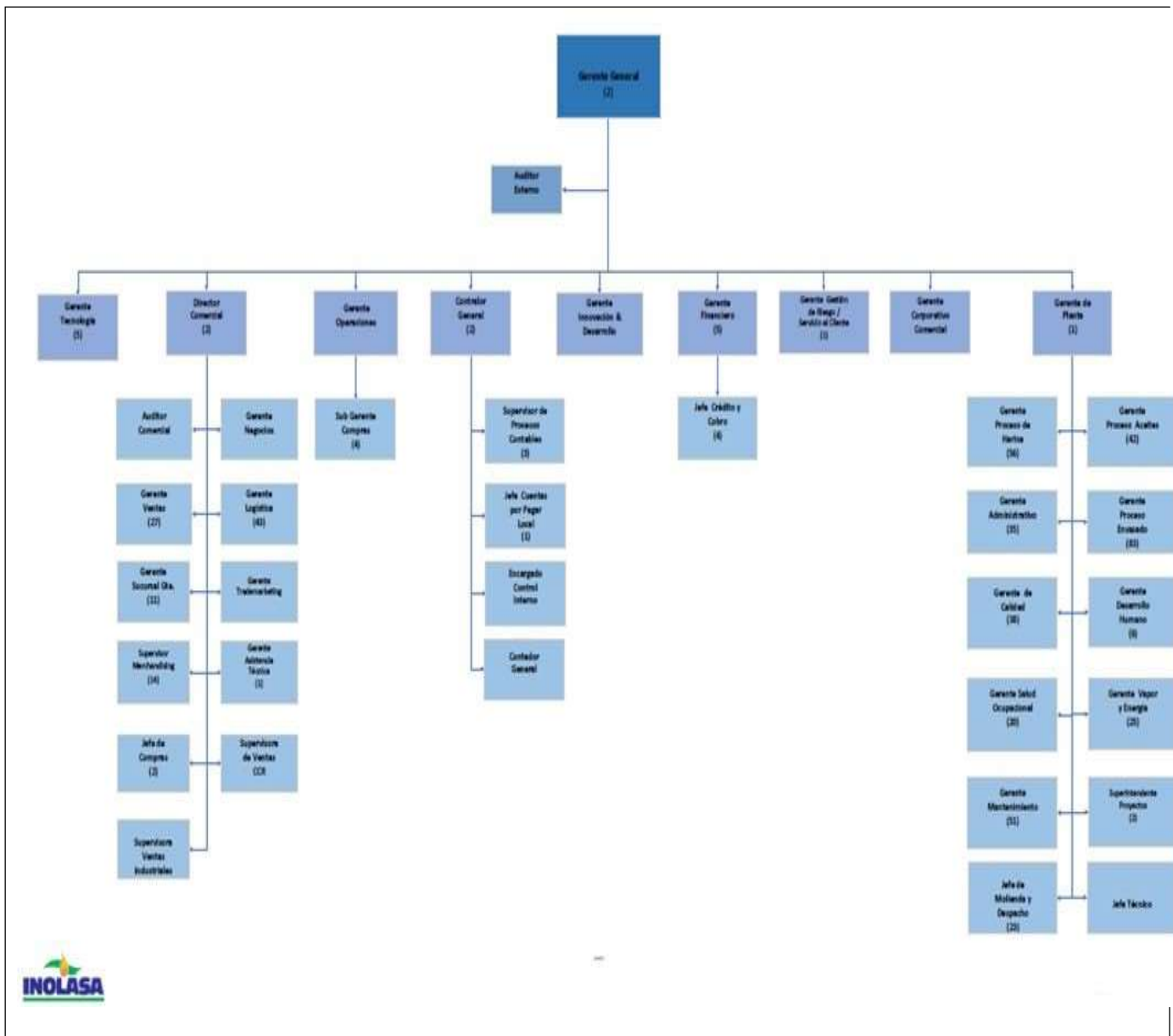
La empresa Industrial de Oleaginosas Americanas pertenece al Grupo Numar, que agrupa a más de 20 empresas, desde México hasta Colombia, teniendo un total de más de diez mil empleados.

Los principales negocios que conforman el grupo Numar son: ASD, AGRIALIM, COTO 54, Planta NARANJO, Laboratorio de Suelos y Foliares, UNIMAR, planta Numar,

Comercial INOLASA, Panamá Boston, GIA, PalmaTica, Café 1820, Palmo Sur y AGROSA.

El organigrama específico de Industrial de Oleaginosas Americanas se muestra a continuación:

Figura 2.12: Organigrama de Industrial de Oleaginosas Americanas



Fuente: RR. HH de Industrial de Oleaginosas Americanas, 2024.

2.2.5 Cantidad de empleados

La cantidad de empleados por área se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.5: Cantidad de empleados por área de Industrial de Oleaginosas Americanas

Puesto o área	Cantidad
Tecnología de la Información	5
División Comercial	105
División Operaciones	5
Contraloría General	8
Departamento Innovación y Desarrollo	1
División Financiera	9
Servicio al Cliente	1
División Comercial Corporativo	1
Planta	383
Total	518

Fuente: RR. HH de Industrial de Oleaginosas Americanas, 2024.

2.2.6 Tipos de productos

La empresa cuenta con dos tipos de productos principales, a saber:

- Aceites: aceite de soya, aceite de oliva extra virgen, aceite de girasol, oleína de palma y PMF.
- Harinas: harina integral (*full fat*), harina de soya, harina fermentada y cascarilla.

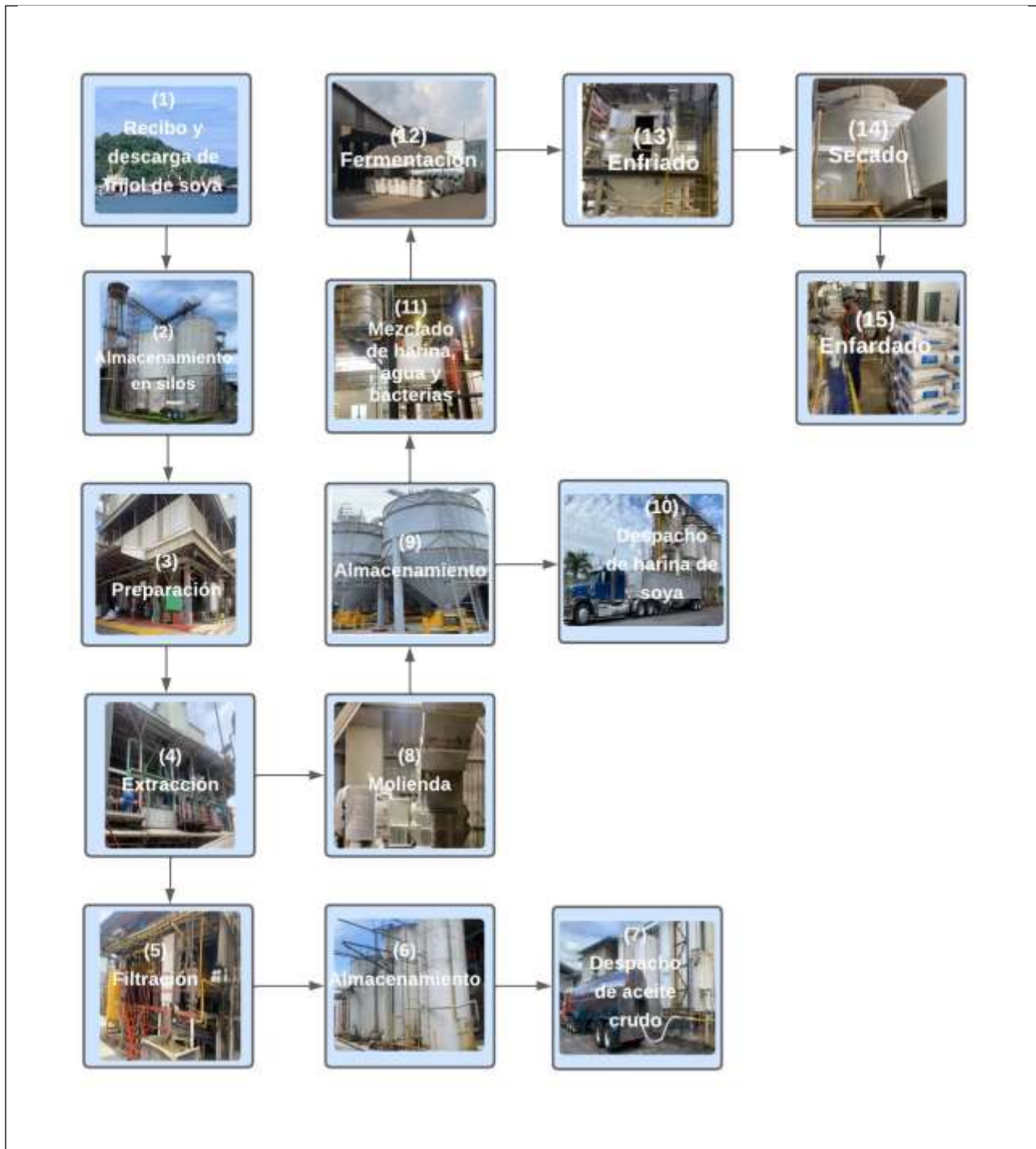
Las marcas más conocidas comercialmente son Capullo y Clover.

2.2.7 Mercado de exportación

Los aceites se exportan a los países de Panamá, Nicaragua y Guatemala. Por otro lado, las harinas se comercializan a Nicaragua y Ecuador.

2.2.8 Descripción general del proceso productivo

Figura 2.13: Diagrama de flujo de Industrial de Oleaginosas Americanas



Fuente: Gestión de Calidad de Industrial de Oleaginosas Americanas, 2024.

Seguidamente, se describe el proceso general de la planta extractora de aceite para los tipos de productos: harina de soya, harina integral, harina fermentada y aceite crudo de soya.

- **Recibo y descarga del frijol de soya**

El frijol de soya es transportado en barco desde su origen (actualmente Estados Unidos y Brasil) y se deposita en fosas de descargas.

- **Almacenamiento en silos**

El frijol en la planta es almacenado en silos ventilados, con un tiempo de permanencia del frijol en estos silos que oscila entre 15 días a 22 días. La temperatura promedio es 35 °C y la humedad del frijol almacenado es menor del 12 %.

- **Preparación**

El frijol de soya es calentado entre 60 °C a 65 °C con ayuda de un secador vertical que utiliza aire caliente alimentado a contracorriente, con el objetivo de contraer la almendra de la cascarilla. Luego, es llevado a un *tempering*, donde el frijol se almacena por aproximadamente 24 horas para lograr la máxima separación de la cáscara del resto del frijol y, así, facilitar la separación posterior de la cáscara.

Se continúa con un tamizado que cuenta con imanes para la separación de materiales ferrosos. Cuando entra al proceso, el frijol de soya es sometido a una limpieza (zaranda Buhler) para eliminar materiales extraños como palos, vainas, hojas, polvo y cualquier otro tipo de materia extraña que vaya en detrimento de la calidad del producto y de la integridad del proceso. En esta etapa, se generan finos (polvillo), los cuales son trasladados por un tornillo sin fin a una saca, para después reintegrarse en el proceso de la harina integral.

La limpieza se realiza en una zaranda con un tamiz que permite separar las partículas más grandes que el frijol y las partículas más finas que el frijol. A la salida de la zaranda, se encuentra un dispositivo con succión de aire, regulado de tal manera que se succionan las cáscaras sueltas y un mínimo porcentaje de frijol (quebrado); estas cáscaras se envían a almacenamiento para su posterior molienda.

El frijol ingresa a un quebrador con 2 rodillos en la parte inferior y 2 en la parte superior, que busca fraccionarlo en partículas más pequeñas (6 a 8 partes). Este equipo cuenta con imanes internos para separar materiales ferrosos que puedan causar daños en la integridad de las masas.

La almendra del frijol quebrado con cascarilla suelta pasa por un sistema de succión donde se separa la cascarilla del flujo de la almendra. La cascarilla pasa por un sistema de separación donde pequeñas partículas de almendra se separan para recuperarlas, de tal forma que la almendra separada en este sistema se reincorpora luego al flujo de almendra del proceso. A la salida del descascarado, se reintegran las partículas de almendra que se recuperaron en el proceso de cascarilla de soya.

El frijol quebrado, limpio y sin cáscara se acondiciona durante 30 minutos a 40 minutos a una temperatura entre 65 °C y 70 °C y a una humedad de 9,5 % a 10,5 % para facilitar el laminado. Esta operación se efectúa en una cocina de tipo vertical con chaquetas de calentamiento con vapor indirecto en los fondos de los pisos, sistema de agitación y control de nivel por piso.

Se continúa con el proceso de laminado que se realiza en un equipo con dos rodillos horizontales lisos giratorios, por medio de los cuales el material pasa y forma hojuelas del espesor requerido. Este equipo cuenta, al ingreso de este, con imanes internos que separan los materiales ferrosos. El operador ejecuta una inspección visual o con pie de rey del espesor de la hojuela.

Las hojuelas pasan a través de un cilindro a presión con secciones, que las comprime y se agrega vapor directo. El material sale por un plato con orificios (formando los *collets* para la extrusión) y alcanza una temperatura mínima de 100 °C a la salida de este. Los *collets* se secan sobre una banda por medio de aire caliente. Durante este proceso, el *collet* se enfría a una temperatura entre 45 °C a 60 °C por la pérdida de humedad.

- **Extracción**

La extracción del aceite se lleva a cabo con hexano grado alimentario, a una temperatura entre 55 °C a 58 °C por un tiempo de 3 horas. La cama de material es transportada por una banda a baja velocidad y en contracorriente se dan baños de miscela de mayor a menor concentración de aceite, lo cual permite la extracción de

este. Se van a obtener dos productos: la harina de soya y la miscela, la cual está en una relación aproximada de aceite crudo de soya (30 %) y hexano (70 %).

La harina de soya posee hexano que se elimina mediante calentamiento indirecto por vapor en cada uno de los fondos de los pisos del desolventizador-tostador (ítem 70) y vapor directo que entra en el último piso de la etapa de desolventización. En esta etapa, se desolventiza el hexano residual en la harina y se tuesta o cocina la misma a temperaturas de 100 °C. La harina que sale del desolventizador-tostador pasa hacia el ítem 13S, donde se realiza un enfriamiento final del producto con aire.

En el caso de la harina integral, las etapas de extracción y desolventización no aplican porque a la harina no se le extrae el aceite y no se utiliza el disolvente hexano, por consiguiente, no se requiere desolventar (evaporar) el mismo. Esta harina sí ingresa al ítem 70 (llamado también DT), pero para el proceso de tostado de la harina por medio de la inyección de vapor vivo en la masa de harina, llegando a una temperatura de 100 °C.

La harina se envía a pulmones donde es almacenada temporalmente antes de ingresar al molino. Se reintegra la cascarilla de soya molida al proceso cuando se requiera efectuar ajustes en la proteína del producto terminado.

- **Molienda**

La harina ingresa al molino por medio de martillos y un tamiz que reduce la granulometría del producto, y se cuenta con imanes para la retención de partículas metálicas.

- **Almacenamiento en tolvas**

La harina de soya es almacenada en tolvas. Se tiene una serie de martillos hidráulicos para desprender la harina adherida.

- **Despacho de la harina de soya**

Se carga el producto de la tolva al transporte correspondiente en carretas graneleras o trailers.

- **Almacenamiento en tanques**

El aceite crudo desgomado es almacenado en tanques. Al respecto, este aceite puede ser almacenado por períodos largos en tanques grandes que hayan sido previamente enfriados a temperatura ambiente y tengan limitada exposición al aire y un bajo contenido de humedad.

Los antioxidantes naturales (ej. tocoferoles, trienoles, fosfátidos) presentes en el aceite de soya proveen al aceite de protección significativa a la oxidación.

El aceite es filtrado para eliminar materia extraña, principalmente hierro, y se adiciona alrededor de 50 ppm de antioxidante para prevenir la oxidación y acidez de este.

- **Despacho del aceite crudo de soya**

El despacho de este aceite es en cisternas con capacidad para 20 toneladas de aceite. Este producto es utilizado como suplemento para la nutrición animal.

- **Mezclador de harina, agua y bacterias**

En la harina de 48 % de proteína proveniente de los extractores, es adicionada agua hasta llevarla a un 45 % de humedad. Luego, se le agregan dos tipos de microorganismos encargados de realizar la fermentación: *Aspergillus* y *Bacillus*.

- **Fermentación**

La mezcla de harina, agua y microorganismos es puesta en sacas Big Bag. El tiempo de duración en dichas sacas es de 72 horas. Durante la fermentación, el pH inicial de 6,2 baja a 4,5 aproximadamente y la temperatura se eleva de ámbito 34 °C a 48 °C aproximadamente.

El proceso de fermentación reduce el contenido de azúcar. Como se genera CO₂, aumenta de forma relativa el contenido de proteína e incrementa la fibra.

- **Enfriado**

La harina de soya fermentada se enfría de 50 °C a 5 °C sobre la temperatura ambiente, utilizando para esto un enfriador de lecho fluidizado con aire a contraflujo. Se requiere un proceso de enfriamiento antes del enfarde debido a que si no se hace este proceso,

se generan condensaciones indeseables en el producto que pueden provocar problemas de crecimiento de microorganismos y compactación. También se ha detectado que la harina experimenta la reacción de Maillard dentro del empaque, cambiando su color, lo que origina problemas graves de calidad.

- **Secado**

El secado de la harina se realiza por medio de un secador fluidizado. La humedad de la harina fermentada llega aproximadamente a 12 %. El principio de funcionamiento del secador de lecho fluidizado comienza cuando se introduce aire caliente a alta presión mediante un lecho perforado de partículas sólidas húmedas. La harina se coloca en el recipiente de secado, que luego se coloca dentro del secador de lecho fluido. Los sólidos húmedos se levantan desde la parte inferior y se suspenden en una corriente de aire (estado fluidizado). En este estado, los sólidos se comportan como un fluido hirviente que fluye a comisión.

El caudal y la temperatura de funcionamiento se ajustan por medio del panel de control. La transferencia de calor se lleva a cabo por contacto directo entre el sólido húmedo y el aire caliente. Asimismo, el líquido vaporizado es expulsado por el escape hacia afuera.

La humedad de la harina no debe ser superior al 15 %, porque favorece la proliferación de insectos y provoca apelmazamiento en la misma, ocasionando la aparición de bloques en los sacos.

- **Enfardado y despacho**

La harina proveniente del secado se empaca y se etiqueta en sacos o sacas por medio de una enfardadora, los mismos son colocados sobre una tarima.

La harina fermentada es trasladada de Big Bag a sacos de 25 kg. Las ventas externas al país se efectúan en contenedores y las ventas internas en tráiler. Esta harina es suplemento para la nutrición animal y se diferencia de la harina de soya regular por su mayor contenido de proteína (la harina de soya regular es de 47 % y la harina de soya fermentada es de 50 %), además de tener el aminoácido de lisina. La harina de soya

fermentada es un sustituto principalmente de la harina de pescado y suero de leche, con la ventaja de representar un menor costo.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Ante la definición del problema que se presenta y cada objetivo planteado, fue necesario definir el tipo de investigación por realizar en la empresa Industrial de Oleaginosas Americanas. Así, este proyecto tiene características de una investigación cuantitativa y cualitativa; por lo tanto, posee un enfoque mixto.

Al respecto, se menciona que una investigación mixta es “aquella que une los métodos cuantitativos y cualitativos, con el fin de disponer de las ventajas de ambos y minimizar sus inconvenientes” (Arias, 2020, p. 1).

El enfoque mixto se desarrolló mediante un análisis de datos, criterios técnicos del personal, sugerencias, entrevistas, diseño de experimentos, entre otros. Inicialmente, se hizo una investigación de los aspectos cualitativos del problema planteado y, luego, con los datos obtenidos, se efectuó un análisis para obtener una solución al problema, ya que con una investigación mixta se logran mejores resultados.

3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

En la investigación se implementó la metodología ingenieril DMAIC. Para cada uno de los apartados, se contó con las siguientes herramientas Six Sigma:

- **Definir**

El contexto de la empresa se expuso con el PESTEL, la influencia e interés de las partes interesadas se determinó con el Stakeholder, los elementos claves del proceso se identificaron con un SIPOC y por medio del CTQ se obtuvo la relación calidad/cliente.

Adicional, mediante la implementación de un histograma, se ilustró el número de reclamos por año, para observar si existía una tendencia ascendente de las quejas.

Se realizó un diagrama de Pareto para conocer los productos de los cuales los clientes hacen mayores reclamos. Asimismo, se elaboró otro diagrama de Pareto para determinar los motivos donde los clientes tienen mayores quejas.

Por último, con el Project Charter, se establecieron los miembros que participaron en la recolección de datos, análisis de la información, identificación de la causa raíz del problema y posibles soluciones; además de la declaración del problema, indicador y metas; así como el plan preliminar de ejecución de cada una de las etapas del DMAIC.

- **Medir**

Se utilizó la base de datos del laboratorio para extraer la información perteneciente a los parámetros que intervienen en las quejas de los clientes. Dicha información se analizó con las herramientas estadísticas como gráfico de control I-MR y Capacidad de Proceso.

- **Analizar**

Se empleó la herramienta FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) para describir los pasos claves del proceso que intervienen en los reclamos de los clientes, la falla potencial del proceso, el efecto de cada una de las fallas, las causas potenciales y los controles que actualmente implementa el sistema. Por su parte, la causa raíz se determinó por medio de un Root Causes Analysis.

- **Mejorar**

Los parámetros para mejorar se establecieron por medio de un diseño de experimentos (DOE), mediante el uso específico de herramientas como ANOVA (One Factor, Data Include a Covariate), ANOVA (Two Factor Crossed w/ Replication), Regression Test y Friedman Test (Two Way ANOVA); asimismo, la herramienta Six Sigma utilizada es el Action Plan. Cabe señalar que algunas mejoras podían requerir de inversión, en cuyo caso se calculó la tasa de retorno.

- **Controlar**

En la fase final de controlar, se empleó el Control Plan donde se establecieron las características del producto, las especificaciones, la técnica de medición, el tamaño de la muestra, la frecuencia de análisis, el método de control y el plan de acción. Se recalculó el FMEA según los resultados nuevos por la implementación de las acciones correctivas.

También, se hizo una Prioritization Matriz para determinar las inversiones que más conviene implementar.

3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información proporcionan datos de utilidad para la investigación. En cuanto a esto, existen dos tipos de fuentes de información, a saber:

Las fuentes primarias constituyen el objetivo de la investigación bibliográfica o revisión de la literatura y proporcionan datos de primera mano. Ejemplos de éstas (sic) son: libros, antologías, artículos de publicaciones periódicas, monografías, tesis y disertaciones, documentos oficiales, reportes de asociaciones, trabajos presentados en conferencias o seminarios, artículos periodísticos, testimonios de expertos, películas, documentales, videocintas, foros y páginas de Internet, etcétera (Hernández, Fernández y Baptista, 2004, p. 55).

Por su parte, las fuentes secundarias corresponden a “todo aquel origen de información (estadísticas, revistas, libros, bases de datos, informes o estudios) que es ajeno al estudio o investigación de mercados concreta que se está realizando” (Gutiérrez, 2019, párr. 1).

Ahora bien, para los insumos de este proyecto, se trabajó con las siguientes fuentes primarias: entrevistas, documentación del sistema de gestión FSSC 22000 e ISO 17025, observaciones personales del proceso, recorridos, técnica grupal (reuniones) con los colaboradores de los departamentos de Producción y Calidad, consultas de fichas técnicas de los productos, tesis académicas y libros. Mientras tanto, como fuentes secundarias, se emplearon: datos históricos registrados en la base de datos del laboratorio y diccionarios para el entendimiento de términos técnicos.

3.3.1 Sujetos de información

La población de este proyecto se conformó por los trabajadores de Industrial de Oleaginosas Americanas, específicamente por los colaboradores de la planta de extracción.

Como se aprecia en la figura 3.1, en el Project Charter, se estableció el caso concreto de negocio, los miembros del equipo, la declaración del problema, la meta, el enfoque y un plan preliminar de ejecución en las etapas de definir, medir, analizar, implementar y controlar.

Figura 3.1: Plan de un proyecto de Industrial de Oleaginosas Americanas

PROJECT CHARTER				
NOMBRE:	Carmen Yesenia Alvarado Jiménez			
EMPRESA:	Industrial de Oleaginosas Americanas			
DEPARTAMENTO:	Calidad			
PROCESO ANALIZADO:	Plantas extractoras			
CASO CONCRETO DE NEGOCIOS		MIEMBROS DEL EQUIPO	NOMBRE	DEPARTAMENTO / ÁREA
Como empresa, el desempeño de las plantas extractoras están provocando que el indicador de quejas no se cumpla debido al incremento de reclamos de clientes. Esto hace que se incurra en costos relacionados a la calidad e inconvenientes al cliente, lo que repercute también en la estrategia de la organización relacionado a satisfacer las necesidades y expectativas de las partes interesadas.		Master Black Belt		
		Black Belt		
		Dueño de Proceso		
		Green Belts	Keilyn Salas Villalobos	Gestión de sistemas
		Miembros del Equipo	Domingo Vasquez Vasquez	Gerente de Plantas Extractoras
Nelson Rodríguez Murillo	Gerente de Calidad			
LÍDER DE PROYECTO				
Carmen Yesenia Alvarado Jiménez				
DECLARACIÓN DEL PROBLEMA / OPORTUNIDAD		OTROS INVOLUCRADOS EN EL PROYECTO		
En los últimos tres años se ha incrementado los reclamos de clientes, ocasionado costos por calidad reflejadas en notas de crédito y reprocesos, además de una posible insatisfacción de los clientes. Se propone mejorar el desempeño del proceso de las plantas de extractoras para disminuir el nivel de quejas actual.		Josue Nuñez Moya (Jefe de Laboratorio)		
META		ENFOQUE / LIMITACIONES / SUPUESTOS		
Reducir en un 50 % los reclamos de los clientes		El enfoque del proyecto es en las plantas extractoras de la empresa Industrial de Oleaginosas Americanas. Los productos son los elaborados por dichas plantas, los cual son aceite crudo de soya, harinas de soya, harina integral, harina fermentada y cascarilla de soya. Las variables analizar serán las que estén relacionadas con los reclamos de los clientes.		
PLAN PRELIMINAR DE EJECUCIÓN			PREPARADO POR:	
Etapa	Fecha Propuesta	Fecha Real	FECHA: 30/12/2023	FIRMA: Carmen Yesenia Alvarado J.
1. DEFINIR	5/7/2023	10/7/2023		
2. MEDIR	17/7/2023	21/7/2023		
3. ANALIZAR	25/7/2023	31/7/2023		
4. IMPLEMENTAR	2/8/2023	9/8/2023		
5. CONTROLAR	11/12/2023	18/12/2023		

Fuente: Autor, 2024.

3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS

El estudio de las variables se realizó en un marco conceptual, operacional e instrumental. El significado teórico de estas lo indica la definición conceptual, las actividades para medir las variables son las definiciones operacionales y los ítems del instrumento que guardan relación con la variable son lo conocido como definición instrumental (Hernández et al., 2004).

Los objetivos específicos con las variables asociadas, así como la definición conceptual, operacional e instrumental, se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 3.1: Variables de la investigación por objetivo específico

Objetivo específico	Variable	Definición conceptual	Operacionalización	Instrumentalización
• Identificar las causas que generan la mayor cantidad de reclamos que afectan significativamente el indicador de quejas.	Tipos de productos y motivos por los cuales se generan reclamos a los productos.	Son las variables que se presentan en el proceso, estas generan las inconformidades del producto.	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de proteína en las harinas. • Residual de aceite en la cascarilla. • Olor en el aceite crudo. • Color en las harinas. • Contenido de hierro en el aceite crudo. • Contenido de hexano en el aceite crudo. • Disponibilidad de harina fermentada. • Contenido de humedad en las harinas. • Cantidad de producto derramado en aceite refinado. • Sedimentos en el aceite crudo. • Estado de la envoltura primaria. 	<ul style="list-style-type: none"> • Histograma. • Pareto Chart. • Project Charter. • PESTEL. • Stakeholder. • SIPOC. • CTQ. • FMEA. • Root Causes Analysis.
Proponer mejoras en los procesos para eliminar las causas que provocan los inconvenientes de calidad de los productos.	Planta extractoras (INOLA 1, INOLA 2, INOLA 3).	Área del proceso donde se lleva a cabo la extracción del aceite crudo de soya, además de la producción de harinas y cascarilla.	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de proteína en las harinas. • Residual de aceite en la cascarilla. • Olor en el aceite crudo. • Contenido de hierro en el aceite crudo. • Contenido de hexano en el aceite crudo. • Disponibilidad de harina fermentada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Action Plan. • Control Plan.
Evaluar el impacto financiero de las inversiones planteadas que logren cumplir los requerimientos de calidad establecidos.	Viabilidad de las inversiones.	Estudio que permite analizar la viabilidad de las inversiones desde un punto de vista financiero.	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de retorno de la inversión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prioritization Matrix.

Fuente: Autor, 2024.

3.5 INSTRUMENTOS

Los instrumentos de investigación “son los recursos que el investigador puede utilizar para abordar problemas y fenómenos y extraer información de ellos” (Zubirán, De la Lama y De la Lama, 2021, p.189).

Para realizar este trabajo de investigación, se emplearon herramientas estadísticas (Pareto, ANOVA, Regresión, Friedman, Mood’s Test, Levene, SPC Charts) y el DMAIC (PESTEL, Stakeholder, SIPOC, CTQ, Project Charter, FMEA, Root Cause Analysis, Action Plan, Control Plan y Prioritization Matriz), que permitieron recopilar toda la información necesaria para plantear adecuadamente el problema de estudio.

En la recolección de la información respecto a los conceptos y las variables fijados en los objetivos de este trabajo de investigación, se eligió utilizar una serie de instrumentos que se describen a continuación.

3.5.1 Entrevista

El instrumento se empleó en conversaciones planificadas, donde se plantearon preguntas para obtener la información requerida. En el apartado de los anexos, se incluyeron de forma detallada las preguntas realizadas a los colaboradores en la entrevista.

3.5.2 Documentación de los sistemas de gestión

La empresa cuenta en la actualidad con dos sistemas implementados, uno de inocuidad alimentaria y otro de gestión de laboratorios. Debido a lo anterior, se contó con acceso a los reclamos de los clientes que han surgido históricamente, a los análisis de causa y a las acciones implementadas. También la organización tiene establecida una serie de parámetros para el control de procesos y productos terminados con la cual se validó que las quejas planteadas por los clientes procedían realmente.

3.5.3 Observaciones

La observación se acompañó de apuntes sobre información importante o frecuente que pudiera determinar un patrón, así como de notas que ayudaron para futuras conclusiones del proceso. Se establecieron las condiciones de manera tal que los

hechos observables se llevaran a cabo de la forma más natural posible y sin influencia del investigador u otros factores de intervención y, con esto, se obtuviera información de tipo cuantitativa y cualitativa.

3.5.4 Recorridos

Este instrumento consistió en hacer recorridos por las plantas extractoras (INOLA 1, INOLA 2, INOLA 3) donde está ocurriendo el problema que se analizó en el trabajo de investigación. Con ello, se determinaron las áreas específicas de producción en las cuales se tienen las variables que están impactando los reclamos de los productos.

3.5.5 Técnica grupal (reuniones)

Por medio de esta técnica, se efectuaron reuniones con el personal involucrado y, así, se obtuvieron diferentes opiniones, con el fin de llegar a una o varias conclusiones sobre el problema y su posible solución.

3.5.6 Fichas técnicas

En dicha técnica se establecieron los parámetros de los productos, sus especificaciones, las metodologías de los ensayos, las condiciones para su uso y las condiciones de almacenamiento. Esta información se requirió para determinar si el cliente utiliza de forma adecuada los productos en los cuales se pueden presentar los inconvenientes.

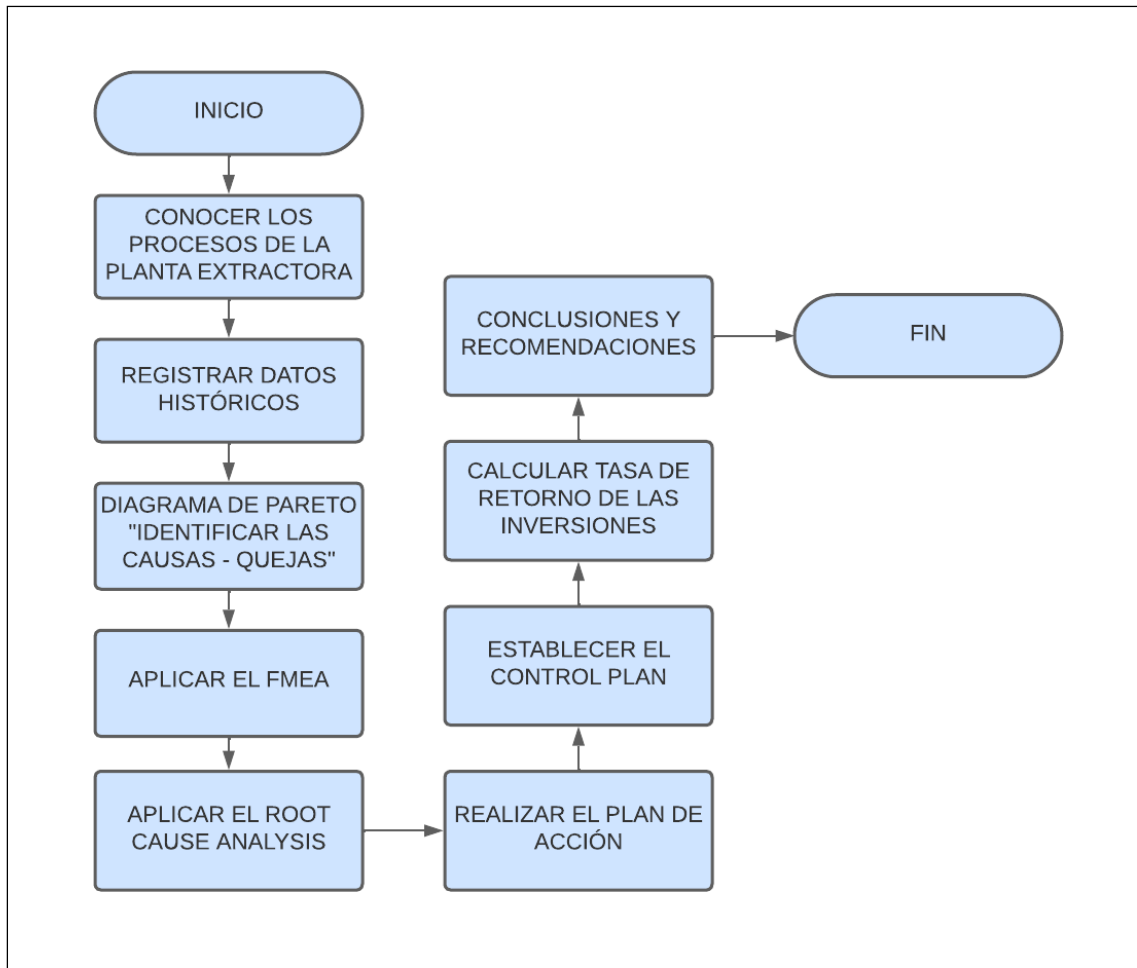
3.5.7 Registros históricos

Concierne a toda la información disponible en la base de datos del laboratorio que contribuyó para dar sustento a la situación actual de la organización y, de este modo, orientó los esfuerzos para analizar la problemática abarcada en el trabajo de investigación.

3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

A continuación, se presenta el diagrama de flujo correspondiente para el proceso del análisis de datos:

Figura 3.2: Diagrama de flujo del proceso para la recolección y análisis de datos



Fuente: Autor, 2024.

Inicialmente, se llevó a cabo un recorrido por toda la planta de la empresa Industrial Oleaginosa Americana, poniendo especial énfasis en las tres plantas extractoras (INOLA 1, INOLA 2, INOLA 3). Con los registros históricos, se conoció el comportamiento del problema en estudio, a saber, las quejas de los clientes. Mediante el PESTEL, se logró determinar el contexto de la empresa en cuanto a lo político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal. A partir de la implementación del diagrama de Pareto, se identificaron las principales causas que originan los reclamos de los clientes. Los valores de influencia e interés se establecieron por medio de *stakeholders*. Asimismo, los elementos claves del proceso se expusieron mediante el SIPOC.

Por su parte, con el CTQ se conoció la relación calidad/expectativa del cliente. Aplicando el FMEA a los procesos de extracción, se midió la severidad del inconveniente del producto, la ocurrencia que ocasiona la falla y la facilidad con que puede detectarse la causa que origina el producto no conforme. Además, al emplear un análisis de causa raíz, se determinaron cuáles son las variables principales por las que se generan las causas de los inconvenientes del cliente. En el Action Plan, se detalló la información del qué, cómo, quién, cuándo, dónde y por qué de la implementación de las acciones que mitigan o eliminan la causa raíz de los problemas.

Adicional, con el Control Plan se estableció el método de control y las acciones en caso de que el producto se encuentre fuera de especificación. Si la propuesta requería de inversión para tener el proceso en control, se calculó la tasa de retorno y la priorización de la inversión se estableció con la Prioritization Matriz. Por último, se formularon las conclusiones y recomendaciones finales, según correspondiera.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de resultados se llevó a cabo según la metodología DMAIC; por consiguiente, este capítulo expone las fases “definir”, “medir” y “analizar”.

4.1 DEFINIR

En la etapa “definir” se implementó una serie de herramientas para conocer más sobre la empresa y su proceso e identificar los parámetros críticos que interfieren en las quejas de los clientes. La siguiente figura corresponde a la herramienta PESTEL, la cual estableció el contexto al que está sometida la empresa:

Figura 4.1: Análisis del entorno PESTEL de Industrial Oleaginosa Americana



Fuente: Autor, 2024.

La explicación de cada uno de los factores se muestra seguidamente:

Político

- Política arancelaria: con los tratados de libre comercio, se liberaron los aranceles de los aceites vegetales y, por lo tanto, la empresa compite actualmente con varias marcas a precios competitivos.
- Política energética de Estados Unidos: el Gobierno del presidente Biden solicitó un crecimiento importante en la producción de aceite de soya destinado a la producción de biodiésel, para mitigar la dependencia de Estados Unidos con los combustibles fósiles. El gerente de harinas (D. Vásquez, comunicación personal, diciembre 2023)

informó que en ese país aumentaría la capacidad de molienda en 18,75 millones de toneladas en los próximos cuatro años y la empresa DESMET está creando 18 plantas nuevas, lo cual implica que existirá un excedente de harina de soya en el mercado internacional y una posible baja en el precio de este producto.

Económico

- Tasa de cambio: Industrial de Oleaginosas Americana vende los productos en el mercado interno en moneda de colones y compra la materia prima en dólares (frijol de soya); en cuanto a esto, el tipo de cambio está afectando el poder adquisitivo de la empresa.
- Aumento de precio en la materia prima: el frijol de soya de Estados Unidos ha incrementado significativamente de precio y ha obligado a la empresa a buscar otros países productores de frijol para poder tener precios competitivos en los productos de harinas y aceites. En la actualidad se está importando frijol de Argentina y valorando la importación de otros países de América del Sur.

Social

- Cambio en la tendencia de consumo: existe un interés en la sociedad por buscar aceites que no contengan grasas trans, esto significa la sustitución de aceites que poseen compuestos monoinsaturados, como el aceite de soya, por aceites saturados como la oleína de palma.
- Religión: hay una tendencia a consumir aceites *kosher* (alimentos aptos para judíos), lo anterior implica que, por política de trazabilidad, para mantener la certificación *kosher* en el aceite de soya, todos los insumos tienen que ser también *kosher* y esto podría incurrir en un costo adicional por la adquisición de esos insumos.

Tecnológico

- ERP: Grupo Numar, al cual pertenece la empresa Industrial Oleaginosa Americana, está incorporando el ERP Oracle a sus más de 20 negocios en América. Esto ha

provocado un cambio en su forma de gestionar la parte financiera, compras, calidad, manufactura, entre otros, y un costo asociado a la implementación del *software*.

- Automatización: la empresa apenas está iniciando el proceso de automatización y, con ello, ha bajado costos, estabilizado procesos y mejorado la calidad. Sin embargo, la industria aceitera a nivel mundial es muy grande (solo en los países de América del Sur existen plantas con capacidad de producción 30 veces más que Industrial Oleaginosa Americana y automatizadas), esto significa que Industrial Oleaginosa Americana debe realizar un esfuerzo muy grande en automatizar todas las áreas de la planta para ser competitiva.

Ecológico

- Sostenibilidad: la certificación de Palma Sustentable (RSPO), adquirida por requerimiento de la cadena de valor, afecta a Industrial Oleaginosa Americana, debido a que produce oleína de palma (comúnmente conocida como aceite de palma) y, por consiguiente, debe cumplir los requerimientos de esta certificación. Existe otra certificación que posee la empresa como carbono neutral, lo cual es un plus para ingresar a mercados internacionales.
- Eliminación de materiales tóxicos: son contaminantes que se componen de hidrocarburos saturados e hidrocarburos aromáticos que pueden presentarse en los aceites, esto se origina en los fertilizantes que se utilizan y residuos de combustibles de las máquinas que ingresan al campo de cultivo. Existen dos indicadores que miden esta problemática, a saber, MOSH en el primer caso y MOAH en el segundo caso. Actualmente el mercado europeo posee límites máximos para estos dos parámetros y es necesario cumplirlos con la finalidad de poder exportar el aceite.
- Energía renovable: la biomasa que emplean las calderas de Industrial Oleaginosa Americana (pinzote, mesocarpio y cascarilla de palma) proviene del grupo PalmaTica, perteneciente al grupo NUMAR. Esta posee un valor simbólico para la empresa y, con ello, le da una ventaja competitiva en los costos relacionados al valor y energía eléctrica.
- Reciclaje: los envases utilizados en el aceite se reciclan en un país de Centroamérica. La empresa posee un centro de acopio donde produce las pacas

comprimidas de los desechos para luego pagar por el reciclaje. Esto implica un costo para la empresa por este programa.

Legal

- Licencias y certificaciones: la empresa tiene que contar con los permisos de SETENA para la parte de nutrición animal y del Ministerio de Salud para los productos de consumo humano. Asimismo, debe contar con la regencia industrial, calderas, plantas de tratamiento, precursores, laboratorio y agrónoma. Los colegios involucrados son: agrónomos, químicos e ingenieros químicos.
- Normas de etiquetado: las normas aplicables son CODEX Alimentarios y Reglamento Técnico Centroamericano.

Posteriormente, se trabajó con la herramienta Stakeholder, donde se tomaron en cuenta los valores de influencia e interés de estos. A continuación, se detallan los resultados obtenidos:

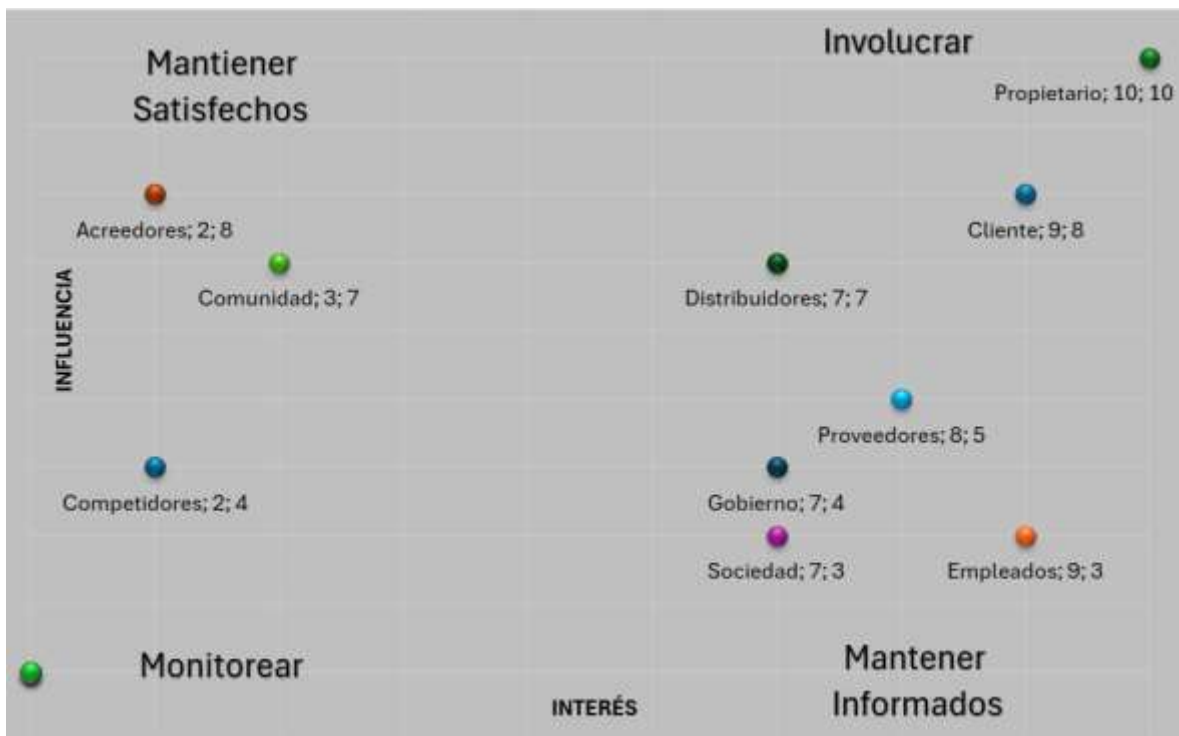
Tabla 4.1: Partes interesadas de Industrial Oleaginosa Americana

STAKEHOLDER ANALYSIS			
ID	Nombre del grupo de interés	Influencia	Interés
1	Cliente	8	9
2	Empleados	3	9
3	Propietario	10	10
4	Proveedores	5	8
5	Sociedad	3	7
6	Comunidad	7	3
7	Gobierno	4	7
8	Acreedores	8	2
9	Distribuidores	7	7
10	Competidores	4	2

Fuente: Autor, 2024.

En forma de cuadrante, los resultados de la tabla anterior se presentan en la siguiente figura:

Figura 4.2: Partes interesadas de Industrial Oleaginosa Americana



Fuente: Autor, 2024.

Los conceptos involucrados en la figura anterior se explican a continuación:

- Involucrar: grupo focal principal. Principales personas involucradas en el proceso de decisión. Tener comunicación constante con este grupo. Sus necesidades e intereses deben estar definidos.
- Mantener satisfechos: comunicación periódica. Áreas de interés conocidas y acordadas.
- Mantener informados: mantenerse informado e involucrado en áreas de bajo riesgo.
- Monitorear: mantenerse informado por medio de comunicaciones generales.
- Nivel de influencia: 1 no hay influencia y 10 alta influencia.
- Nivel de interés: 1 no hay interés y 10 alto interés.

Luego, con el SIPOC, se identificaron y visualizaron los elementos clave de un proceso de las plantas extractoras:

Tabla 4.2: SIPOC de Industrial Oleaginosa Americana

SIPOC					
1. COMPAÑÍA:	Industrial de Oleaginosas Americanas				
2. PROYECTO:	Reducción del nivel de reclamos				
3. DEPARTAMENTO:	Producción				
4. PROCESO:	Extracción de aceite crudo y producción de harinas				
PROVEEDORES	ENTRADAS	PROCESO	SALIDAS	CLIENTES	REQUISITOS
INCLUIR TODOS LOS PROVEEDORES CORRESPONDIENTES A TODAS LAS ENTRADAS	INCLUIR TODAS LAS ENTRADAS, REQUISITOS Y MÉTRICAS, SI LA INFORMACIÓN ESTÁ DISPONIBLE	UTILICE EL ESPACIO A CONTINUACIÓN PARA DESCRIBIR SU PROCESO	INCLUIR TODAS LAS SALIDAS DEL PROCESO	INCLUIR A TODOS LOS CLIENTES, INTERNOS Y EXTERNOS, QUE RECIBEN SU PRODUCTO O SERVICIO	INCLUIR A LOS REQUISITOS DE CADA CLIENTE
Proveedor de frijol de soya	Frijol de soya	Secado de frijol y reposo en Tempering	Frijol seco	Quebrador	Frijol con humedad (9,5-10,5) % y la cascarilla no adherida a la almendra
Quebrador	Frijol seco	Quebrado del frijol seco	Frijol quebrado	Multiaspirador	Frijol quebrado en 6 a 8 partes
Mutiaspirador	Frijol quebrado	Separación de la almendra de la cascarilla	Almendra	Laminador	Almendra libre de cascarilla y la cascarilla con un de residual de aceite de (1,0-1,5) %
Laminador	Almendra	Laminado de la almendra para producir hojuelas, previo a un calentamiento de la almendra en la cocina	Hojuelas	Extrusora	Hojuela delgada con un máx. 10,5% de humedad
Extrusora	Hojuelas	Hojuelas se comprimen en un plato de orificios de la Extrusora para formar los collets	Collets	Extractor	Collets porosos para dar área superficial a la extracción con solvente
Extractor	Collets	Se agrega hexano al collets para producir harina y miscela	Harina cruda	Desolventizador -tostador	Harina con hexano y cruda (sin tostar)
Desolventizador -tostador	Harina cruda	La harina se desolventiza y se tuesta	Harina gruesa	Molienda	Harina con un máximo de 100ppm de hexano y gruesa (sin moler)
Molienda	Harina gruesa	Harina gruesa se muele para obtener la harina de soya tal cual se vende.	Harina de soya	Fermentación	Harina con proteína de (46,5 a 47,5)% proteína y granulometría de (600-800) µm
Fermentación	Harina de soya	Harina de soya con mezcla de agua y Aspergillus / Bacillus en un periodo de fermentación de 72h.	Harina fermentada	Bodega/despacho	Harina de (49,5 a 50,5) % de proteína.
Extractor	Collets	Se agrega hexano al collets para producir harina y miscela	Miscela	Stripper	Miscela conformada por 70 % de hexano y 30% de aceite crudo
Stripper	Miscela	Separación del hexano (desolventización) con el aceite crudo	Aceite crudo con partículas	Filtración	Aceite con un máximo de 23% de hexano
Filtración	Aceite crudo con partículas	Eliminación de partículas de fibra de cascarilla y metales	Aceite crudo	Tanque de almacenamiento/ despacho	Aceite crudo con un máximo de 4 ppm de hierro

Fuente: Autor, 2024.

En este SIPOC se observa que el proceso inicia con el proveedor de la materia prima, el cual puede ser estadounidense o brasileño.

El ingreso corresponde al frijol de soya, al cual se le realiza un proceso de secado y temperizado hasta llegar a valores ubicados entre 9,5 % a 10,5 %. El frijol es quebrado en 8 a 10 partes y después aspirado para eliminar la cascarilla a un nivel que las pérdidas de almendra no superen al 1,5 % como residual de aceite.

El frijol quebrado y separado de su cascarilla es enviado a un laminador para crear las hojuelas, que es la forma requerida para que el proceso de extruido sea eficaz.

Luego de la extracción, el material sale en forma de *collets*, que se caracterizan por ser sumamente porosos. Esta porosidad aumenta el área superficial para que el proceso de extracción del aceite con hexano sea eficiente.

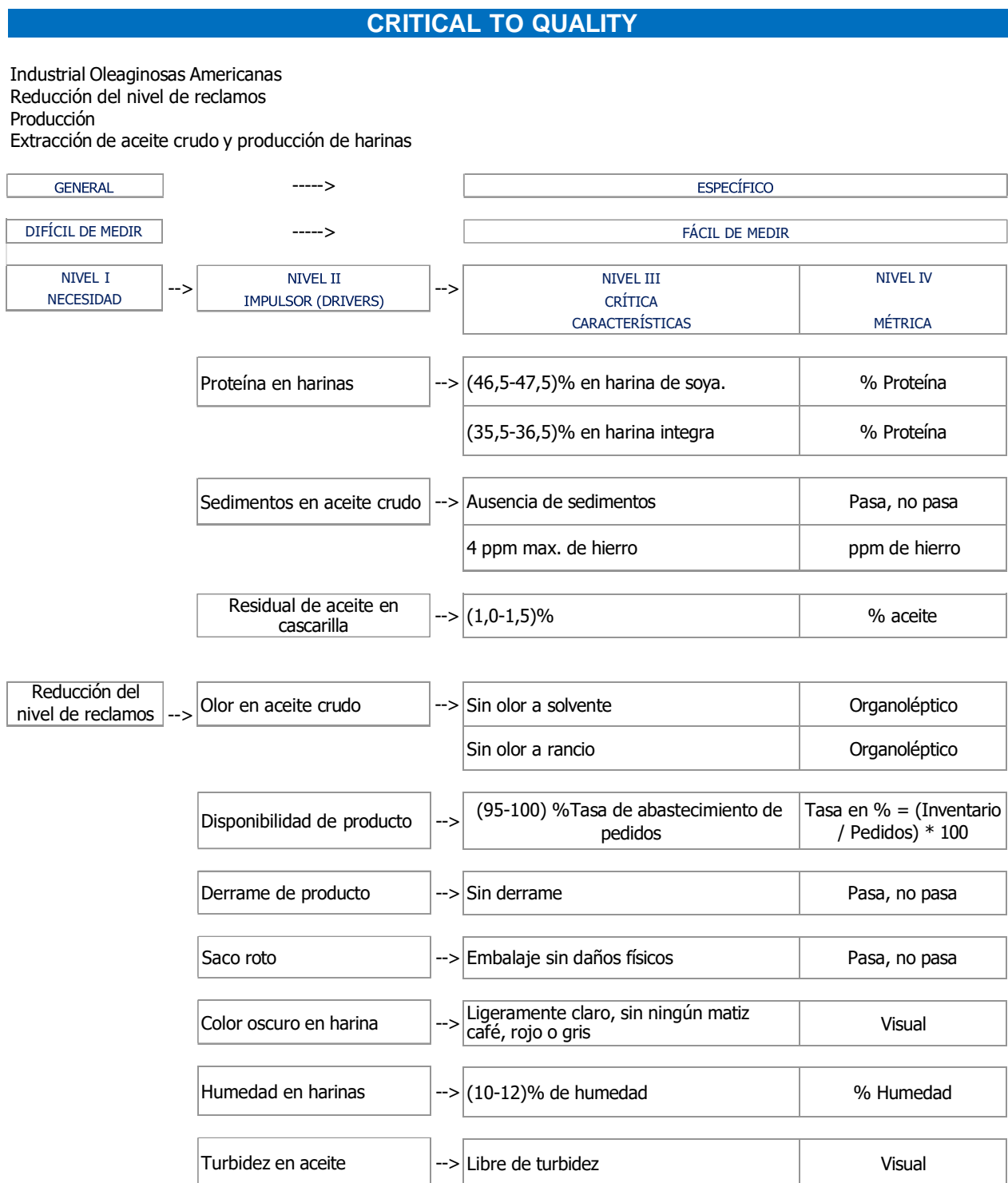
La etapa de extracción produce la harina y el aceite. La harina contiene residual de hexano, que es removido con un equipo llamado desolventizador-tostador, sin embargo, la eliminación de este solvente no es completa, sino que puede contener hasta un máximo de 100 ppm. En este mismo equipo la harina es cocida para eliminar los inhibidores de tripsina, después se muele para que el producto pueda utilizarse como un suplemento alimenticio en la nutrición animal. También esta harina se puede fermentar para que sea un producto dirigido a animales en edades tempranas, debido a que es más fácil su digestión.

El aceite extraído con el solvente posee aproximadamente un 70 % de hexano. El hexano se elimina mediante un equipo llamado Stripper, donde se inyecta vapor por la parte inferior y los gases generados son succionados con la ayuda de un vacío en la parte superior.

El aceite libre de hexano es filtrado para obtener el aceite crudo, mismo que se vende como insumo para la elaboración de alimento animal o se envía a la planta de refinación para formar el aceite desodorizado, el cual se dirige al mercado de consumo humano.

El árbol CTQ permitió medir y determinar la calidad de los productos para la nutrición animal de una forma cuantitativa y cualitativa, el mismo es el siguiente:

Figura 4.3: Árbol crítico de la calidad de Industrial Oleaginosa Americana



Fuente: Autor, 2024.

En el CTQ se observa que para la reducción de los reclamos es necesario conocer los impulsores que los originan, estos son: proteína en las harinas, sedimentos en el aceite

crudo, residual de aceite en la cascarilla, olor en el aceite crudo, disponibilidad del producto, derrame del producto, saco roto, color oscuro en la harina, humedad en las harinas y turbidez en el aceite refinado.

El cumplimiento de las especificaciones de cada uno de estos parámetros tiene un nivel de importancia que las diferencia entre sí y, de igual forma, varía su nivel crítico para la calidad. Las especificaciones y su criticidad se explican en el orden en que aparecen en el CTQ:

1. La proteína en la harina es crítica para la calidad y la misma tiene que estar en (46,5-47,5) % para el caso de la harina de soya y (35,5-36,5) % para la harina integral. No cumplir con la especificación mínima daría una harina que no se adecúa a la formulación del alimento destinado a los animales y, con ello, una afectación en su nutrición. Mayor proteína significa una pérdida económica para la empresa, debido a que proteínas más altas conducen a un faltante en la dosificación de polvillo o cascarilla que poseen un costo menor a la harina.
2. Los sedimentos en el aceite crudo se deben a acumulaciones de fosfátidos (gomas) y de hierro en el fondo del tanque de almacenamiento. Estos sedimentos son críticos para la calidad al perjudicar la vida útil del aceite. Es necesario tener un aceite libre de sedimentos y un contenido de hierro no mayor a 4 ppm para evitar su deterioro.
3. El residual de aceite en la cascarilla tiene un nivel de criticidad media porque el producto se vende como fuente de fibra y no como fuente de aceite. Es necesario no sobrepasar el 1,5 % de aceite en la cascarilla pues, en caso contrario, habría merma en el aceite crudo por la no extracción de este, lo cual impactaría en los costos de producción.
4. El aceite crudo no debe tener olor a solvente, esto implicaría la presencia de trazas de hexano en el producto que pueden afectar la inocuidad del mismo, ni tampoco olor a rancidez porque se asociaría a un aceite descompuesto. Ambos casos son aspectos críticos para la calidad del producto.
5. La disponibilidad del producto es un factor crítico debido a que ofrece un acceso rápido al producto, además genera fidelidad a la marca e ingresos por venta. En este caso en particular, la disponibilidad se refiere a la harina de soya fermentada,

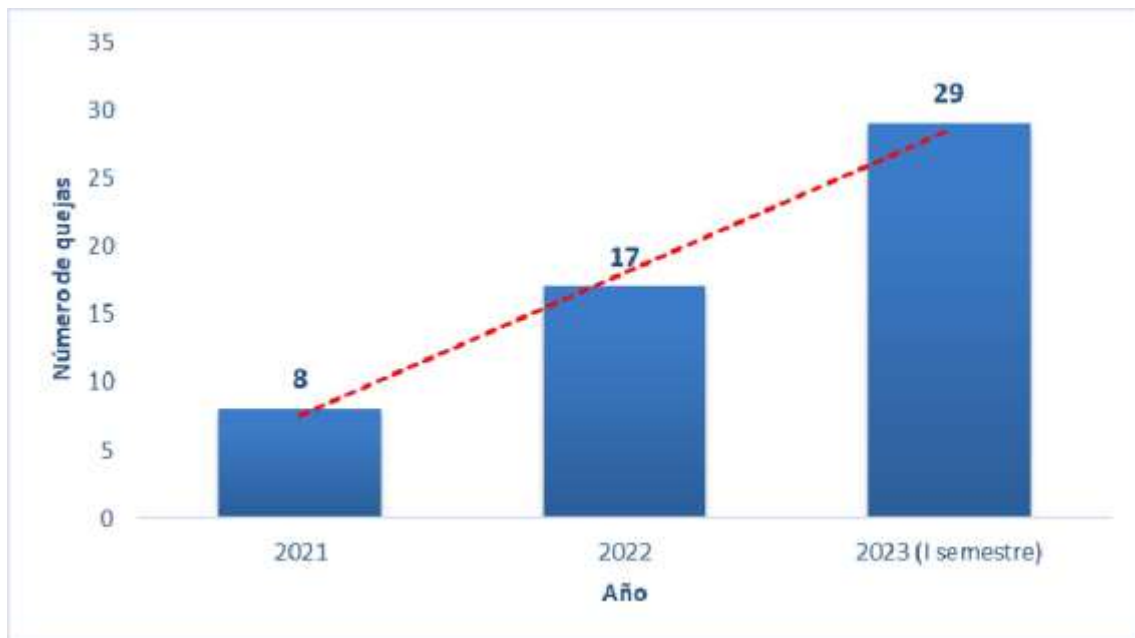
porque se requiere de una mayor venta para que el negocio tenga la rentabilidad requerida por la organización; sin embargo, los pedidos son superiores a la capacidad de la planta actual, por ende, se necesita de una ampliación o adquisición de otra planta. Es necesario que la tasa de abastecimiento de pedidos se encuentre entre 95 % a 100 % para no originar inconformidades con el cliente por el faltante de harina.

6. El derrame de producto ha ocurrido en aceites refinados y en la lecitina. En el primer caso, se presenta en bidones (17 litros), pero en el año 2024 se tendrá una línea nueva automatizada que sustituirá a la actual. En el segundo caso, el derrame sucede por la resistencia de la bolsa plástica que contiene el producto, para lo cual se cambió a un gramaje más alto y, con ello, se dio mayor resistencia a la bolsa. Bajo este contexto, el derrame no será un factor determinante para la calidad de los productos mencionados.
7. El saco roto es debido a la resistencia de la costura. Este problema se resolvió cambiando el tipo de hilo y homogenizando la costura. Por consiguiente, este embalaje de la harina ya no es un parámetro crítico de calidad.
8. El color oscuro de la harina es porque se pasa de tueste. La regulación de temperatura en el equipo de desolventizador/tostador y un seguimiento visual del producto mitigaron de forma significativa este inconveniente y, por lo tanto, no se considera un parámetro crítico de calidad.
9. La humedad en la harina es necesaria mantenerla en un rango de 10 % a 12 %. Humedades bajas implican merma por pérdida de masa del producto y un costo energético mayor. Humedades altas se relacionan con temas de calidad porque el producto se descompone con facilidad (cambio de olor y color) y proliferan hongos; no obstante, la humedad en la que suceden los problemas citados debe ser superior al 15 %, muy por debajo de la especificación máxima. Como la humedad de la harina no llega al 15 %, no es un factor crítico para la calidad.
10. La turbidez en el aceite normalmente se debe a la presencia de partículas por un deficiente filtrado y, en el caso del aceite saturado (como la oleína de palma), es debida a la naturaleza de este, ya que en condiciones frías se forman cristales. En el primer caso, se cuenta con la prueba de “claridad de disco” en los arranques de

línea de envasado para evitar que el aceite contenga particulado y, en el segundo caso, se ha informado a los clientes que en zonas altas del país los aceites con mezcla de oleína de palma en su receta son propensos a generar turbidez, pero que esto no afecta la calidad ni el uso previsto del aceite. De acuerdo con estas condiciones, el tema de turbidez no es crítico para la calidad.

En los últimos tres años se han incrementado los reclamos de clientes, según se muestra en el siguiente gráfico:

Figura 4.4: Tendencia de las quejas de clientes



Fuente: Autor, 2024.

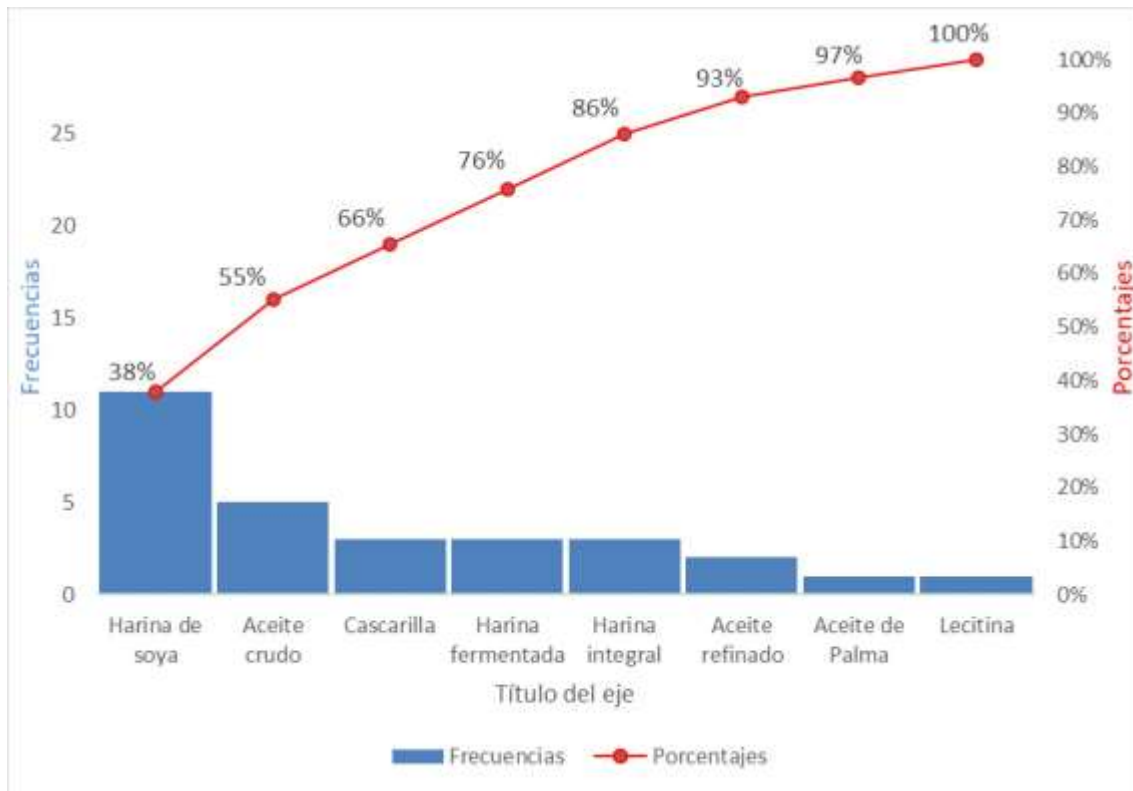
Este comportamiento no va de acuerdo con los valores de la empresa, debido a que uno de ellos es “calidad”, refiriéndose al mismo en términos de los servicios y los productos que se comercializan.

La tendencia también afecta a uno de los indicadores de desempeño de la compañía, el cual es #quejas/año. Solo en el primer semestre del año 2023, casi se duplicó el objetivo meta de máximo 15 quejas/semestre.

Lo anterior ha ocasionado costos por calidad reflejados en notas de crédito y reprocesos, además de una posible insatisfacción de los clientes.

Los productos por los cuales los clientes se quejaron en el primer semestre del año 2023 fueron: harina de soya, aceite crudo, cascarilla, harina fermentada, harina integral, aceite refinado, aceite de palma y lecitina. La frecuencia de reclamos fue la siguiente:

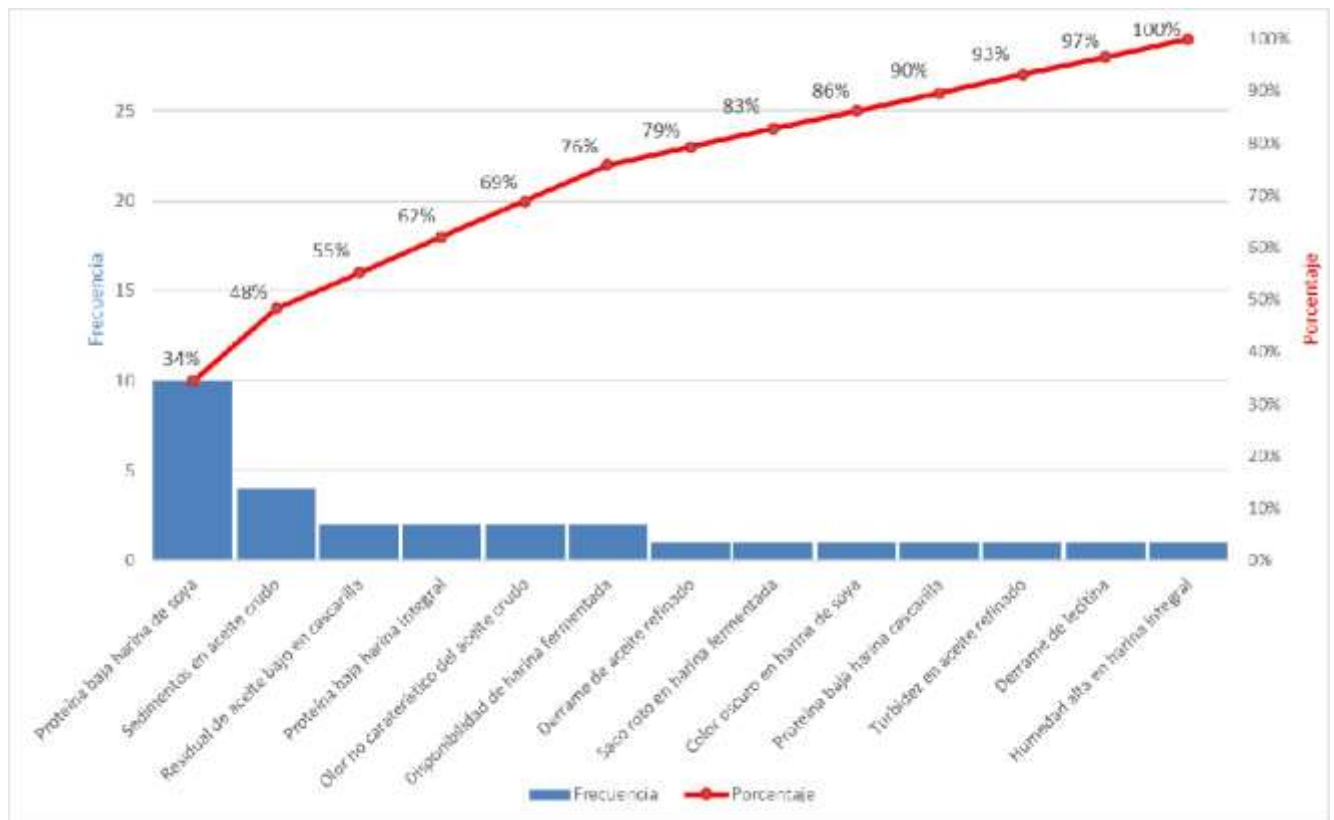
Figura 4.5: Número de reclamos por tipo de producto



Fuente: Autor, 2024.

El 86 % de los productos correspondieron a los destinados a la nutrición animal, elaborados en las plantas extractoras. El restante fue productos para el consumo humano, manufacturados en la planta de refinación de aceite y fraccionados de palma. Los motivos de los reclamos fueron por la proteína baja en la harina de soya, sedimentos en el aceite crudo, residual de aceite bajo en la cascarilla, proteína baja en la harina integral, olor no característico en el aceite crudo, disponibilidad de la harina fermentada, derrame de aceite refinado, saco roto en la harina fermentada, color oscuro en la harina de soya, proteína baja en la cascarilla, turbidez en el aceite refinado, derrame de lecitina y humedad en la harina integral. La gráfica que ilustra la frecuencia de estos motivos se muestra a continuación:

Figura 4.6: Motivos de los reclamos



Fuente: Autor, 2024.

Al realizar acciones correctivas para los inconvenientes de proteína baja en las harinas, sedimentos en el aceite crudo, residual bajo en la cascarilla, proteína baja en la harina integral, olor no característico en el aceite crudo y disponibilidad de harina fermentada, se solucionaría el 76 % de las causas por las cuales el cliente manifiesta su insatisfacción, esto implica que se llegaría a la meta de máximo 15 quejas por semestre.

4.2 MEDIR

Los motivos de los reclamos estuvieron ligados a variables que se miden en el laboratorio de Industrial de Oleaginosas Americanas y se registran en el apartado de “Apéndices” del presente documento. Seguidamente, se muestra la información analizada con herramientas estadísticas utilizando el *software* Stats Solver.

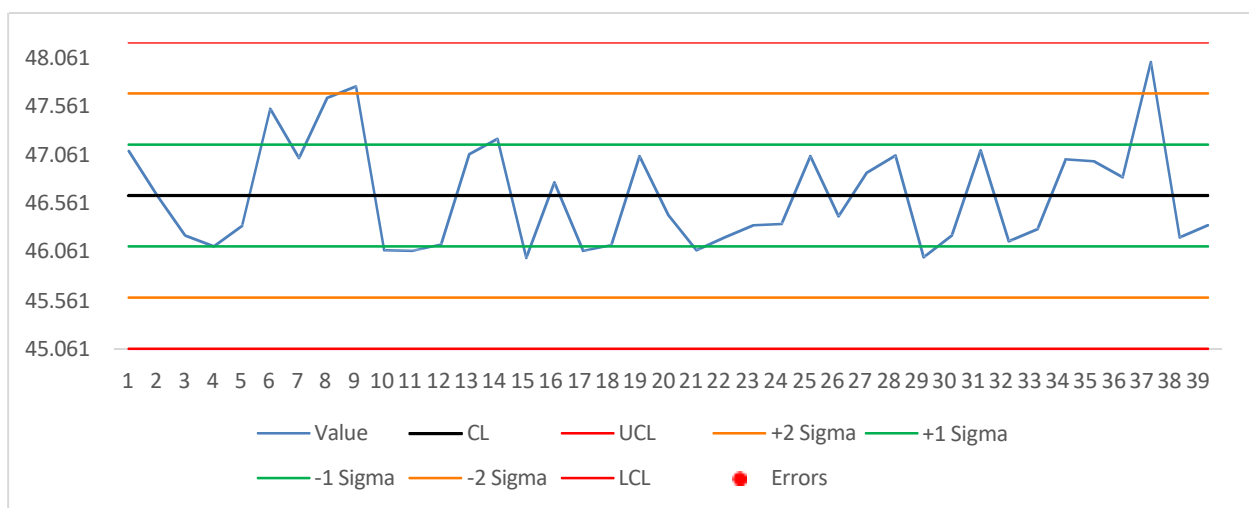
4.2.1 Proteína baja en las harinas

Se refiere en específico a las proteínas de la harina de soya y la harina integral. Cada una de ellas se revisó por separado.

- **Proteína baja en la harina de soya**

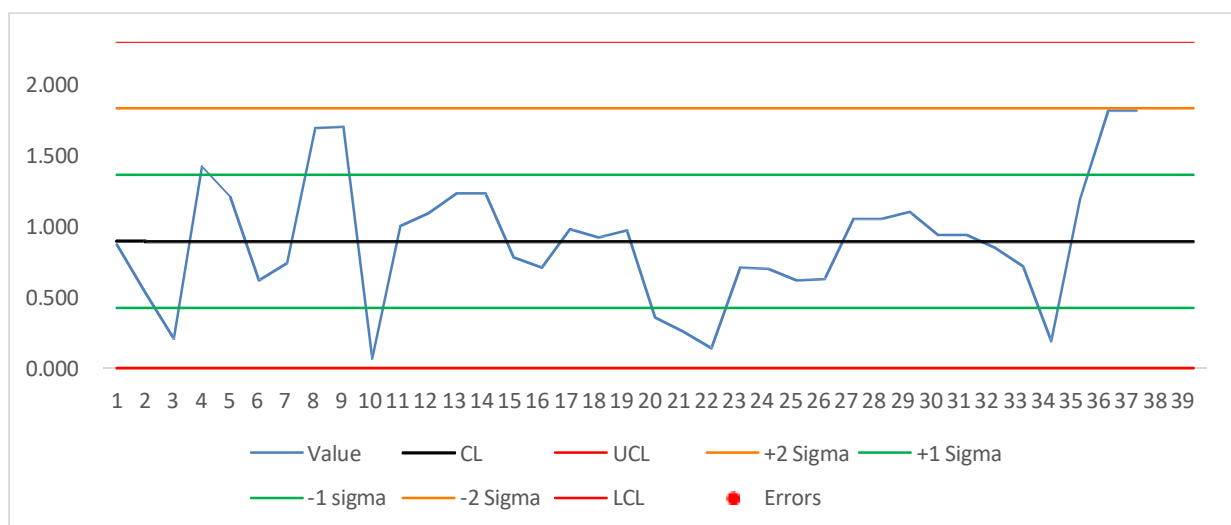
Los gráficos de control del parámetro de proteína en la harina de soya se aprecian a continuación:

Figura 4.7: I Chart: proteína HS, primer semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

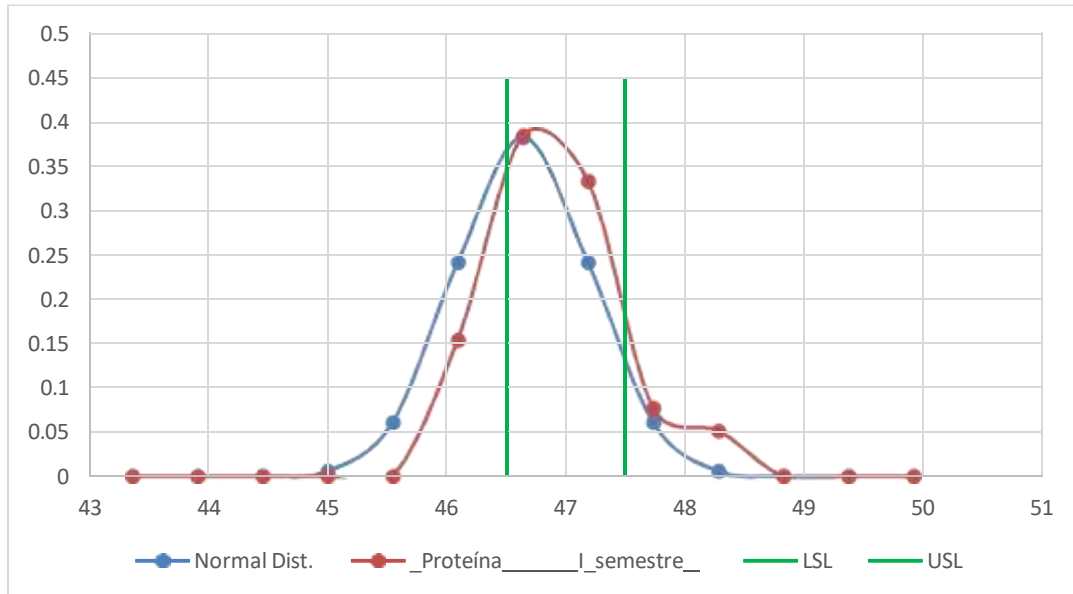
Figura 4.8: MR Chart: proteína HS, primer semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

Como los dos gráficos cumplen con las reglas de control estadístico del proceso, la proteína en la harina de soya cuenta con este requerimiento. El correspondiente gráfico de Capacidad de Proceso con su tabla de resultados se expone seguidamente:

Figura 4.9: Capacidad de Proceso: proteína HS, primer semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

Tabla 4.3: Capacidad de Proceso HS, primer semestre del año 2023

Max	48,02
Min	46
Mean	46,644
StDev	0,547
Upper Spec Limit	47,5
Lower Spec Limit	46,5
Ppl	0,088
PpU	0,521
Pp	0,305
Ppk	0,088
Cpl	0,100
Cpu	0,592
Cp	0,346
Cpk	0,100
n	39
Observed Performance	
Upper % out	10,26 %
Lower % out	53,85 %
Total % out	64,10 %

Fuente: Autor, 2024.

Con base en la información del gráfico y tabla anterior, se intuyó que el proceso no es capaz de cumplir en su totalidad con la especificación del producto, al tener $C_p = 0,35$, lo cual es menor que el 1,33 requerido.

El proceso no está centrado ya que los datos de $C_p = 0,35$ y $C_{pk} = 0,10$ son diferentes. El 10,25 % de los valores inconformes corresponden a valores bajos de proteína. También, el proceso está corrido a la izquierda porque el $C_{pu} = 0,59$ (superior) es mayor que el $C_{pl} = 0,10$ (inferior).

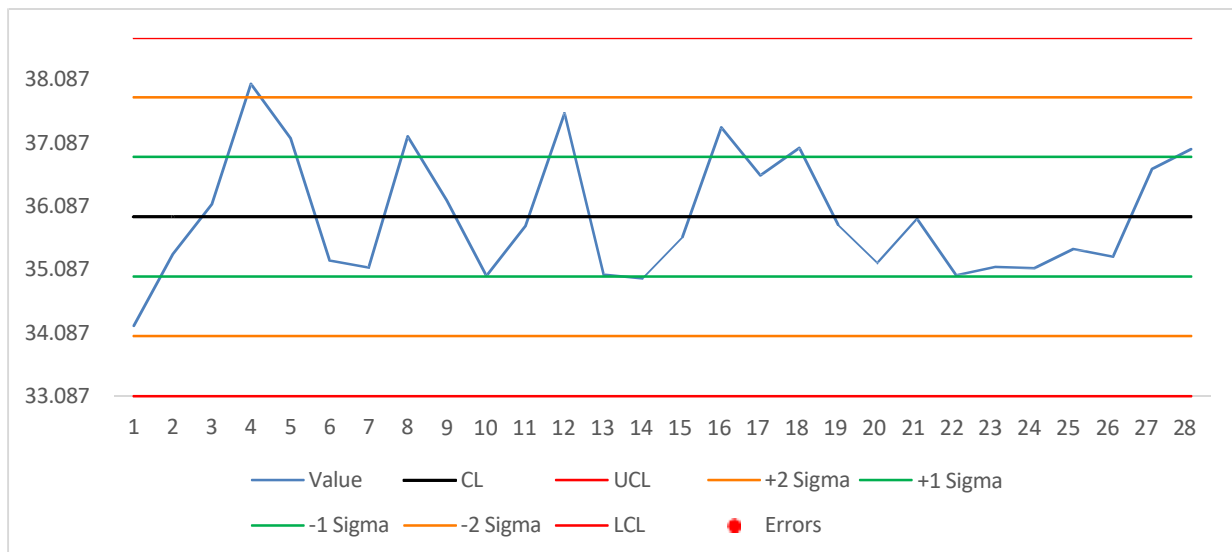
Sin embargo, el 53,85 % de los datos corresponden a proteína alta, lo que no es un inconveniente de la calidad, sino que afecta por la pérdida económica.

A la harina de soya se le fija el valor por el contenido de proteína que posee y cuando se entrega harina más alta en proteína, o sea mayor al 47 %, el cliente no reconoce económicamente el diferencial de proteína.

- **Proteína baja en la harina integral**

Los datos relacionados a la proteína en la harina integral se indican a continuación:

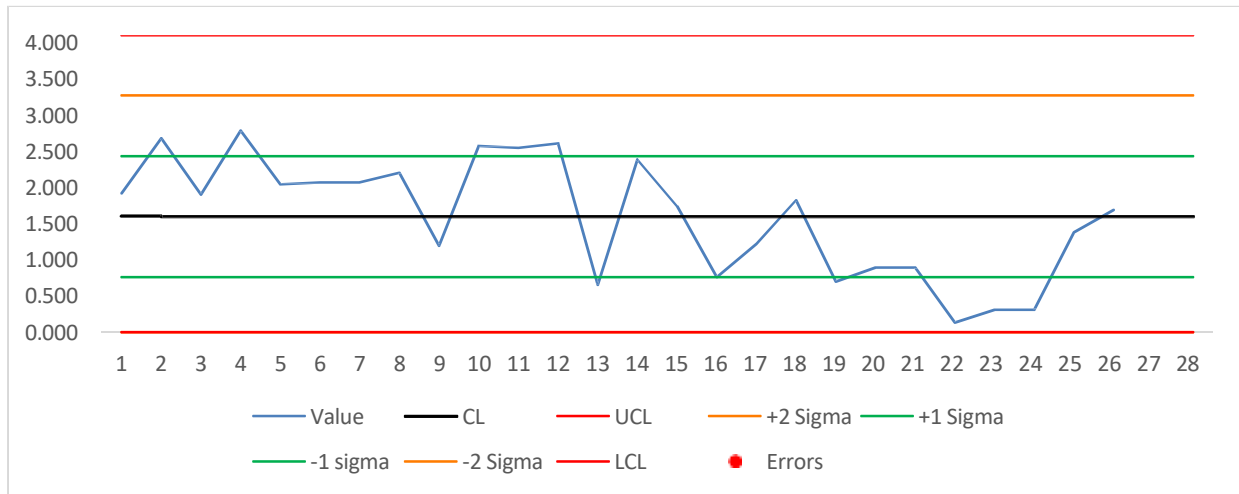
Figura 4.10: I Chart: proteína HI, primer semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

Según el gráfico I Chart de proteína en la harina integral, no hay violación a las reglas asociadas a los gráficos de control.

Figura 4.11: MR Chart: proteína HI, primer semestre del año 2023

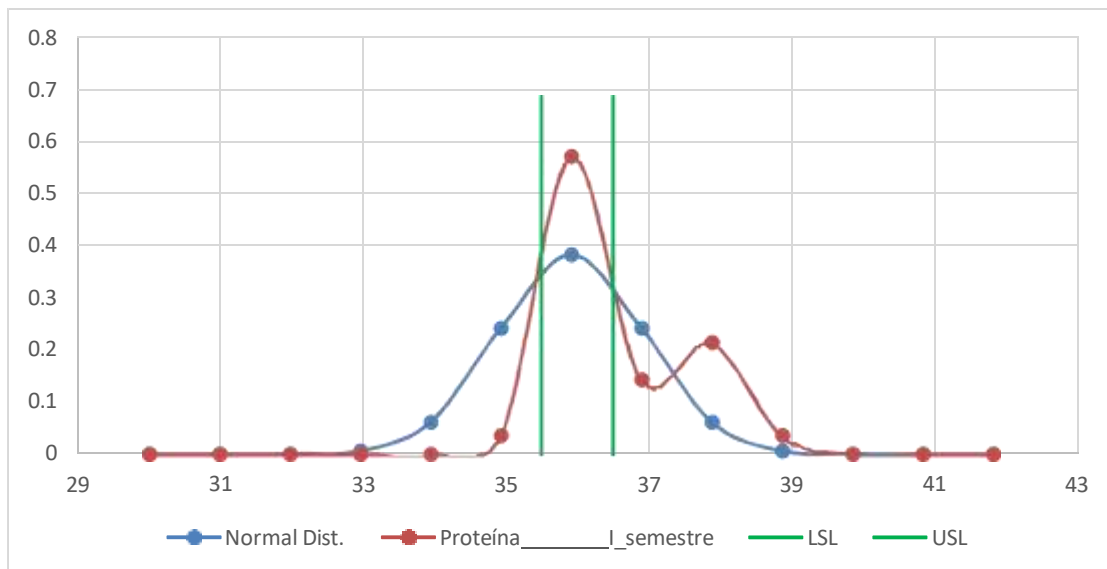


Fuente: Autor, 2024.

En el gráfico MR Chart de proteína en la harina integral, se observa una tendencia decreciente a partir del dato 14; no obstante, los datos de subida hacen que el *software* estadístico no señale ninguna violación a las reglas de control.

El gráfico de Capacidad de Proceso para este producto es el siguiente:

Figura 4.12: Capacidad de Proceso: proteína HI, primer semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

El gráfico de Capacidad de Proceso de proteína tiene datos fuera de los límites superiores e inferiores de especificación.

La correspondiente tabla informa de los valores numéricos del Cp y Cpk, donde el proceso tiene un Cp= 0,20, por lo tanto, no es capaz de cumplir con la especificación del cliente. Asimismo, el proceso no se encuentra centrado en las especificaciones ya que los datos de Cp= 0,20 y Cpk= 0,16 no son iguales.

Tabla 4.4: Capacidad de Proceso HI, primer semestre del año 2023

Max	38,01
Min	34,19
Mean	35,914
StDev	0,985
Upper Spec Limit	36,5
Lower Spec Limit	35,5
Ppl	0,140
PpU	0,198
Pp	0,169
Ppk	0,140
Cpl	0,165
Cpu	0,234
Cp	0,200
Cpk	0,165
n	28
Observed Performance	
Upper % out	32,14 %
Lower % out	46,43 %
Total % out	78,57 %

Fuente: Autor, 2024.

Un 78,57 % de los datos están fuera de especificación, teniendo la mayoría de los datos fuera un límite inferior de especificación. Lo anterior se confirma con el valor de Cpl= 0,16 y Cpu= 0,23.

Para fines nutricionales, la harina integral fuera de especificación en proteína alta no perjudica las formulaciones de los alimentos balanceados para los animales, todo lo contrario. Por tal motivo, lo crítico son las producciones bajas en proteína que corresponden al 46,43 % de lo elaborado.

4.2.2 Sedimentos en el aceite crudo

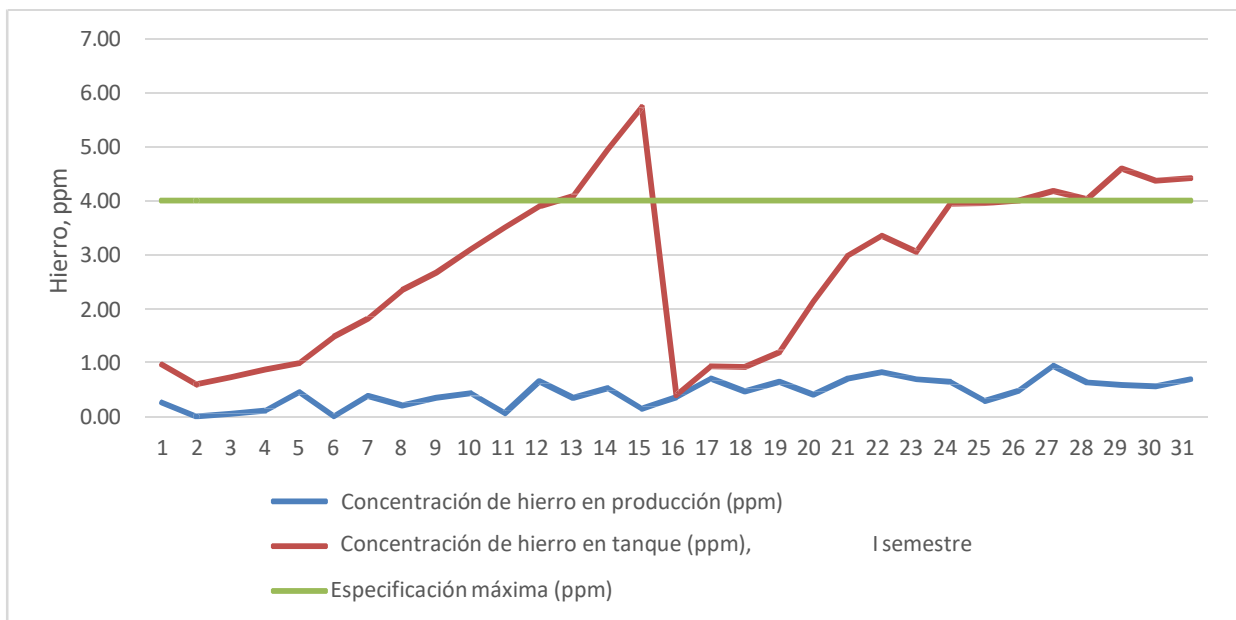
Los sedimentos en el aceite generalmente se deben a dos razones: metales y gomas. El primero es el metal hierro y el segundo lo componen los fosfátidos que posee de forma natural el aceite crudo. Ambos sedimentos se tratan de manera independiente.

- **Presencia de hierro**

El contenido de hierro en el aceite crudo de soya se determina en producción y en el tanque de almacenamiento. La forma de medirlo en el laboratorio es por medio de un equipo llamado absorción atómica, el cual expresa el resultado en partes por millón (ppm) o su equivalente en mg/kg en el Sistema Internacional (SI).

El siguiente gráfico muestra el comportamiento del contenido de hierro en el aceite en producción y en el tanque de almacenamiento:

Figura 4.13: Concentración de hierro en el aceite crudo, primer semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

Se aprecia que el inconveniente del hierro fuera de especificación (máx. 4 ppm) no proviene de producción, sino por la acumulación en el tanque de almacenamiento del aceite crudo. También se observa que la acumulación es sostenida hasta que llega un momento en que abruptamente baja, para luego seguir con la misma tendencia

ascendente. Este comportamiento se debe al cambio del filtro, pues el hierro va saturando el filtro y cuando se cambia, se elimina el hierro de forma significativa hasta su saturación. Los tanques cuentan con una bomba en donde se puede recircular el aceite en el filtro, como se muestra a continuación:

Figura 4.14: Tanque y bomba



Fuente: Autor, 2024.

El filtro posee una membrana, la cual es de $5 \mu\text{m}$ de porosidad, donde se retiene el metal. Esta membrana se aprecia en la siguiente figura:

Figura 4.15: Tanque y membrana del filtro



Fuente: Autor, 2024.

Cabe mencionar que el hierro es un catalítico de la reacción de oxidación del aceite e interviene de manera directa en la vida útil.

- **Presencia de gomas**

Las gomas se sedimentan con el tiempo en el tanque de almacenamiento del aceite; finalmente queda como un lodo, como se aprecia en la siguiente figura:

Figura 4.16: Sedimento de gomas en aceite crudo



Fuente: Autor, 2024.

No es práctico eliminar estas gomas recirculando el aceite en el filtro mangas, como se hace con el hierro, debido a que se satura con facilidad. La mejor forma es purgando el fondo del tanque, pero esta práctica no es del todo eficaz porque la toma de descarga del aceite está a unos cuantos centímetros por arriba de la base del tanque, como se muestra seguidamente:

Figura 4.17: Toma de la descarga del tanque

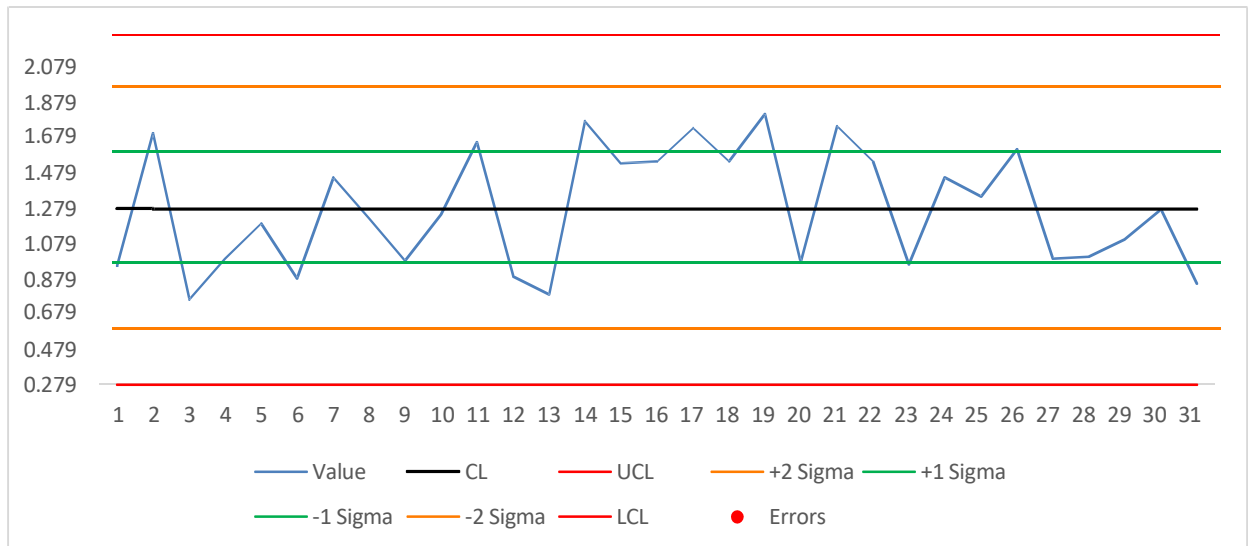


Fuente: Autor, 2024.

4.2.3 Residual de aceite bajo en la cascarilla

El residual de aceite en la cascarilla posee el siguiente comportamiento:

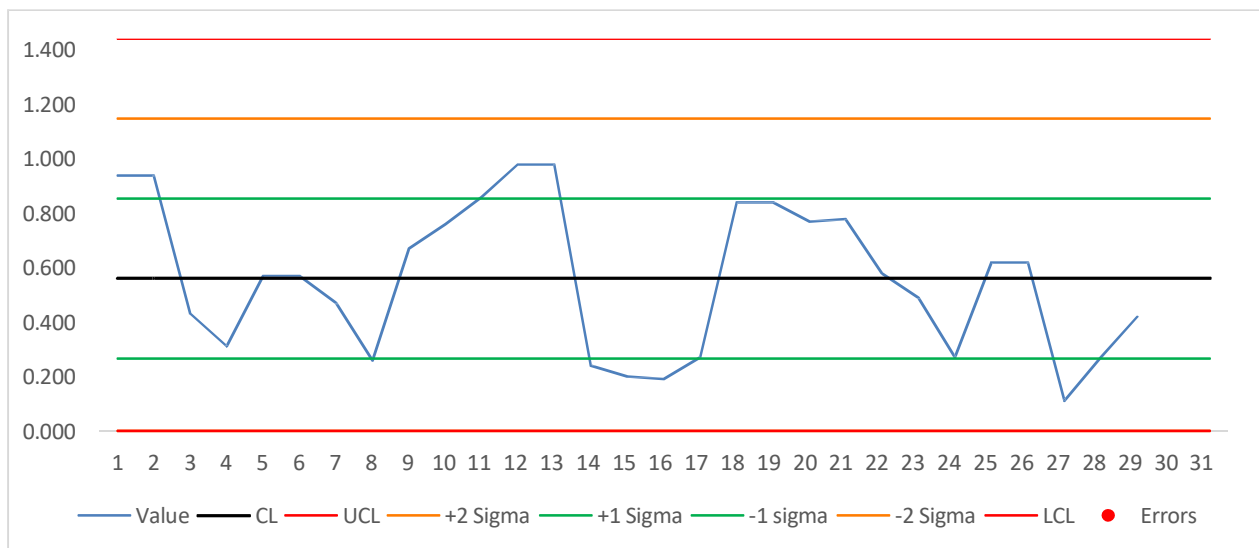
Figura 4.18: I Chart: residual de aceite en la cascarilla, primer semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

El gráfico muestra que el residual en la cascarilla se encuentra en control estadístico; es decir, la succión de la cascarilla es muy estable, sin una variabilidad importante.

Figura 4.19: MR Chart: residual de aceite en la cascarilla, primer semestre del año 2023

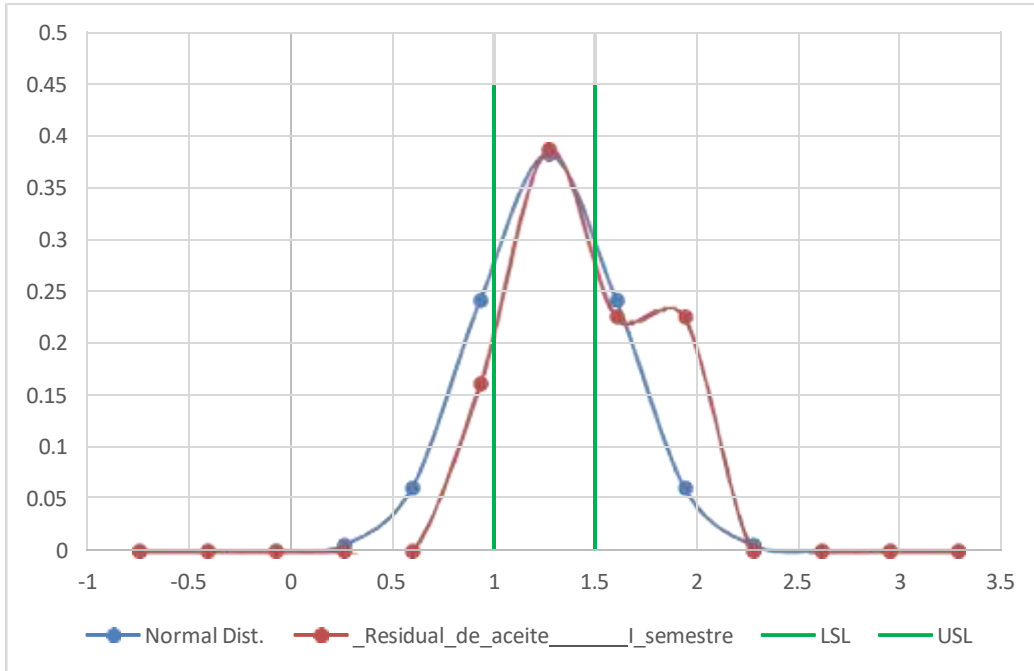


Fuente: Autor, 2024.

El gráfico anterior también indica que el proceso está bajo control estadístico debido a que no se viola ninguna regla discutida en el “Marco teórico”. El gráfico de la media se encuentra estable, así como el gráfico de variación, pues el 99,73 % de los promedios y del rango está dentro de los límites de control.

La Capacidad de Proceso del residual en la cascarilla es la siguiente:

Figura 4.20: Capacidad de Proceso: residual de aceite en la cascarilla, primer semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

En esta gráfica el proceso posee valores fuera de especificación, incumpliendo tanto el límite superior de especificación como también el límite inferior.

La tabla referente a la Capacidad de Proceso del residual de aceite en la cascarilla se muestra seguidamente:

Tabla 4.5: Capacidad de Proceso: residual de aceite en la cascarilla, primer semestre del año 2023

Max	1,81
Min	0,76
Mean	1,272
StDev	0,336
Upper Spec Limit	1,5
Lower Spec Limit	1
Ppl	0,270
PpU	0,227
Pp	0,248
Ppk	0,227
Cpl	0,268
Cpu	0,224
Cp	0,246
Cpk	0,224
n	31
Observed Performance	
Upper % out	35,48 %
Lower % out	35,48 %
Total % out	70,97 %

Fuente: Autor, 2024.

El proceso se encuentra centrado en su especificación, porque en la práctica el Cp y el Cpk son iguales. Esto de igual modo se confirma con los valores fuera de especificación en el límite inferior y superior, ya que en ambos casos es de 35,48 %.

El total de datos fuera de especificación es de consideración, al tener un valor del 71 % bajo esta condición.

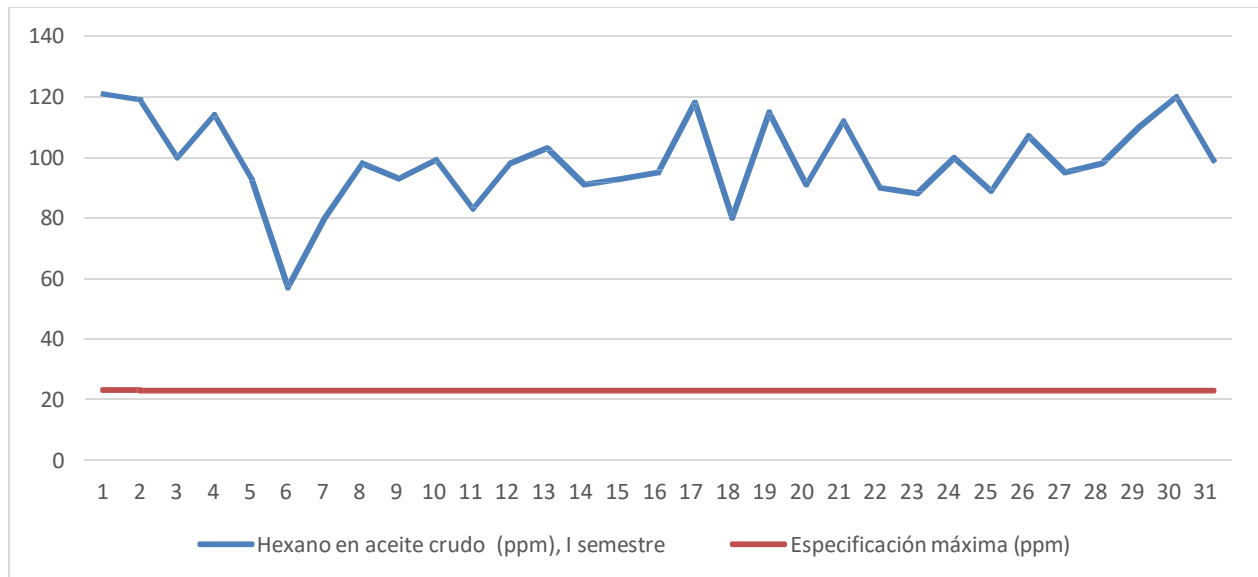
4.2.4 Olor no característico en el aceite crudo

El olor en el aceite detectado es debido a dos causas principales, el olor a solvente y el olor a rancio. Seguidamente, se presentan los parámetros relacionados a esta inconformidad en el aceite crudo:

- **Olor a solvente**

El olor a solvente es el residual de hexano que queda en el aceite crudo. Este solvente es el utilizado para extraer por lixiviación el aceite que se encuentra en los *collets*. La medición se realiza en el laboratorio por cromatografía de gases. El comportamiento en el primer semestre es el siguiente:

Figura 4.21: Hexano en aceite crudo, primer semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

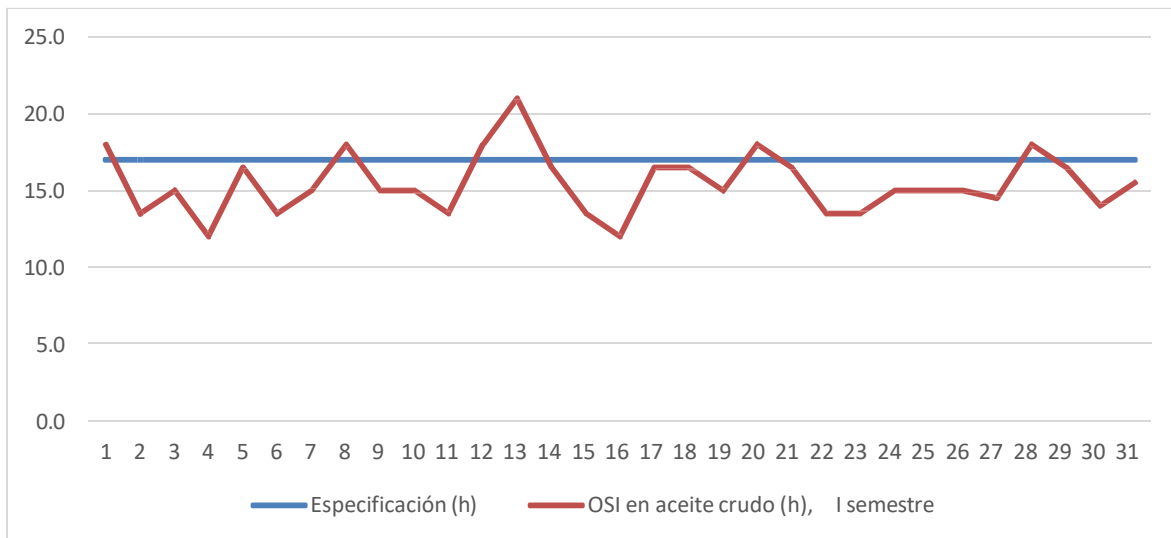
Se observa que los valores estuvieron altos con respecto a la especificación máxima de 23 ppm.

- **Olor a rancio**

Otro factor que interviene en el olor no característico del aceite crudo es cuando no posee la estabilidad oxidativa adecuada, misma que debe ser de al menos 17 h, medida en el laboratorio con un equipo llamado OSI. Cuando el aceite no posee estabilidad oxidativa, es propenso a la oxidación, la cual genera el olor rancio en el aceite.

En la gráfica que se aprecia a continuación, se observa una variabilidad de este parámetro:

Figura 4.22: OSI del aceite crudo, primer semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

Las fluctuaciones del OSI mostradas provocan que existan lotes de aceite con vida inferior a la del año, teniendo el riesgo de despachar producto con aceite deteriorado y con olor a rancio.

La estabilidad oxidativa puede estar influenciada por el contenido de hierro, el nivel de peróxido, el contenido de humedad, la cantidad de fosfátidos y la acidez (AGL) que posee el aceite.

Para determinar cuáles son las variables que afectan más la estabilidad del aceite, se realizó un DOE, donde se estableció la correlación existente entre las variables mencionadas.

Se utilizó el estadístico Regression Test con los resultados dados en el apéndice y se corrió en el *software* de Stats Solver. La tabla obtenida es la siguiente:

Tabla 4.6: Regresión de las variables analizadas, primer semestre del año 2023

Regression	Coefficient	Std Err	t-Value	p-Value	Vif
Constant	126,823	47,537	2,668	0,026	
Muestra	-0,449	0,374	-1,200	0,261	18,656
Hierro (ppm)	-44,869	9,821	-4,569	0,001	124,984
Peróxido (meq/kg)	-29,181	38,530	-0,757	0,468	140,396
Humedad (ppm)	-0,372	0,167	-2,234	0,052	281,081
Fosfátidos (ppm)	-0,001	0,000	-1,523	0,162	8,701
AGL (%)	1,365	16,993	0,080	0,938	1,459

Fuente: Autor, 2024.

Según estos resultados, la variable que aporta de forma significativa en la estabilidad oxidativa del aceite crudo es la concentración de hierro, al tener el valor de p-value más bajo (para que sea significativo, el p-value debe ser menor que 0,05).

4.2.5 Disponibilidad de la harina fermentada

La falta de disponibilidad de harina fermentada se debe a que la planta está topada, lo que impide suministrar el producto a clientes actuales y a otros clientes interesados en esta harina. Ahora bien, no se lleva un registro que permita cuantificar los atrasos o incumplimientos en entregas; sin embargo, la queja de clientes es un indicio de que hay oportunidad de mejora en este aspecto.

4.3 ANALIZAR

Se demostró que el cliente tuvo la razón al reclamar por proteína baja en la harina de soya, sedimentos en el aceite crudo, residual de aceite bajo en la cascarilla, proteína baja en la harina integral, olor no característico en el aceite crudo y disponibilidad de la harina fermentada, pues la información suministrada por el laboratorio y revisada en el apartado anterior indica que hubo producto no conforme.

Como se determinó, estos problemas fueron el motivo del 76 % de las quejas, por lo que fue necesario establecer las causas que los originan y acciones concretas para que los parámetros se encuentren dentro de especificación de forma sostenida en el tiempo. Por consiguiente, en la siguiente tabla se desarrollaron dos herramientas: FMEA y Root Causes Analysis:

Tabla 4.7: Análisis de modo y efecto de la falla (FMEA) de Industrial Oleaginosa Americana

Análisis de Modo y Efecto de la Falla								
Nombre de Proceso o Producto:	Plantas extractoras							
Encargado:	Carmen Yesenia Alvarado Jiménez							
Pasos Clave del Proceso	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	S m v	Causas Potenciales	O C C	Controles de Ocurrencia	D E T	N P R
¿Cuál es el paso del proceso?	¿De qué maneras puede fallar dicho paso del proceso?	¿Cuál es el impacto de las variables de los pasos clave cuando hay un fallo (cliente o requerimientos internos)?	¿Qué tan severo es el efecto para el cliente?	¿Qué causa que el paso clave falle?	¿Que tan seguido ocurre la causa o Modo de Fallo?	¿Cuáles son los controles existentes y procedimientos preventivos de Causa o Modo de Falla?	¿Que también pueden detectar la Causa o Modo de Falla?	
Preparación	Succionar con un nivel muy bajo la almendra contenida en el frijol quebrado	Residual de aceite bajo en cascarilla	9	1. Alto secado del frijol provoca menos cantidad de almendra adherida a la cascarilla. 2. Alto tiempo de residencia en el Tempering, permite formación de aire entre la almendra y cascarilla. 3. Menor abertura del dâmpner Multiaspirador y por consiguiente menor succión de almendra. 4. Quebrador produciendo almendra muy grande y de mayor peso, obteniendo menor cantidad de almendra	8	1. Control de temperatura en el Secador de frijol. 2. Control del tiempo de residencia en los Tempering. 3. Inspecciones periódicamente del quebrado del frijol. 4. Regulación del dâmpner del ventilador con el nivel de residual de aceite en cascarilla.	7	504
Preparación	Eliminar la cascarilla de la almendra de forma deficiente.	Proteína baja en la harina de soya.	8	Menor abertura del dâmpner del ventilador del Multiaspirador y con ello menor succión de cascarilla.	5	Ajuste del dâmpner del ventilador con el nivel de proteína en la harina.	6	240
Extracción	Desolventizar deficientemente la miscela.	Olor no característico del aceite crudo (olor a solvente).	6	Gomas acumuladas en los orificios de los platos del Stripper que no permiten que el vapor ingrese al aceite para la desolventización del hexano. Estas gomas son los fosfátidos hidratados del aceite.	3	1. Cambio de los Stripper (de 350 ton./día a 500 ton./días). 2. Colocación de Superheater para calentar el vapor utilizado en la desolventización, de tal forma que se reduce el vapor húmedo. 3. Aumento de la presión de vapor utilizado en el vacío del Stripper para mejorar la succión del hexano. 4. Análisis del hexano en el aceite crudo. 5. Cambio de condensador de hexano por uno para 1 000 ton./día.	6	108
Extracción	Secar la harina incorrectamente.	Proteína baja en la harina de soya.	8	Aire de secado con temperatura baja en el Desolventizador/tostador, lo que produce humedad alta en la harina.	4	1. Bajar la producción para dar mayor tiempo de residencia al Desolventizador/tostado, el cual seca la harina con aire caliente. 2. Elevación de la temperatura del aire en el secador del Desolventizador/tostador para aumentar la temperatura de la harina y con ello bajar la humedad.	5	160
Molienda	Dosificar cascarilla a la harina en exceso.	Proteína baja en la harina de soya.	9	1. El diámetro de tornillo sin fin del dosificador es grande, no permitiendo dosificar cascarilla en pequeñas cantidades. 2. No existe medición en línea de proteína para poder regular la dosificación de cascarilla en función del contenido de proteína de la harina.	9	Con un variador de frecuencias, permite regular la velocidad del motor del tornillo sin fin, para girar el tornillo a distintas revoluciones y poder controlar la dosificación de cascarilla.	7	567
Molienda	Dosificar polvillo a la harina en exceso.	Proteína baja en la harina integral.	8	1. El diámetro de tornillo sin fin del dosificador es grande, no permitiendo dosificar polvillo en pequeñas cantidades. 2. No existe medición en línea de proteína para poder regular la dosificación de polvillo en función del contenido de proteína de la harina.	4	Con un variador de frecuencias, permite regular la velocidad del motor del tornillo sin fin, para girar el tornillo a distintas revoluciones y poder controlar la dosificación de polvillo.	6	192
Almacenamiento de aceite crudo	Purgar de forma inadecuada los lodos acumulados en el fondo de tanques de almacenamiento del aceite crudo.	1. Olor no característicos del aceite crudo (olor a rancio). 2. Presencia de sedimentos en el aceite crudo (gomas, hierro).	8	1 La eliminación de lodos es ineficaz debido a que la toma de descarga del aceite está a unos cuantos centímetros por arriba de la base del tanque, quedando lodo en el piso del tanque. 2. La purga se realiza sólo contemplando la eliminación de lodos acumulados en el fondo del tanque sin verificar que se ha eliminado el hierro acumulado también en dicho fondo. 3. Mala operación del Filtro debido a que la recirculación del aceite se realiza con mangas (tela filtrate) saturada de lodos.	3	1. Medición de los lodos en la tubería de nivel que posee el tanque de almacenamiento. 2. Análisis de contenido de hierro en el aceite en proceso y en tanques de almacenamiento.	3	72
Fermentación	Fermentar la harina con altos tiempo de residencia en las sacas de fermentación.	Demora en la entrega de harina fermentada.	7	Baja productividad en la planta de soya fermentada que limita la disponibilidad de producto, no estando acorde con la demanda actual.	3	1. Cambio de microorganismos utilizados en la fermentación con el fin de mejorar este proceso. 2. Búsqueda de clientes nuevos para justificar la compra de otra planta con mayor capacidad.	3	63

Fuente: Autor, 2024.

El FMEA contempló los procesos de preparación, extracción, molienda, almacenamiento de crudo y fermentación, siendo los tres primeros en los que más se reportan modos de fallas.

Existen dos procesos claves con alto riesgo a la falla. Uno pertenece al proceso de preparación, específicamente al cumplimiento del residual de aceite en la cascarilla y el otro se refiere al proceso de molienda, enfocado en el cumplimiento del contenido de proteínas en la harina de soya.

Las medidas implementadas para cumplir el requerimiento de aceite en la cascarilla corresponden a que exista cierta cantidad de almendra en la cascarilla, pues esto genera el aceite. En el caso del cumplimiento de la proteína en la harina de soya, las acciones se refieren a que la harina de soya no posea un exceso de cascarilla debido a una inadecuada dosificación de la misma, porque aumenta la fibra y, con ello, disminuye la proteína.

Hay tres procesos con riesgo medio: preparación, extracción y molienda. Dos fallas son por proteína baja en la harina de soya, donde un inconveniente es ocasionado por el exceso de cascarilla debido a una incorrecta operación del equipo multiasperador y la otra es por humedad alta en la harina de soya afectada por un mal secado en el equipo desolventizador/tostador. La tercera falla es en la harina integral por proteínas bajas, causado por un exceso de dosificación de polvillo.

Por su parte, hay tres procesos con riesgos bajos: extracción, almacenamiento de aceite crudo y fermentación. El primer caso se refiere al inconveniente por el olor a solvente en el aceite crudo debido a una ineficiencia en el Stripper por obstrucción con gomas en los orificios de los platos internos. El segundo caso es el olor a rancio en el aceite por presencia de sedimentos originados por una mala purga en los tanques de almacenamiento. El tercer caso es porque la limitación de la disponibilidad de soya fermentada no permite vender a nuevos clientes que solicitan este producto, por consiguiente, es necesaria una ampliación de la misma.

Para cada inconveniente, se identificó la causa raíz del problema, las acciones correctivas y el responsable de ejecutarlas. Esta información se encuentra registrada en Root Causes Analysis, que a continuación se detalla:

Tabla 4.8: Análisis de causa raíz de Industrial Oleaginosa Americana

ROOT CAUSES ANALYSIS			
Planteamiento del problema	En los últimos tres años se ha incrementado los reclamos de clientes, ocasionado costos por calidad reflejadas en notas de crédito y reprocesos, además de una posible insatisfacción de los clientes.		
Posible CausasRaíz	Propuesta de solución	Acción tomada	Responsable
Proteína baja en harinas	Disminuir el diámetro del tornillo sin fin, de tal manera que se permita el ajuste fino de la cascarilla o el polvillo.	Mezclar harina de baja proteína con harina alta en proteína.	Encargado del proceso de molienda.
	Dosificar la cascarilla de forma automática utilizando un NIR en línea lo que permite medir en tiempo real el valor de proteína.	Trasladar harina baja en proteína a bodegas externas.	Encargado de bodegas de producto terminado.
	Mezclar harina de baja proteína con harina alta en proteína, de tal forma que la harina final no baje de 46.5% de proteína en la harina de soya y un 35, 5% en la harina integral, que es el mínimo garantizado para cada producto.	Mezclar frijol de baja proteína con alta proteína.	Operadores del proceso de preparación
	Mezclar frijol de baja proteína con alta proteína, permitiendo un frijol con un promedio de 35% de proteína, el cual facilita la obtención de harina del 47%.	Aumentar el tiempo de secado del frijol con baja proteína	Operadores del proceso de preparación
	Trasladar harina baja en proteína a bodegas externas, las cuales poseen un ambiente seco y caliente, lo que permite secar la harina y con ello aumento de la proteína.	Bajar la producción para aumentar el tiempo de residencia en el desolventizador /tostador de harina	Operadores del proceso de extracción.
	Bajar la producción para aumentar el tiempo de residencia en el desolventizador /tostador de harina, para permitir un mayor secado de la harina y aumento de la proteína.		
	Aumentar el tiempo de residencia en el Temperig para la formación de aire entre la almendra y cascarilla. El aire entre la almendra y cascarilla facilita la succión de la cascarilla del frijol quebrado y con menor cascarilla en la almendra, se tendrá más proteína en las harinas.		
Sedimentos en aceite crudo	Dar mayor abertura del dâmpier Multiaspirador con el fin de tener más succión de cascarilla en el frijol quebrado.		
	Limpiar periódicamente los tanques de almacenamiento de aceite crudo para eliminar costras de aceite que se desprenden esporádicamente y quedan en el aceite.	Limpiar tanques de almacenamiento	Operadores de refinación.
	Purgar lodos en función de la concentración de hierro presente en el tanque de almacenamiento del aceite.	Purgar lodos en función de la concentración de hierro.	Operadores de refinación.
	Cambiar mangas del filtro cuando el nivel de hierro del aceite en el tanque muestra una tendencia al alza.	Cambiar la manga del filtro cuando el nivel de hierro muestra una tendencia al alza.	Operadores de refinación.
	Recircular aceite crudo en el filtro de mangas en función de la concentración de hierro del aceite crudo.	Recircular aceite crudo en el filtro de mangas en función de la concentración de hierro	Operadores de refinación.
	Adquirir tanques con fondo cónico y acople con tornillos para facilitar la purga de lodos.		
Residuales de aceite bajos en cascarilla	Bajar la toma de descarga del aceite para mejorar la extracción de lodos acumulados en el fondo del tanque.		
	Incrementar la frecuencia de análisis de residual de aceite para tener un mejor control de la almendra contenida en la cascarilla.	Incrementar la frecuencia de análisis de residual de aceite en cascarilla.	Jefatura de laboratorio
	Dar un mejor control del contenido de aceite en cascarilla, disminuyendo el tiempo del ensayo del residual de aceite, cambiado el equipo Soxhlet por un RMN.		
	Cambiar la ficha técnica para que la cascarilla se vende como fuente de fibra y no como fuente de aceite.		
	Operar el Quebrador de tal forma que se produzca almendra pequeña y de menor peso, para que se succione más almendra y aumente el aceite en cascarilla.		
Olor no característico del aceite crudo	Realizar una limpieza interna del Stripper debido a que las gomas del aceite son acumuladas en los orificios de los platos del equipo, no permitiendo que el vapor ingrese al aceite para la desolventización del hexano.	Realizar limpieza interna del Stripper.	Operadores del proceso de extracción.
	Cambio de los Stripper por uno de mayor capacidad (1 000 ton./día).		
	Aumentar la presión de vapor utilizado en el vacío del Stripper, para mejorar la succión del hexano.		
Disponibilidad de la harina fermentada	Tener una cartera de clientes con los cuales se puedan cumplir la entrega de productos sin tener atrasos.	Creación de una cartera de clientes con contratos de venta.	Servicio al Cliente.
	Realizar un DOE para verificar que no existe diferencia significativa en el contenido de azúcares y proteína, al bajar el tiempo de fermentación. Dicho tiempo es el "cuello de botella" en		

Fuente: Autor, 2024.

El Root Causes Analysis se refiere al problema por el incremento de los reclamos de los clientes debido a los inconvenientes que se presentan por proteína baja en las harinas, sedimentos en el aceite crudo, residuales de aceite bajos en la cascarilla, olor no característico del aceite crudo y demora en la entrega de harina fermentada.

Para eliminar las causas de las no conformidades en los productos, se propusieron varias acciones correctivas, pero no todas se lograron concretar. Las acciones tomadas en cuenta tuvieron un responsable del área de producción para su implementación y seguimiento.

Así, las acciones para solucionar la proteína baja en las harinas ejecutadas fueron la mezcla de harina de baja proteína con harina alta en proteína y el traslado de harina baja en proteína a bodegas externas para aprovechar el ambiente caliente y seco, de tal manera que la harina pierda humedad y, de esta forma, aumente la proteína.

Además, se mezcló el frijol de baja proteína con alta proteína y se aumentó el tiempo de secado del frijol con baja proteína para disminuir la humedad en la harina, lo que genera un incremento en proteína. También se bajó la producción para aumentar el tiempo de residencia en el desolventizador/tostador de harina, que es el equipo de secado de harina.

Las acciones para mitigar los sedimentos en el aceite crudo fueron limpiar los tanques de almacenamiento para eliminar la oxidación de este, purgar lodos en función de la concentración de hierro y no solamente en función del nivel de lodo del tanque, cambiar la manga del filtro cuando el nivel de hierro muestra una tendencia al alza y recircular aceite crudo en el filtro de mangas en función de la concentración de hierro y lodos del tanque.

Con respecto a los residuales de aceite bajos en la cascarilla, la medida fue incrementar la frecuencia de análisis del residual de aceite en la cascarilla para tener un mayor control de este parámetro y mitigar la variabilidad del proceso.

En el caso del olor no característico del aceite crudo, se realizó una limpieza interna del Stripper con el objetivo de eliminar las gomas que taquean la porosidad de los platos por donde pasa el vapor que elimina el solvente contenido en el aceite promotor del olor. Para resolver el inconveniente de la disponibilidad de la harina fermentada, se creó una cartera de clientes con contratos de venta, pero también se está valorando la

ampliación de la planta y un DOE para determinar si se puede bajar el tiempo de fermentación.

CAPÍTULO V. PROPUESTA

5.1 MEJORAR

El detalle de las soluciones para proteína baja en la harina de soya, sedimentos en el aceite crudo, residual de aceite bajo en la cascarilla, proteína baja en la harina integral, olor no característico en el aceite crudo y demora en la entrega de la harina fermentada, se informó en el Action Plan ubicado al final de este apartado.

Este plan contempló aspectos operacionales y acciones que se pueden realizar de forma inmediata o planificada en un paro programado de la industria. Existen otras propuestas donde se requiere de inversión al necesitarse de equipos que en la actualidad no posee la empresa. Otros casos requieren de un estudio mediante la ejecución de un DOE para argumentar objetivamente el cambio. A continuación, se menciona cada una de ellas.

5.1.1 Proteína baja en las harinas

La variabilidad del proceso de producción de harinas en las plantas extractoras provoca harinas altas y bajas en proteínas. El primer caso no es de calidad, más bien es una harina que da mayor proteína a los alimentos para la nutrición animal; el problema es de costos, porque se está dosificando menos cascarilla en la harina, misma que posee un menor precio que el de la harina. También puede ocasionar un inconveniente de productividad, pues harinas altas en proteína por lo general estuvieron en el equipo desolventizador-tostador más tiempo de residencia de lo normal, disminuyendo la producción.

Una buena práctica para tener la proteína dentro de especificación en la harina de soya es eliminar la cascarilla lo más que se pueda en la etapa de preparación (sin subir el residual de aceite en la cascarilla), luego agregarle la cascarilla al final de la etapa de extracción. La dosificación de cascarilla debe hacerse de forma controlada, conociendo previamente el valor de la proteína de la harina a la salida del extractor.

En el caso de la harina integral, se agrega el polvillo eliminado en la primera etapa de preparación (en específico en la zaranda Buler) de forma dosificada al final de la etapa de extracción. Para que la dosificación sea adecuada, se requiere conocer de previo el valor de la proteína en la harina.

Existe un inconveniente en el tiempo en que se tarda en obtener el resultado del análisis, debido a que el traslado de la muestra al laboratorio y la realización del análisis de proteína rondan la hora. Por lo tanto, se propuso que la medición de la proteína fuera en línea para disminuir el tiempo de respuesta del ensayo, lo cual se puede hacer por medio de la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR). En Costa Rica la representación de esta tecnología NIR de la marca FOSS es por parte de SCANCO. El modelo recomendado fue el Profoss que se muestra seguidamente:

Figura 5.1: Equipo espectrofotómetro de infrarrojo cercano (NIR)



Fuente: SCANCO, 2024.

La medición de la proteína en la harina se realizaría en línea, tal y como se muestra en la siguiente figura:

Figura 5.2: Medición del NIR en la línea de producción



Fuente: SCANCO, 2024.

De este modo, se detectan las tendencias del contenido de proteína en tiempo real, se solucionan los problemas de la variabilidad en la proteína y se mejora la productividad de la planta.

- **Estimación de los costos del equipo NIR para la determinación de la proteína en la harina de soya (NIR HS)**

La estimación de la pérdida económica por entregar harina con proteína más alta de la especificación se calcula tomando en cuenta la cascarilla dejada de adicionar a la harina. Lo anterior porque existe una diferencia importante en el precio de la cascarilla y de la harina de soya.

La información necesaria para estimar la pérdida entre la harina a 46,5 % de proteína y el porcentaje promedio obtenido en el proceso fue dada por la Gerencia de Planta de Industrial de Oleaginosas Americanas (D. Vásquez, comunicación personal, 24 de noviembre de 2023):

- Consumo de frijol de soya: 274 800 ton/año.
- Rendimiento de la harina: 76,39 %.
- Precio de la cascarilla: 270 \$/ton.
- Precio de la harina de soya: 446 \$/ton.
- Proteína meta: 46,5 %.
- Proteína real: 47,4 %.

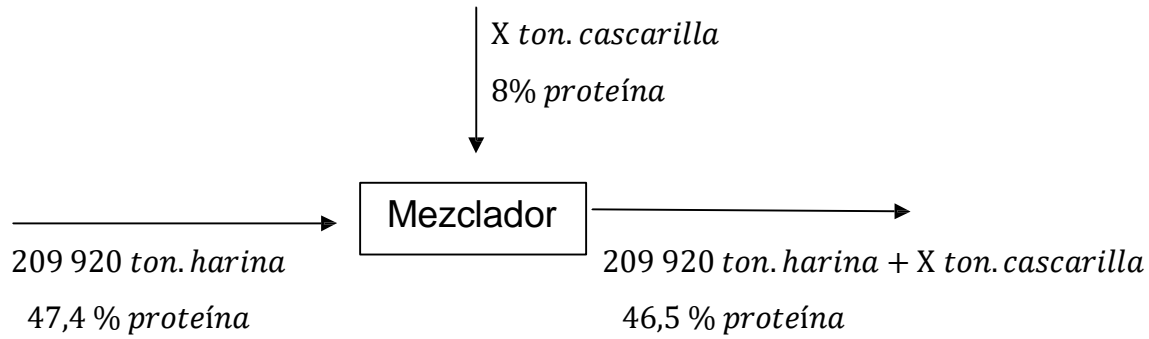
- Proteína de la cascarilla: 8,0 %.

Los cálculos se muestran a continuación:

$$\text{Harina de soya} = 274\,800 \frac{\text{ton}}{\text{año}} * \frac{76,39}{100} \% \text{ harina} = 209\,920 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

La cascarilla dejada de adicionar a la harina se calcula al hacer un balance de masa, con X las toneladas de cascarilla por mezclar en la harina:

Figura 5.3: Balance de masa de la proteína y la cascarilla



Fuente: Autor, 2024.

La ecuación quedaría así:

$$209\,920 * 0,474 + X * 0,08 = (209\,920 + X) 0,465$$

$$\text{Despejando } X = 4\,907 \text{ ton. cascarilla}$$

La pérdida es el diferencial de precio de la harina con respecto a la cascarilla:

$$\text{Costo cascarilla} = 4\,907 \left(\frac{\text{ton}}{\text{año}}\right) * 270 \left(\frac{\$}{\text{ton}}\right) = 1\,324\,890 \frac{\$}{\text{año}}$$

$$\text{Costo harina} = 4\,907 \left(\frac{\text{ton}}{\text{año}}\right) * 446 \left(\frac{\$}{\text{ton}}\right) = 2\,188\,522 \frac{\$}{\text{año}}$$

$$\text{Diferencia costo} \frac{\text{harina}}{\text{cascarilla}} = 2\,188\,522 - 1\,324\,890 = \$ 863\,632$$

El retorno de la inversión del equipo NIR, considerando la instalación (\$80 000 +\$30 000), es:

$$\text{Tasa de retorno} = \frac{\$110\,000}{\$863\,632 \frac{\$}{\text{año}}} = 0,13 \text{ años}$$

O sea, en aproximadamente 2 meses se pagaría el equipo NIR HS.

- **Estimación de los costos del equipo NIR para la determinación de la proteína en la harina integral (NIR HI)**

La estimación de la pérdida económica por entregar harina con proteína más alta de la especificación se calcula tomando en cuenta el polvillo dejado de adicionar a la harina integral.

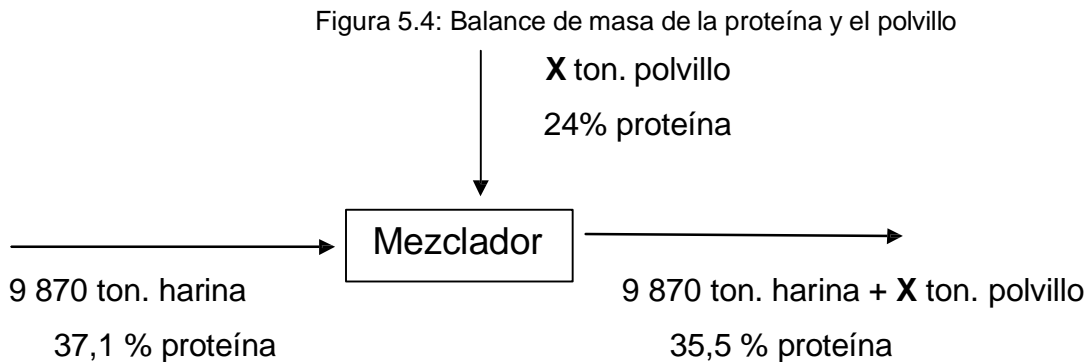
La información necesaria para el cálculo de la pérdida fue dada por la Gerencia de Extracción de Industrial de Oleaginosas Americanas (D. Vásquez, comunicación personal, 8 de noviembre de 2023):

- Consumo de frijol de soya: 10 500 ton/año.
- Rendimiento de la harina integral: 94 %.
- Precio del polvillo: 152 \$/ton.
- Precio de la harina integral: 783 \$/ton.
- Proteína meta: 35,5 %.
- Proteína real: 37,1 %.
- Proteína en polvillo: 24,0 %.

Los cálculos se muestran a continuación:

$$Harina\ de\ integral = 10\ 500 \frac{ton}{año} * \frac{94}{100\ \% \text{ harina}} = 9\ 870 \frac{ton}{año}$$

El polvillo dejado de adicionar a la harina se calcula realizando un balance de masa, con X las toneladas de cascarilla por mezclar en la harina:



Fuente: Autor, 2024.

La ecuación quedaría:

$$9\,870 * 0,371 + X * 0,24 = (9\,870 + X) 0,355$$

Despejando $X = 1\,222$ ton. polvillo.

La pérdida es el diferencial de precio de la harina con respecto al polvillo:

$$\text{Costo polvillo} = 1\,222 \left(\frac{\text{ton}}{\text{año}}\right) * 152 \left(\frac{\$}{\text{ton}}\right) = 185\,744 \frac{\$}{\text{año}}$$

$$\text{Costo harina} = 1\,222 \left(\frac{\text{ton}}{\text{año}}\right) * 783 \left(\frac{\$}{\text{ton}}\right) = 956\,826 \frac{\$}{\text{año}}$$

$$\text{Diferencia costo} \frac{\text{harina}}{\text{cascarilla}} = 956\,826 - 185\,744 = \$ 771\,082$$

El costo del equipo es de aproximadamente \$ 80 000 según el proveedor SCANCO. Por su parte, realizar un sistema de dosificación e instalar el NIR implica alrededor de \$ 50 000.

Así, el retorno de la inversión del equipo NIR, tomando en cuenta la instalación (\$80 000 +\$50 000), es:

$$\text{Tasa de retorno} = \frac{\$ 130\,000}{\frac{\$771\,082}{\text{año}}} = 0,17 \text{ años}$$

Por consiguiente, en aproximadamente 2 meses se paga el equipo NIR HI.

5.1.2 Sedimentos en el aceite crudo

Los sedimentos en el aceite son ocasionados principalmente por el contenido de hierro y gomas que se van acumulando en el aceite a lo largo del tiempo en los tanques de almacenamiento. Por consiguiente, una purga eficaz eliminaría los lodos del fondo del tanque que contienen este metal y las gomas. Sin embargo, no es posible llevarlo a

cabo porque la toma que succiona el aceite se encuentra unos cuantos centímetros por arriba de la base del tanque. Se propuso, entonces, que los futuros tanques tengan un fondo cónico y una válvula compuerta o un acople con tornillos para facilitar la purga. De hecho, varios tanques en Industrial de Oleaginosas Americanas ya cuentan con este diseño, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 5.5: Tanque con fondo cónico y acople para purgar



Fuente: Autor, 2024.

Si se aplica la medida mencionada, no habrá problemas de hierros altos en el aceite, que es un parámetro crítico para la estabilidad del aceite, pues este metal es un catalítico del proceso oxidativo y la formación de ácidos grasos. Lo anterior produce que el aceite tenga un sabor rancio, se acentúe el color amarillo y baje su vida útil.

Tampoco se tendrán gomas que con el tiempo se acidifiquen, provocando rancidez en el aceite cuando se pierda la estabilidad oxidativa.

5.1.3 Residual de aceite bajo

La variabilidad en el proceso de preparación genera residuales altos y bajos de aceite en la cascarilla. Cabe señalar que el residual alto de aceite en la cascarilla no es un inconveniente de calidad, debido a que mayor aceite de soya favorece a los alimentos para nutrición animal. El problema presentado se refiere a la merma de aceite crudo,

porque el aceite no se extrajo y no se vendió al precio de aceite crudo, sino de cascarilla.

El motivo del residual alto se debe principalmente a la falta de una regulación adecuada de la succión de cascarilla, ya que una mayor succión hace que se pierda almendra del frijol de soya. Sin embargo, no se debe succionar menos de lo necesario, porque se va cascarilla en la harina de soya y se provoca que la proteína en la harina no cumpla la especificación.

El aumento de frecuencia es necesario para controlar de manera adecuada la succión de cascarilla. En la actualidad, este parámetro se realiza en el laboratorio por técnicas de Soxhlet (extracción con solvente) con una media de tiempo de 4 horas, lo cual provoca una limitante importante para tener más resultados y hacer ajustes en producción.

Se propuso llevar a cabo el ensayo de residual de aceite por resonancia magnética nuclear (RMN). Al respecto, en Costa Rica existe la representación de esta tecnología por parte de ORGOMA. El modelo recomendado es el SpecFIT HR50 y el costo indicado por el Departamento de Ventas de ORGOMA es de aproximadamente \$ 70 000 (F. Rodríguez, comunicación personal, 9 de noviembre de 2023).

Figura 5.6: Equipo de resonancia magnética nuclear (RMN)



Fuente: Fine Instrument Technology, 2024.

Este equipo determina el análisis en un tiempo de 4 minutos sin necesidad de solventes y es una técnica reconocida por ISO 10565, ISO 10632, AOCS Ak 5-0, AOCS Ak 3-94 y AOCS Ak 4-95. Lo anterior mejora de forma significativa la productividad de los

analistas, el tiempo de respuesta del análisis y la seguridad de los laboratoristas al no tener que manipular solventes altamente inflamables.

- **Estimación de los costos del equipo RMN para la determinación de residual de aceite en la cascarilla**

Para estimar la pérdida en cuanto a mantener la cascarilla en 1,0 % de aceite (especificación inferior) y el valor de 1,6 % correspondiente al valor promedio obtenido en la planta, se conoció la siguiente información facilitada por la Gerencia de Calidad de Industrial de Oleaginosas Americanas (N. Rodríguez, comunicación personal, 24 de noviembre de 2023):

- Consumo de frijol de soya: 274 800 ton/año.
- Rendimiento de la cascarilla: 4,30 %.
- Precio del aceite: 1 025 \$/ton.
- Residual meta: 1,0 %.
- Residual real: 1,6 %.

Los cálculos se muestran a continuación:

$$Cascarilla = 274\,800 \frac{\text{ton}}{\text{año}} * \frac{4,30}{100} \% cascarilla = 11\,816 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

$$Residual\ aceite\ meta = 11\,816 \frac{\text{ton}}{\text{año}} * 1,0 \% aceite = 118 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

$$Residual\ aceite\ real = 11\,816 \frac{\text{ton}}{\text{año}} * 1,6 \% aceite = 189 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

$$Aceite\ recuperado = 189 \frac{\text{ton}}{\text{año}} - 118 \frac{\text{ton}}{\text{año}} = 71 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

$$Ingreso\ por\ aceite\ recuperado = 71 \left(\frac{\text{ton}}{\text{año}}\right) * 1\,025 \left(\frac{\$}{\text{ton}}\right) = 72\,775 \frac{\$}{\text{año}}$$

Por su parte, el retorno de la inversión del equipo RMN (costo del equipo \$ 70 000) es:

$$Tasa\ de\ retorno = \$ 70\,000 / \$ 72\,775/\text{año} = 0,96\ \text{año}.$$

Aproximadamente en 1 año se paga el equipo RMN.

5.1.4 Olor no característico en el aceite crudo

A continuación, se exponen propuestas para el olor a solvente y a rancio en el aceite.

- **Olor a solvente**

El Stripper es el equipo que desolventiza el solvente (hexano) en el aceite. La siguiente figura muestra este equipo:

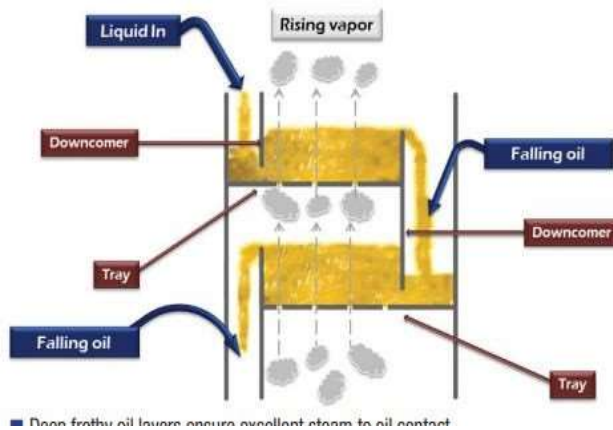
Figura 5.7: Equipo Stripper



Fuente: Desmet Ballestra, 2024.

Básicamente trabaja utilizando vapor directo para desolventizar la miscela (aceite más hexano), alimentada la misma por la parte superior del Stripper y bajando en contracorriente con el vapor, por medio de mamparas, como se aprecia a continuación:

Figura 5.8: Principio de funcionamiento de un Stripper



Fuente: Desmet Ballestra, 2024.

El Stripper de la planta de extracción posee una capacidad para 450 ton./día, no obstante, en la actualidad se puede llegar a producir hasta 100 (ton./día) adicionales. Por lo tanto, es recomendable cambiar el Stripper por uno de mayor capacidad. En cuanto a esto, la empresa Desmet, fabricante de este equipo, dispone de un modelo para desolventizar a una capacidad de 1 000 ton./día, el cual es el modelo más pequeño disponible, pero adecuado para la empresa.

- **Estimación de los costos del equipo Stripper para ampliar la capacidad de desolventización del hexano en el aceite crudo**

La información necesaria para calcular el retorno de la inversión fue indicada por la Gerencia de Planta, Gerencia de Harinas y Gerencia de Calidad. Además de la información del contenido de hexano en el primer semestre del año 2023 y segundo semestre del año 2023.

- Consumo de frijol de soya: 274 800 ton/año.
- Rendimiento del aceite: 19,31 %.
- Costo aproximado del Stripper: \$ 80 000.
- Hexano promedio en aceite: 52 ppm.
- Hexano meta en aceite: 23 ppm.
- Costo del hexano: 2 400 \$/ton.

Los cálculos del retorno de la inversión son los siguientes:

Diferencia de concentración de hexano: 52 ppm -23 ppm = 29 ppm.

$$\text{Aceite} = 274\,800 \frac{\text{ton}}{\text{año}} * \frac{19,31}{100} \% \text{ aceite} = 53\,064 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Tomando en cuenta que 29 ppm de hexano en el aceite es equivalente a:

$$29 \text{ ppm} = 29 \text{ g hexano} / \text{ton. aceite}$$

Por lo tanto:

$$\text{Hexano} = 53\,064 (\text{ton. aceite/año}) * 29 (\text{g hexano/ton. aceite}) = 1\,591\,920 \text{ g/año}$$

$$\text{Hexano} = 1,6 (\text{ton./año}) * 2\,400 (\$/\text{ton}) = 3\,840 (\$/\text{año})$$

El costo del Stripper y su instalación corresponden a \$ 80 000 (\$ 65 000 + \$ 15 000), mientras el retorno de la inversión es de:

$$\text{Tasa de retorno} = \$80\,000 / \$3\,840 / \text{año} = 20,8 \text{ años}$$

Se requiere de 21 años para recuperar la inversión, por consiguiente, el cambio del Stripper no es rentable, pues la organización solicita que las inversiones se recuperen en 10 años.

- **Olor a rancio**

Otro factor de gran importancia vinculado a los olores no característicos del aceite es la degradación de este, lo cual genera acidez (ácidos grasos libres) y olor a rancio producto de la oxidación. Relacionado a esto, un factor que interviene en la degradación es el tipo de antioxidante empleado y su concentración. En la actualidad se utiliza TBHQ como antioxidante a una concentración máxima de 50 ppm. Sin embargo, no se cuenta con un estudio referente a si este antioxidante es el más adecuado y si la concentración especificada es la idónea.

Para establecer lo anterior, se realizó un DOE variando el antioxidante y las concentraciones según se registró en el apartado de “Apéndices”, teniendo como variable la vida útil del aceite determinada en el laboratorio mediante un equipo llamado Rancimat. Adicional, se utilizó la prueba Friedman Test para conocer si el antioxidante seleccionado y su concentración eran idóneas. El tipo de antioxidante más común en el mercado para aceites, con una propuesta de posibles concentraciones, se muestra en el apéndice. El valor alto de antioxidante fue el máximo dado por CODEX STAN 210-1999 y RTCA.

El resultado del Friedman Test con los valores de la vida útil del aceite crudo a distintas concentraciones de antioxidantes fue:

Tabla 5.1: Friedman Test

Treatments	3
Blocks	4
Chi sq	9,000
C	1
Chi sq Adj	9,000
df	3
Confidence level	0,95
Chi sq alpha	7,815
p-Value	0,029
p-Value adjusted for ties	0,029
<u>Reject H0 at least one treatment is different</u>	

Fuente: Autor, 2024.

De acuerdo con esta prueba estadística, existió una diferencia significativa en el tipo de antioxidante utilizado, pero no se indicó nada referente a si la concentración era relevante. Por consiguiente, se procedió con otra prueba estadística, a saber, la Two Factor ANOVA vías con repetición; el resultado fue el siguiente:

Tabla 5.2: ANOVA dos vías con repetición

Source of variation	df	F	p- Value	Critical F	Significant	% contr
Antioxidante	3	1908	0,000	3,490	Yes	92,59 %
Nivel	2	23	0,000	3,885	Yes	0,79 %
Interaction	6	44	0,000	2,996	Yes	6,32 %
Error	12					0,29 %
Total	23					100,00 %

Fuente: Autor, 2024.

Esta tabla de Two Factor de ANOVA brindó más información que la tabla Friedman, debido a que se mencionan varios aspectos importantes:

- Hay una diferencia significativa en la vida útil del aceite crudo según el tipo de antioxidante utilizado.
- Existe una diferencia significativa en la vida útil del aceite crudo dependiendo de la concentración del antioxidante utilizado.
- El 92,59 % de contribución a la vida del aceite lo tuvo el antioxidante utilizado y solo un 0,79 % la concentración del antioxidante.

Estas observaciones tienen un nivel de confianza del 95 %. Es fundamental hacer un cambio de antioxidante, o sea, pasar de TBHQ a propil galato, y mantener la concentración de 50 ppm, debido a que no se justifica aumentar el costo de este insumo por un aumento en la concentración y también por tema de seguridad alimentaria, pues si se dosifica a altas concentraciones, se puede correr el riesgo de sobrepasar los 200 ppm máximos permitidos por CODEX STAN 210-1999 y RTCA.

5.1.5 Disponibilidad del producto

Para tener mayor disponibilidad de la harina fermentada y, de esta forma, cumplir con los pedidos de los clientes, se requiere aumentar la productividad de la planta. La etapa de incubación de los microorganismos es la que consume el mayor tiempo en la elaboración de esta harina. En cuanto a esto, el periodo de incubación de la harina es un factor vital para el contenido final de proteína que tendrá el producto fermentado. Se

ha establecido un tiempo de fermentación de 72 horas, pero no se ha realizado un estudio para determinar si este es el tiempo idóneo.

Por lo tanto, con el fin de establecer si el tiempo mencionado es el adecuado, se llevó a cabo un diseño de experimento que consistió en variar el tiempo de incubación, teniendo como variable de respuesta el contenido de proteína. El pH es un parámetro que varía también en la fermentación debido a la producción de ácidos orgánicos, sin embargo, esta variable solo se puede medir, pero no controlar. Por consiguiente, el experimento se diseñó considerando la ANOVA covariante. El resultado se muestra seguidamente:

Tabla 5.3: ANOVA una vía con covariable

Source of variation	df	F	p-Value	Critical F	Significant
Incubación__hr__	1	0,87	0,381	5,591	No
Covariate	1	0,15	0,710	5,591	No
Error	5				
Total	7				

Fuente: Autor, 2024.

Se concluyó que el tiempo de incubación de 24 horas está teniendo el mismo efecto en el contenido de proteína en la harina que un tiempo de 72 horas, con un nivel de confianza del 95 %. Esta información es relevante para la productividad de la planta, pues la harina culminaría el periodo de fermentación en 24 horas y no en las 72 horas que actualmente se establecen.

5.1.6 Action Plan

En el Action Plan se indican las acciones por tomar para solventar cada una de las quejas planteadas por los clientes. Asimismo, se señalan los pasos específicos de cómo ejecutar la acción, el responsable, cuándo realizar las acciones, el lugar el específico donde se efectúan y la justificación de la implementación.

Tabla 5.4: Action Plan de Industrial de Oleaginosas Americanas

ACTION PLAN					
5 Ws and 1 H					
QUÉ	CÓMO	QUIÉN	CUÁNDO	DÓNDE	POR QUÉ
Acción a tomar	Pasos específicos	Responsable	Fecha inicial /fecha final	Localización específica	Justificación de la implementación
Subir el nivel de proteína en harinas (harina de soya y harina integral).	Bajar la producción de las plantas extractoras para dar mayor tiempo de secado del frijol con baja proteína.	Gerente de harinas.	01.07.2023 / 01.09.2023	Secadores de frijol.	Al dar mayor tiempo de residencia en el secador, al frijol se le puede bajar la humedad a un valor tal que la proteína sea de 35% mínimo; el cual es el recomendado para obtener harina de soya de 47% de proteína y un 36% de proteína en la harina integral.
	Trasladar harina húmeda a bodegas externas.	Encargado de bodegas de producto terminado.	07.07.2023 / 01.08.2023	Bodegas del complejo La Roca.	Las bodegas externas poseen un ambiente seco y caliente, lo que ayuda a secar la harina y por consiguiente aumentar la proteína.
	Mezclar harina de baja proteína con harina alta en proteína.	Encargado del proceso de molienda y encargado de bodega de producto	02.07.2023/09.08.2023	Tolvas de harina.	Con la mezcla de harinas permiten llegar al 46,5% proteína y cumplir el nivel mínimo garantizado.
	Trasladar harina baja en proteína a bodegas externas.	Encargado del proceso de molienda y encargado de bodega de producto terminado.	10.07.2023/01.08.2023	Bodegas del complejo La Roca.	Las bodegas externas poseen un ambiente seco y caliente, lo que ayuda a secar la harina y por consiguiente aumentar la proteína.
	Mezclar frijol de baja proteína con alta proteína.	Encargado del proceso de molienda y encargado de bodega de producto terminado.	05.07.2023/07.08.2023	Silos de almacenamiento del frijol de soya.	La mezcla hace que la proteína promedio del frijol sea cercano al 35%, lo que permite producir harinas de 47% de proteína.
Eliminar sedimentos en aceite crudo.	Limpiar periódicamente los tanques de almacenamiento de aceite crudo.	Operadores de refinación.	02.09.2023/10.09.2023	Tanque de almacenamiento de aceite	Los tanques van formando costras de aceite, principalmente en el fondo, que se desprenden esporádicamente y quedan en el aceite.
	Cambiar mangas del filtro cuando el nivel de hierro del aceite del tanque muestra una tendencia al alza.	Operadores de refinación.	05.09.2023/09.09.2023	Filtro de mangas del tanque de almacenamiento de aceite crudo.	Lo normal es el cambio de mangas del filtro por saturación con lodos, pero también la filtración es ineficiente si no se toma en cuenta, de forma independiente, la saturación debida a partículas metálicas
	Purgar lodos en función de la concentración de hierro presente en el tanque de almacenamiento del aceite.	Operadores de refinación.	02.09.2023/04.09.2023	Acoples para la purga del tanque de almacenamiento de aceite crudo.	Puede existir poco lodo conteniendo mucho hierro, por consiguiente el monitoreo del mismo, independientemente del monitoreo del nivel de lodos, deben ser dos factores a tomar en cuenta al realizar la purga del tanque.
	Recircular aceite crudo en el filtro de mangas en función de la concentración de hierro del aceite crudo.	Operadores de refinación.	01.08.2023/03.08.2023	Filtro de mangas del tanque de almacenamiento de aceite crudo.	Cuando el nivel de lodos en el tanque de almacenamiento de aceite es alto, es un indicativo de la necesidad de recircular el aceite para eliminar dicho lodo. Sin embargo, la filtración con magas con porosidad de 5 um o menos que actualmente cuentan los tanques, es una forma de eliminar metales y por consiguiente es necesario hacer la recirculación no solamente por los lodos, sino también por el nivel de hierro.
Incrementar el residual de aceite en cascarilla.	Incrementar la frecuencia de análisis del residual de aceite en cascarilla.	Jefatura de laboratorio.	02.07.2023/09.11.2023	Laboratorio	Mejor control de la almendra contenida en la cascarilla.
Eliminar los olores no característicos del aceite crudo.	Limpieza interna del Stripper.	Operadores del proceso de extracción.	02.10.2023/09.10.2023	Stripper	Con la limpieza del equipo se elimina las gomas acumuladas en los orificios de los platos del Stripper que no permiten que el vapor ingrese al aceite para la desolventización del hexano. Este solvente es el que provocan olores en el aceite.
	Cambiar mangas del Filtro cuando el nivel de hierro del aceite en el tanque muestra una tendencia al alza.	Operadores de refinación.	19.10.2023 / 21.10.2023	Filtro manga	Si se muestra una tendencia al alza de la concentración del hierro en el aceite crudo, significa que el filtro se está saturando y por consiguiente pierde la eficacia de la eliminación del metal.
	Recircular aceite crudo en el filtro de mangas en función de la concentración de hierro del aceite crudo.	Operadores de refinación.	06.07.2023 / 14.07.2023	Filtro manga	Actualmente se realiza la circulación en función de la cantidad de lodos que posee el fondo del tanque. Sin embargo ha existido concentraciones altas de hierro con baja concentración de lodos y por consiguiente las recirculaciones tienen que ejecutarse tomando en cuenta ambos casos de forma independiente.
Mantener disponibilidad de producto de harina fermentada	Disminuir el tiempo de fermentación.	Operadores de Planta Soya Fermentada.	12.01.2024/27.02.2024	Sacas de fermentación	De acuerdo con el DOE realizado en la etapa de fermentación, no hay cambios significativos en el valor de proteína de la harina, si la misma se fermenta a 72 horas o 24 horas. Con este cambio se incrementa de forma significativa la productividad de la planta, pudiendo cumplir con las entregas de los clientes.
	Crear una cartera de clientes.	Servicio al Cliente.	11.07.2023/10.08.2023	Área administrativa	Contar con clientes que esté acorde con la capacidad de la planta, de tal manera que se programe los despachos de productos en los tiempos de entrega pactados.

Fuente: Autor, 2024.

En el Action Plan se aprecia la importancia de cada medida para corregir los inconvenientes que generan las quejas de los clientes.

La proteína posee una relación inversa con la humedad, por ende, si se baja la humedad, se puede aumentar el contenido de proteína en las harinas. Este argumento respalda el envío de las harinas de baja proteína a bodegas externas que poseen un ambiente caliente y seco. De igual modo, justifica el aumento de tiempo de residencia de estas en el equipo secador de proteína, bajando la producción. El recurso de mezclas de harina y frijol de alta proteína con baja proteína no siempre está disponible para hacer esta acción, por lo cual es necesario tener las otras medidas mencionadas para no despachar producto no conforme.

Los sedimentos (como gomas y hierro) acumulados en el fondo de los tanques de almacenamiento son los responsables de dar un olor rancio al aceite, por lo que es necesaria la eliminación eficaz de este mediante una purga adecuada. El otro olor no característico del aceite crudo es debido al exceso de hexano en el aceite (olor a solvente), por la operación deficiente del Stripper que se ve afectado con la acumulación de gomas formadas al tener contacto el aceite con el vapor húmedo. La limpieza periódica de este equipo es fundamental para que el equipo opere con la capacidad de diseño dada por el fabricante.

El residual de cascarilla es un parámetro que debe controlarse porque si posee mucho significa la pérdida de almendra de frijol, debido a que de ahí viene el aceite. Esta merma genera costos al ser necesario vender cascarilla con exceso de aceite que en un principio se extrajo para venderse como aceite crudo, el cual posee un valor más alto que la cascarilla.

El tiempo de fermentación es el “cuello de botella” de la planta de harina fermentada. En la actualidad se tardan 72 horas en incubación, pero se valora pasar esta cantidad a 24 horas porque con el estudio previo desarrollado en el laboratorio se demostró que las cualidades de esta harina se mantienen intactas con la disminución del tiempo. Por el momento, se tiene una cantidad de clientes que están acordes con la capacidad de la planta y se espera que en un futuro cercano se amplíe el área de fermentación si la medida de disminución del tiempo no fructifica.

5.2 CONTROLAR

A continuación, se muestra el Control Plan y luego la medida de la eficacia de las implementaciones mediante el análisis de resultados con datos del segundo semestre del año 2023.

Tabla 5.5: Control Plan de Industrial Oleaginosa Americana

CONTROL PLAN										
DESCRIPCIÓN DE PARTE: Proceso de planta Extractora			MIEMBROS DEL EQUIPO: Carmen Yesenia A., Keylin S., Nelson R., Josue N.				FECHA: 30/12/2023		APROBACIÓN: Carmen Yesenia Alvarado J.	
DESCRIPCIÓN GENERAL			CARACTERÍSTICAS		MÉTRICA		TAMAÑO MUESTRA		CONTROL	
NÚMERO	NOMBRE PROCESO/ DESCRIPCIÓN DEL PASO	EQUIPO DE OPERACIÓN	PRODUCTO	PROCESO	ESPECIFICACIÓN/ TOLERANCIA	TÉCNICA DE MEDICIÓN	TAMAÑO	FRECUENCIA	MÉTODO DE CONTROL	PLAN DE REACCIÓN
9	Almacenamiento	Tolvas	Harina de soya y harina integral	Proteína en harina	(46,5-47,5)% en harina de soya. (35,5-36,5)% en harina integral.	Combustión	2 kg	Diaria	Análisis de proteína por Dumas.	Mezclar harina baja proteína con harina alta en proteína.
10	Despacho	Bodegas	Harina de soya y harina integral	Proteína en harina	(46,5-47,5)% en harina de soya. (35,5-36,5)% en harina integral.	Espectrofotometría	2 kg	Diaria	Análisis de proteína vía NIR.	Trasladar harina baja en proteína a bodegas externas.
2	Almacenamiento	Silos	Frijol de soya	Proteína en el frijol	35 % min.	Combustión	500 g	Cada descarga de frijol	Análisis de proteína por Dumas.	Mezclar frijol de baja proteína con alta proteína.
4	Extracción	Desolventizador /tostador	Harina de soya y harina integral	Humedad en harina	(10-12)%	Gravimétrico	2 kg	Diario	Análisis de humedad por balanza de humedad	Bajar la producción para aumentar el tiempo de residencia en el desolventizador /tostador de harina.
15	Despacho	Administración	Harina fermentada	Despacho producto	3 días máx.	Tiempo	NA	Cada despacho	Registro de tiempos de despachos del producto.	Crear una cartera de clientes con contratos de venta.
16	Análisis	Laboratorio	Cascarilla	Residual de aceite	(1,0-1,5)%	Gravimétrico	500 g	Diario	Análisis de residual de aceite por Soxhlet.	Mayor control del parámetro de residual de aceite al incrementar la frecuencia de análisis.
6	Almacenamiento	Tanques	Aceite crudo	Sedimentos	Ausencia	Claridad de dico	500 mL	Semanal	Particulado retenido en el filtro	Limpiar periódicamente los tanques de almacenamiento de aceite crudo.
6	Almacenamiento	Tanques	Aceite crudo	Sedimentos	4 ppm max.	Espectrofotometría	500 mL	Diario	Análisis de hierro por Absorción atómica.	Purgar lodos en función de la concentración de hierro presente en el tanque de almacenamiento del aceite.
6	Almacenamiento	Tanques	Aceite crudo	Sedimentos	4 ppm max.	Espectrofotometría	500 mL	Diario	Análisis de hierro por Absorción atómica.	Cambiar mangas del filtro cuando el nivel de hierro del aceite del tanque muestra una tendencia al alza.
6	Almacenamiento	Tanques	Aceite crudo	Sedimentos	4 ppm max.	Espectrofotometría	500 mL	Diario	Análisis de hierro por Absorción atómica.	Recircular aceite crudo en el filtro de mangas en función de la concentración de hierro.
4	Desolventización	Stripper	Aceite crudo	Olor en el aceite	Característico (no rancio ni a solvente)	Organoléptico	500 mL	Diario	Catación del aceite crudo	Limpiar los Strippers.
12	Fermentación	Sacas de Fermentación	Harina fermentada	Disponibilidad de producto (harina fermentada)	72 horas	cronómetro	NA	Diario	Registros de tiempos	Pasar de 72 horas a 24 horas de fermentación.

Fuente: Autor, 2024.

En el Control Plan se encuentran los productos con los cuales se ha tenido inconformidad por parte de los clientes: harina de soya, harina integral, harina fermentada, aceite crudo de soya y cascarilla de soya.

El ensayo de proteína de la harina de soya, la harina integral y la harina fermentada se puede hacer por medio de dos técnicas analíticas, a saber, DUMAS y NIR. La frecuencia de análisis es diaria, sin embargo, si se requiere una mayor frecuencia de análisis, se puede realizar vía NIR porque no se necesita la preparación de la muestra y la lectura tiene un tiempo de duración de 1 minuto, lo que facilita la labor del analista.

Por su parte, la vía DUMAS requiere de la preparación de la muestra, que consiste en un molido de la muestra y enfriado de la misma con una duración en este proceso de aproximadamente 30 minutos; además de la lectura en el equipo, lo cual implica una duración aproximada de 4 minutos. Cuando se requiere un ajuste de proteína, el plan contempla mezclas de frijol, mezclas de harinas, traslado a bodegas externas y aumento del tiempo de residencia en el secador, bajando la producción.

El residual de aceite en la cascarilla es afectado por la variabilidad del proceso de preparación. Para estabilizar dicho proceso, se requiere de un aumento de la frecuencia de análisis con el equipo Soxhlet, de tal manera que los ajustes en el dämpfer del multiasperador se efectúen de forma oportuna.

Los olores en el aceite crudo se deben a dos casos principales: exceso de lodos en el fondo del tanque de almacenamiento y residual de solvente utilizado en el proceso de extracción del aceite. Los lodos en el tanque se pueden medir con el nivel que poseen los mismos, pero otra técnica adecuada es el uso del equipo de absorción atómica con el cual es posible medir el hierro elemental. El solvente es fácil detectarlo por el olor, no obstante, este es un método cualitativo. La forma de hacerlo cuantitativo es por medio de la cromatografía de gases, pero este ensayo está disponible solo en horario diurno. La disponibilidad de la soya fermentada se puede aumentar cambiando el periodo de fermentación de la harina, pero se requiere de un DOE para validar que los parámetros de esta harina no se vean comprometidos. También está la opción de incrementar la capacidad de la planta en un futuro próximo. Por el momento, hay una cartera de clientes acorde con la capacidad de la planta actual.

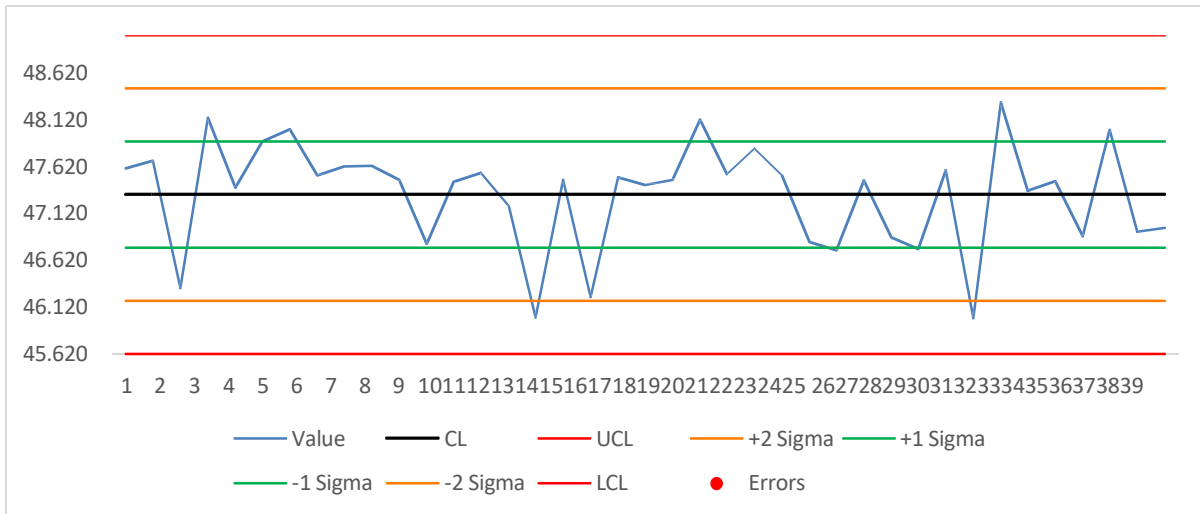
Para el segundo semestre del año 2023, se implementaron acciones correctivas. Los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros en ese periodo se muestran a continuación.

5.2.1 Proteína baja en las harinas

- **Proteína baja en la harina de soya**

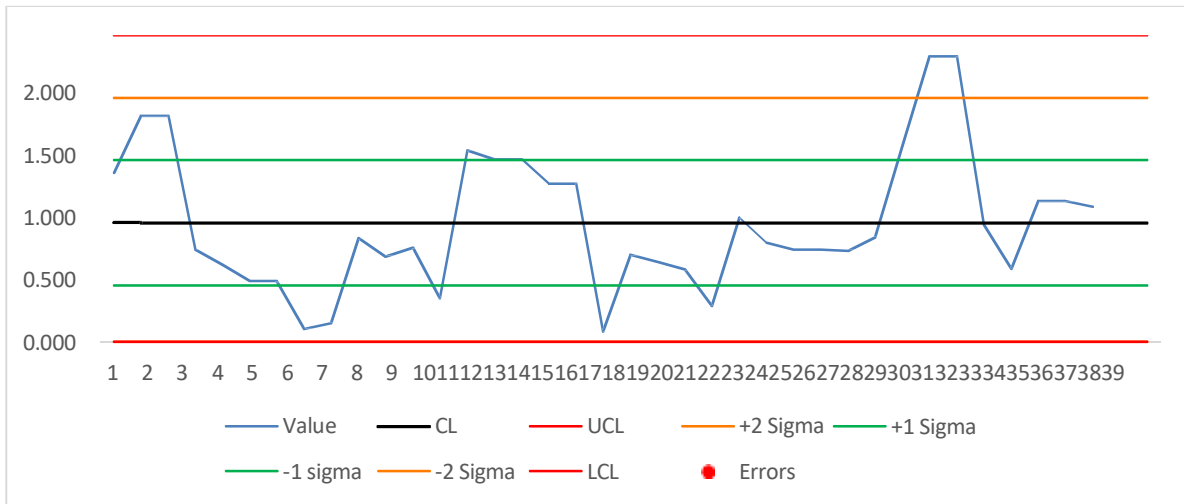
El gráfico de control del parámetro de proteína en la harina de soya se muestra a continuación:

Figura 5.9: I Chart: proteína HS, segundo semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

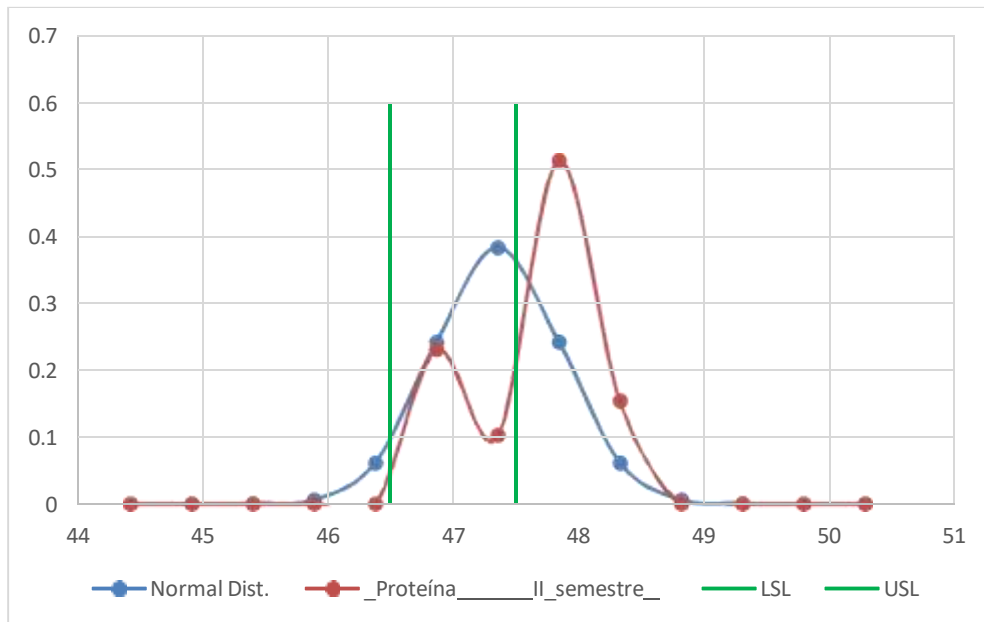
Figura 5.10: MR Chart: proteína HS, II semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

Los gráficos de control para el segundo semestre del año 2023 cumplieron con las reglas para que el proceso de proteína se encuentre en control estadístico. El comportamiento se mantiene debido a que el primer semestre tenía una tendencia similar:

Figura 5.11: Capacidad de Proceso: proteína HS, segundo semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

Tabla 5.6: Capacidad de Proceso HS, segundo semestre del año 2023

Max	48,3
Min	46,51
Mean	47,358
Upper Spec Limit	47,5
Lower Spec Limit	46,5
Ppl	0,585
PpU	0,097
Pp	0,341
Ppk	0,097
Cpl	0,554
Cpu	0,092
Cp	0,323
Cpk	0,092
Observed Performance	
Upper % out	43,59 %
Lower % out	0,00 %
Total % out	43,59 %

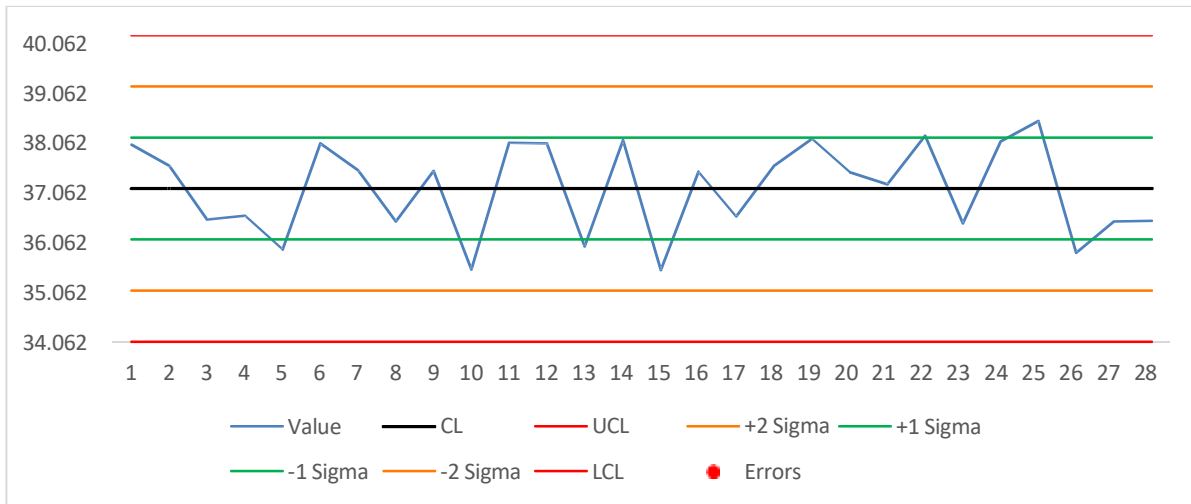
Fuente: Autor, 2024.

No existen datos fuera de la especificación mínima para la proteína en este segundo semestre, lo cual es una mejora significativa porque en el primer semestre había producto bajo en proteína. Queda el tema de proteínas altas, que es un inconveniente en la productividad de la planta y no la de calidad del producto.

- **Proteína baja en la harina integral**

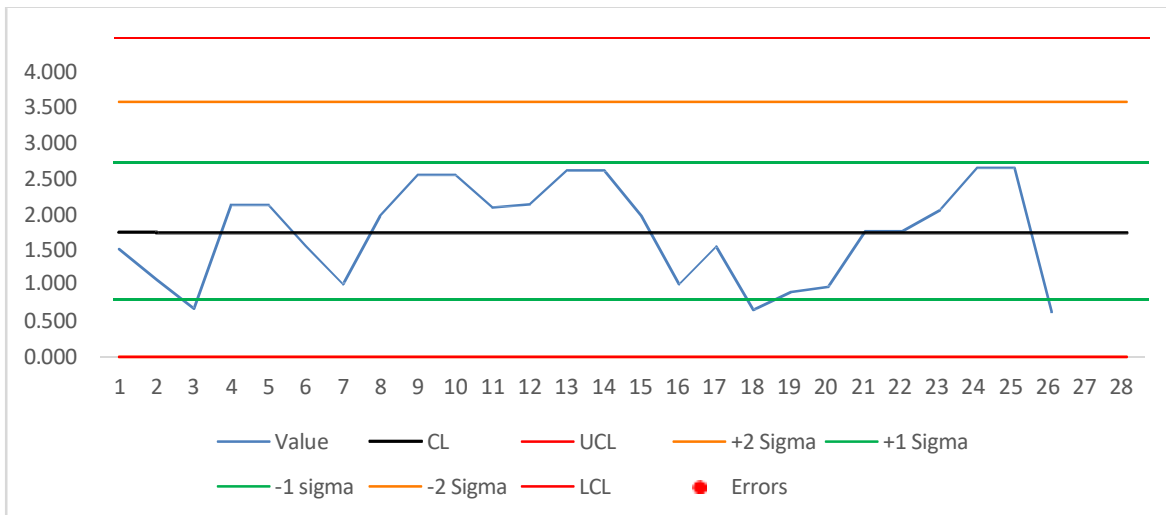
Los datos de proteína muestran los siguientes resultados:

Figura 5.12: I Chart: proteína HI, segundo semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

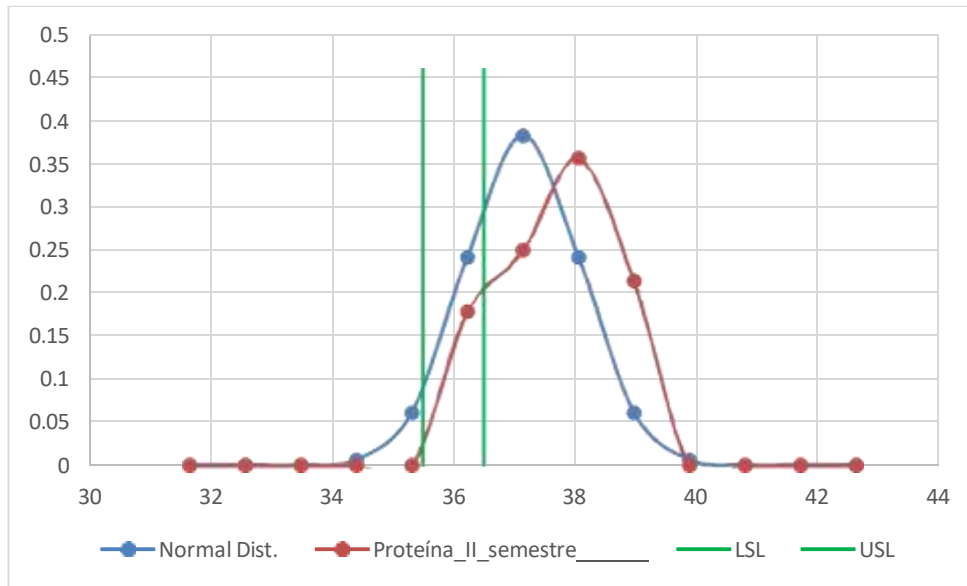
Figura 5.13: MR Chart: proteína HI, II semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

Los gráficos de proteína en la harina integral del segundo semestre del año 2023, al igual que en el primer semestre, no arrojaron ninguna violación a las reglas de los gráficos de control. El gráfico de Capacidad de Proceso para este producto es:

Figura 5.14: Capacidad de Proceso: proteína HI, segundo semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

Tabla 5.7: Capacidad de Proceso HI, segundo semestre del año 2023

Max	38,51
Min	35,51
Mean	37,147
Upper Spec Limit	36,5
Lower Spec Limit	35,5
Ppl	0,600
Pp	0,182
Ppk	-0,236
Cpl	0,526
Cpu	-0,207
Cp	0,160
Cpk	-0,207
Observed Performance	
Upper % out	67,86%
Lower % out	0,00%
Total % out	67,86%

Fuente: Autor, 2024.

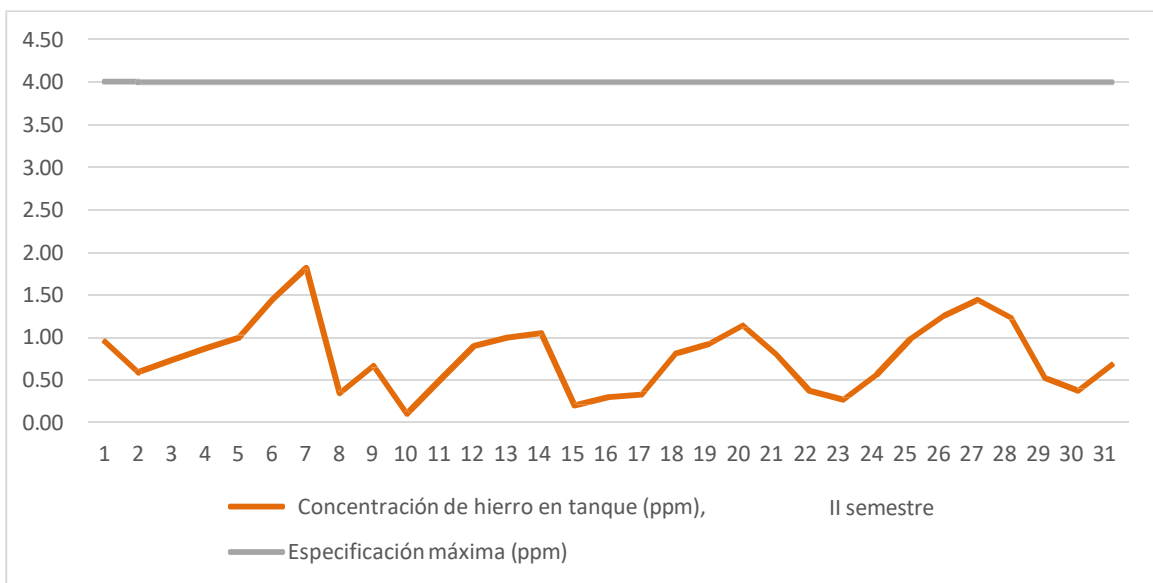
No existieron valores de proteína fuera de especificación en el límite inferior para este segundo semestre del año 2023, lo cual implicó una mejora en la calidad del producto con respecto al primer semestre. Sin embargo, persistieron valores fuera de

especificación en el límite superior, como lo muestra el sesgo del gráfico de Capacidad de Proceso, esto se tradujo en mayores costos para la planta.

5.2.2 Sedimentos en el aceite crudo

La presencia de hierro en el aceite crudo era debido a una acumulación de dicho metal en el tanque y no por lo que contenía el aceite en producción. Para el segundo semestre del año 2023, el comportamiento del hierro en el tanque fue:

Figura 5.15: Concentración de hierro en el aceite crudo, segundo semestre del año 2023



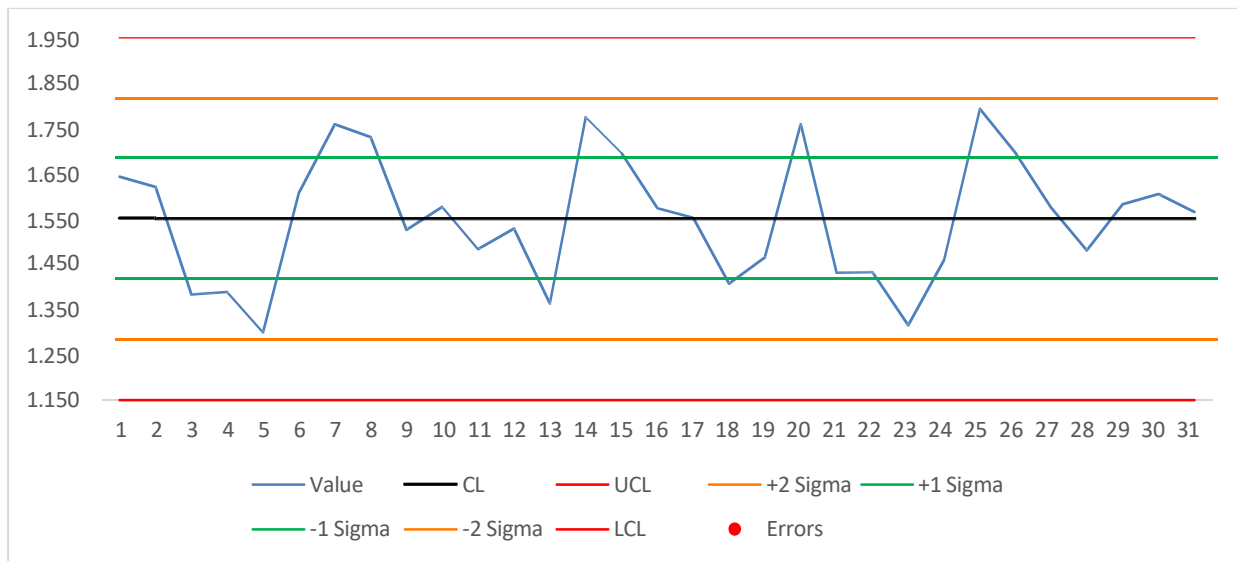
Fuente: Autor, 2024.

Se observa que la concentración del hierro en el tanque no llegó a 4 ppm de concentración máxima en el aceite.

5.2.3 Residual de aceite en la cascarilla

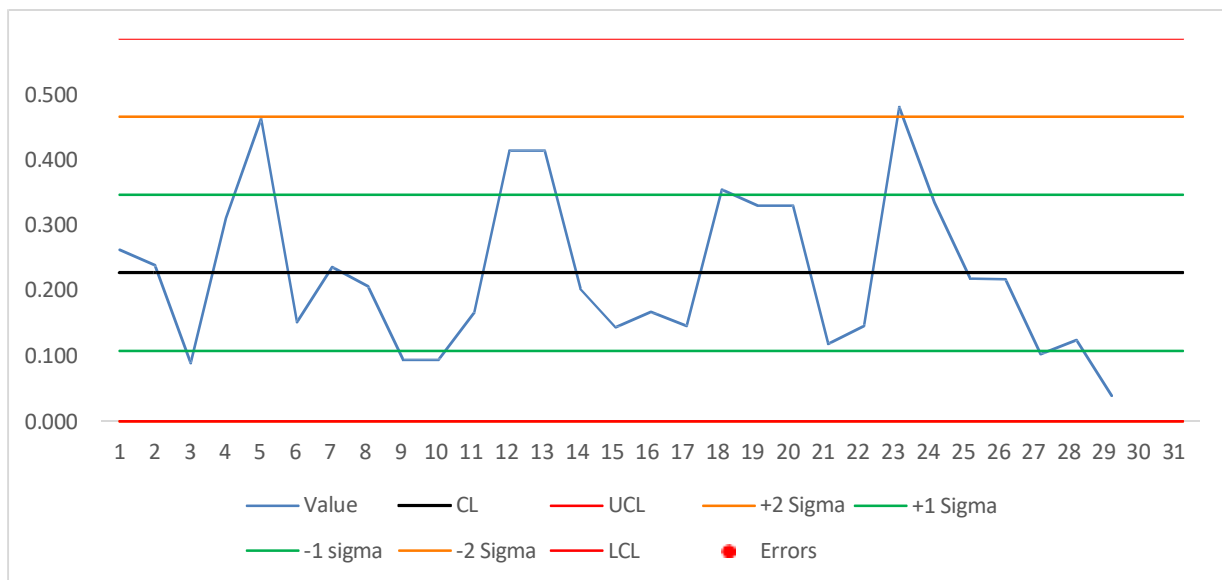
El residual de aceite en la cascarilla posee el siguiente comportamiento para el segundo semestre del año 2023:

Figura 5.16: I Chart: residual de aceite en la cascarilla, segundo semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

Figura 5.17: MR Chart: residual de aceite en la cascarilla, segundo semestre del año 2023

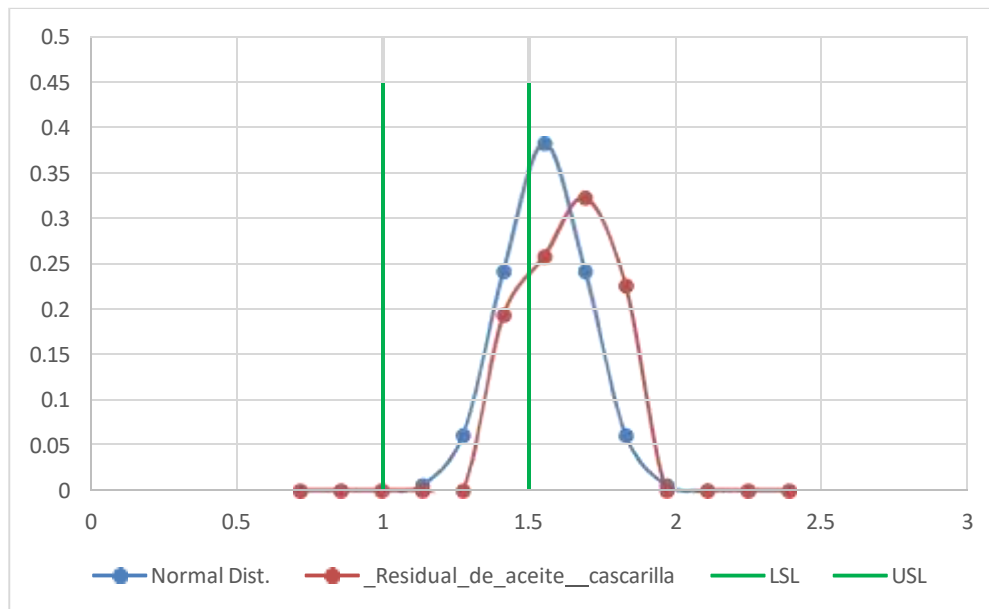


Fuente: Autor, 2024.

Para el segundo semestre del año 2023, el residual de aceite de la cascarilla se encontraba en control estadístico del proceso, pues tanto el gráfico I Chart como el MR Chart cumplieron con las reglas para tener un proceso bajo control. En el caso del primer semestre, también el proceso estaba en control estadístico.

La Capacidad de Proceso del residual de cascarilla fue la siguiente:

Figura 5.18: Capacidad de Proceso: residual de aceite en la cascarilla, segundo semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

Tabla 5.8: Capacidad de Proceso: Residual de aceite en la cascarilla, segundo semestre del año 2023

Max	1,7961111
Min	1,3002381
Mean	1,553
StDev	0,140
Upper Spec Limit	1,5
Lower Spec Limit	1
Ppl	1,322
PpU	-0,127
Pp	0,597
Ppk	-0,127
Cpl	1,577
Cpu	-0,152
Cp	0,713
Cpk	-0,152
n	31
Observed Performance	
Upper % out	61,29%
Lower % out	0,00%
Total % out	61,29%

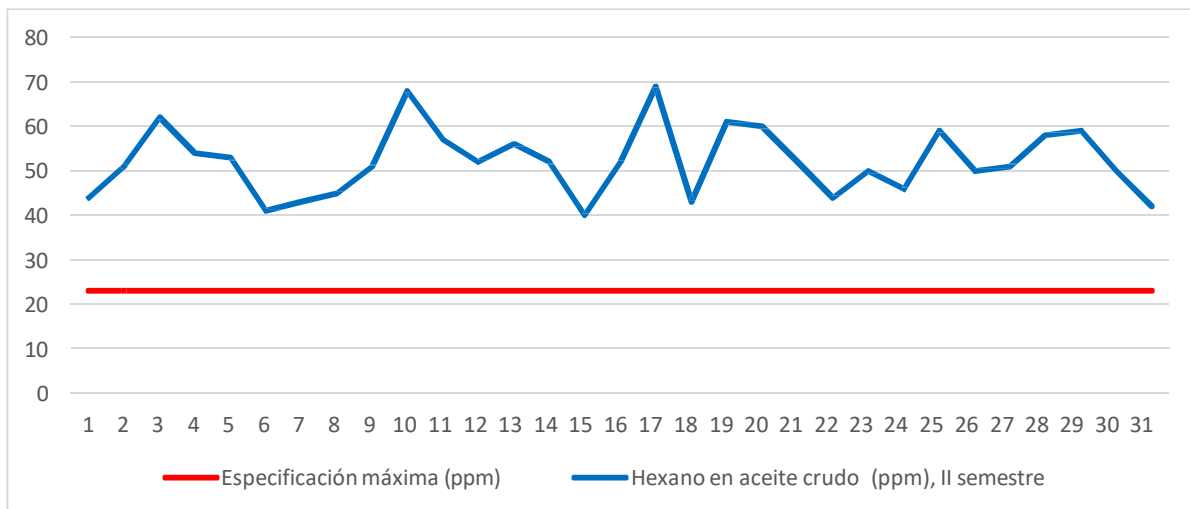
Fuente: Autor, 2024.

En el segundo semestre hubo residuales de aceite en la cascarilla conforme con el límite inferior, por lo que se resolvieron los problemas de calidad de este producto presentados en el primer semestre. No obstante, se deben tomar acciones en residuales altos de aceite, debido a que se incrementa la merma y, en consecuencia, los costos de producción.

5.2.4 Olor no característico en el aceite crudo

El olor a solvente es el residual de hexano que queda en el aceite crudo. Este solvente se emplea para extraer por lixiviación el aceite que se encuentra en los *collets*. La medición se realiza en el laboratorio por cromatografía de gases. El comportamiento en el primer semestre fue el siguiente:

Figura 5.19: Hexano en aceite crudo, segundo semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

Los valores estuvieron altos con respecto a la especificación máxima de 23 ppm. En el caso de los dos semestres, este parámetro estuvo fuera de especificación; sin embargo, el promedio de hexano en el aceite en el primer semestre fue de 98 ppm y en el segundo semestre fue de 52 ppm, ocurriendo una reducción importante de este solvente. Más adelante, cuando se exponga el tema de quejas para el segundo semestre del año 2023, se podrá notar que no hubo reclamos por este inconveniente y

es probable que en niveles de alrededor de 50 ppm no sea tan perceptible el olor a solvente en el aceite.

Para establecer si la reducción de 98 ppm a 52 ppm es significativa, se realizó un Mood's Test. El resultado se muestra a continuación:

Tabla 5.9: Mood's Test del contenido de hexano semestral

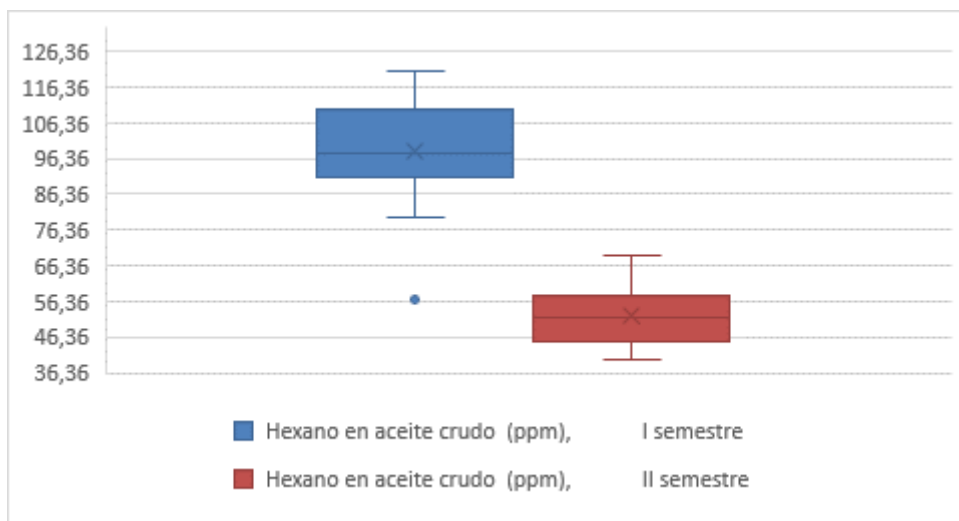
<u>Observed Frequency</u>		
>Median	30	1
<=Median	1	30
<u>Expected Frequency</u>		
>Median	15,500	15,500
<=Median	15,500	15,500
Median	68,5	
Confidence level	0,95	
p-Value	1,76E-13	
<u>Reject H0, at least one is different</u>		

Fuente: Autor, 2024.

El rechazo de H_0 implica que existió una diferencia significativa en el desempeño del Stripper en el primer semestre del año 2023 con respecto al segundo semestre de ese año. Lo anterior con un nivel de confianza del 95 %.

También se concluyó lo mismo de la prueba de hipótesis mediante el gráfico Box Plox, donde se aprecia que el hexano en el primer semestre fue mucho mayor que el segundo semestre.

Figura 5.20: Gráfico Box Plox del contenido de hexano semestral



Fuente: Autor, 2024.

Con respecto a la variabilidad del proceso, sí hubo mejoras en el segundo semestre en comparación con el primer semestre del año 2023. La prueba estadística seleccionada fue Levene Test.

Tabla 5.10: Levene Test del contenido de hexano semestral

Mean	98,355	52,097
Variance	194,703	57,490
Number of observations	31	31
SS	2562,39	668,19
Confidence level		0,95
SSW		3230,581
SST		3537,742
dfW		60
MSE		53,843
MS		307,161
F		5,705
Critical F		4,001
p-Value		0,020
<u>Reject H0 variances are not equal</u>		

Fuente: Autor, 2024.

Se aprecia que la varianza en el primer semestre fue de 98,36 y en el segundo semestre del año 2023 fue de 52,10. Este resultado es significativo, de acuerdo con

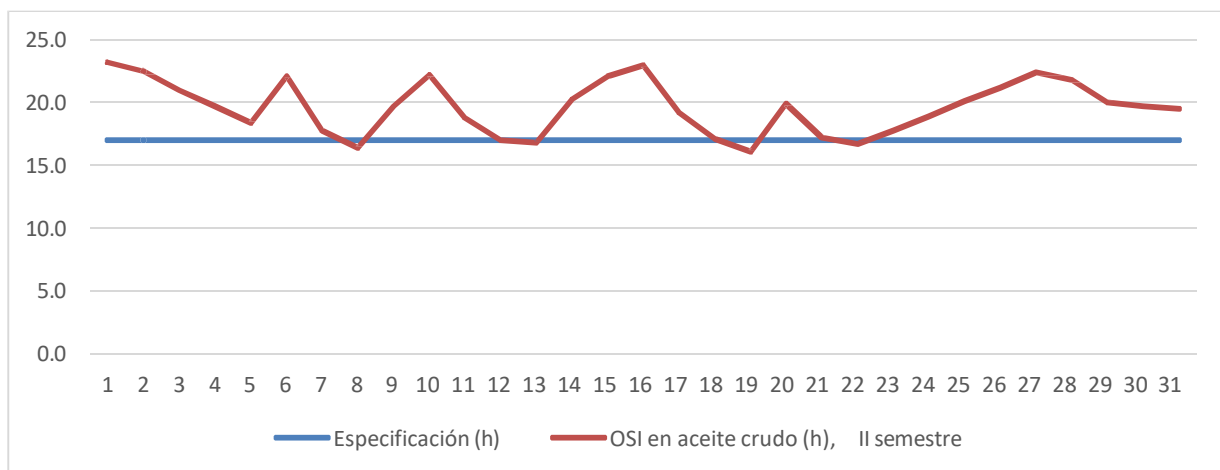
esta prueba estadística, porque en el segundo semestre hubo un mejor control del contenido de hexano en el aceite crudo.

- **Olor a rancio**

Otro factor que interviene en el olor no característico del aceite crudo es cuando no posee la estabilidad oxidativa adecuada, misma que debe ser de al menos 17 h, medida en el laboratorio con un equipo llamado OSI. Cuando el aceite no posee estabilidad oxidativa, es propenso a la oxidación, la cual genera el olor rancio en el aceite.

En la gráfica que se muestra a continuación, se observa una variabilidad de este parámetro:

Figura 5.21: OSI del aceite crudo, segundo semestre del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

El OSI en el aceite cumplió con el mínimo de 17 horas para el segundo semestre del año 2023. Es una mejora relevante debido a que en el primer semestre no se logró mantener este parámetro dentro de la especificación de forma sostenida.

5.2.5 Recálculo del FMEA

Se plantearon mejoras para resolver los problemas de calidad. No todas las recomendaciones fueron realizadas, pero con las ejecutadas el NRM varió y, por consiguiente, existe un nuevo valor FMEA por ítem. Dentro de los cambios importantes,

las dos fallas de alto riesgo pasaron a la categoría de riesgo medio. También, las que eran riesgo medio se transformaron en riesgo bajo.

La acción correctiva para solventar el bajo residual de aceite fue el aumento de la frecuencia de análisis, pero se utiliza un equipo que requiere de 4 horas para poder obtener el resultado, esto es una limitante con el fin de tener frecuencias óptimas para el control del proceso y, por ese motivo, es necesario adquirir el equipo de RMN, el cual tiene una duración promedio de análisis de 4 minutos.

La proteína baja en la harina se mitigó mediante mezclas de harinas y de frijoles de soya de baja proteína con otros que tuvieran alta proteína, así como con su traslado a bodegas externas para que la harina perdiera humedad y, con ello, aumentara la proteína. Pero estas acciones son *post mortem* y la acción recomendada es la medición en tiempo real de la proteína en el proceso con ayuda de un equipo NIR.

Tabla 5.11: Análisis de modo y efecto de la falla (FMEA) de Industrial Oleaginosa Americana

Análisis de Modo y Efecto de la Falla						
bre de Proceso o Producto:	Plantas extractoras					
rgado:	Carmen Yesenia Alvarado Jiménez					
Acciones Recomendadas	Resp.	Acciones Implementadas	S E V	O C U	D E T	N P R
¿Cuáles son las acciones para reducir la Ocurrencia de la Causa o mejorar la Detección?	¿Quién es responsable de las acciones recomendadas?	Anotar las acciones implementadas.				
1. Incrementar la frecuencia de análisis de residual de aceite para tener un mejor control de la almendra contenida en la cascarilla. 2. Disminuir el tiempo del ensayo de residual de aceite, cambiado el equipo Soxhlet por un RMN. El tiempo de los análisis pasaría de 4 h a 4 min aproximadamente. 3. Cambiar la ficha técnica para que la cascarilla se venda como fuente de fibra y no como fuente de aceite. 4. Operar el Quebrador de tal forma que se produzca almendra pequeña y de menor peso, para que se succione más almendra y aumente el aceite en cascarilla.	Jefe de laboratorio.	Se incrementó la frecuencia de análisis.	9	4	4	144
1. Bajar la producción de la planta para dar mayor tiempo de secado del frijol con baja proteína para eliminar humedad del frijol y aumentar el nivel de proteína.	Gerente de harinas	Se aumento el tiempo de secado de frijol con baja proteína.	8	2	2	32
1. Realizar una limpieza interna del Stripper durante los paros programados de las plantas, para eliminar las gomas acumuladas. 2. Cambio de los Stripper por uno de mayor capacidad (1 000 ton./día).	Operadores del proceso de extracción.	Se efectuó la limpieza interna del Stripper.	6	2	2	24
1. Mezclar harina de baja humedad con harina alta en humedad. Ya que la humedad está relacionado con el nivel de proteína, osea a más alta humedad más baja proteína y viceversa. 2. Trasladar harina húmeda a bodegas externas, las cuales poseen un ambiente seco y caliente, lo que permite secar la harina.	Encargado del bodegas de producto terminado.	Se trasladó harina húmeda a bodegas externas.	8	2	3	48
1. Disminuir el diámetro del tornillo sin fin, de tal manera que se permita el ajuste fino de la cascarilla. 2. Dosificar cascarilla de forma automática utilizando un NIR en línea lo que permite medir en tiempo real el valor de proteína. 3. Mezclar harina de baja proteína con harina alta en proteína de tal forma que se obtenga una harina de 46,5% mínimo de proteína. 4. Mezclar frijol de baja proteína con alta proteína. 5. Trasladar harina baja en proteína a bodegas externas, las cuales poseen un ambiente seco y caliente, lo que permite secar la harina y elevar la proteína.	Encargado del proceso de molienda y encargado de bodegas de producto terminado.	1. Se mezcló harina de baja proteína con harina alta en proteína. 2. Se mezcló frijol de baja proteína con alta proteína. 3. Se trasladó harina baja en proteína a bodegas externas.	9	5	4	180
1. Disminuir el diámetro del tornillo sin fin, de tal manera que se permita el ajuste fino de proteína. 2. Dosificar polvillo de forma automática utilizando un NIR en línea lo que permite medir en tiempo real el valor de proteína. 3. Mezclar harina de baja proteína con harina alta en proteína. 4. Mezclar frijol de baja proteína con alta proteína. 5. Traslado de harina baja en proteína a bodegas externas, las cuales poseen un ambiente seco y caliente, lo que permite secar la harina.	Encargado del proceso de molienda y encargado de bodegas de producto terminado.	1. Se mezcló harina de baja proteína con harina alta en proteína. 2. Se mezcló frijol de baja proteína con alta proteína. 3. Se trasladó harina baja en proteína a bodegas externas.	8	2	3	48
1. Inspeccionar periódicamente los tanques de almacenamiento de aceite crudo y realizar limpiezas internas de dichos tanques. 2. Adquirir tanques con fondo cónico y acople con tornillos para facilitar la purga de lodos. 3. Cambiar mangas del Filtro cuando el nivel de hierro del aceite en el tanque muestre una tendencia al alza. 4. Purgar lodos en función de la concentración de hierro presente en el tanque de almacenamiento del aceite. 5. Recircular aceite crudo en el filtro de mangas en función de la concentración de hierro del aceite crudo. 6. Bajar la toma de descarga del aceite para mejorar la extracción de lodos acumulados en el fondo del tanque. 7. Cambio de tipo de antioxidante y concentración para dar mayor vida al aceite crudo.	Operadores de refinación	1. Se limpiaron los tanques de almacenamiento. 2. Se cambian mangas del Filtro cuando el nivel de hierro en el aceite del tanque tiene la tendencia al alza. 3. Se purgó lodos en función de la concentración de hierro. 4. Se recirculó aceite crudo en el filtro de mangas en función de la concentración de hierro	8	2	2	32
1. Tener una cartera de clientes con los cuales se puedan cumplir la entrega de productos sin tener atrasos. 2. Realizar un DOE para verificar que no existe diferencia significativa en el contenido de azúcares y proteína, al bajar el tiempo de fermentación. Dicho tiempo es el "cuello de botella" en la planta.	Area Administrativa, Jefe de Soya Fermentada.	1. Se creó con una cartera de clientes. 2. Se realizó un DOE teniendo como variable respuesta el contenido proteína en la harina	7	2	1	14

Fuente: Autor, 2024.

5.2.6 Resumen de los costos, beneficios y retorno de la inversión

En cuanto a proyectos que requieren de inversión, se cuenta con el siguiente resumen de información obtenida en el capítulo anterior:

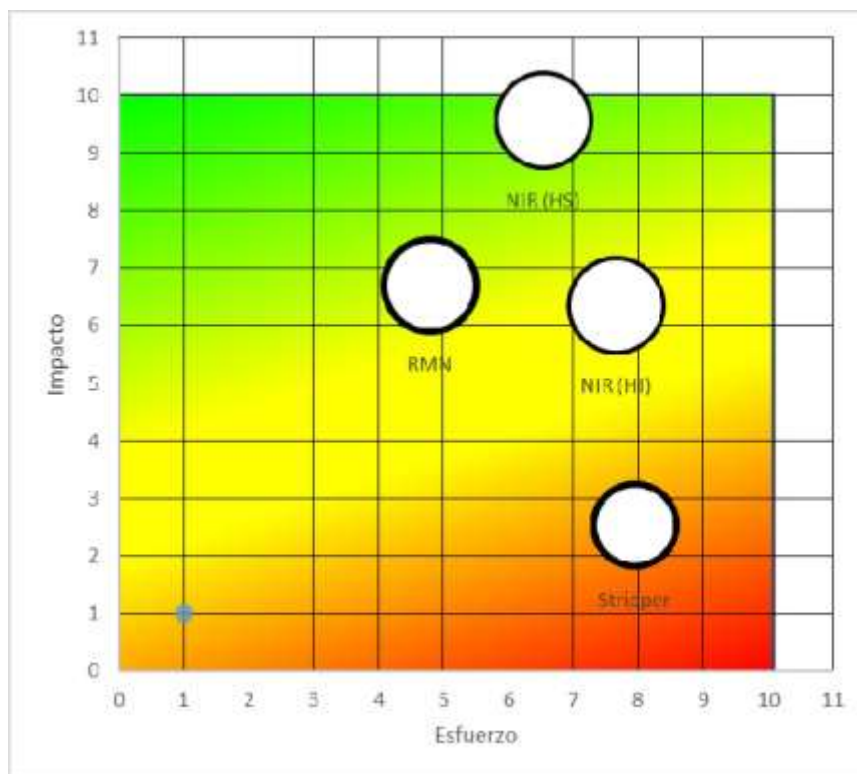
Tabla 5.12: Proyectos de mejora

Proyecto	Inversión (\$)	Ahorro (\$/año)	Retorno de inversión (año)
Stripper	80 000	3 840	20,8
NIR (HI)	130 000	771 082	0,17
NIR (HS)	110 000	863 632	0,13
RMN	70 000	72 775	0,96

Fuente: Autor, 2024.

Para seleccionar los proyectos, existen otros criterios que complementan los indicados en la tabla anterior. La Prioritization Matriz es una herramienta que ayuda a establecer cuál problema puede ser prioritario de abordar. Los criterios se encuentran en el apéndice 4 y el resultado fue el siguiente:

Figura 5.22: Resultado de la Prioritization Matriz



Fuente: Autor, 2024.

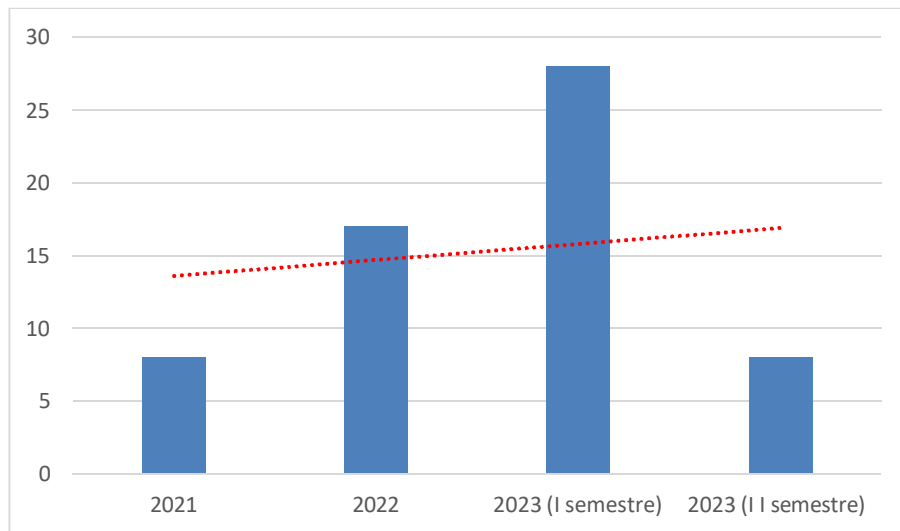
El proyecto del NIR (HS) para el control de la proteína en la harina de soya se encuentra en la zona verde y el RMN para el control del residual de aceite en la cascarilla se ubica en el límite de la zona verde, lo cual implica que son las inversiones prioritarias; luego, se encuentra el NIR (HI) para el control de la proteína en la harina integral y, por último, el Stripper para extraer el residual de hexano en el aceite crudo.

5.2.7 Verificación de la meta

La meta planteada fue la reducción en el segundo semestre del año 2023 de un 50 % de los reclamos de los clientes con respecto al primer semestre. Como en el primer semestre el número de quejas fue de 29 y en el segundo semestre fue de 8, la reducción fue de 72 %, por ende, se cumplió con la meta.

La tendencia sigue teniendo un comportamiento al alza, pero con una pendiente menor que la mostrada en el capítulo 4:

Figura 5.23: Tendencia de las quejas de los clientes



Fuente: Autor, 2024.

Cabe mencionar que de las 8 quejas del segundo semestre del año 2023, solo una fue por producto de la planta extractora. Específicamente fue por la granulometría en la harina de soya, un parámetro que no estuvo dentro de los contemplados en el presente trabajo.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- En el primer semestre del año 2023, el indicador de quejas no cumplió con la meta máxima de 15 reclamos, debido a inconvenientes presentados principalmente en productos relacionados a la nutrición animal, manufacturados en las plantas extractoras.
- En el PESTEL sobresalió la política energética de Estados Unidos debido a la creciente producción de biodiésel a partir del aceite de soya, con el fin de disminuir la dependencia a combustibles fósiles. La consecuencia de lo anterior es el exceso de harina que se tendrá en el mercado, lo cual presionará a la baja en el ámbito internacional.
- Los gráficos de control para la proteína en la harina de soya y la harina integral, así como el residual de aceite en la cascarilla, estuvieron en control estadístico los dos semestres del año 2023, demostrando que son parámetros en los cuales el proceso posee una estabilidad importante.
- Para disminuir el riesgo, los parámetros de residual de aceite en la cascarilla y la proteína en la harina de soya, en el FMEA se registraron varias recomendaciones que no se efectuaron, pero serán necesarias de ejecutar a corto plazo con el objetivo de cambiar la falla de un nivel alto a bajo.
- El Stakeholder segregó las partes interesadas e indicó que se debe mantener satisfechos a los acreedores, involucrar a los propietarios, monitorear a la competencia y mantener informados a los empleados.
- Los elementos claves del proceso de planta, según el SIPOC, son el secado y quebrado del frijol, la formación de *collets* porosos, el desolventizar el hexano del aceite y el secado de la harina. Cada etapa posee requerimientos por cumplir para que la salida de cada área del proceso esté conforme.
- Las métricas determinadas en el CTQ, como el porcentaje de proteína, ppm hierro, organoléptica del aceite crudo y porcentaje residual de aceite, son críticas para la calidad y deben cumplirse las características establecidas para satisfacer la necesidad de reducción de la cantidad de reclamos.
- En el Root Causes Analysis se registraron 5 causas principales por las cuales se elevaron las quejas de los clientes que conllevaron al incumplimiento del indicador

de quejas, pero se requieren múltiples acciones correctivas para eliminar la causa raíz que las genera.

- El aceite crudo tuvo hierro alto debido a la acumulación del metal en el tanque de almacenamiento.
- Los lodos acumulados en el fondo del tanque de almacenamiento del aceite crudo provocaron la descomposición del producto y el olor no característico del aceite.
- La limpieza del Stripper redujo el contenido de hexano en el aceite crudo de forma significativa y no presentó el inconveniente de olor a solvente por el cual se tuvo el registro de inconformidad en el producto.
- El hierro fue un catalizador que contribuyó a la reacción de oxidación del aceite, afectando la vida útil.
- La proteína alta en la harina de soya y la harina integral, así como el residual de aceite alto en la cascarilla, no aportaron problemas de calidad debido a que valores altos favorecen las formulaciones de alimentos destinados a la nutrición animal.
- El tipo y concentración de antioxidante utilizado en el aceite influyó significativamente en la estabilidad oxidativa del aceite y, por consiguiente, en su vida útil.
- La productividad de la harina fermentada podría aumentarse de manera importante en la etapa de incubación, pues el nivel de proteína no tuvo gran diferencia incubando los microorganismos en la harina en un periodo de 24 horas y otro de 72 horas. Como en la actualidad la fermentación es de 72 horas, el resultado implicaría que se puede hacer dos veces más harina fermentada, teniendo la misma calidad de proteína.
- Las acciones tomadas para solventar los problemas que generaron las quejas fueron eficaces, debido a que los reclamos para el segundo semestre del año 2023 disminuyeron en un 72 % con respecto al primer semestre del mismo año.
- De acuerdo con la Prioritization Matriz, el proyecto prioritario es la adquisición del equipo NIR para el control de la proteína en línea. Lo anterior permitirá tener un mejor control de las proteínas en la harina de soya, estabilidad del proceso y un beneficio económico calculado en aproximadamente \$ 860 000 anuales. La segunda inversión de importancia sería el equipo RMN y, por último, el Stripper.

- La inversión total propuesta para el cumplimiento de los parámetros de calidad de los productos de nutrición animal es aproximadamente \$ 390 000, con un ahorro anual aproximado de \$ 1 700 000 y un retorno menor a 1 año, exceptuando el Stripper que tendría un retorno a los 20 años.

Recomendaciones

- Diseñar los próximos tanques de almacenamiento de crudo de soya con fondo cónico y previstos de una válvula o acople para purgar los lodos. Esta medida mantendrá la vida útil del aceite no menor al año que garantiza la organización.
- Ajustar la proteína de las harinas de soya en tiempo real, por medio de un equipo NIR colocado en la línea de producción. De esta forma, el proceso será capaz de cumplir con la especificación del producto.
- Sustituir la técnica del Soxhlet por el equipo RMN para lograr un mejor control de la merma de aceite en la cascarilla.
- Realizar la prueba a nivel industrial, en cuanto a pasar de 72 horas a 24 horas el tiempo de incubación de los microorganismos de la harina fermentada, para validar que el cambio de tiempo no afecta el nivel de proteína.
- Dar un seguimiento periódico al hierro en el tanque de almacenamiento de aceite crudo, por medio de la medición del elemento con absorción atómica. Con esta medida, se tendrá un indicador objetivo para determinar el momento de la purga del fondo del tanque y, con ello, evitar que este metal actúe como catalítico en reacción con la oxidación del aceite.
- Se propone a la empresa realizar un plan de mantenimiento industrial, de manera que fortalezca las acciones correctivas mencionadas en la investigación. Además, de cubrir temas de seguridad industrial y así propiciar un nuevo cambio de cultura organizacional con enfoque a ser más preventivos que correctivos en cuanto a la producción.
- Se recomienda hacer una investigación de productos floculantes como alternativa también para considerar el manejo y control del exceso de sedimentos en los tanques de almacenamiento de aceite crudo.

- Realizar una investigación acerca de normativas o parámetros de pH de la soya fermentada que evidencia la inocuidad del producto en los rangos establecidos por la organización.

REFERENCIAS

Libros

- Anderson, D. (2008). *Estadística para la administración y economía*. (10° ed.). México: Cengage Learning Editores.
- Bahena, M. y Reyes, P. (2016). *Curso de Seis Sigma*. México: Universidad Iberoamericana de México.
- Gutiérrez, H. (2009). *Control estadístico de calidad y Seis Sigma*. (2° ed.). México: McGraw Hill.
- Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2004). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*. McGraw Hill Education.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2004). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de <https://nodo.ugto.mx/wp-content/uploads/2017/03/Metodologia-de-la-Investigacion.pdf>
- Kotler, P. y Armstrong, G. (2011). *Fundamentos de marketing*. (6° ed.). México: Prentice Hall.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (1975). *Consideraciones sobre la factibilidad de fomentar el cultivo de soya en Costa Rica*. Costa Rica: Centro Nacional de Información.
- Montgomery, D. (1991). *Control estadístico de la calidad*. (2° ed.). México: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Odiase, J. y Ogbonmwan, S. (2011). Mood Test en M. Lovric (Ed.), *International Encyclopedia of Statistical Science*. Alemania: Springer.

Rath & Strong Management Consultants. (2022). *Rath & Strong's WorkOut for Six Sigma Pocket Guide: How to Use GE's Powerful Tool to Prepare for, Reenergize, Complement, or Enhance a Six Sigma Program*. Estados Unidos: McGraw Hill.

Wortman, B. (2010). *CSSGB PRIMER*, (2° ed.). Estados Unidos: Quality Council of Indiana.

Proyectos de investigación

Astúa, Y. (2018). *Reducción del tiempo en el cambio de moldes segmentado mediante el método DMAIC y la herramienta SMED en la empresa Bridgestone de Costa Rica*. [Trabajo final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial, Universidad Latina de Costa Rica]. Recuperado de https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/867/1/TFG_Ulatina_Yustin_Astua_Bermudez.pdf

Briseño, D. (2008). *La temperatura y tiempo del secador como factor determinante en el proceso de secado del grano de soya en la extracción de aceite*. [Trabajo para optar por el título de Ingeniera en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3410/3/PAL122.pdf>

Díaz, R. (2018). *Implementación de metodología Six Sigma para la solución de reclamos de calidad en un laboratorio farmacéutico*. [Tesis para optar por el título profesional de Químico Farmacéutico, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Recuperado de https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10041/Diaz_mr.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Hernández, N. (2022). *Reducción de la variabilidad en la estación de Controlador en la línea de New Horizon en la empresa Boston Scientific, en Global Park de Heredia, Costa Rica*. [Trabajo final de graduación para optar por el grado de

Licenciatura en Ingeniería Industrial, Universidad Latina de Costa Rica]. Recuperado de https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/1953/1/TFG_Ulatina_Natalia_Hernandez_Ramirez_20160210896.pdf

Herrera, B. (2016). *Aplicación de la metodología Six Sigma para mejorar el proceso de registro de matrícula, en la Universidad Autónoma del Perú*. [Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero de Sistemas, Universidad Autónoma del Perú]. Recuperado de <https://repositorio.autonoma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13067/339/Bernardo%20Herrera%2c%20Katherine%3b%20Paredes%20Vilcamisa%2c%20Jannifer.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fox, D. (2011). *Industrias aceiteras procesadoras del grano de soja en la República Argentina*. [Trabajo final de graduación para optar por el título de Ingeniero en Producción Agropecuaria, Universidad Católica de Argentina]. Recuperado de <https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/403/1/doc.pdf>

Grasso, F., Maroto, B. y Camusso, C. (2006). Pretratamiento enzimático de expandido de soja para la extracción de aceite con solvente. *Información Tecnológica*, 17(3), 41-46. Recuperado de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000300007

Guoz, E. (2007). *Análisis y reducción de pérdidas de producción en una industria de aceite de soja*. [Trabajo de graduación para optar por el título de Ingeniero Industrial, Universidad Católica de Argentina]. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1811_IN.pdf

Jurado, E. y Naranjo, K. (2019). *Propuesta para implementar Lean Six Sigma para el Departamento de Servicio al Cliente en una empresa del Sector Retail*. [Tesis

para optar por el título de Ingeniero Industrial, Universidad de La Salle]. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1107&context=ing_industrial

Matta, M. (2022). *Aplicación de Lean Six Sigma para reducir el nivel de reclamos por calidad de producto en el proceso de Compras & Recepción de la Empresa Texcope S.A.C.* [Trabajo para optar por el título profesional de Ingeniero Industrial, Universidad Técnica del Perú]. Recuperado de https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/7102/M.Matta_Programa_Especial_Titulacion_Titulo_Profesional_2022.pdf?sequence=11&isAllowed=y

Quant, S. (2022). *Aseguramiento de calidad en el proceso de extrusión, para reducir la variabilidad de las dimensiones del producto del Departamento de Extrusiones, mediante la metodología DMAIC en la empresa TE Medical.* [Trabajo final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial con énfasis en Mejora Continua, Universidad Latina de Costa Rica]. Recuperado de https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/1685/1/TFG_Ulatina_Suiyen_Quant_Melendez_2014022417.pdf

Ramírez, A. y Polack, A. (2020). Estadística inferencial. Elección de una prueba estadística no paramétrica en investigación científica. *Horizonte de la Ciencia*, 10(19), 191-208. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/5709/570962992015/html/>

Toral, X. y Burgos, L. (2013). *Diseño e implementación de un programa de Mantenimiento Productivo Total (TPM) en una empresa productora de alimentos balanceado.* [Tesis de grado para optar por el título de Ingeniero Industrial, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Recuperado de

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/25231/1/Tesis%20TPM%20Toral-Burgos.pdf>

Zárate, N. (2022). *Mejora en el proceso de recuperación de cuentas por cobrar en Departamento de Cobro Judicial en la empresa de Gestión de Cobro Grupo ICE S. A.* [Tesis de Licenciatura en Ingeniería Industrial, Universidad Hispanoamericana]. Recuperado de <http://13.87.204.143/xmlui/bitstream/handle/123456789/7251/IND-1017.pdf?sequence=1>

Zubirán, L., De la Lama, M. y De la Lama, A (2022). Los instrumentos de la investigación científica. Hacia una plataforma teórica que clarifique y gratifique. *Horizonte de la Ciencia*, 12(22), 189-202. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/5709/570969250014/html/>

Fuentes de Internet

Amat, J. (2016). *ANOVA análisis de varianza para comparar múltiples medias.* Recuperado de https://cienciadedatos.net/documentos/19_anova

Arias, E. (2020). *Investigación mixta.* Recuperado de <https://economipedia.com/definiciones/investigacion-mixta.html>

Asana. (2022). *Matriz de prioridades: cómo identificar lo que realmente importa y lograr mucho más.* Recuperado de <https://asana.com/es/resources/priority-matrix>

Badii, M., Guillen, A., Araiza, L., Cerna, E., Valenzuela, J. y Landeros, J. (2012). Métodos no-paramétricos de uso común. *International Journal of Good Conscience*, 7(1), 132-155. Recuperado de [http://www.spentamexico.org/v7-n1/7\(1\)132-155.pdf](http://www.spentamexico.org/v7-n1/7(1)132-155.pdf)

- Berlanga, V. y Rubidio, M. (2012). Clasificación de pruebas no paramétricas. Cómo aplicarlas en SPSS. *Revista d'Innovacio*, 5(2), 102-113. Recuperado de <https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/45283/1/612531.pdf>
- Betancourt, D. (2020). *Cómo hacer un análisis del modo y efecto de fallas AMEF*. Recuperado de www.ingenioempresa.com/analisis-modo-efecto-fallas-amef
- Borras, S. (2023). *La importancia de la calidad en las empresas*. Recuperado de <https://firmaprofesional.com/blog/importancia-calidad-empresas/>
- Cárdenas, F. (2023). *¿Qué es un stakeholder? Tipos y ejemplos*. Recuperado de <https://blog.hubspot.es/sales/que-es-stakeholder>
- Control Estadístico de la Calidad. (2017). *Herramientas básicas para el control de calidad 2*. <https://piensaconcalidadyclaridad.blogspot.com/?m=0>
- Correa, J., Iral, R. y Rojas, L. (2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Revista Colombiana de Estadística*, 29(1), 57-76. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/899/89929104.pdf>
- Dagnino, J. (2014). Regresión lineal. *Bioestadística y Epidemiología*, 43(2), 143-149. Recuperado de <https://revistachilenadeanestesia.cl/regresion-lineal/>
- Desmet Ballestra. (2024). *Sieve Tray Stripper by Desmet Ballestra*. Recuperado de <https://www.desmet.com/images/oils-fats/extraction/SieveTrayOilsStripper.pdf>
- Dietrichson, A. (2019). *Prueba t para muestras pareadas*. Recuperado de <https://bookdown.org/dietrichson/metodos-cuantitativos/prueba-t-para-muestras-pareadas.html>

Fine Instrument Technology. (2024). *SpecFit HRC 27*. Recuperado de https://fitinstrument.com/?page_id=1061&lang=es

Gutiérrez, H. (2019). *Fuentes de información secundaria*. Recuperado de <https://heidigutierrez103240159.wordpress.com/2019/09/09/fuentes-de-informacion-secundaria/>

Martins, J. (2024). *Project charter: qué es y cómo crearlo en una plantilla*. Recuperado de <https://asana.com/es/resources/project-charter>

Merkel, O. y Wegener, R. (2013). *Big Data: The Organizational Challenge*. Recuperado de <https://www.bain.com/insights/big-data-the-organizational-challenge-business-day/>

Montes, D. (2018). *Diagrama Box Plox*. Recuperado de <https://www.pgconocimiento.com/diagrama-boxplot/>

Pérez, E. y García, M. (2014). Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal. *Revista Tecnología en Marcha*, 27(3), 88–106. <https://doi.org/10.18845/tm.v27i3.2070>

PhysioStats. (2021). *Modelo lineal general: explicación básica*. Recuperado de <https://physiostats.com/modelo-lineal-general-explicacion/>

Pierce, A. (2022). *DMAIC y otras herramientas Six Sigma para potenciar la mejora continua*. Recuperado de <https://blog.imagineer.co/es/estrategia/dmaic/dmaic-y-otras-herramientas-six-sigma-para-potenciar-la-mejora-continua>

Pozo, J. y Rodríguez, Z. (2005). *Gestión y mejora de procesos empresariales*. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/gestion-y-mejora-de-procesos-empresariales/>

- Quiroa, M. (2020). *Análisis PESTEL*. <https://economipedia.com/definiciones/analisis-pestel.html>
- Raeburn, A. (2022). *Cómo crear un plan de acción eficaz*. Recuperado de <https://asana.com/es/resources/action-plan>
- Ragasa. (2022). *Cascarilla de soya*. Recuperado de <https://www.ragasa.com.mx/cascarilla-de-soya/>
- Saybor. (2016). *Ventajas y desventajas de los diagramas de flujo*. Recuperado de <https://redesybd.wordpress.com/2016/08/06/ventajas-y-desventajas-de-los-diagramas-de-flujo/>
- Scanco. (2024). *ProFoss 2 para harinas y grano entero*. Recuperado de <https://scancotec.com/productos/profoss-2-para-la-harina-y-el-grano-entero/>
- Shier, R. (2004). *Paired t-tests*. Recuperado de <https://www.statstutor.ac.uk/resources/uploaded/paired-t-test.pdf>
- Somengil. (2023). *DMAIC: qué es, para qué sirve y cómo usarlo*. Recuperado de <https://blog.somengil.com/es/dmaic/>
- SPC Group. (2014). *Plan de control*. Recuperado de <https://spcgroup.com.mx/plan-de-control/>
- Stats Solver. (2024). *Step by Step Statistics Solutions*. Recuperado de <https://www.statssolver.com/>
- Tableau. (2024). *El análisis de raíz, explicado mediante ejemplos y métodos*. Recuperado de <https://www.tableau.com/es-es/learn/articles/root-cause-analysis>

TCM Consultores. (2015). *Gráficos de control*. Recuperados de <https://www.tcmetrologia.com/blog/graficos-de-control-2/>

APÉNDICES

APÉNDICE 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS

- AGL: Son los ácidos grasos libres que posee el aceite. Este parámetro está relacionado con la acidez contenida en el aceite.
- Antioxidante: Sustancia química o natural que retarda la reacción de oxidación del producto.
- Catalítico: Es una sustancia (orgánica o inorgánica) que acelera la reacción química o biológica.
- Covariable: Es una variable que afecta la respuesta y no se puede controlar. Es necesario medirla y registrarla para tomarla en consideración en el diseño de un experimento.
- Desolventizar: Recuperar el disolvente por destilación de la fracción sólida extractada.
- DOE: Diseño de experimentos. Es una metodología que sirve para diseñar las condiciones ideales de un producto, proceso o servicio para que cumpla con las expectativas usando el mínimo número de experimentos o pruebas.
- Fosfátidos: Son las gomas que posee el aceite de soya crudo. Estas gomas también se conocen como lecitina.
- Lodo: Acumulación de gomas y metales.
- Lixiviación: Proceso de extracción por medio de un solvente. En el caso en particular de este proyecto, se refiere a la extracción de aceite de frijol de soya por medio del disolvente hexano.
- Miscela: Es una mezcla de disolvente y aceite crudo que se obtiene de la etapa de extracción. En el presente estudio, la miscela está constituida por un 70 % hexano y 30 % aceite.
- OSI: Es la estabilidad oxidativa del aceite y está vinculada directamente con la vida útil del aceite.
- Variabilidad: Comportamiento de un parámetro del proceso.
- Vida útil: Período en el que se considera estable un producto, manteniendo las propiedades para las cuales se diseñó.

APÉNDICE 2: INFORMACIÓN HISTÓRICA DE QUEJAS

Tabla A2.1: Historial de reclamos de los clientes, primer semestre del año 2023

n.º Queja	Productos	Motivos de los reclamos
1	Aceite refinado	Derrame de aceite refinado
2	Harina de soya	Proteína baja harina de soya
3	Cascarilla	Residual de aceite bajo en cascarilla
4	Harina de soya	Proteína baja harina de soya
5	Harina fermentada	Saco roto en la harina fermentada
6	Harina de soya	Color oscuro en la harina de soya
7	Harina de soya	Proteína baja harina de soya
8	Harina integral	Proteína baja harina integral
9	Aceite crudo	Olor no característico del aceite crudo
10	Aceite crudo	Olor no característico del aceite crudo
11	Harina de soya	Proteína baja harina de soya
12	Aceite crudo	Sedimentos en aceite crudo
13	Harina de soya	Proteína baja harina de soya
14	Harina de soya	Proteína baja harina de soya
15	Harina de soya	Proteína baja harina de soya
16	Harina de soya	Proteína baja harina de soya
17	Harina integral	Proteína baja harina integral
18	Harina de soya	Proteína baja harina de soya
19	Aceite de Palma	Sedimentos en aceite de palma
20	Harina fermentada	Disponibilidad de harina fermentada
21	Cascarilla	Proteína baja harina cascarilla
22	Harina de soya	Proteína baja harina de soya
23	Aceite crudo	Sedimentos en aceite crudo
24	Harina fermentada	Disponibilidad de harina fermentada
25	Cascarilla	Residual de aceite bajo en cascarilla
26	Aceite refinado	Turbidez en aceite refinado
27	Lecitina	Derrame de lecitina
28	Aceite crudo	Sedimentos en aceite crudo
29	Harina integral	Humedad alta en la harina integral

Tabla A2.2: Historial de reclamos de los clientes, segundo semestre del año 2023

n.º Queja	Productos	Motivos de los reclamos
1	Aceite refinado	Turbidez en aceite refinado
2	Harina de soya	Granulometría
3	Aceite refinado	Particulado en aceite refinado
4	Lecitina	Fluidez en lecitina de soya
5	Lecitina	Color en lecitina de soya
6	Aceite FLT	Derrame de aceite FLT
7	Aceite refinado	Falla en sello seguridad en aceite refinado
8	Lecitina	Legibilidad en etiqueta de lecitina

APÉNDICE 3: RESULTADOS DE LABORATORIO

Tabla A3.1: Proteína en la harina de soya por semestre, 2023

Proteína (%), I semestre	Proteína (%), II semestre
47,10	47,60
46,65	47,68
46,23	46,52
46,12	48,14
46,33	47,40
47,54	47,88
47,03	48,01
47,65	47,52
47,77	47,62
46,08	47,63
46,07	47,48
46,14	46,79
47,07	47,46
47,23	47,55
46,00	47,20
46,78	46,51
46,07	47,48
46,13	46,53
47,05	47,50
46,44	47,42
46,08	47,48
46,21	48,12
46,34	47,54
46,35	47,81
47,05	47,52
46,43	46,81
46,88	46,72
47,06	47,47
46,01	46,86
46,23	46,74
47,11	47,58
46,17	46,51
46,30	48,30
47,02	47,36
47,00	47,46
46,83	46,87
48,02	48,01

46,21	46,92
46,34	46,96

Tabla A3.2: Proteína en la harina integral por semestre del año 2023

Proteína (%), I semestre	Proteína (%), II semestre
34,19	38,03
35,33	37,60
36,11	36,52
38,01	36,60
37,15	35,92
35,22	38,05
35,11	37,51
37,18	36,49
36,17	37,50
34,98	35,52
35,77	38,07
37,55	38,05
35,00	35,98
34,94	38,12
35,59	35,51
37,33	37,49
36,57	36,59
37,00	37,61
35,78	38,14
35,18	37,48
35,88	37,23
34,99	38,21
35,12	36,45
35,10	38,09
35,41	38,51
35,29	35,86
36,67	36,49
36,98	36,50

Tabla A3.3: Resultados del aceite crudo de soya por semestre del año 2023

OSI en aceite crudo (h), I semestre	OSI en aceite crudo (h), II semestre	Hexano en aceite crudo (ppm), I semestre	Hexano en aceite crudo (ppm), II semestre	Concentración de hierro en producción (ppm)	Concentración de hierro en tanque (ppm), I semestre	Concentración de hierro en tanque (ppm), II semestre
18,0	23,2	121	44	0,27	0,97	0,95
13,5	22,5	119	51	0,01	0,60	0,59
15,0	21,0	100	62	0,06	0,74	0,73
12,0	19,7	114	54	0,12	0,88	0,87
16,5	18,4	93	53	0,46	1,00	1,00
13,5	22,1	57	41	0,01	1,48	1,44
15,0	17,8	80	43	0,39	1,82	1,82
18,0	16,4	98	45	0,22	2,34	0,34
15,0	19,7	93	51	0,35	2,66	0,66
15,0	22,2	99	68	0,44	3,10	0,10
13,5	18,8	83	57	0,08	3,51	0,51
18,0	17,0	98	52	0,66	3,90	0,90
21,0	16,8	103	56	0,35	4,09	1,00
16,5	20,3	91	52	0,53	4,95	1,05
13,5	22,1	93	40	0,16	5,73	0,20
12,0	23,0	95	52	0,36	0,40	0,30
16,5	19,2	118	69	0,71	0,93	0,33
16,5	17,1	80	43	0,48	0,93	0,81
15,0	16,1	115	61	0,65	1,20	0,92
18,0	19,9	91	60	0,41	2,13	1,14
16,5	17,2	112	52	0,71	2,99	0,80
13,5	16,7	90	44	0,83	3,36	0,37
13,5	17,8	88	50	0,70	3,06	0,27
15,0	18,9	100	46	0,65	3,94	0,56
15,0	20,1	89	59	0,30	3,95	0,98
15,0	21,2	107	50	0,49	4,00	1,25
14,5	22,4	95	51	0,95	4,19	1,44
18,0	21,8	98	58	0,64	4,03	1,23
16,5	20,0	110	59	0,59	4,60	0,52
14,0	19,7	120	50	0,56	4,37	0,37
15,5	19,5	99	42	0,70	4,42	0,67

Tabla A3.4: Residual de cascarilla por semestre del año 2023

Residual de aceite (%), I semestre	Residual de aceite (%), II semestre
0,95	1,65
1,70	1,62
0,76	1,38
0,99	1,39
1,19	1,30
0,88	1,61
1,45	1,76
1,22	1,73
0,98	1,53
1,24	1,58
1,65	1,49
0,89	1,53
0,79	1,37
1,77	1,78
1,53	1,70
1,54	1,58
1,73	1,55
1,54	1,41
1,81	1,47
0,97	1,76
1,74	1,43
1,54	1,43
0,96	1,32
1,45	1,46
1,34	1,80
1,61	1,70
0,99	1,58
1,00	1,48
1,10	1,59
1,27	1,61
0,85	1,57

Tabla A3.5: Efecto de las variables que afectan la vida útil del aceite crudo de soya

Muestra	Hierro (ppm)	Peróxido (meq/kg)	Humedad (ppm)	Fosfátidos (ppm)	AGL (%)	OSI (h)
1	0,2	0,05	189	39870	0,06	24,0
2	0,1	0,04	195	37600	0,06	25,5
3	0,2	0,05	186	37200	0,02	24,0
4	0,6	0,18	156	38760	0,07	10,5
5	0,1	0,05	196	33420	0,03	24,0
6	0,0	0,00	200	34560	0,02	30,0
7	0,0	0,01	200	31350	0,05	30,0
8	1,2	0,36	105	32380	0,01	1,5
9	0,2	0,05	188	32430	0,01	25,5
10	0,8	0,20	144	33130	0,10	7,5
11	0,9	0,23	135	32150	0,01	6,0
12	0,7	0,18	148	31630	0,01	9,0
13	1,1	0,28	100	38080	0,01	3,0
14	1,1	0,29	101	37060	0,01	3,0
15	1,1	0,27	99	39730	0,08	3,0
16	1,2	0,36	98	31690	0,05	1,5

Tabla A3.6: Vida útil del aceite crudo con respecto al tipo y nivel de antioxidante

Antioxidante	Nivel de antioxidante		
	Bajo	Medio	Alto
TBHQ	1,10	1,07	1,02
	1,11	1,08	1,03
BHT	1,21	1,22	1,23
	1,20	1,22	1,24
BHA	1,15	1,10	1,08
	1,14	1,09	1,09
Propil galato	1,32	1,31	1,35
	1,31	1,31	1,34

Tabla A3.7: Tipo de antioxidante y niveles de concentración

	Bajo (ppm)	Medio (ppm)	Alto (ppm)
TBHQ	50	100	200
BHT	25	38	75
BHA	58	88	175
Propil galato	50	100	200

Tabla A3.8: Tiempos de incubación y proteína obtenida, con pH covariable

Incubación (hr)	pH (adim.)	Proteína (%)
24	4,91	55,6
24	4,84	54,7
24	4,89	56,6
24	4,86	56,0
72	4,85	55,7
72	4,92	55,6
72	4,90	57,0
72	4,85	56,9

APÉNDICE 4: CRITERIOS PARA LA MATRIZ DE PRIORIZACIÓN

Tabla A4.1: Criterios para la matriz de priorización

	Medición	(9-10) Puntos	(7-8) Puntos	(5-6) Puntos	(3-4) Puntos	(1-2) Puntos
Esfuerzo	Inversión	> \$110 000	\$75 000 < Inv < \$110 000	\$50 000 < Inv < \$75 000	\$25 000 < Inv < \$50 000	<= \$25 000
	Requisitos de carga de trabajo	Muy alta participación de personas clave de la organización, incluidos ejecutivos de alto nivel.	Alta participación de personas clave de la organización, incluidos ejecutivos de alto nivel.	Participación moderada de personas clave de la organización, incluidos ejecutivos de alto nivel.	Baja participación de personas clave de la organización, incluidos ejecutivos de alto nivel.	Muy baja participación de personas clave de la organización, incluidos ejecutivos de alto nivel.
	Hora de implementar	Más de un año pero menos de 2 años.	Más de 6 meses pero menos de un año.	Más de 3 meses pero menos de 6	Más de 1 mes pero menos de 3	Menos de 1 meses
	Complejidad	El proyecto requiere la implicación de todas las unidades organizativas	El proyecto requiere la implicación de numerosas unidades organizativas	El proyecto requiere la implicación de varias de las unidades organizativas	El proyecto requiere la participación de unas pocas unidades organizativas.	El proyecto está dentro de una única unidad organizativa.
Impacto	Impacto de negocios (Ahorro de costos anual o generación de ingresos)	Más que \$500,000	\$300,000 <= Ahorro < \$500,000	\$150,000 <= Ahorro < \$300,000	\$10,000 <= Ahorro < \$150,000	Menos que \$10,000
	Impacto de la satisfacción del cliente (Impacto en clientes externos)	Impacto muy alto en el cliente y mayor satisfacción.	Alto impacto en el cliente y mayor satisfacción.	Impacto moderado en el cliente y mayor satisfacción.	Bajo impacto en el cliente y mayor satisfacción.	Poco o ningún impacto en la satisfacción del cliente.
	Importancia estratégica	Impacto muy alto de un objetivo estratégico.	Impacto significativo de un objetivo estratégico.	Impacto moderado de un objetivo estratégico.	Impacto indirecto de un objetivo estratégico.	Apoya otro proyecto clave o construye infraestructura.
	Mejora de la calidad (defectos-fiabilidad de la variabilidad).	Impacto directo muy alto en la calidad.	Alto impacto directo en la calidad	Impacto moderado en la calidad.	Bajo impacto en la calidad.	Impacto indirecto en la calidad.
	Impacto en la satisfacción de los empleados	Abordará el principal problema de insatisfacción de los empleados	Gran mejora del entorno de los empleados.	Mejora importante del entorno de los empleados.	Alguna mejora en el ambiente de los empleados.	Poco o ningún impacto en el entorno de los empleados.
	Aprovechar (Tiene beneficios más allá del alcance de este proyecto.	La solución se puede utilizar fácilmente en varias ubicaciones (todas las ubicaciones).	Se puede transferir a la mayoría de las ubicaciones.	Se puede transferir a algunas ubicaciones sin modificaciones.	Con algunas modificaciones la solución se puede transferir.	Requeriría un proyecto separado para implementar la solución.
Riesgo	Probabilidad de éxito (Nivel de dificultad)	Existen muchos obstáculos Nueva tecnología o avance	Dificultad alta Se requiere alguna tecnología.	Dificultad moderada Se requiere alguna tecnología.	No es tan fácil de implementar es decir, requiere aprendizaje organizacional.	Fácil de implementar es decir, baja tecnología.
	Impacto del fracaso	Muy alta (rango catastrófico 9-10)	Alto (Rango crítico 7-8)	Moderada (rango principal 5-6)	Baja (rango menor 3-4)	Muy baja (rango insignificante 1-2)