INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA EN PRODUCCION INDUSTRIAL
MAESTRIA EN SISTEMAS MODERNOS DE MANUFACTURA

Control de la variabilidad del porcentaje de proteína en producto terminado durante el proceso de manufactura continua, en alimento concentrado en la empresa Alimentos para Animales del Sol S.A., alineado con la norma técnica centroamericana RTCA 65.05.52:11 y la veracidad del etiquetado nutricional.

Proyecto para optar por el grado de
Maestría en Sistemas Modernos de Manufactura

Bach. Alfonso Rojas Hernández

Cartago, Costa Rica
Noviembre, 2025



Esta obra está bajo una licencia: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

ACTA DE APROBACIÓN

INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA EN PRODUCCION INDUSTRIAL
MAESTRIA EN SISTEMAS MODERNOS DE MANUFACTURA
ACTA DE DEFENSA PÚBLICA

Se certifica que el Proyecto de Graduación presentado por el Sr. ALFONSO ROJAS HERNÁNDEZ, titulado **"Control de la variabilidad del porcentaje de proteína en producto terminado durante el proceso de manufactura continua, en alimento concentrado en la empresa Alimentos para Animales del Sol S.A., alineado con la norma técnica centroamericana RTCA 65.05.52:11 y la veracidad del etiquetado nutricional"** cumple con las regulaciones y requisitos establecidos en el Reglamento del Proyecto de Graduación, para optar al grado de Maestría en Sistemas Modernos de Manufactura.

La nota que corresponde es 95 .

TRIBUNAL EXAMINADOR

TEC | Tecnológico de Costa Rica
Firmado digitalmente por FELIX ENRIQUE BADILLA MURILLO (FIRMA)
Fecha: 2025.11.24 19:22:41 -06'00'

Ing. Félix Badilla Murillo, PhD.
Profesor Lector

TEC | Tecnológico de Costa Rica
Firmado digitalmente por DENNIS RICARDO ARIAS RAMIREZ (FIRMA)
Fecha: 2025.11.24 19:20:12 -06'00'

Ing. Dennis Arias R., M.Eng.
Profesor Lector

TEC | Tecnológico de Costa Rica
Firmado digitalmente por ESTEBAN ADOLFO LE MAITRE GONZALEZ (FIRMA)
Fecha: 2025.11.24 20:21:44 -06'00'

Ing. Esteban Lemaitre G, PhD.
Profesor Lector

KLEIBER GABRIEL ROJAS VARELA (FIRMA)
Firmado digitalmente por KLEIBER GABRIEL ROJAS VARELA (FIRMA)
Fecha: 2025.11.24 20:24:17 -06'00'

Ing. Kleiber Rojas V., M.Eng.
Profesor Tutor

TEC | Tecnológico de Costa Rica
Firmado digitalmente por DENNIS RICARDO ARIAS RAMIREZ (FIRMA)
Fecha: 2025.11.24 19:20:24 -06'00'

Ing. Dennis Arias Ramírez, M.Eng.
Coordinador Maestría

Cartago, 24 de noviembre, 2025

RESUMEN

Rojas Hernández, A Instituto Tecnológico de Costa Rica, noviembre 2025. Modelo de control de calidad para Concentrados en la empresa Alimentos para Animales del Sol S.A., alineado con la norma técnica centroamericana RTCA 65.05.52:11 y la veracidad de la etiqueta nutricional Profesor Asesor: Ing. Rojas Varela, K. MEng.

Alimentos del Sol S.A es una empresa destinada a la elaboración de alimentos para animales en todas sus etapas productivas, ofreciendo concentrados de alta calidad y asegurando la seguridad de sus productos, para lo cual ha mostrado interés implementando medidas para asegurar cumplir con la normativa RTCA 65.05.52:1 y su monitoreo de control de calidad.

Bajo este esquema, el estado actual de variabilidad en proteína es crítico, al ser uno de los componentes de mayor valor alimenticio y económico; por lo cual su monitoreo en producción debe ser eficiente, la planta de manufactura tiene índices de capacidad bajo mínimos de aceptación, además, de un plan de muestreo poco ágil que representa una manufactura con monitoreo escaso y con margen de acción poco efectivo ante puntos fuera de especificación.

El proyecto propone asegurar el cumplimiento normativo del etiquetado, al mismo tiempo de implementar una tecnología de monitoreo del análisis de proteína en tiempo real por infrarrojo cercano NIR automatizando y eliminado la necesidad de muestrear constantemente, reduciendo en un 93.48% esta tarea, lo que se resume en un ahorro de ₡12,664,254.00 mensuales.

Se determina que el proyecto, se despliega en un plan de implementación de tres trimestres finalizando el segundo del 2026, con una inversión de ₡55,959,772.20 la cual se recuperaría en 7 meses y 2 días calculado a un 8% de tasa de interés dada por la empresa.

Palabras clave:
Variabilidad de proceso, indicadores de capacidad, DMAIC, infrarrojo, monitoreo, alimentos concentrados.

SUMMARY

Rojas Hernández, A. Instituto Tecnológico de Costa Rica, November 2025. Quality Control Model for Animal Feed Concentrates at Alimentos para Animales del Sol S.A., aligned with Central American Technical Regulation RTCA 65.05.52:11 and Nutritional Label Accuracy thesis Advisor: Eng. Rojas Varela, K., MEng.

Alimentos del Sol S.A. is a company dedicated to the production of animal feed across all stages of development, offering high-quality concentrates and ensuring product safety. To achieve this, the company has shown interest in implementing measures to comply with the Central American Technical Regulation RTCA 65.05.52:11 and to strengthen its quality control monitoring.

Under this framework, the current variability in protein content is critical, as protein is one of the most nutritionally and economically valuable components. Therefore, its monitoring during production must be efficient. The manufacturing plant currently operates with process capability indices below acceptable thresholds and relies on a slow sampling plan, resulting in limited monitoring and a narrow margin for corrective action when specifications are not met.

This project proposes to ensure compliance with nutritional labeling regulations while implementing real-time protein analysis using Near-Infrared (NIR) technology. This automation eliminates the need for constant sampling, reducing this task by 93.48%, which translates into monthly savings of ₡12,664,254.00.

The implementation plan spans three quarters, concluding in the second quarter of 2026, with a total investment of ₡55,959,772.20. The return on investment is projected at 7 months and 2 days, based on an 8% interest rate provided by the company.

Keywords:

Process variability, capability indices, DMAIC, infrared, monitoring, animal feed concentrates.

DEDICATORIA

Con todo el esfuerzo y amor, para;

Mi familia: Por lo que siempre confiaron en mi capacidad y valentía, los que en cada problema lo tomaban como suyo propio y en armonía construían una escalera poniendo peldaños uno a uno para mi superación, los que siempre están y siempre estarán en cualquier situación y con los cuales he pasado los mejores momentos y superado los más difíciles.

A mi novia Erika por no dejarme vencer por más cansado y agobiado que estuve, que durante este tiempo me acompañó, me apoyo y tomó también como suyo propio este proyecto, la verdadera fuente de la constancia y esfuerzo que dedique.

Gracias a su apoyo incondicional y quedo en eterna deuda con cada uno.

AGRADECIMIENTOS

Gracias por demostrarnos que se puede…

El recorrido de esta maestría ha sido largo, incluso un tiempo pensé que no llegaría, pero me topé con ángeles en el camino y Dios movió las fichas del destino para que sea una realidad, verdaderamente una travesía llena de conocimiento y esfuerzo, un camino que sin sus guías no hubiera encontrado el destino.

Por todo esto gracias:

- Al Msc Heymer Saborío Rodríguez mi figura de ejemplo, esfuerzo y dedicación que sin descanso busco la mejor versión de mí, por siempre brindar sus conocimientos y recomendaciones.

- A mi profesor Kleiber Rojas Varela que con sus consejos y guía el proyecto avanzó siempre en buen rumbo, por con paciencia entender la situación particular de cada paso y asesorar siempre con calidad humana.

Gracias por demostrarnos que se puede…

EPIGRAFE

"La marca es solo una percepción, y la percepción coincidirá con la realidad con el tiempo.

A veces estará por delante, otras veces estará por detrás. Pero la marca es simplemente una impresión colectiva que algunos tienen sobre un producto"

Elon Musk
Empresario Estadunidense

CONTENIDO

ACTA DE APROBACIÓN iii
AGRADECIMIENTOS vii
EPIGRAFE viii
CONTENIDO ix
LISTA DE FIGURAS xiii
LISTA DE CUADROS xv
1. INTRODUCCION 16
1.1 Generalidades de la organización 17
1.1.1 Antecedentes históricos 17
1.1.2 Números de empleados 18
1.1.3 Tipos de productos 19
1.1.4 Mercados 20
1.1.5 Estructura organizacional 20
1.1.6 Misión, visión y valores 23
1.2 Descripción del proceso productivo 24
1.2.1 Procesos estratégicos 24
1.2.2 Procesos misionales 25
1.2.3 Procesos de apoyo 25
1.3 Planteamiento del problema 26
1.3.1 Definición del problema 26
1.4 Justificación del proyecto 28
1.5 Objetivos 29
1.5.1 Objetivo general 29
1.5.2 Objetivos específicos 29
1.6 Alcance y limitaciones 30
1.6.1 Alcance 30
1.6.2 Limitaciones 30
2. REVISION DE LITERATURA 32
2.1 Generalidades de la industria de los alimentos balanceados. 33
2.2 Procesos de fabricación de alimentos balanceados: 34

2.3 Variabilidad en procesos de producción en plantas de manufactura: 36
2.3.1 Materia prima de fuente proteica: 38
2.3.2 Dosificación de ingredientes y mezclado: 39
2.3.3 Muestreo y análisis de laboratorio para harina de soya y producto terminado para proteína: 39
2.4 Diseño de modelo ingenieril y simulación de procesos para comprender escenarios y proponer mejoras. 41
3. METODOLOGIA DEL PROYECTO 46
4. DIAGNOSTICO DE LA SITUACION ACTUAL 49
4.1 SIPOC del proceso actual 51
4.1.1 Proveedores 52
4.1.2 Entradas: 55
4.1.3 Proceso 55
4.1.4 Salidas 56
4.1.5 Clientes 57
4.2 Diagnóstico del desempeño actual 57
4.2.1 Análisis FODA: 58
4.2.2 Análisis de responsabilidad RACSI básica del sistema de gestión: 59
4.2.3 Reunión de apertura de proyecto: 59
4.2.4 Recibo de materia prima y proveedor: 60
4.2.5 Equipo analítico de laboratorio 61
4.2.6 Variabilidad en producto terminado, resultados laboratorio de calidad: 65
4.2.7 Variabilidad en producto terminado por turno. 69
4.3 Conclusiones del diagnóstico de situación actual. 81
5. SOLUCION AL PROBLEMA PLANTEADO 84
5.1 Definición del problema. 86
5.2 Objetivo principal y específicos. 86
5.3 Lineamiento con la situación actual. 87
5.3.1 Recibo de materia prima, almacenamiento y proveedor: 87
5.3.2 Variabilidad en producto terminado, equipo analítico NIR DS 2500 resultados de laboratorio de calidad: 87

5.3.3 Variabilidad en producto terminado, por turno: 88
5.4 Factibilidad técnica, operativa y financiera. 89
5.4.1 Pre Factibilidad técnica. 89
5.4.2 Pre Factibilidad operativa. 94
5.4.4 Pre Factibilidad financiera. 96
5.5 Priorización de soluciones 97
5.6 Propuesta seleccionada. 101
5.6.1 Análisis financiero de la propuesta seleccionada. 104
5.6.2 Plan de implementación: 106
5.6.3 Project chárter. 106
5.6.4 Cronograma de implementación. 106
5.6.5 Gestión del cambio 107
5.6.6 Matriz RACSI. 108
5.6.6 Análisis de riesgos: 110
5.6.7 Manual de usuario. 114
5.6.8 Plan post implementación. 114
5.6.9 Plan de monitoreo de proteína. 115
5.6.10 Plan de muestreo. 115
5.6.11 Conclusiones de la implementación. 116
6. CONCLUSIONES 117
6.1 Conclusiones 118
6.2 Recomendaciones. 119
h. BIBLIOGRAFIA 121
APENDICES 125
Apéndice A: Siglas y abreviaturas 126
Apéndice B: Resultados interlaboratorial Proveedor de MP 128
Apéndice C: Resultados del sistema de datos julio a agosto 130
Apéndice D: Resultados por turno 132
Apéndice E: Total de análisis NIR laboratorio PAB 140
Apéndice F: Estudio financiero propuesta solución 142
Apéndice G: Project chárter 144

Apéndice H: Manual PROFOSS 2 147
Apéndice I: Resultados MSA 153
Apéndice J: Metodología de enmascaramiento 158
Apéndice K: Simulación Flexsim manufactura PT 160
ANEXOS 163
Anexo 1: Folleto NIR DS 2500 calibración 164
Anexo 2: Resumen de procedimientos 166
Anexo 3: Cotizaciones SCANCO 168
CURRICULUM 170
Hoja de vida: Bach Alfonso Rojas Hernández 171

LISTA DE FIGURAS

Figura No. 1 Línea de tiempo planta 18
Figura No. 2 Familia de productos alimentos concentrados 20
Figura No. 3 Organigrama de la empresa 22
Figura No. 4 Mapa de procesos 24
Figura No. 5 Posibles causas/contingencias del cambio de modelo de negocio 28
Figura No. 6 Diagrama de proceso 35
Figura No. 7 Ecuaciones indicadores de capacidad 38
Figura No. 8 Representación esquemática de los elementos de un proceso 42
Figura No. 9 Desviación estándar six sigma 43
Figura No. 10 Marco conceptual del proyecto 45
Figura No. 11 Proceso metodológico aplicado al proyecto 48
Figura No. 12 Esquema del estado actual 50
Figura No. 13 SIPOC de la planta 51
Figura No. 14 Boleta de revisión de calidad materia prima 52
Figura No. 15 Proceso manual de formulación 54
Figura No. 16 Análisis FODA 58
Figura No. 17 RACSI básico del documento de estrategia de negocio 59
Figura No. 18 Reunión de apertura 59
Figura No. 19 Comparación proveedor materia prima mayo 2025 61
Figura No. 20 Recibo piqueras materia prima 62
Figura No. 21 Análisis de capacidad materia prima 47% 63
Figura No. 22 Prueba de normalidad materia prima 64
Figura No. 23 Diagrama planta de manufactura 65
Figura No. 24 Capacidad de proceso utilizado datos del sistema agosto 2025. 66
Figura No. 25 Capacidad de proceso estandarizado (molido triplicado + NIR) 67
Figura No. 26 Prueba de normalidad producto terminado 68
Figura No. 27 Resumen de análisis por turno 70
Figura No. 28 Resumen de análisis por turno 71
Figura No. 29 Diagrama Ishikawa 72

Figura No. 30 Resultado Pareto causas potenciales 76
Figura No. 31 Estudio MSA del proceso R&R 77
Figura No. 32 Prueba de hipótesis MSA 79
Figura No. 33 Ejemplo turno de trabajo de 9:00pm a 6:00am 80
Figura No. 34 Esquema ingenieril etapa de solución 85
Figura No. 35 Equipo NIR DS3 90
Figura No. 36 Diagrama análisis NIR 91
Figura No. 37 Equipo NIR DS3AF con auto muestreador y requisitos 92
Figura No. 38 Equipo PROFOSS 2 y requisitos técnicos 93
Figura No. 39 Elaboración de curvas de calibración 94
Figura No. 40 Auto muestreador NIR DS3AF 95
Figura No. 41 Matriz impacto y esfuerzo 100
Figura No. 42 Esquema de implementación de la propuesta 101
Figura No. 43 Diagrama análisis NIR PROFOSS 2 102
Figura No. 44 Representación de variaciones por método vs análisis en línea. 103
Figura No. 45 Lugar seleccionado para instalar PROFOSS 2 103
Figura No. 46 Propuesta de ubicación PT previo a ensaque y granel 104
Figura No. 47 Cronograma de implementación 107
Figura No. 48 Gestión del cambio planta Alimentos del Sol 108
Figura No. 49 Matriz de riesgos 111

LISTA DE CUADROS

Cuadro No. 1 Distribución de colaboradores por género y unidad organizativa 18
Cuadro No. 2 Resumen de instrumento de muestreo en plantas de alimentos balanceados para materia prima y producto terminado. 40
Cuadro No. 3 Marco metodológico del proyecto 47
Cuadro No. 4 Cuadro de revisión de materia prima 53
Cuadro No. 5 Comparación DUMAS y NIR 62
Cuadro No. 6 Resumen resultado de análisis de capacidad materia prima 64
Cuadro No. 7 Resumen resultado de análisis de capacidad producto terminado 69
Cuadro No. 8 Resumen resultado de análisis de capacidad producto terminado por turno 70
Cuadro No. 9 Herramienta 5 por que 72
Cuadro No. 10 Análisis modo de fallas y efecto 74
Cuadro No. 11 Resumen estadística de análisis NIR 2024 total NIR 77
Cuadro No. 12 Variables obtenidos de la simulación por Flexsim. 80
Cuadro No. 13 Resumen cantidad de análisis NIR DS 2500 88
Cuadro No. 14 Resumen de propuestas de proyecto de solución. 89
Cuadro No. 15 Pre factibilidad económica 97
Cuadro No. 16 Categorización de proyectos 97
Cuadro No. 17 Matriz esfuerzo e impacto 99
Cuadro No. 18 Inversión inicial. 105
Cuadro No. 19 Rendimiento de la inversión 106
Cuadro No. 20 Matriz RACSI 109
Cuadro No. 21. KPI sugeridos post implementación cuadro mando 115

1. INTRODUCCION

INTRODUCCION

1.1 Generalidades de la organización

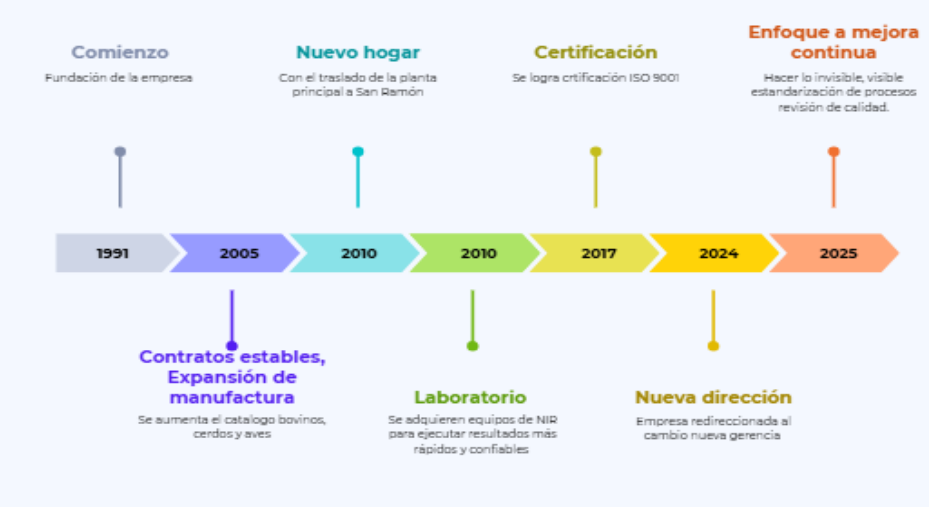
1.1.1 Antecedentes históricos

La empresa Alimentos Balanceados del Sol fue fundada en 1991, para resolver los obstáculos de nutrición animal de la zona y brindar opciones accesibles a productos de calidad, desde sus inicios se estableció como una empresa visionaria en el uso de tecnología cuya finalidad es la calidad de sus productos.

En 2005, como parte de su plan de expansión, la empresa trasladó sus operaciones principales a San Ramón de Alajuela.

En 2010, se realizó una fuerte inversión en automatización y se estableció un laboratorio de control de calidad a tiempo completo. Este año se implementó los equipos de infrarrojo cercano NIR.

En 2024, la empresa experimentó un cambio significativo con la renovación de contratos debido a la necesidad de automatización y mejora continua.



Nota: Elaborado con base al manual de gestión.

Figura No. 1 Línea de tiempo planta

1.1.2 Números de empleados

Actualmente en la Planta de Alimentos Balanceados trabajan un total de 69 personas distribuidas de la siguiente manera:

Cuadro No. 1 Distribución de colaboradores por género y unidad organizativa

Área de trabajo	Mujeres	Hombres	Total	% de la población
Administrativo	1	4	5	**7.2%**
Bodega MP	0	2	2	**2.9%**
Bodega plana	0	3	3	**4.3%**
Calidad en proceso	1	6	7	**10.1%**
Área de control	0	4	4	**5.8%**
Enfarde	0	25	25	**36.2%**
Laboratorio	3	3	6	**8.7%**
Mantenimiento	0	13	13	**18.8%**
Paletizado	0	2	2	**2.9%**

Romana	0	2	2	**2.9%**
Total	5	64	69	**100.0%**

Fuente: Recursos humanos

Debido a la naturaleza operativa de una planta de manufactura, el 92.8% de los recursos se concentran en procesos productivos. Sin embargo, dentro del mapa de procesos de la dirección correspondiente, únicamente 69 personas están asignadas a esta área, lo que representa una proporción menor en relación con el total de la dirección.

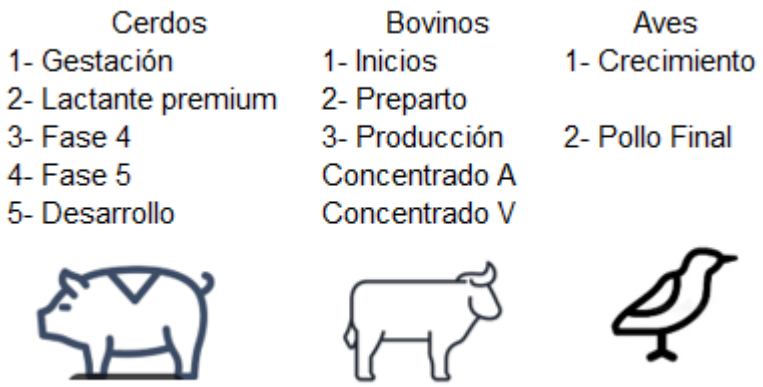
1.1.3 Tipos de productos

Bajo la organización actual, los productos se agrupan en dos familias principales: un grupo enfocado en alimentos balanceados para especies como bovinos, porcinos y aves; y un segundo grupo compuesto por alimentos medicados, diseñados para atender necesidades específicas de salud animal.

a. **Alimentos balanceados para especies:**
   Son alimentos balanceados de venta libre en los almacenes agro veterinarios para combinar alimentación como suplemento para diferentes especies.

b. **Alimentos balanceados medicados:**
   Son productos controlados, se venden bajo suscripción veterinaria, no está abierto al público en general.

En la figura a continuación se detallan los productos que actualmente se producen en la planta:



Fuente: Catálogo de la empresa

Figura No. 2 Familia de productos alimentos concentrados

El proyecto abarcará diversas áreas, en esta primera etapa estará enfocado específicamente en el desarrollo y mejora de los productos para bovinos.

1.1.4 Mercados

Los productos de alimentos balanceados están orientados principalmente a los productores, sin embargo, estos productos también están disponibles para el público en general. Su comercialización se realiza mayormente a través de los almacenes agro-veterinarios del país.

El mercado meta incluye a cualquier persona interesada en utilizar productos de alta calidad para reforzar la alimentación de especies animales, ya sea con fines de consumo o producción.

1.1.5 Estructura organizacional

La estructura parte de la gerencia de calidad responsable de las decisiones estratégicas de la empresa, de aquí parte los demás involucrados y encargados como el área de manufactura, laboratorio y planta de producción. Las funciones se describen a continuación:

a. **Gerencia de calidad:**

   Verificar el cumplimiento de políticas de inocuidad, detener procesos en la planta, aprobar o rechazar actividades clave como transporte, limpieza, uso de insumos, almacenamiento y devoluciones. Además, supervisa el análisis de riesgos y oportunidades de mejora asegurando que todas las decisiones estén alineadas con los objetivos de la compañía.

b. **Jefe de manufactura:**

   Responsable de asegurar las condiciones adecuadas en la manufactura, control de insumos, horarios, lotes de producción y cumplimientos de plan.

c. **Encargado de planta:**

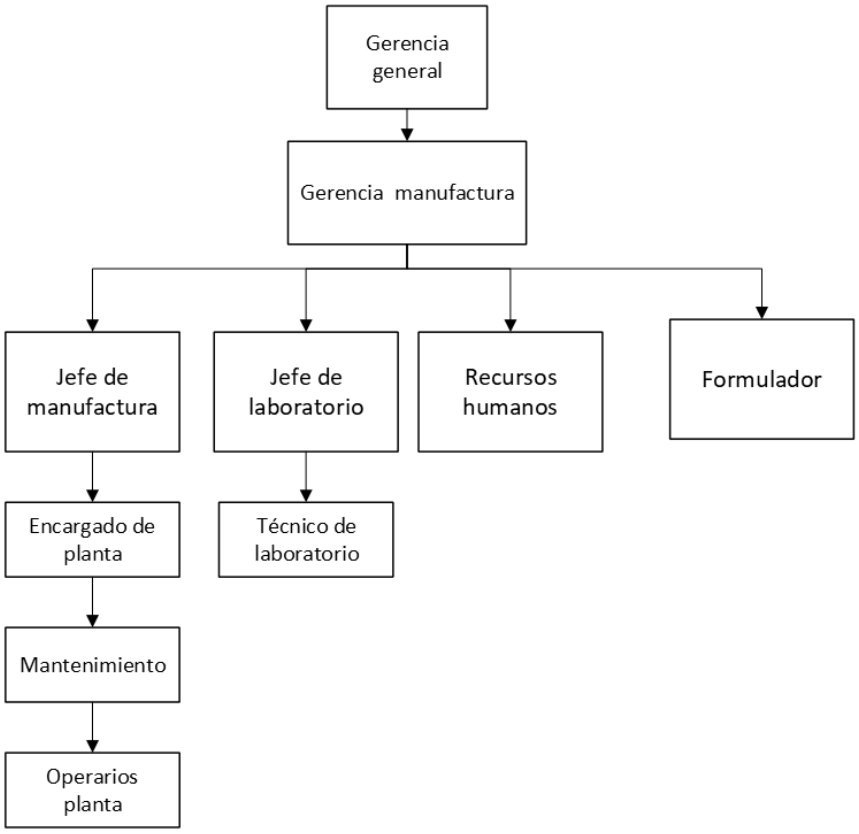
   Cubre al jefe de manufactura en ausencia de este, puesto dirigido al piso de producción, asegurar cumplir los procedimientos de manufactura, trazabilidad y correcto funcionamiento de la célula de manufactura.

d. **Formulador:**

   Único puesto en la planta, se encarga de revisar resultados de manera mensual y coordina la formulación de cada producto.

e. **Jefe de laboratorio:**

   Figura encargada de la coordinación de análisis de laboratorio, insumos y respuesta analítica del control de calidad.



Fuente: Manual gestión empresarial.

Figura No. 3 Organigrama de la empresa

1.1.6 Misión, visión y valores

a. Misión:

"Promovemos el bienestar integral de nuestros clientes mediante la oferta de productos seguros para alimentación animal de producción, promoviendo el beneficio social y económico". Fuente: Alimentos balanceados del Sol S.A

b. Visión:

"Consolidarse como la opción segura y económica en alimentación animal de la zona de Occidente.". Fuente: Alimentos balanceados del Sol S.A

c. Valores:

- Humildad:

  "Nos basamos en la sencillez, reconocemos oportunidades, conscientes de nuestro origen". Fuente: Alimentos balanceados del Sol S.A.

- Integridad:

  "Actuamos correctamente con apego a nuestros principios y valores.". Fuente: Alimentos balanceados del Sol S.A

- Solidaridad:

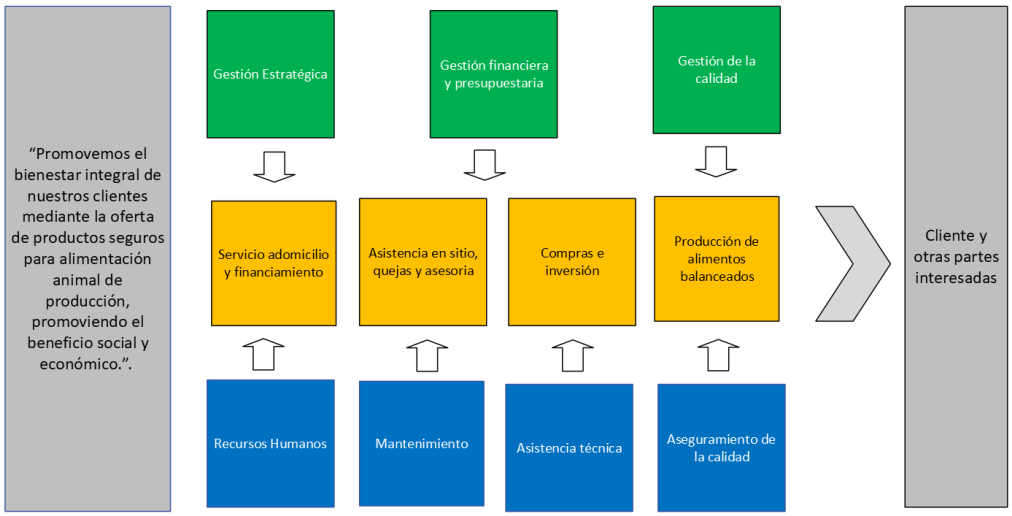
  "Nos apoyamos como equipo, buscando el bien común y apoyando a quien lo necesita". Fuente: Alimentos balanceados del Sol S.A

- Gratitud:

  "Reconocemos el esfuerzo de las personas y cada gesto de apoyo que recibimos; nos conducimos con total respeto". Fuente: Alimentos balanceados del Sol S.A

1.2 Descripción del proceso productivo

La planta de Alimentos del Sol genera sus ingresos a través de la comercialización de insumos alimenticios para el sector primario, complementados con servicios y productos financieros. En consecuencia, la configuración de su proceso productivo se caracteriza por su simplicidad, orientada siempre al cumplimiento de la misión empresarial y a la satisfacción de las partes interesadas. A continuación, se detalla dicho proceso productivo.



Nota: Elaboración propia

Figura No. 4 Mapa de procesos

1.2.1 Procesos estratégicos

a. Gestión estratégica:

Encargado de la planificación, toma de decisiones y gestión del abastecimiento a nivel organizacional.

b. Gestión financiera y presupuestaria:

Ejecuta procesos de inversión anual, tomando en cuenta el indicador del año anterior, prioriza compras e insumos. Coordina el presupuesto mensual mantenimientos y calibraciones.

c. Gestión de la calidad:

Proceso estratégico basado en el cumplimento de normas de calidad, asegura procesos y sus resultados, analiza errores y hallazgos de auditoria.

1.2.2 Procesos misionales

a. Servicio a domicilio y financiamiento:

El servicio brindado a clientes frecuentes con fiador y máximos establecidos.

b. Asistencia en quejas y asesorías

Efectúa la atención de quejas de clientes, coordina asesorías para el uso de los productos y administra la estrategia de comunicación al público meta.

c. Producción de alimentos balanceados:

Planta de concentrados donde laboran 69 empleados en todas sus áreas, cuya finalidad es la elaboración de suplementos alimenticios para especies en todas sus etapas.

1.2.3 Procesos de apoyo

Finalmente se cuenta con los siguientes procesos de apoyo:

- Recursos Humano
- Mantenimiento
- Asistencia técnica

- Aseguramiento de Calidad

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Definición del problema

Con la incorporación de la nueva gerencia, la planta de alimentos balanceados ha iniciado una revisión integral de sus procesos productivos solicitados por esta. Por lo que se requiere conocer el estado actual de los procesos de manufactura para una validación precisa del porcentaje de proteína y garantizar el cumplimiento normativo, ya que en Costa Rica las fabricaciones de alimentos balanceados son regulados por el Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA) adscrita al Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), específicamente por el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 65.05.52:11, que establece los requisitos de registro sanitario y control para productos utilizados en alimentación animal y sus establecimientos. Aunque no se establece un mínimo o máximo permitidos, si se debe indicar en el etiquetado su concentración, y que el resultado del análisis sea garantizado, ya que el no cumplimiento de la veracidad implicaría consecuencias económicas, comerciales y técnicas.

Por lo tanto, el control de calidad durante producción es un aspecto que actualmente no está siendo revisado de forma oportuna dado a la naturaleza del procedimiento actual, por ende, la cuantificación del costo asociado a la confirmación de datos fuera de especificación y la posible sobre-sub dosificación no ha sido considerada ni evaluada o al menos no posee registros, lo que limita la identificación de oportunidades de ahorro y no permite la mejora de la eficiencia operativa. Por ello, establecer procedimientos para evaluar la variabilidad en los procesos se vuelve una necesidad evidente, clave para la toma de decisiones informadas y la optimización continua.

Además, la proteína desempeña un papel fundamental en la formulación de suplementos alimenticios, no solo para cumplir con el etiquetado nutricional, sino también para garantizar que los usuarios puedan administrar una concentración conocida y adecuada. Esto permite

ajustar la cantidad suministrada según las necesidades específicas del animal, contribuyendo así a una salud óptima, una reproducción eficiente en ganado lechero y una adecuada regeneración de tejidos, como lo señala la literatura especializada. Sin embargo, un exceso de proteína puede generar efectos adversos significativos. Según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España (2008), una suplementación adecuada debe buscar el equilibrio entre energía y proteína, con el fin de satisfacer las demandas nutricionales del animal sin comprometer su bienestar. Este equilibrio es clave no solo para la salud animal, sino también para la sostenibilidad del negocio. Por ello, el monitoreo constante por parte de los productores y entes reguladores se vuelve esencial para asegurar la calidad y eficacia de los productos ofrecidos.

Por último, se debe analizar la importancia de la recepción de harina de soya 47%, que es la fuente principal de materia prima, y que conlleva un costo por muestras realizadas aproximada de ₡106,061,132.00 anuales, al mismo modo la proteína es el componente más caro de la formulación representando el 75% de la inversión de materia prima de la empresa, como ejemplo en el mes de junio 2025 se invirtió ₡224,985,697.76 a la compra de materia prima al proveedor y un costo relacionado al transporte de ₡160,293,206.33, por lo que su control y utilización dentro del proceso productivo debe ser lo más eficiente posible.

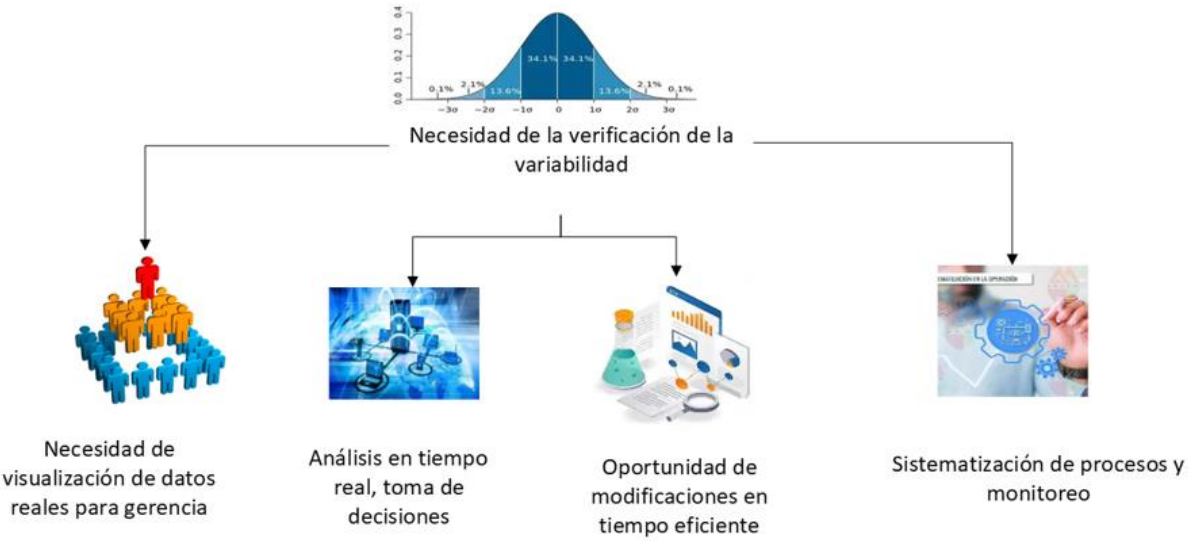
Por lo tanto, el problema a abordar es establecer un control de variabilidad basado en control estadístico en el contenido de proteína cruda de los productos Concentrado A y V en jornada activa, ya que compromete la validez del etiquetado nutricional, el cumplimiento de la norma técnica RTCA 65.05.52:11 y utilización de recursos de alto valor.

Como resumen existe riesgo de no conformidad regulatoria, alta variabilidad de proceso y un monitoreo de componente valioso con oportunidades de mejora no aprovechado.

1.4 Justificación del proyecto

La meta es proponer soluciones al problema basado en datos reales no intervenidos para visualizar tendencias, conocer el comportamiento y la variabilidad de componentes de alto valor, así, por ejemplo, monitorear mejor la inversión en gastos de materia prima en producto terminado. Además, de garantizar una declaración de etiquetado real basado en datos confiables, demostrables y con carácter de garantía para cumplir con el Reglamento técnico Centroamericano RTCA 65.05.52:11

La ausencia de un diseño ingenieril, para evaluar y monitorear la variabilidad en los procesos da lugar a pérdidas de eficiencia, mantenimientos correctivos no pronosticados y falta de seguimiento a tendencias en los resultados. Esta carencia limita la capacidad de anticiparse a desviaciones y optimizar recursos. Contar con una herramienta de análisis basada en información de calidad permitiría generar datos valiosos para la toma de decisiones, mejorar la trazabilidad operativa y fortalecer la eficiencia del proceso productivo.



Nota: Elaboración propia.

Figura No. 5 Posibles causas/contingencias del cambio de modelo de negocio

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Implementar un control de calidad para la variabilidad en el porcentaje de proteína en la producción continua de los concentrados A y V, en el área de manufactura de la planta Alimentos Balanceados del Sol S.A., alineado a la veracidad del etiquetado nutricional conforme a la Norma Técnica Centroamericana RTCA 65.05.52:11

1.5.2 Objetivos específicos

- Evaluar el estado actual de la variabilidad en el porcentaje de proteína de los productos terminados Concentrado A y Concentrado V y de materia prima harina de soya 47% en términos de cumplimiento de rangos con la normativa.

- Evaluar integralmente las condiciones de recepción, liberación de la harina de soya 47%, así como el sistema de medición y la capacidad del proceso de producción de los concentrados, para los puntos críticos que afectan la calidad del insumo que contribuyen a la variabilidad del porcentaje de proteína.

- Diseñar un modelo estandarizado de control de la variabilidad en el porcentaje de proteína de los productos terminados que incluya medición del producto terminado, con el propósito de disminuir las desviaciones, muestreos y asegurar la consistencia del proceso productivo.

- Elaborar un prototipo con simulación funcional que integre las etapas identificadas en el proceso productivo y medición del producto terminado, con el fin de visualizar el proceso facilitando la toma de decisiones de solución para la mejora del mismo.

- Proponer un plan integral de implementación del modelo de control de variabilidad, contemplando recursos, etapas, responsables y condiciones necesarias para su

potencial aplicación en planta, según su viabilidad operativa y alineación con los estándares de calidad.

1.6 Alcance y limitaciones

1.6.1 Alcance

- Este proyecto tendrá alcance en la manufactura específicamente en la planta de alimentos procesado en el departamento de aseguramiento de la calidad de la empresa Alimentos Del Sol S.A.

- Se pretende desarrollar con los productos terminados Concentrado A y Concentrado V, en su componente proteína y no en efectos para la materia prima, ya que requerirá una intervención inicial de mayor dimensión.

- El proyecto se enfocará en la mejora en producto terminado y la veracidad del componente proteína exclusivamente.

1.6.2 Limitaciones

- Aunque el modelo tiene potencial para aplicarse a una mayor variedad de productos, se decidió enfocarse en los productos para bovinos de mayor demanda, al considerarlos componentes clave dentro del portafolio y ser estratégicos para el negocio.

- Este proyecto no cuenta con antecedentes realizados por el departamento, por lo que el estado actual es un primer vistazo a una práctica no común dentro del área, lo que limita el acceso a información previa.

- Así mismo, debido a la limitación de tiempo y recursos para tal fin, el presente estudio no contempla la elaboración final revisión, aprobación y oficialización en el sistema de gestión.

- No es posible tener acceso al plan presupuestario de la dirección, ya que es información confidencial, del mismo modo al mando integral y a datos sensibles como desperdicios.

- Debido a la arquitectura de TI el traslado de datos se debe realizar mediante permisos especiales, el uso de llaves mayas o traslado de información o datos fuera del departamento está prohibido, por lo que el acceso a datos es mediante un acceso preestablecido con un funcionario con privilegios que debe estar presente.

- La limitación de recursos disponibles, especialmente por los altos costos de las pruebas de laboratorio, restringe la capacidad de llevar a cabo procesos experimentales.

- La limitada regulación hacia los componentes de etiquetado de alimentos balanceados, permite una brecha amplia de interpretación, limitándose a considerar como requisito la garantía de análisis por parte de la fuente de producción, es decir, no da máximos o mínimos permisibles, lo que no permite un panorama marcado de cumplimiento.

- Se debió de utilizar un enmascaramiento de datos y de confidencialidad, para salvaguardar la difusión de información sensible de la empresa, en el apéndice J se muestra las acciones tomadas.

2. REVISION DE LITERATURA

REVISIÓN DE LITERATURA

Evaluar los procesos siempre es importante, conocer valores reales, sesgos y puntos críticos permite un panorama claro para la toma oportuna de decisiones. En un área de producción con gran capacidad como lo es la de alimentos balanceados, la variabilidad con monitoreo se vuelve un actor principal debido a la inversión y su impacto final al cliente.

2.1 Generalidades de la industria de los alimentos balanceados.

El mercado de alimentos balanceados en Costa Rica se rige principalmente por el Reglamento para el Control de la Elaboración y Expendio de Alimentos para Animales N.º 16899-MAG, emitido en 1985. Este reglamento establece requisitos generales para la inscripción, etiquetado, uso de aditivos, medicamentos y control de calidad de los alimentos para animales. Sin embargo, debido a su antigüedad, presenta limitaciones frente a los avances técnicos y científicos actuales en nutrición animal.

Para complementar esta normativa nacional, se aplica también el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 65.05.52:11, el cual establece disposiciones más actualizadas sobre el registro sanitario, etiquetado, y control de productos utilizados en la alimentación animal. Aunque este reglamento exige declarar los porcentajes garantizados de nutrientes mediante análisis respaldados, no establece límites máximos ni mínimos permitidos para los componentes nutricionales.

Sin embrago, en este trabajo se basa en el componente de proteína, y visto desde una perspectiva de negocio y de salud animal tiene las siguientes características:

a. **Porcentaje muy elevado de proteína**:

   Un exceso en la dieta de proteína puede significar un desbalance nutricional afectando el ciclo reproductivo del animal, según (Alex Estrella, 2018) una dieta alta en proteína es dañina para la reproducción, afecta el índice calórico y afecta los riñones, por lo tanto el porcentaje de proteína es esencial y su nivel es de gran importancia

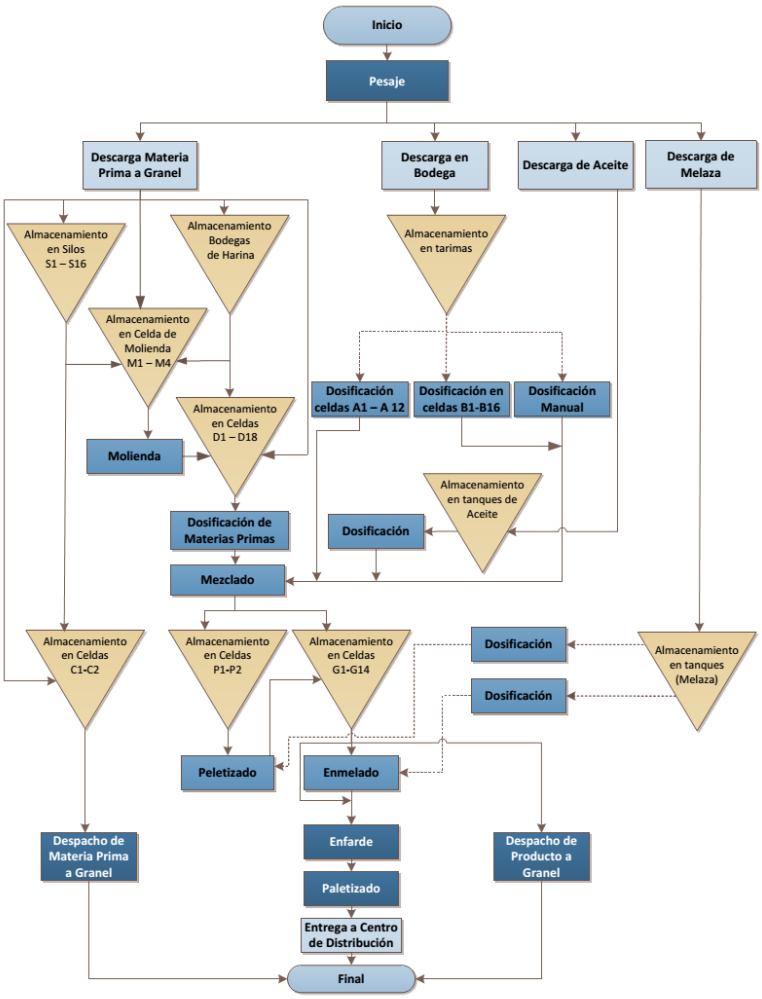
productivo (pp. 12). Además, un exceso en la dosificación requiere una inversión de materia prima no contemplada haciendo un desperdicio, como lo indica Weber M la proteína es el ingrediente más caro en la formulación por lo que el costo de transformación de materia prima debe ser lo menor posible. (Weber 2015, pp 55-56)

b. Porcentaje muy bajo de proteína:

Por otro lado, una deficiencia en proteína según (Berly Cahuascanco-Quispe1, 2019, pp. 12) impide una combinación equilibrada de uso energético y por ende el porcentaje de grasa tiende a disminuir afectando la calidad y eventualmente en el pago, es decir, afecta la producción y calidad lechera.

2.2 Procesos de fabricación de alimentos balanceados:

Una planta de alimentos concentrados se dedica a la transformación de alimento, del sector agrícola generando productos para animales, contiene áreas asignadas para todos los procesos que ocurren en ella, cuenta con personal capacitado, equipos y maquinaria, por lo tanto, el diseño de un proceso de manufactura de alimentos no solo se limita a su estructura arquitectónica, sino en la actualidad se debe tener en cuenta múltiples factores y la finalidad deseada:



Fuente*: (Rodríguez Weber, 2015)*

Figura No. 6 Diagrama de proceso

La autora presenta en forma de esquema el proceso de manufactura común de plantas de alimento balanceado, por lo tanto, Rodríguez Weber (2015) describe el proceso:

El proceso de manufactura inicia con la descarga de las materias primas por medio de 3 fosas receptoras. La dosificación se realiza de manera automática, el operador a cargo indica en el programa informático el número de baches o la cantidad a mezclar, se elige la fórmula deseada y el destino del producto final. El producto ingresa a la mezcladora y luego de 3 minutos se obtiene la mezcla, pues el equipo se programó para este tiempo de mezclado sin importar si son 2.000 kg la cantidad mínima o el bache que corresponde a 6.000 kg. Si la

fórmula del producto lo amerita se procede a agregar líquidos (aceites: tilapia o vegetal) dentro de la mezcladora automáticamente. Cuando el bache está completo, con la ayuda de sensores se determina si es posible descargar el bache, ya que no lo hace si estos indican presencia de material dentro aún de la mezcladora. Se da la orden para ser descargado a una tolva de compensación permitiendo que se pueda dosificar otro bache. Al terminar la mezcla, el producto final se evacua por medio de transportadores y elevadores a una cernedora clasificadora de impurezas, por último y previo al enfarde pasa a las en meladoras o directamente a las tolvas de descarga a granel; inclusive, de ser necesario pasa a las tolvas de pre paletizado. (pp 42).

2.3 Variabilidad en procesos de producción en plantas de manufactura:

La eficiencia y reducción de desperdicios en la industria siempre ha marcado la diferencia entre el éxito y la mediocridad en las empresas, por lo general una empresa que controla sus procesos esta predestinada a ser altamente eficiente, pero esa eficiencia es tangible hasta su medición, por lo tanto, la variabilidad debe ser visualizada, como lo indica (Leopoldo Viveros Rosas1, 2017) el uso de herramientas de mejora continua permite esta medición y permite la simulación previa de decisiones. (pp 2). En esto radica el aprovechamiento de la medición de la variabilidad, una herramienta de toma oportunas de decisiones.

Primeramente, el concepto de variabilidad de proceso es: "(mediciones no deseadas); así mismo todos los datos graficados que son ubicados arriba o debajo de la línea central representan la variabilidad del proceso analizado" (José Roberto Cantú-González, 2020).

Por lo tanto, entiéndase a variabilidad como un margen no deseado, pero intrínseco que se debe mantener en control y en constante monitoreo.

Para abordar el tema de la variabilidad, es necesario recurrir a la estadística paramétrica. En el contexto de procesos de producción que operan bajo rangos de trabajo y criterios de aceptación, comprender el comportamiento estadístico es esencial. Esto permite aplicar

correctamente las herramientas estadísticas que facilitan el análisis y control de la variabilidad en los resultados.

Por lo tanto “los datos a gran escala y de origen conocidos permiten evaluar su comportamiento, muy probablemente se acercan a la distribución normal deseada en este tipo de análisis. (Cienfuegos Velasco, Garcia Manzano, & González Pérez, 2022, pp. 14). Como lo mencionan los autores la distribución en estadística paramétrica nos da una ubicación de que herramientas aplicar, por ejemplo, prueba de hipótesis, confirmación de normalidad, paramentos de desviación estándar, moda etc.

Del mismo modo la variabilidad en procesos controlado tiene indicadores de capacidad en rangos internacionales de aceptación.

- Cp (Índice de Capacidad del Proceso): Mide la capacidad potencial del proceso. Un Cp mayor a 1.33 generalmente indica que el proceso es capaz.

- Cpk (Índice de Capacidad Ajustado): Considera la media del proceso y su variabilidad en relación con las especificaciones. Un Cpk mayor a 1.33 también indica un proceso capaz.

- Pp y Ppk: Similar a Cp y Cpk, pero se utilizan para evaluar la capacidad del proceso sobre un periodo de tiempo más largo y con datos más variables.

Índice	Descripción
$\hat{C}_p = \frac{\text{TS - TI}}{6 \times \hat{\sigma}}$	Calcula lo que el proceso sería capaz de producir si el proceso estuviera centrado. Presupone que el resultado del proceso sigue una distribución normal.
$\hat{C}_{p,\text{inferior}} = \frac{\hat{\mu} - \text{TI}}{3 \times \hat{\sigma}}$	Calcula la capacidad del proceso para especificaciones únicamente con un límite inferior (ej. fuerza). Presupone que el resultado del proceso está aproximadamente distribuido de forma normal.
$\hat{C}_{p,\text{superior}} = \frac{\text{TS} - \hat{\mu}}{3 \times \hat{\sigma}}$	Calcula la capacidad del proceso para especificaciones únicamente con un límite superior (ej. concentración). Presupone que el resultado del proceso esta aproximadamente distribuido de forma normal.
$\hat{C}_{pk} = \min\left[\frac{\text{TS} - \hat{\mu}}{3 \times \hat{\sigma}}, \frac{\hat{\mu} - \text{TI}}{3 \times \hat{\sigma}}\right]$	Calcula lo que el proceso es capaz de producir si el objetivo del proceso está centrado entre los límites de la especificación. En caso de que la media del proceso no este centrada, $\hat{C}_p$ sobreestima la capacidad del proceso. $\hat{C}_{pk} < 0$ si la media del proceso se sitúa fuera de los límites de especificación. Presupone que el resultado del proceso esta aproximadamente distribuido de forma normal.
$\hat{C}_{p.m.} = \frac{\hat{C}_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{\hat{\mu} - T}{\hat{\sigma}}\right)^2}}$	Calcula la capacidad del proceso respecto a un objetivo, T. $\hat{C}_{p.m.}$ es siempre mayor que cero. Presupone que el resultado del proceso esta aproximadamente distribuido de forma normal.
$\hat{C}_{pkm} = \frac{\hat{C}_{pk}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\hat{\mu} - T}{\hat{\sigma}}\right)^2}}$	Calcula la capacidad del proceso respecto a un objetivo, T válido para un proceso con una media descentrada. Presupone que el resultado del proceso esta aproximadamente distribuido de forma normal.

Fuente*: (Aparicio Hernández, Castañeda Mora, & López Cruz, 2024)*

Figura No. 7 Ecuaciones indicadores de capacidad

Las fuentes de variabilidad en la producción de alimentos balanceados se pueden dividir en procesos específicos críticos dentro de la manufactura como lo son:

2.3.1 Materia prima de fuente proteica:

La soya tipo cascarilla o en harina se ha convertido en la principal fuente proteica a nivel mundial por su facilidad de transporte, aprovechamiento calórico (Quintero Serna , 2021), por lo tanto se puede indicar que la facilidad de transporte y almacenaje la hacen atractiva para la manufactura. La calidad y la estabilidad depende del proveedor y una adecuada disposición en el recibo y almacenamiento.

2.3.2 Dosificación de ingredientes y mezclado:

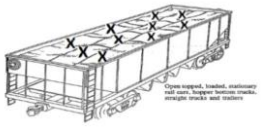
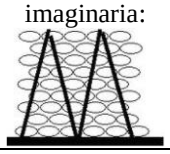
Como se indica en la figura # 6 el mezclado es una etapa del proceso de manufactura muy relevante, ya que influye en la formulación y por ende en el producto final. La dosificación se puede realizar de manera manual o automática con el uso de un Enterprise Resources Planning (ERP), un sistema capaz de generar, colectar, procesar, almacenar y procesar información de transacciones de múltiples procesos de negocio de manera continua, simultánea y paralelamente en distintas áreas de las empresas (Alvarado Chávez, 2018).

2.3.3 Muestreo y análisis de laboratorio para harina de soya y producto terminado para proteína:

Un punto importante en las plantas de alimento balanceado para animales, son los controles de calidad y de medición. Contar con procedimientos, equipos y planes de mantenimiento es vital para el aseguramiento de la calidad, los resultados de confianza facilitan la generación de resultados y permiten que el proceso transcurra de forma normal.

El muestreo de harinas, polvos y pellets esta normalizado por cada empresa, sin embargo, según los procedimientos de muestreo de la autora (Rodríguez Weber, 2015) se resumen en la siguiente tabla:

Cuadro No. 2 Resumen de instrumento de muestreo en plantas de alimentos balanceados para materia prima y producto terminado.

Tipo de muestra	Equipo	Utilización	Equipo	Donde utilizarlo
Materia prima a granel	Sonda de alvéolos	La sonda está compuesta por dos tubos concéntricos con múltiples orificios. Al girar el tubo interno, sus aperturas se alinean con las del tubo externo, permitiendo que la muestra ingrese. Luego, al girar nuevamente, los orificios se cierran, reteniendo la muestra dentro de la sonda		Camiones graneleros varios compartimientos 
Para cualquier materia prima, producto terminado en la línea enfarde	Cucharón de pelicano	Se puede utilizar esta técnica para el recibo de cualquier materia prima en harina, grano o pellet que sea recibida en la planta.		Puntos espaciados uniformemnte.  Almacenamiento materia prima.
Producto terminado en saco	Muestreador cónico	Se debe identificar la muestra con el nombre del producto, el número de lote y la fecha de elaboración que se está muestreando		Se realiza el muestreo de sacos en la distribución haciendo una “M” imaginaria: 

Fuente*: (Rodríguez Weber, 2015)*

Para análisis de alimento balanceado para animales el método estándar utilizado, según el (AOAC, Oxford academic, 2023) es el método de Kjeldahl, conocido como química húmeda, también está el equipo de combustión de nitrógeno DUMAS o análisis elemental para la determinación de nitrógeno (KG, 2025), el cual también esta validado por (AOAC, Oxford academic, 2020) para análisis de proteína en alimentos, por lo tanto son métodos de laboratorio con alta e irrefutable aceptación internacional.

En cuanto a análisis de laboratorio para harina de soya y producto terminado los autores Churion et al (2016) compararon los dos métodos en distintas clases de alimentos, concluyendo que no existe diferencia significativa entre ambos. (pp. 3).

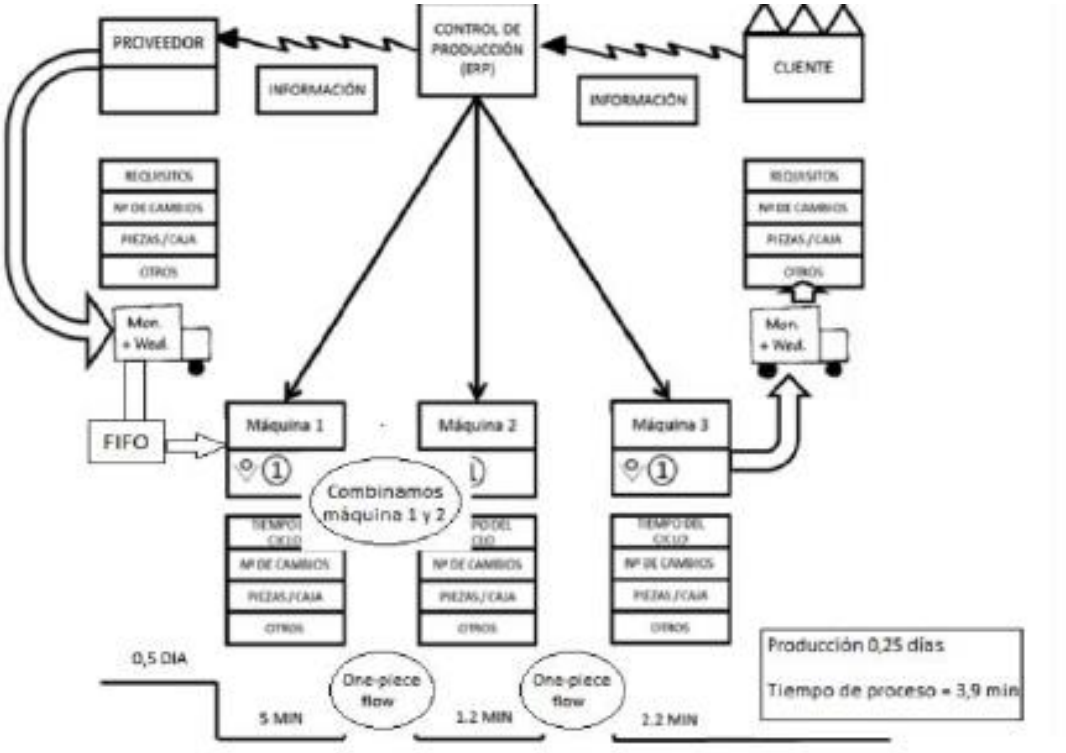
Sin embargo, ambos procedimientos tienen contrapartes que hacen que su uso sea limitado, el método de química húmeda es tedioso, peligroso y requiere de instrumentación de laboratorio específica, por otro lado, DUMAS es un equipo analítico automatizado cuyo costo de operación es de alta inversión.

Para mitigar estos costos se decide utilizar una tecnología alternativa, el infrarrojo cercano, "las muestras que van a ser analizadas en el NIRS deben considerar todos los factores que afecten la composición química del alimento a ser analizado, y que de ellos depende el desarrollo de los modelos de predicción precisos y exactos. Las muestras sólidas que van a ser utilizadas en equipos de reflactancia deben ser previamente secas y molidas". (Alba Madonado & Rivera Rivera, 2017). El autor define como apto la tecnología NIR, sin embrago, recalca considerar todas las variables para su implementación.

2.4 Diseño de modelo ingenieril y simulación de procesos para comprender escenarios y proponer mejoras.

"El propósito y función del plan de diseño son los siguientes: diseño para mejorar la imagen de la marca, diseño basado en tendencias sociales y previsiones de demanda, diseño basado en el desarrollo de tecnología y previsiones tecnológicas, diseño basado en la previsión del ciclo de vida del producto, diseño para adaptarse a la competencia del mercado, diseño basado en la demanda, el diseño de cambios y la diversificación de valores, y el diseño para reducir costos" (Yingbin , Yunpeng, & Shenghuan , 2022, pp. 22)

Las empresas en sus procesos de manufactura pueden contar con metodologías de mejora continua, para el diseño de mejora en partes o segmentos del proceso que son de interés, en la figura 8 se muestra un ejemplo de diagrama proceso:



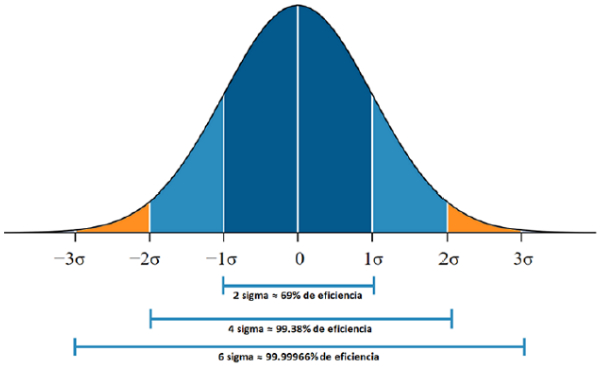
Fuente*: (Aparicio Hernández, Castañeda Mora, & López Cruz, 2024)*

Figura No. 8 Representación esquemática de los elementos de un proceso

Como lo muestran los autores, un mapa de proceso es una representación visual de las entradas, procesos y salidas de un proceso productivo.

En términos de diseño de mejoras es el primer eslabón a revisar, luego según se escoge la metodología a seguir contemplando Six Sigma con el ciclo definir, medir, analizar, implementar y controlar (DMAIC), gestión de la calidad, Lean manufacturing, PHV, kaisen, 5 por que u otras aplicables al proceso.

Uno de los modelos más utilizados actualmente es el modelo de six sigma enfocado en reducción de desperdicios y en productividad empleando herramientas ingenieriles de mejora.



Fuente*: (Aparicio Hernández, Castañeda Mora, & López Cruz, 2024)*

Figura No. 9 Desviación estándar six sigma

Como lo muestra la imagen el concepto de six sigmas es en la reducción de desperfectos al nivel 3 sigmas a la derecha y tres a la izquierda, por lo que entre más alto sea el nivel sigma los defectos por millón de oportunidades van disminuyendo. Este modelo de mejora puede complementarse con software de uso común estadístico como Excel o mejorar su desempeño con software especializados como "minitab". Para su enfoque en la reducción de la variabilidad se emplea la metodología DMAIC:



Fuente*: (Aparicio Hernández, Castañeda Mora, & López Cruz, 2024)*

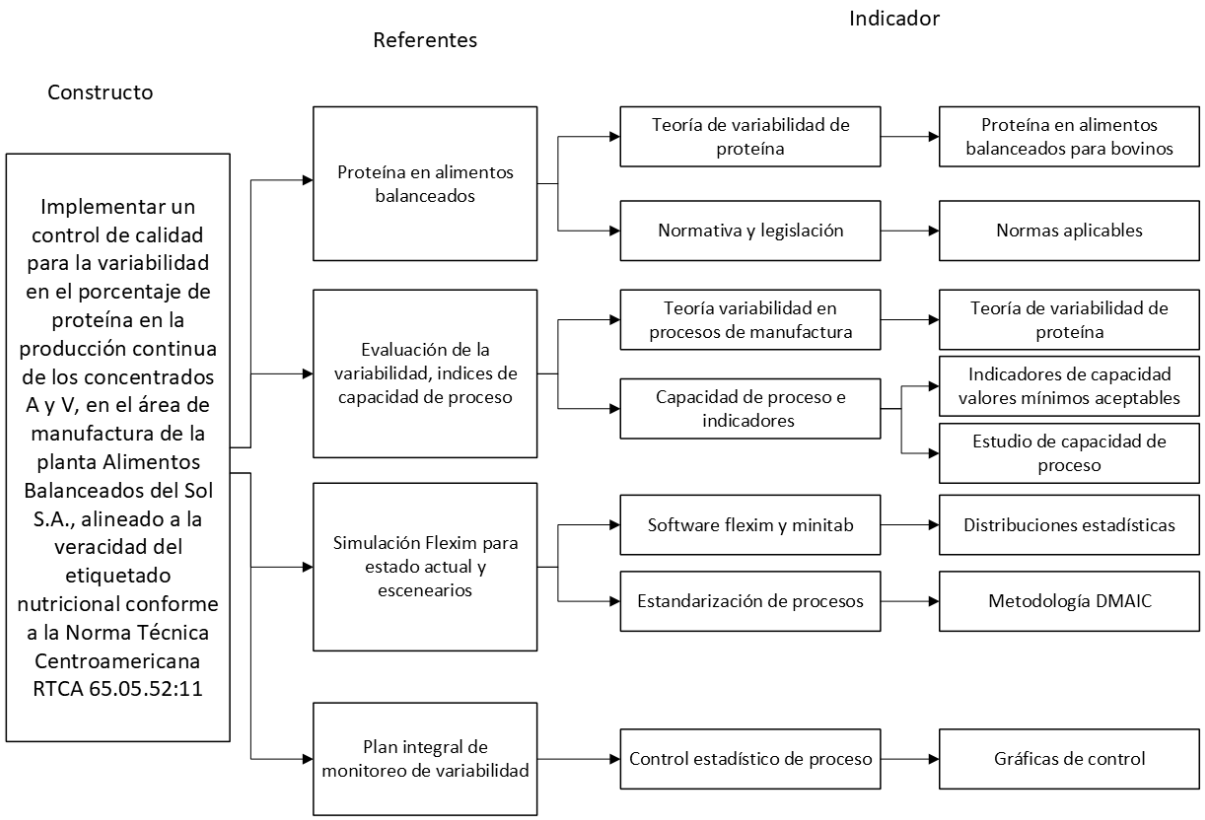
Figura No. 9 Resumen fases DMAIC

Las fases de la metodología y sus herramientas van enfocada a solucionar un problema con el interés de la alta gerencia, con requisitos de cumplimiento reales, extensión temporal real y con los límites de recursos bien establecidos.

Una vez desarrollado el modelo muchas veces no por tiempo o recursos la mejora potencial no se puede ejecutar, o un prototipo o corrida piloto quedan limitadas en sus conceptos de aplicación, para solventar estos inconvenientes se puede hacer uso de simulaciones con variables enfocadas a los resultados de la aplicación del modelo.

La simulación es un medio para representar el comportamiento de un sistema empleado un ordenador, permite construir modelos para obtener secuencias correctas, pero que sin embargo tienen carencia analítica ya que no se obtienen resultados exactos (Acuña Acuña, 2015, pág. 18). Por esta razón se emplean con sustentación de software especializados como "Flexsim" el cual es un sistema computarizado de modelaje y análisis 3D de procesos.

Los puntos fuera de especificación se controlan con un plan integral de control estadístico de proceso, el cual se define como el recurso empleado para control de procesos, utilizando herramientas como graficas de control estadísticos, según sean por atributos o variables ((Paz Carro & Gómez González, 2012), en este proyecto se propone, por la naturaleza del comportamiento esperado, sea por variable continua, el porcentaje es una variable medible y depende de su correcta medición pasar a una gráfica de control por rangos, según los autores Paz Carro y Gómez González la gráfica es apta para variables continuas utilizando límites de control dados por la media y la desviación del proceso.



Nota: Elaboración propia.

Figura No. 10 Marco conceptual del proyecto

En la figura anterior se encuentra el esquema de marco conceptual incluyendo las aspecto teóricos de guía desarrollados durante el proyecto.

3. METODOLOGIA DEL PROYECTO

METODOLOGIA DEL PROYECTO

El desarrollo de este proyecto se guía por medio de Lean six sigma, con las etapas del ciclo de mejora DMAIC (Definir, medir, analizar, implementar y controlar). La cual es una metodología adecuada para mejorar la variabilidad del componente proteína y atacar desperdicios, empleando herramientas de calidad integrales, dirigidas en cada etapa mostrando el panorama real, para descubrir las causas y oportunidades de mejora en los procesos, concentrar esfuerzos bien establecidos resolviendo los objetivos de mejora, en resume, es un despliegue de herramientas estadísticas enfocadas a minimizar variación y generar resultados aceptables.

Para ello se plantea el siguiente marco metodológico.

Cuadro No. 3 Marco metodológico del proyecto

Etapa	Actividades	Herramientas	Entregables
Definir	Mapa de proceso	SIPOC	Definición de la mejora
	VOC, reunión con interesados	Mapa proceso	Objetivos
Medir	Recopilación de datos	Ishikawa	Distribución estadística
		Pareto	Estado actual
	Análisis estadístico	Capacidad de proceso	
		MSA	
Analizar	Evaluar estadísticas	ANOVA	Inter-laboratorial
	Evaluar capacidad y variabilidad	Ishikawa	Propuesta mejora
	Pareto	Prueba piloto	Causas raíz
Mejorar	Evaluar mejora	Mapa proceso adaptado	Propuesta probada
		AMEF	Puntos críticos de mejora
		Simulación Flexsim	

Controlar	Establecimiento mejora operativa oficial	Graficas de control	Procedimiento oficial de control variabilidad

Nota: Elaboración propia.

El proyecto se desarrollará a partir de mayo 2025 y se desarrollará en el último semestre del 2025

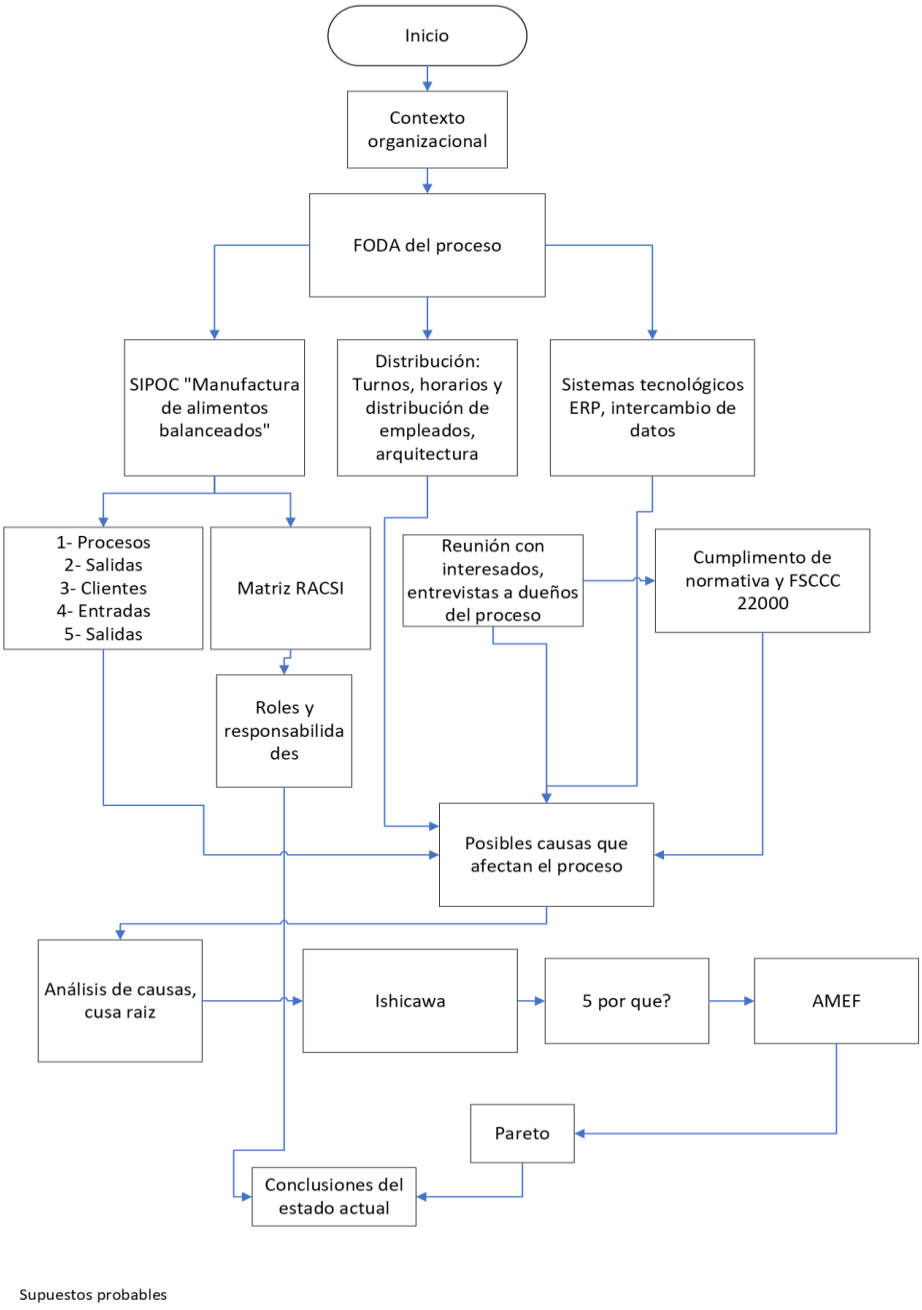


Nota: Elaboración propia.

Figura No. 11 Proceso metodológico aplicado al proyecto

Como puede visualizarse en la Figura 11, la metodología del proyecto basada en el ciclo DMAIC con six sigma para desarrollar en 2025 y aplicar oficialización en 2026 teniendo el despliegue del proyecto en todas sus etapas.

4. DIAGNOSTICO DE LA SITUACION ACTUAL



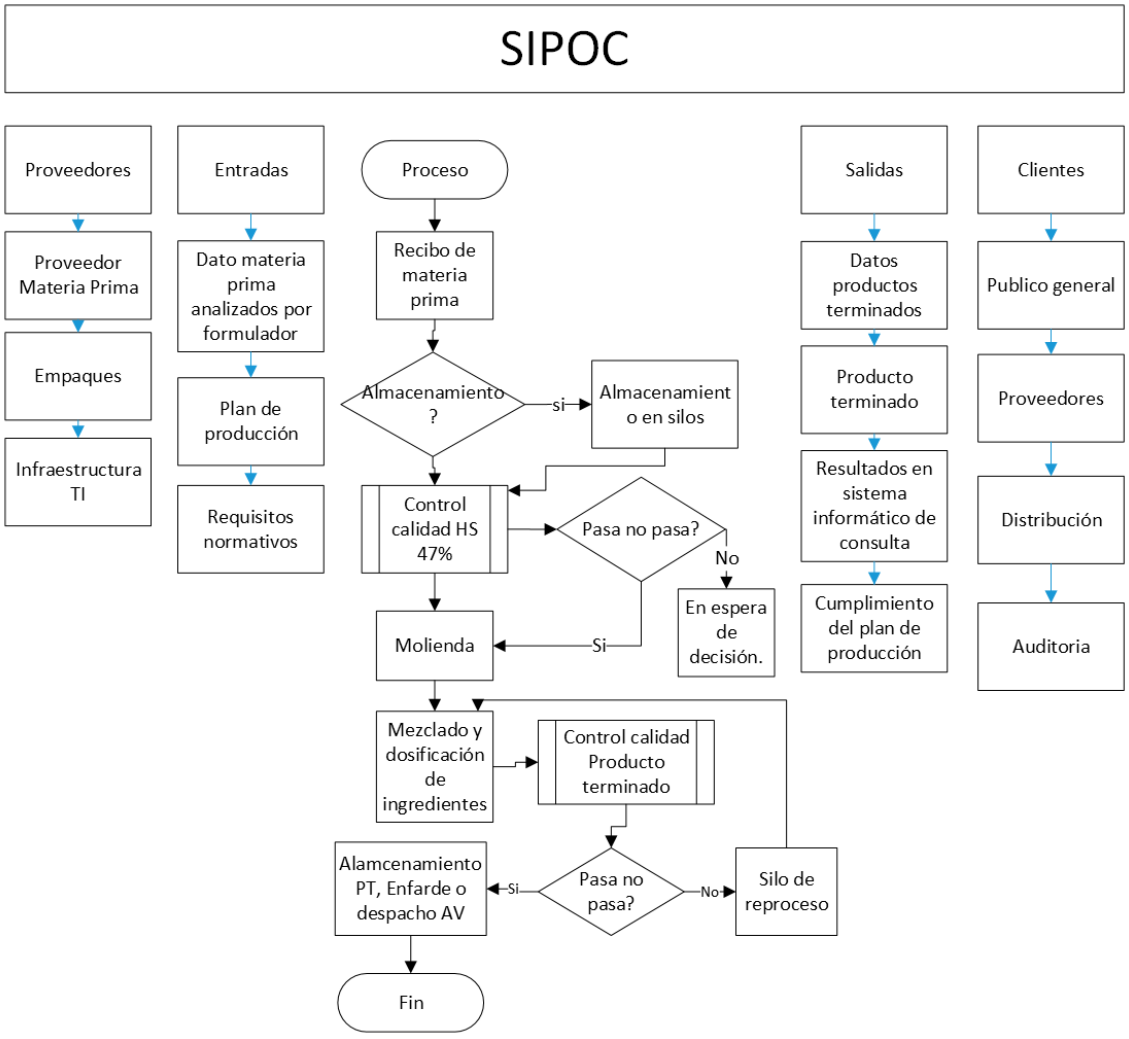
Nota: Elaboración propia.

Figura No. 12 Esquema del estado actual

La planta de alimentos balanceados trabaja sobre marcos estratégicos definidos y su estado actual depende de la verificación y revisión por la gerencia, el resultado de esta revisión se actualiza de manera mensual en el cuadro de mando integral y es independiente de cada área.

4.1 SIPOC del proceso actual

Se elabora un diagrama de SIPOC para caracterizar el proceso actual de manufactura de alimentos balanceados, el cual se muestra a continuación:



Nota: Elaboración propia.

Figura No. 13 SIPOC de la planta

Lo que muestra la figura No. 13 es un análisis de factores involucrados de manera integral al proceso en estudio, por lo tanto, se explica a continuación.

4.1.1 Proveedores

a. Proveedor:

Un proveedor requiere cumplir con requisitos preestablecidos en el procedimiento Procedimiento de Recibo de Materia Prima y Material de Empaque, con revisiones periódicas, auditorias, pólizas de cumplimiento de plazos y calidad. Actualmente, para materia prima se tiene un solo proveedor y la revisión se hace en base a este documento oficial:



	FORMULARIO CONTROL DE MATERIA PRIMA	Código
Fecha de aprobación: 23 / 07 / 2025	Versión 4	Página 1 de 1

Fecha:	Tipo de Materia prima:	Hora entrada:
Proveedor:		Factura:
Empresa de transporte:		Nº Boleta control de peso
Nº de placa de transporte:	Nº de Marchamos:	
En caso de Importación:		
Vapor:		
Nº Orden:	Nº Guia:	
Nombre Operador de Romana:		

INSPECCIÓN TRANSPORTE (colocar un ✓ en el estatus del parámetro)

Parámetro	Condición			Realizado por:
	Conforme	No conforme	Observaciones	Nombre (Iniciales):
Limpieza general del transporte				
Lona/Techo				
Plagas				
Pisos				
Compuertas				
Marchamos				Fecha / Hora:
Condición de las paredes/tanques				
Orificios				
Costras				
Humedad (ausencia de infiltraciones)				
Rugas de producto				

ANALISIS ORGANOLEPTICO (colocar un ✓ en el estatus del parámetro)

Apariencia	Olor	Condición de MP	Cuerpos extraños	Observaciones generales
☐ Fino ☐ Grueso ☐ Apelotado ☐ Conforme	☐ Conforme ☐ No conforme	☐ Con humedad ☐ Presencia de plaga ☐ Conforme	☐ Piedras ☐ Palos ☐ Vidrios ☐ Plumas o pelos ☐ Metales ☐ Otros : colocar en observaciones.	

DESCARGA	
Destino 1:	Destino 2:
Destino 3:	Destino 4:
Operador Cuarto de Control	
Número de SILAC:	Laboratorista (iniciales):

Fuente: Procedimiento recibo en piqueras del Sol.

Figura No. 14 Boleta de revisión de calidad materia prima

La revisión del laboratorio es la última parte del criterio de aceptación, se anota lote y código para trazabilidad posterior.

Cuadro No. 4 Cuadro de revisión de materia prima

Harina de Soya					
Características generales					
Procedencia	Costa Rica.				
Origen	Vegetal				
Composición	Frijol de soya.				
Método de producción	Subproducto obtenido del proceso de extracción de aceite del frijol de soya.				
Métodos de embalaje y distribución	Este producto se transporta a granel en camiones graneleros.				
Condiciones de almacenamiento y caducidad	Este producto debe ser almacenado en un lugar fresco y ventilado. Su tiempo de caducidad es de 6 meses.				
Preparación o tratamiento antes del uso o proceso	No aplica.				
Criterios de calidad					
Características físicas	Granulometría: El 100% del producto pasa por la malla de 4 mm (600 ± 200 µm)				
	Índice de actividad ureásica: ‹ 0,05				
	Solubilidad en KOH: de 80% a 84%				
	Densidad: 600 ± 200 kg/m3				
			HS 48%	**HS 47%**	**Cumple?**
	Humedad	Máximo	12,0%	12,0%	
Características químicas	*Proteína Cruda*	Mínimo	47,75%	46,50%	
	Extracto Etéreo	Mínimo	1,0%	0,8%	
	Fibra Cruda	Máximo	4,0%	4,5%	
	Calcio	Mínimo	0,25%	0,90%	

	Calcio	Máximo	0,35%	1,1%	
	Fósforo	Mínimo	0,35%	0,60%	
Criterios de inocuidad					
Características organolépticas	Apariencia: Harina				
	Color: Característico de la harina de soya				
	Olor: Característico de la harina de soya				
Características microbiológicas					
Micotoxinas					

Fuente: Procedimiento interno del Sol recibo harina 47%

Cuando un lote de materia prima no cumple con lo indicado se retiene, se evalúa para toma de decisión por parte de gerencia.

b. Empaques:

Se cuentan con dos proveedores de empaques la empresa "Plástico 1" ubicada en Alajuela y "Plástico 2" ubicada en San José.

c. Infraestructura TI:

El proveedor de servicios de tecnología de la información es vital, las interfaces entre los sistemas deben estar 24/7 en funcionamiento, ya que es la única vía de comunicación, además de la visualización de datos y estructura de formulación con el cuarto de control debe estar disponibles.



Fuente: Procedimiento de formulación del Sol.

Figura No. 15 Proceso manual de formulación

Como se observa en la figura, se tienen tres elementos que necesitan intervención o revisión por el personal, lo que hace que las acciones correctivas no se logren realizar oportunamente en el caso que se detecten.

4.1.2 Entradas:

a. Datos de materia prima:

Es el sistema oficial de revisión de datos de análisis es de importancia, ya que de estos resultados se basa los ajustes para la formulación, con los resultados ingresados el formulador, utilizando solo promedio ajusta la dosificación mensual, y posteriormente hace revisiones periódicas sin cronograma previsto, o cuando se realiza la notificación de cambio de lote verbal o por mensaje de texto.

b. Plan de producción:

El plan de producción diario se genera y se envía al cuarto de control donde por medio del ERP se da seguimiento al avance, se realiza las inspecciones necesarias de proceso y dosificación, además de complementar los paros programados de mantenimiento y calibraciones de ajuste.

c. Requisitos normativa.

La Norma Técnica Centroamericana RTCA 65.05.52:11 incluye solo la garantía del cumplimiento de empaque como se describió en la introducción. Sin embrago, la empresa ejecuta controles de calidad para garantizar el etiquetado.

4.1.3 Proceso

El proceso de manufactura de alimento balanceado inicia con el recibo de materia prima, se realiza los análisis de laboratorio de control de calidad y de aceptación. Según los resultados la materia prima y necesidad del proceso, puede ingresar directamente a producción o tener un almacenaje en silos. En la manufactura se realiza la molienda, dosificación de

ingredientes, líquidos y demás componentes de la fórmula. Por último, se realiza el muestreo de producto terminado y se empaca con el número de lote de producción diario.

4.1.4 Salidas

a. Datos de calidad de materia prima:

Se registran en el sistema informático, estos datos solo se pueden descargar formato xml o pdf y se revisan con privilegios seleccionados por personal capacitado. Actualmente, carecen de revisión de variabilidad, solo se usa la media para formular.

b. Producto terminado listo:

Se obtiene en granel o sacos, con número de lote y cumpliendo con el plan de producción.

c. Datos de calidad producto terminado:

Con cada lote de producción se realiza un control del laboratorio de aseguramiento de la calidad, el dato de liberación es con el equipo NIR DS 2500 marca FOSS, si el rango es inferior a 30.75% se realiza la medición por triplicado, si este resultado sigue inferior se realiza por el análisis elemental para la determinación de nitrógeno (DUMAS) o química húmeda, si sigue inferior se realiza un aviso de retención para revisión de gerencia y pasos a seguir, un aspecto importante es que estos datos bajos de proteína no son ingresados al sistema, por lo tanto, no se toman en cuenta en las revisiones, nunca habrá un dato visible menor a 30.75% que aporte al grupo completo analizado.

d. Resultados al sistema de datos:

Los resultados de las pruebas de calidad están para consulta en el sistema de información, para ser revisados y validado.

e. Cumplimiento del plan:

Se revisan en cuarto de control, si en una revisión se indica la necesidad de realizar modificaciones, se consulta la proyección y se reajusta el plan para cumplir con el

indicador de 100% de cumplimiento. Estas modificaciones no se cuantifican y se realiza para cumplir expectativas de clientes no agendadas.

4.1.5 Clientes

a. Almacenes agro veterinarios del país:

Son parte de la estrategia comercial, se incluyen en los planes de distribución y son puntos de reabastecimiento.

b. Productores ganaderos

Público meta de la empresa, se busca su satisfacción en atención de necesidades de producto o asistencia.

c. Publico general

Se vende de manera comercial como un insumo de cualquier tipo para alimentación animal.

d. Centro de distribución

Órgano vital de logística, debe cumplir con la planeación de suministros a los almacenes Agro Veterinarios y sitios de venta, las bodegas amplias permiten el almacenamiento por lotes de producción entregados de la planta, se cuenta con un almacén de 10-20 toneladas para capacidad para 300 sacos de 46Kg.

e. Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA).

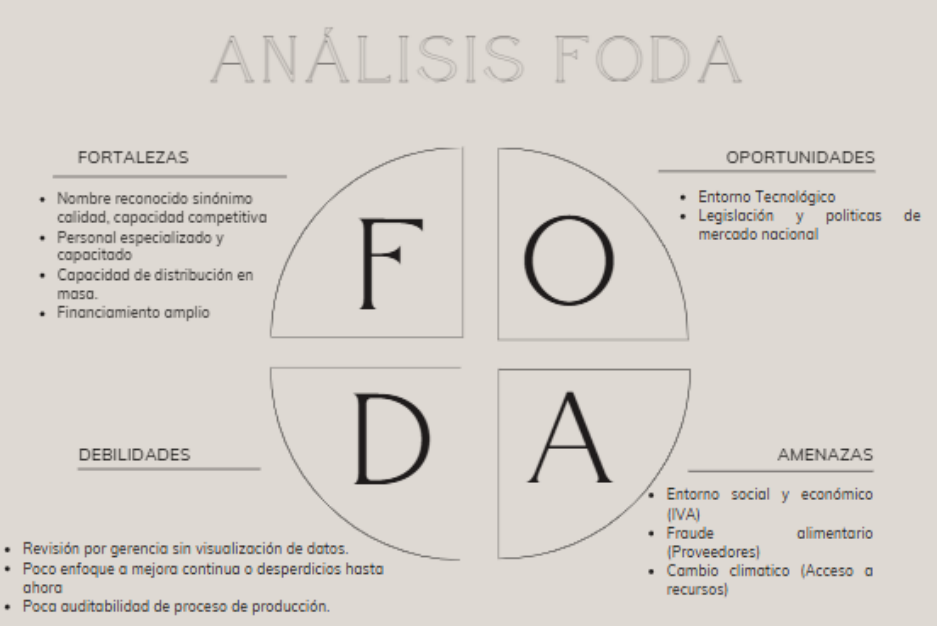
Se deben cumplir con la entrega de requisitos tanto de SENASA para cumplimiento de la norma internacional como los requisitos de etiquetado por normativa.

4.2 Diagnóstico del desempeño actual

Para el diagnóstico se utilizarán herramientas ingenieriles enfocadas en determinar la variación de proteína en los procesos críticos detallados en la introducción de este proyecto, incluido proveedor, manufactura, laboratorio de aseguramiento de la calidad, sistema de

medición y validaciones analíticas, para concluir causas probables y profundas que afectan el proceso.

4.2.1 Análisis FODA:



Nota: Elaboración propia.

Figura No. 16 Análisis FODA

Se realiza una revisión de la empresa FODA, en el aspecto de fortalezas la empresa tiene ventaja competitiva al permitirse inversión de capital y capacitaciones, de manera externa puede competir con desarrollo tecnológico tanto en sus equipos como en desarrollo y adquisición de tecnología, además que se desarrolló mayormente en Costa Rica, país con legislación estable a favor del sector productivo.

Por otro lado, los factores negativos externos o amenazas se incluyen las políticas de recaudación de impuestos que limitan el poder adquisitivo de las personas, el fraude alimentario de alimentos balanceados, su limitada legislación o antecedentes permite el riesgo de estafa o suplantación de marca, y de manera general el cambio climático disminuye el desarrollo agropecuario en especial en zonas secas o con exceso de lluvias, disminuye los recursos naturales para la actividad, por último, las desventajas internas, en el caso de la

planta de alimentos balanceados ha estado ajena a regulaciones estrictas de producción, lo que implica que acciones críticas en la producción sean poco auditadas, o automatizadas.

4.2.2 Análisis de responsabilidad RACSI básica del sistema de gestión:

Aspecto	R	A	S	C	I
	Responsable	Aprobador	Soporte	Consultado	Informado
Fabricación concentrados	Jefe manufactura	Gerente	Jefe planta	Jefe manufactura	Planta

Fuente: Manual de gestión del Sol.

Figura No. 17 RACSI básico del documento de estrategia de negocio

La planta sigue un orden jerárquico básico con funciones bien definida y a cargo de las demás áreas involucradas, la armonía en procesos debe ser ejecutada correctamente para cumplir con los estándares y planes de producción.

4.2.3 Reunión de apertura de proyecto:

Para complementar el estado actual, se realizó una reunión con los interesados de la parte de manufactura incluyendo a los siguientes puestos:

Puesto	Asistencia
Gerente planta	Si
Formulador	Si
Jefe laboratorio	Si
Jefe manufactura	Si
26 de mayo 2025 Reunión inicial	

Nota: Elaboración propia.

Figura No. 18 Reunión de apertura

Reunión efectuada el 26 de mayo del 2025, se especificó la importancia de conocer la variabilidad, especialmente a la proteína en producto terminado.

Minuta reunión: aspectos claves:

- Recibo de materia prima harina de soya 47% variación del proveedor y disposición física de silos de almacenamiento.

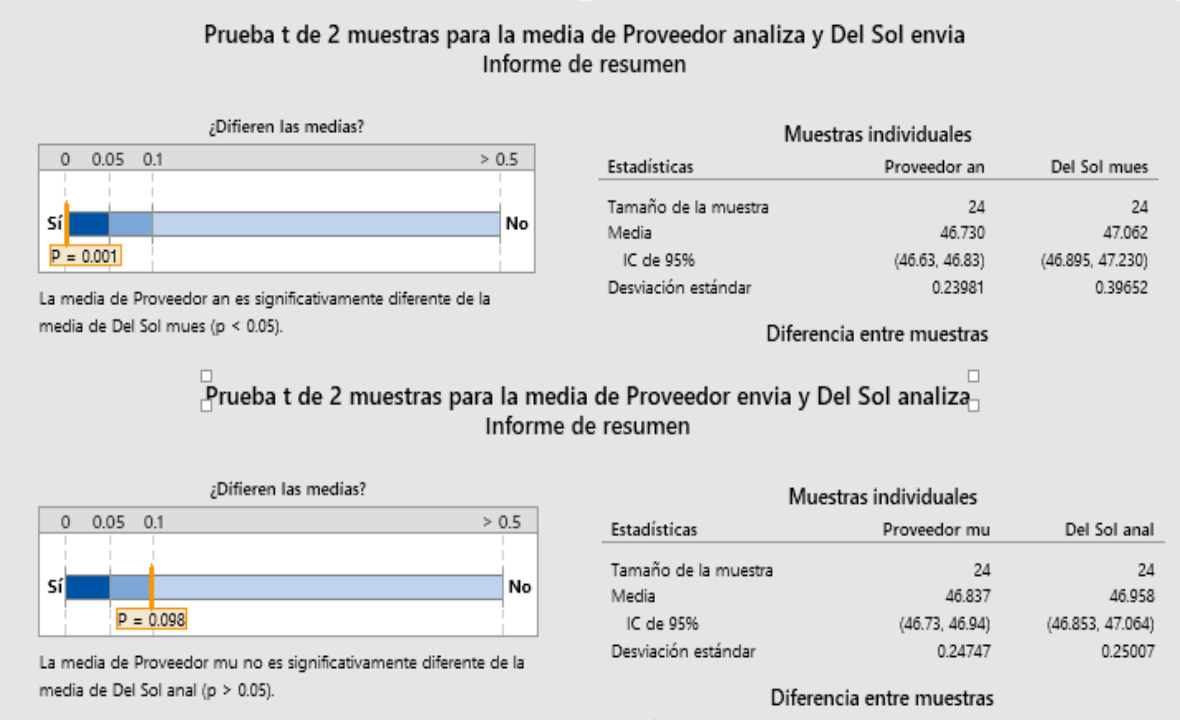
- Formulación, tomando en cuenta reproceso.

- Toma de muestra, laboratorio, equipo analítico y su desempeño.

4.2.4 Recibo de materia prima y proveedor:

Existen tres piqueras de recibo de muestras, en promedio cada día se reciben alrededor de 5 camiones de harina de soya 47% para los cuales se aplica el Procedimiento de recibo de materia prima y material de empaque, Procedimiento para manipulación de muestras para ensayos y Procedimiento de toma de muera de materia prima. Según los requerimientos de producción se mezclan las materias primas sin indicar el lote de producción, para luego decidir si se almacena en silo o pasa directamente a producción, previamente analizado por el laboratorio.

Para este proyecto, en virtud de analizar el proveedor se solicitó a el laboratorio de aseguramiento de la calidad realizar un procedimiento no oficial, un análisis de muestras inter-laboratorio con el proveedor, obteniendo los siguientes resultados:



Nota: Elaboración propia

Figura No. 19 Comparación proveedor materia prima mayo 2025

Se puede observar en los resultados del apéndice B y en la prueba de hipótesis T-Student las muestras, aunque muestreadas por cada entidad tienden a dar diferencias, sobre todo con el proveedor, en la planta de la empresa Alimentos del Sol dan estadísticamente satisfactorias pudiéndose deber a la correcta manera de toma de muestra de los operarios y un adecuado procedimiento en el laboratorio, sin embargo, el proveedor no indica los procedimientos a seguir en toma de muestra y análisis, por lo tanto, no se puede asegurar igualdad de condiciones. Es importante indicar que este estudio se solicitó de manera presuntiva.

4.2.5 Equipo analítico de laboratorio

Los resultados se obtienen con el equipo NIR DS 2500, el cual se utiliza para liberación y control de calidad, esto debido a su practicidad y costo.

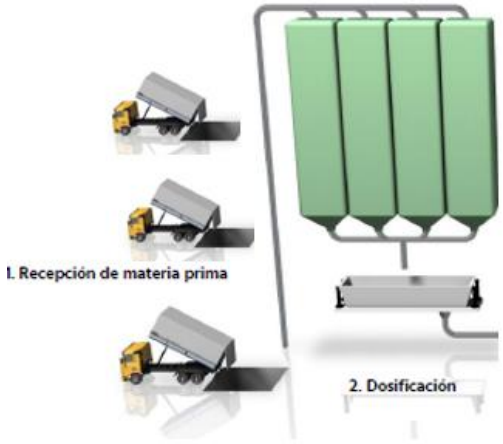
Cuadro No. 5 Comparación DUMAS y NIR

Equipo	Costo	Tratamiento de muestra	Resultado
DUMAS	₡7,764.00	20 minutos	10 Minutos
NIR DS 2500	₡6,673.00	NA	2 minutos

Fuente: Laboratorio de calidad

Debido a la practicidad se opta por utilizar el equipo infrarrojo para generar resultados más rápidos, sin embargo, para garantizar su resultado es necesario validar con un equipo certificado en este caso DUMAS, a pesar de ser un aspecto critico la validación no se ha oficializado, por otro lado, el DUMAS requiere 20 minutos de calentamiento y 10 minutos de molienda fina 0.5mm, por lo cual no es un equipo que sea eficiente para el volumen de muestras.

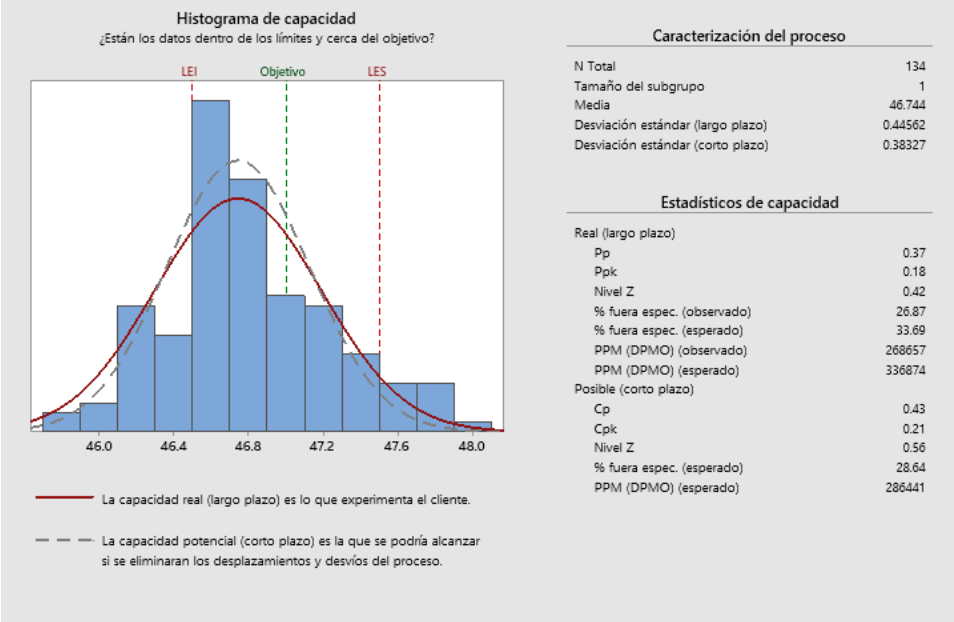
Entrando en el tema de aseguramiento de la calidad de materia prima, la toma de muestra se realiza con la sonda de alveolos al camión transportador, siguiendo el Procedimiento para manipulación de muestras para ensayos y el Procedimiento para toma de muestra, luego se decide si pasa a producción directamente o a silo de materia prima ubicados de la siguiente manera:



Fuente: Procedimiento de recibo de materia prima planta

Figura No. 20 Recibo piqueras materia prima

Como se observa, las tres piqueras pueden trabajar de manera consecutiva, existen cuatro silos de reserva para harina de soya 47%, cada camión se analiza por el equipo NIR para el control de calidad de recibo de materia prima y se ingresa los resultados al sistema, el almacenamiento no discrimina lotes o materia prima con proteína desviada.



Nota: Elaboración propia

Figura No. 21 Análisis de capacidad materia prima 47%

Como se observa en la figura, existe una alta variabilidad en los valores de los resultados obtenidos por el infrarrojo NIR DS 2500 ingresados al sistema, lo cual es un indicador fuerte de que el proceso necesita intervención, la evidencia indica nulo reclamo al proveedor, aunque existe un 20.9% de puntos por debajo del límite inferior y un 6% sobre el límite superior para un total de 36 mediciones fuera de especificación y el comportamiento se mantiene cada mes como se observa en el apéndice C.

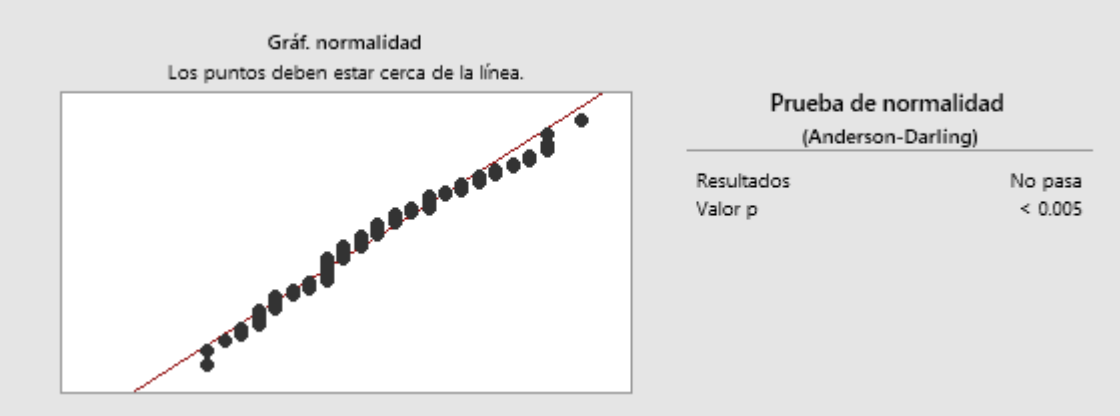
Cuadro No. 6 Resumen resultado de análisis de capacidad materia prima

MP Harina soya 47%	
Indicadores capacidad	
N	134
Días estudio	15
Media	46.744
Cp	0.43
Cpk	0.21
Z	0.56
Bajo LI	20.90%
Sobre LS	6%

Nota: Elaboración propia

Por lo tanto, para que un proceso sea capaz se necesita un Cp y un Cpk 1.00-1.33 para tener un proceso con optimización mínima aceptable, lo que no ocurre.

Por otro lado, los resultados no pasaron la prueba de normalidad, condición esperable para este tipo de proceso.



Nota: Elaboración propia

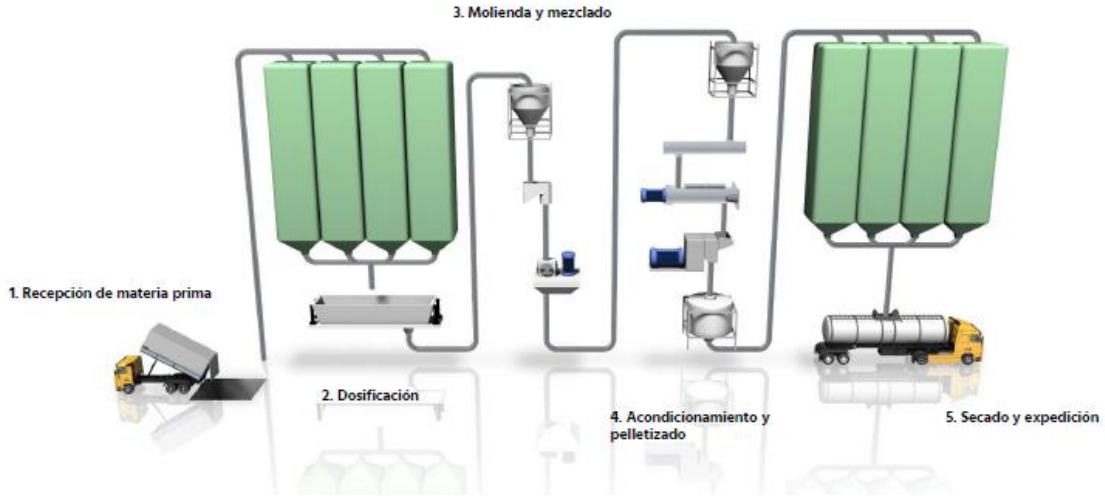
Figura No. 22 Prueba de normalidad materia prima

Al no pasar la prueba de normalidad presenta un problema de estabilidad que es valioso analizar.

Se determina que la variabilidad de proteína en materia prima es alta y puede estandarizarse procesos de mejora y control.

4.2.6 Variabilidad en producto terminado, resultados laboratorio de calidad:

Para los productos Concentrado A y V representan el 60% del total de producción, es de importancia competitiva tener el proceso lo más eficiente posible, esto implica tener en control estadístico los procesos, el proceso de manufactura contempla el control de calidad con muestreos y pruebas de laboratorio, utilizando el NIR DS 2500 en la siguiente distribución espacial:

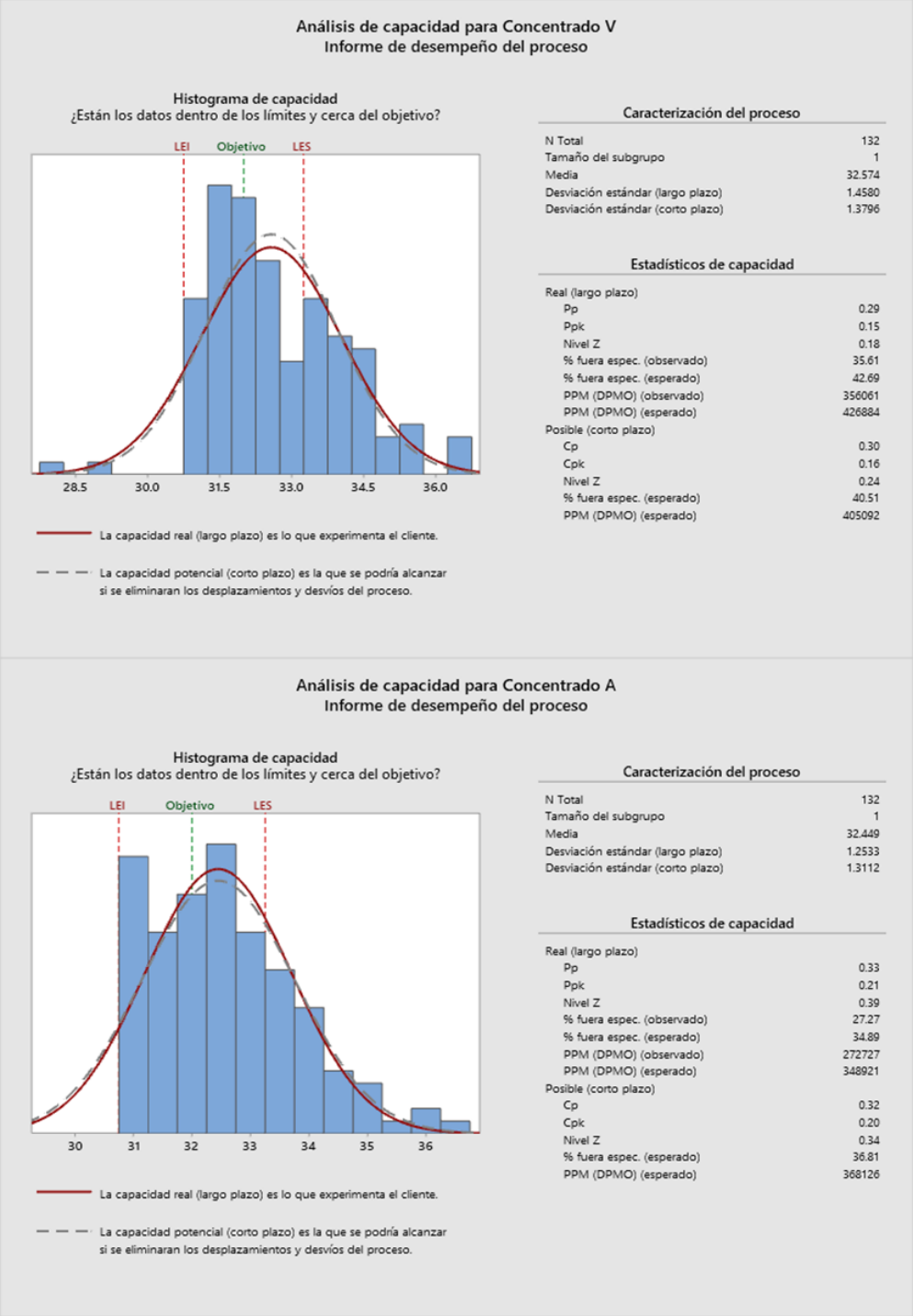


Fuente: Planos planta del Sol

Figura No. 23 Diagrama planta de manufactura

De acuerdo con la imagen No. 23 el producto terminado sale de las celdas de ensaque o pasa a granel, en este punto se realiza un muestreo con la toma muestra de pelicano, siguiendo el Procedimiento de toma de muestra, y se lleva al laboratorio al iniciar el lote de producción.

Para la verificación de este parámetro, se solicita los resultados de producto terminado al laboratorio, obtenidos descargando el reporte del sistema de datos oficial.



Nota: Elaboración propia

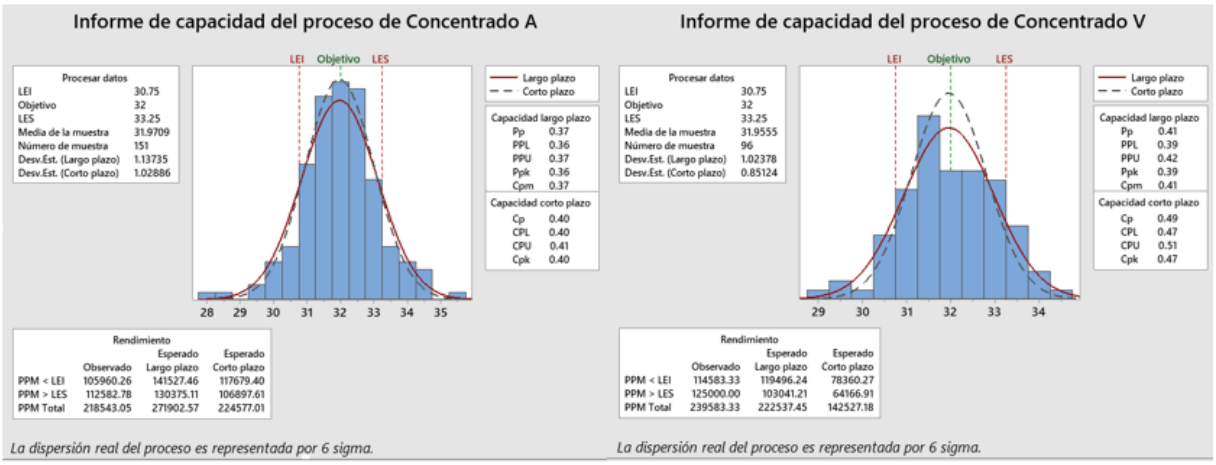
Figura No. 24 Capacidad de proceso utilizado datos del sistema agosto 2025.

La imagen muestra el comportamiento de resultados oficiales dados, estos resultados son los que muestra el laboratorio en sus informes, a los datos oficiales para revisión y toma de

decisiones, sin embrago, hay un porcentaje inferior al límite de especificación inferior 30.75% (LEI) que nunca se suben al sistema. Esto ocurre porque al re muestrear y analizar las muestras bajas de proteína en producto terminado se realiza en DUMAS o química húmeda y los que se verifica que da inferior se traslada a reproceso, lo que representa costos de mano de obra, tiempo de paro, tiempo de traslado y el impacto en la variabilidad, al incluirse como ingrediente en la formulación, ya que su composición es desconocida por la mezcla de productos.

Como era esperable, la distribución estadística no se adapta a la normal, ya que se espera un comportamiento estable con distribución homogénea, por lo tanto, se imposibilita concluir algún resultado basado en estos datos manipulados.

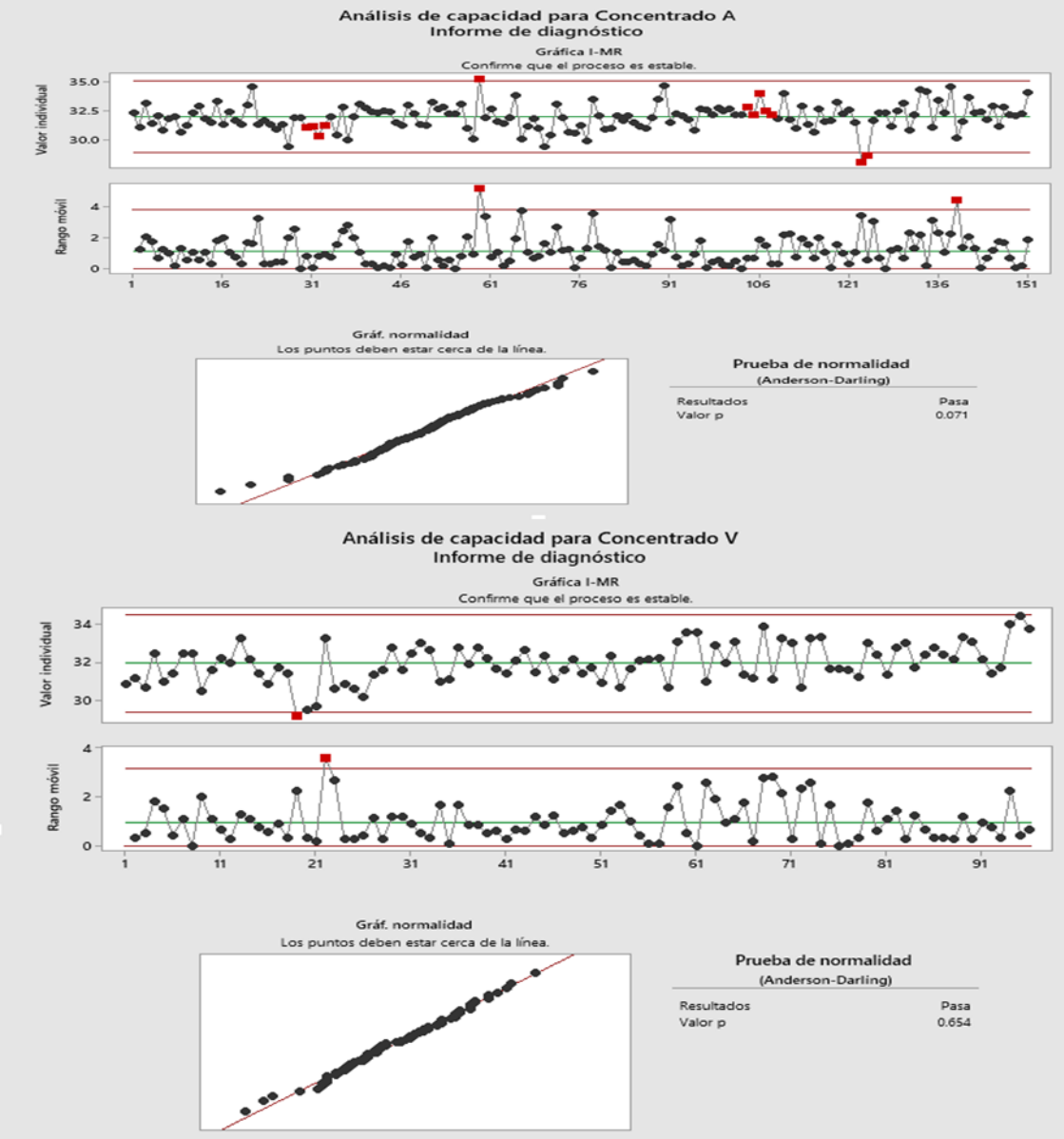
Ante esta situación, teniendo claro el panorama y haciéndole peso a la literatura consultada en el capítulo de revisión de literatura, se propuso realizar las muestras molidas y por triplicado, pero en este caso, se descargaron los resultados directamente del equipo analítico NIR DS2500.



Nota: Elaboración propia

Figura No. 25 Capacidad de proceso estandarizado (molido triplicado + NIR)

Al realizar los cambios solicitados, el proceso mejoró considerablemente, sin embargo, se observan indicadores todavía fuera del minino permitido, con puntos fuera de especificación:



Nota: Elaboración propia

Figura No. 26 Prueba de normalidad producto terminado

Con respecto al comportamiento, al realizar las muestras molidas y utilizando el promedio, mejora visiblemente la estabilidad, por lo tanto, si hay puntos fuera de especificación, por lo que es necesario revisar el proceso y la variabilidad sujeta al sistema de medición.

Cuadro No. 7 Resumen resultado de análisis de capacidad producto terminado

Concentrado A		Concentrado V	
Indicadores capacidad		Indicadores capacidad	
N	151	N	96
Días estudio	34	Días estudio	34
Media	31.97	Media	31.96
Cp	0.40	Cp	0.49
Cpk	0.39	Cpk	0.47
Z	0.76	Z	1.07
Bajo LI	10.59%	Bajo LI	11.46%
Sobre LS	10.59%	Sobre LI	12.50%

Nota: Elaboración propia

Según los indicadores de capacidad, el proceso con la molienda y por triplicado tiene una mejoría en su resultado, se determina que el equipo analítico y su procedimiento tienen correlación, además, al consultar directamente los resultados del equipo se tiene todo el espectro de resultados, con los cuales se basarán las conclusiones de este capítulo.

4.2.7 Variabilidad en producto terminado por turno.

Obteniendo resultados tomados directamente de la fuente, es decir, del equipo analítico se determinó un porcentaje cercano al 20% fuera de especificación. Sin embargo, la carga de trabajo al moler las muestras es de 10 a 15 minutos y de 6 minutos más en las réplicas para dar el promedio, lo que impacta la ocupación del laboratorio. Para dar un resultado más certero se estudia los resultados por turno, teniendo los siguientes resultados.



Nota: Elaboración propia

Figura No. 27 Resumen de análisis por turno

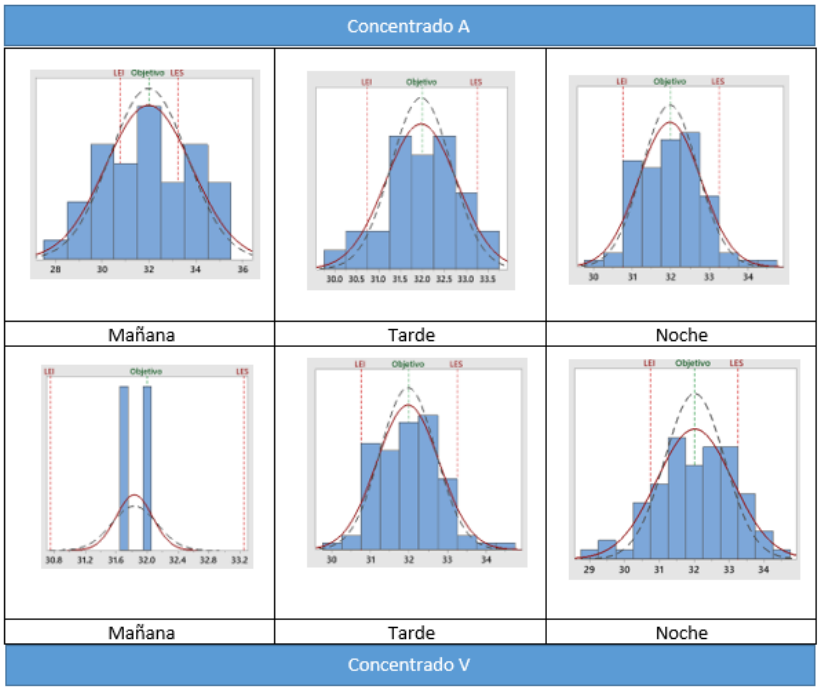
Como se observa en la figura No 27, la mayor cantidad de análisis de producto terminado en este caso, se realizan en la noche

Cuadro No. 8 Resumen resultado de análisis de capacidad producto terminado por turno

Concentrado A			
Turno	Mañana	Noche	Tarde
Cp	0.25	0.58	0.61
Cpk	0.24	0.56	0.59
Z	0.13	1.38	1.16
Normalidad	Pasa	Pasa	Pasa
% fuera LS	30%	5%	6%
% FUERA LI	27%	3%	9%
N	37	83	31
Media	31.97	31.97	31.97
Concentrado V			
Turno	Mañana	Noche	Tarde
Cp	1.41	0.49	0.51
Cpk	1.22	0.48	0.40
Z	4.6	1.06	1.06
Normalidad	Pasa	Pasa	Pasa
% fuera LS	0%	14%	5.55%
% FUERA LI	0%	13%	5.55%
N	2	76	18
Media	31.83	32.01	31.73

Nota: Elaboración propia

Por lo tanto, la capacidad de proceso individual de cada turno se vería de la siguiente manera:

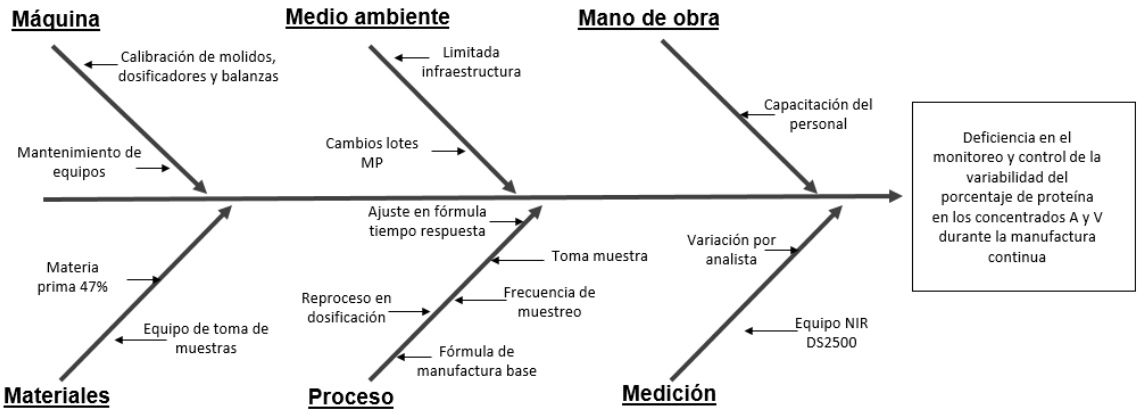


Nota: Elaboración propia

Figura No. 28 Resumen de análisis por turno

Como se observa, ningún turno tiene un comportamiento eficiente, ya que los indicadores de capacidad están por debajo de los valores mínimos aceptables y manteniendo la potencia de tamaño de muestra significativa 6 o 7 para concentrado A y V respectivamente al 95% de confianza. A pesar de no estar bajo control estadístico de proceso el turno nocturno presenta un mejor comportamiento. Se observa, por lo tanto, que en modo global las variabilidades se mantienen entre turnos y que la fuente de variación esta fuera del modo de toma y tratamiento de muestra, lo cual se debe de probar con un análisis de sistema de medición, para concluir de manera certera la fuente de variación.

En el siguiente diagrama de Ishikawa se resumen las posibles causas que intervienen en la variabilidad y su monitoreo.



Nota: Elaboración propia

Figura No. 29 Diagrama Ishikawa

Al identificar las posibles causas y clasificarlas se debe enfocar que área atacar o intervenir para centrar los esfuerzos, en la figura No 30 se realiza un ejercicio de 5 por qué.

Cuadro No. 9 Herramienta 5 por que

Modo de falla	1 ¿Por qué?	2 ¿Por qué?	3 ¿Por qué?	4 ¿Por qué?	5 ¿Por qué?	Solución Propuesta
Calibración de molidos, dosificadores y balanzas	Porque un desajuste no detectado puede sesgar los resultados	Porque la calibración garantiza estado analítico				Cumplimiento del plan de calibración por SCM
Mantenimiento de equipos	Porque un mal funcionamiento de equipo afectaría el proceso	Porque no hay un mantenimiento preventivo adecuado				Cumplimiento del plan de mantenimiento programado
Limitada infraestructura	Porque que se trabaja en condiciones no estandarizadas por espacio	No esta estandarizado el procedimiento de recibo de MP				Estructura de infraestructura bien establecida, espacio suficiente y procedimientos establecidos
Cambios lotes MP	Porque se mezclan lotes de materia prima con diferentes condiciones de porcentaje de componentes	Porque debido a disponibilidad de silos y de estado de manufactura				Restructurara el recibo de MP aumentar silos o bodega seccionada.

Capacitación del personal	Porque existiera deficiencias en muestreo y fabricación					Plan de capacitación
Materia prima 47%	Porque si la MP no tiene el porcentaje adecuado influirá en la fórmula y resultado final					Control de proveedor
Equipo de toma de muestras	Porque si no está estandarizado en instrumento y técnica puede sumar a la variabilidad					Capacitación de colaboradores, procedimiento de toma de muestra
Ajuste en fórmula tiempo respuesta	Porque si se detecta alguna desviación puede corregirse	Porque si se corrige algún sesgo se mantiene estable la variabilidad	Si se mantiene estable la variabilidad los resultados mejorarán			Revisión de plan de muestreo, formulación y monitoreo actual
Toma muestra	Porque si no está estandarizado en instrumento y técnica puede sumar a la variabilidad					Capacitación de colaboradores, procedimiento de toma de muestra
Frecuencia de muestreo	Porque un muestreo deficiente no permite un control real del proceso	Porque si no hay un control real la variabilidad puede aumentar	Si aumenta la variabilidad el riesgo de salirse de los rangos aumenta	Porque si se sale de los límites de especificación faltaría al etiquetado		Revisión de plan de muestreo, formulación y monitoreo actual
Reproceso en dosificación	Porque el reproceso se adiciona de manera descontrolada influirá en la variabilidad					Está en las variables de la formulación
Fórmula de manufactura base	Porque una formula mal equilibrada puede afectar el resultado de PT					Formulador y herramientas de formulación optimas

Variación por analista	Porque es parte del sistema de medición, error de analista	Se detectaría una desviación en la concentración por turno				Capacitación y MSA
Equipo NIR DS2500	Porque es el equipo analítico de respuesta	Porque si la respuesta esta desviada no habría detección del valor real	Porque si no hay una respuesta real se puede dosificar fuera de los límites	Porque si se dosifica fuera de los límites faltaría a la norma y al etiquetado	Porque no cumpliría el estándar de calidad propuesta posible TNC	Revisar calibración, MSA y equipo validado.

Nota: Elaboración propia

De esta manera se aclara aún más el panorama actual, por lo que un análisis de modo de fallas y efectos es un complemento visual que brinda de manera matemática el valor NPR para priorizar la causa raíz.

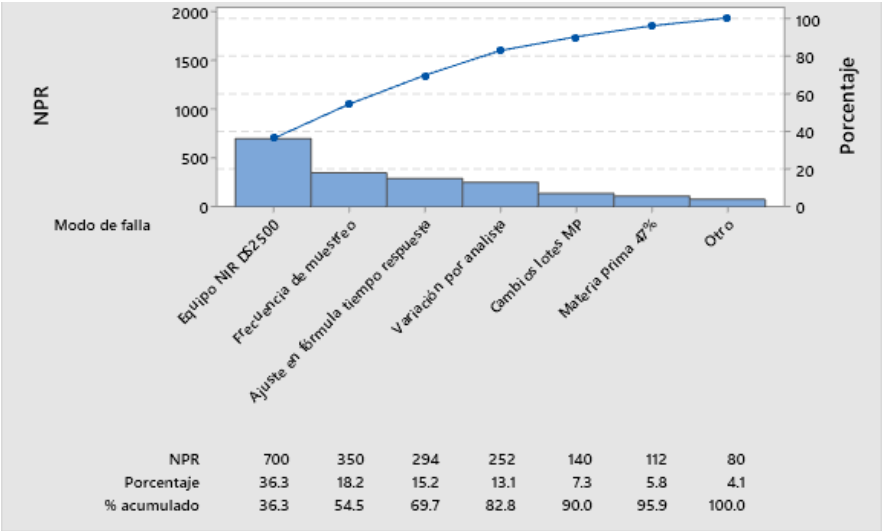
Cuadro No. 10 Análisis modo de fallas y efecto

Variable	Modo de falla	Efecto	Severidad	Causa	Ocurrencia	Controles	Detectabilidad	NPR
Máquina	Calibración de molidos, dosificadores y balanzas	Afectaría el resultado del producto terminado	5	No cumplir plan de calibración	1	Plan de calibración mensual	1	5
	Mantenimiento de equipos	Fallos de equipos	6	No cumplir plan de mantenimiento	1	Plan de calibración mensual	1	6
Medio ambiente	Limitada infraestructura	Coordinación de producción	2	Espacio actual	4	Coordinación manufactura	4	32
	Cambios lotes MP	Variabilidad por MP	5	Logística recibo	7	Coordinación manufactura	4	140
Mano de obra	Capacitación del personal	Efectos en toma de muestra y análisis	8	Falta de capacitación	1	plan de capacitación	1	8
Materiales	Materia prima 47%	Base de producción con estándar	4	Concentración variable	7	Procedimiento recepción MP	4	112

		fuera de especificación		materia prima				
	Equipo de toma de muestras	Efecto en resultado de laboratorio, muestra representativa	5	No usar de forma correcta la herramienta	1	Procedimiento toma de muestra	1	5
Proceso	Ajuste en fórmula tiempo respuesta	Rezago en tiempo de respuesta, corrección oportuna débil	6	Procedimiento estático	7	Procedimiento formulación	7	294
	Toma muestra	Toma de muestra poco homogénea	4	Capacitación	1	Procedimiento toma de muestra	1	4
	Frecuencia de muestreo	Deficiente no representativa	5	Por lote de producción	7	Depende plan de lotes de producción	10	350
	Reproceso en dosificación	Influye en variabilidad y estabilidad final	3	Parte de la fórmula	1	Procedimiento reproceso	4	12
	Fórmula de manufactura base	Afecto directo en dosificación	2	Fórmula	1	Formulación	4	8
Medición	Variación por analista	Error sistema de medición aportaría variabilidad	9	Capacitación	4	Capacitación laboratorio	7	252
	Equipo NIR DS2500	Error por instrumento analítico, ajuste de calibración deficiente y respuesta no adecuada.	10	Equipo con respuesta no adecuada o ajustada	7	Aseguramiento controles	10	700

Nota: Elaboración propia.

Por lo tanto, las causas detectadas acomodadas de mayor a menor NPR se organizaron en un diagrama de Pareto, para, de forma visual, detectar las causas de mayor impacto.



Nota: Elaboración propia.

Figura No. 30 Resultado Pareto causas potenciales

Por lo tanto, según la revisión del estado actual los esfuerzos deben concentrarse en las causas identificadas y las soluciones dirigidas a eliminar o minimizar sus efectos.

La frecuencia de muestreo no está estandarizada, ya que el procedimiento oficial indica un muestreo por lotes, estos lotes de producción no son de tamaño constante. Para la evaluación del proyecto se analizó de agosto a setiembre 2025, cuyos datos fueron utilizados para la evaluación de la variabilidad y la simulación en Flexsim, para comprender escenarios del proceso y determinar oportunidades de mejora.

El ajuste de fórmula va relacionado a la frecuencia de muestreo, si se requiere un cambio de fórmula, el laboratorio alerta, sin embargo, al no tener un rango representativo de análisis este hipotético ajuste, no se hace en el tiempo de hallazgo.

El equipo analítico NIR, es un infrarrojo cercano DS2500 marca FOSS, el cual fue el generador de datos de este proyecto y el objeto de estudio para el diseño de las propuestas de mejora, por lo cual, se debe conocer su impacto y aporte al proceso, el cuadro No.9 muestra su interacción en el 2024.

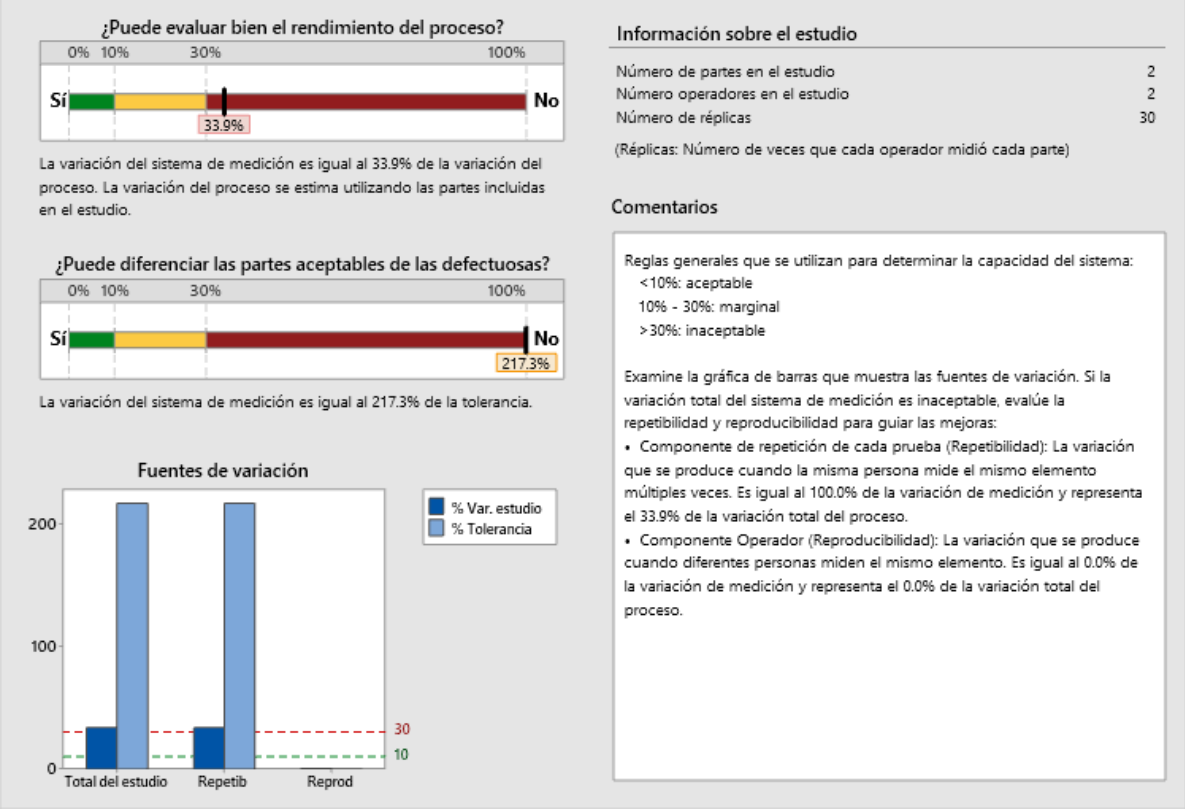
Cuadro No. 11 Resumen estadística de análisis NIR 2024 total NIR

NIR DS 2500 año 2024 planta alimento balanceado					
Total análisis	NIR	Costo prueba	Peso	Inversión	Análisis al día
132785	16788	₡6,673	13%	₡112,026,324	46

Fuente: Laboratorio de calidad 2024

Como se observa en el cuadro No. 9 la inversión del NIR por concepto de análisis es alta, además no se cuenta con un plan de muestreo estable, por lo que la cantidad de muestreos sin uso decisivo es alta, solo cuando el formulador está en planta y en ronda de revisión.

Para alimentar el análisis de las causas detectadas en el Pareto, se realizó un análisis del sistema de medición (MSA) con el equipo NIR DS2500, basado en muestras tomadas por diferentes operadores, dos analistas de laboratorio, en diferentes turnos, analizando modo de producto terminado molido y sin moler que arrojó el siguiente resultado:

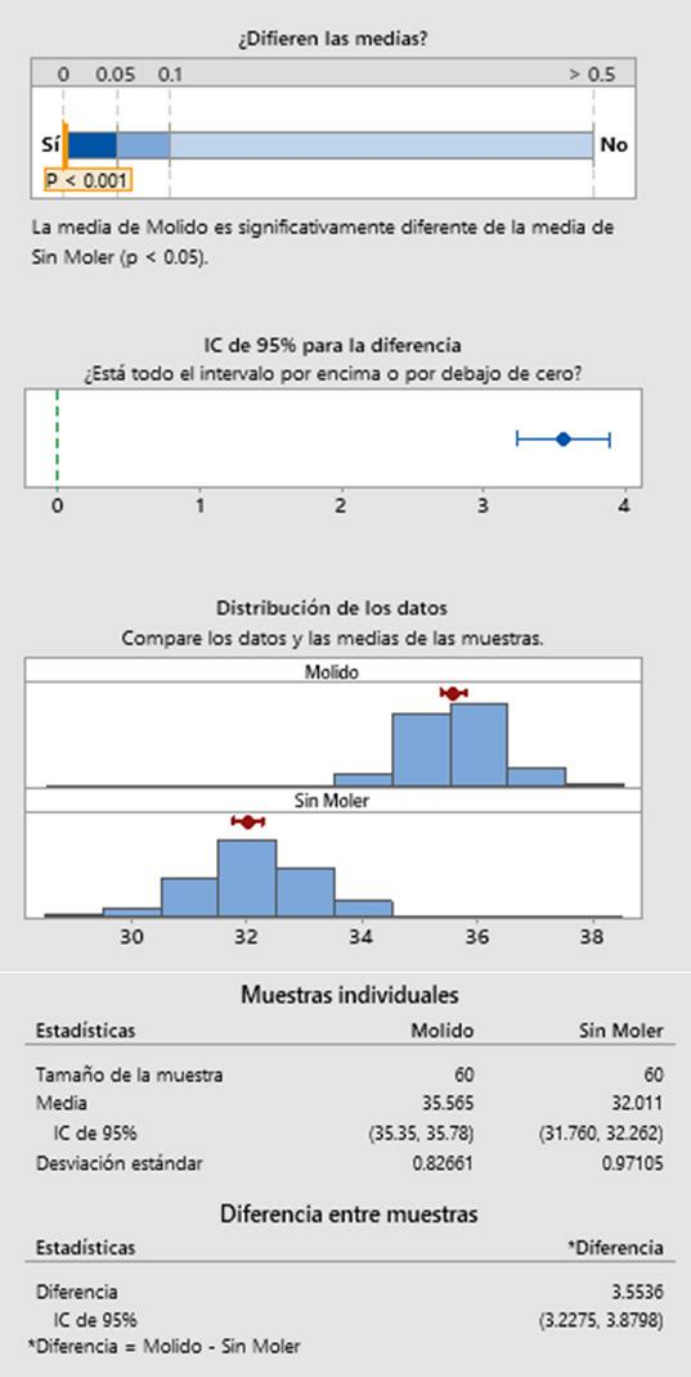


Nota: Elaboración propia

Figura No. 31 Estudio MSA del proceso R&R

Lo que indica la figura es que el 33.9% de la variación la aporta el sistema de medición, la variación entre analistas es estadísticamente insignificante, por lo tanto, se elimina de la ecuación la cuarta causa del Pareto, por otro lado, la variación de la medición por el equipo analítico y sus partes, aporta la mayor variabilidad, la repetibilidad es la variación principal que fundamenta lo observado en el Pareto.

Con este mismo estudio, se realiza una prueba hipótesis entre las medias de producto terminado molido y sin moler dando el siguiente resultado:



Nota: Elaboración propia

Figura No. 32 Prueba de hipótesis MSA

Por lo tanto, estadísticamente existe diferencia significativa entre molido y no molido, el producto molido está más cerca de la media de dosificación adecuada, con un comportamiento más estable y normal, según los resultados obtenidos se está reportando

datos que realmente tienen más concentración de proteína, aproximadamente 3.5% , ya que la manera de reportar es producto sin moler, lo que representa un riesgo directo al cumplimiento de la norma, gasto extra no cuantificado por sobredosificación y el uso de un equipo analítico no adaptado al proceso.

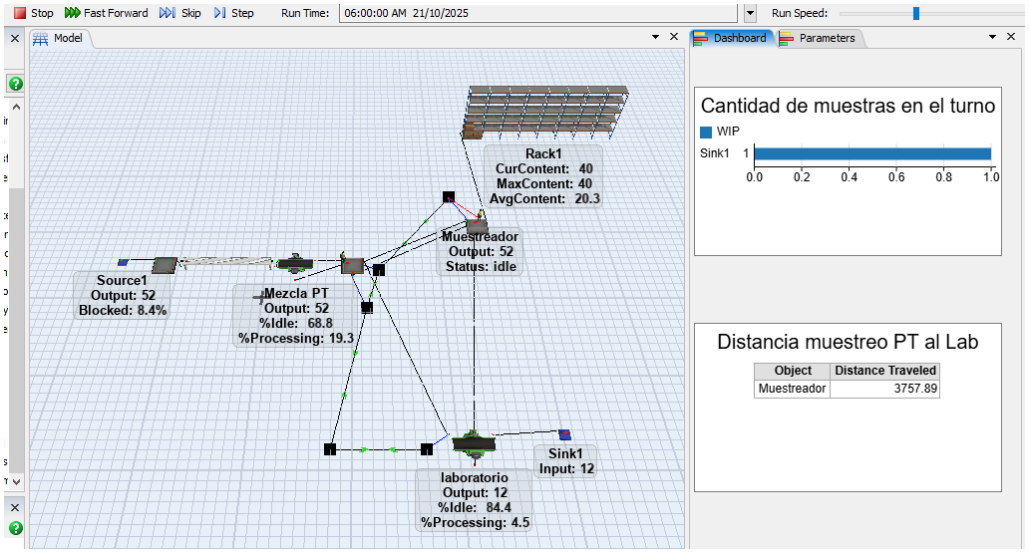
Por último, los resultados completos de cada turno de la simulación con Flexsim, se pueden consultar en el apéndice K donde se simuló los tres turnos:

Cuadro No. 12 Variables obtenidos de la simulación por Flexsim.

Variable	Turno A	Turno B	Turno C
Horario	6:00am a 2:00pm	2:00pm a 9:00pm	9:00pm a 6:00am
Muestras PT	9	8	12
Recorrido del muestreador (m)	3274.22	3185.74	4042.12

Nota: Elaboración propia

La simulación se basó en los tiempos de proceso del laboratorio y el plan de muestreo actual el cual requiere un muestreo de 20% de producto terminado.



Nota: Elaboración propia

Figura No. 33 Ejemplo turno de trabajo de 9:00pm a 6:00am

Como se observa en la simulación, la distribución virtual real de la planta muestra una inversión de tiempo por traslado, medición y costo del actual sistema de monitoreo, además, sumado al plan de muestreo por lotes de producción limita el acceso a información actualizada del porcentaje de proteína que se está dosificando.

4.3 Conclusiones del diagnóstico de situación actual.

a. Aunque la planta cuenta con procedimientos para gestionar materia prima fuera de especificación y dispone de hojas de aceptación, no se evidencian reclamos formales a los proveedores. Además, se realizan mezclas de lotes de materia prima en los silos, y la revisión mensual de promedios no considera los valores fuera de especificación, ni los máximos o mínimos registrados. Se asume la variabilidad por necesidad de cumplimiento del plan de producción y solventar necesidades de los clientes.

b. El resultado de la prueba interlaboratorial con el proveedor demostró diferencias estadísticas entre las medias obtenidas con la empresa, cuando ellos realizan el muestreo, ya que existe suficiente evidencia para concluir que las medias difieren en el nivel de significancia de 0.05.

c. La materia prima soya 47% presenta un 20% de resultados fuera de especificación inferior para un total de 27 resultados por debajo del límite y un 6% superior, lo cual concuerda con los indicadores de capacidad tan bajo CP: 0.43 y CPK: 0.21 por lo tanto no es un proceso estadísticamente mejorable.

d. La formulación depende de tres procesos manuales realizadas por el formulador, lo que la convierte en una manera rudimentaria de control. La revisión mensual de datos es por promedios y no es ágil para efectuar correcciones.

e. Para productos terminados, se libera utilizando el NIR DS2500 y excluyendo resultados inferiores a 30.75% datos mostrados para reportes mensuales.

f. El reproceso es una fuente mínima de variabilidad, ya que este no siempre se encuentra en la dosificación, es un producto sobrante de producción cuyo costo e impacto esta asumido y se ajusta en la fórmula.

g. La molienda y promedio de tres resultados, con el NIR DS 2500 logró obtener resultados normales, sin embrago, esto implicó un aumento de trabajo y tiempo de analista (10 minutos molienda + 2 minutos en el resultado). Lo que limita funcionalidad y productividad.

h. El resultado del MSA muestra una desviación del 3.5% de proteína de más cuando se realiza la molienda de la muestra, además, de que demostró que el 33.9% de la variabilidad es aportada por el equipo analítico.

i. Incluyendo la mejora en el procesamiento de muestra en la obtención de resultados con el NIR, los indicadores de capacidad son inferiores incluso en turnos donde existe poca frecuencia de muestras.

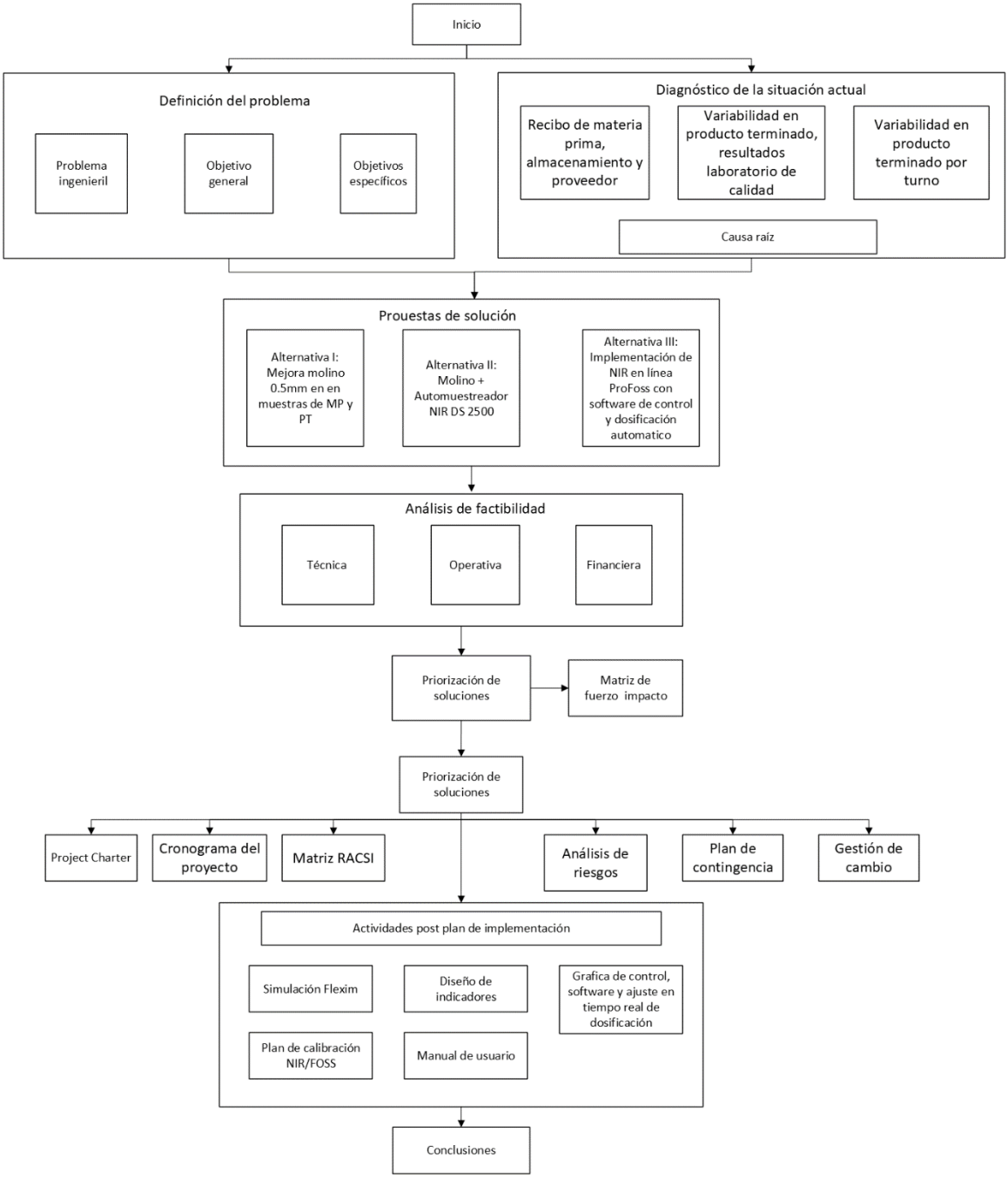
j. Es importante realizar una validación de resultados del equipo analítico con el equipo oficial, ya que no hay materiales de referencia o calibraciones actuales para el producto de piensos de alimento para animales, esta validación debe incluir aspectos de incertidumbre, robustez, repetitividad, es decir, lo indicado para validación de procedimientos analíticos, así como su comparación estadística con procesos oficiales.

k. La importancia de utilizar el NIR radica en su practicidad, costo, facilidad y velocidad de resultado, lo que le da un peso importante en el proceso, su aporte en la variación es alta, por lo que implementar mejoras, en el año 2024 la inversión del NIR en análisis fue de ₡112,026,324.00 si se hubieran realizado por DUMAS el costo asciende a ₡130,342,032.00 sin incluir costos de mantenimiento, consumibles y tiempo de análisis.

l. El resultado de la simulación Flexsim, mostró que el sistema de monitoreo es poco eficiente, aunque con una frecuencia aceptable (30 muestras al día en tres turnos), esto debido a su poco monitoreo lo que se traduce en un exceso de esfuerzo físico para el muestreador recorriendo en promedio 3500m por turno. Distancia 120m de la toma de muestra de producto terminado al laboratorio.

m. El plan de muestreo por lotes de producción genera espacios temporales amplios entre mediciones, lo que deja puntos sin supervisión de dosificación durante la manufactura y no está estandarizado en los procedimientos, debido a la movilidad de producción entre meses.

5. SOLUCION AL PROBLEMA PLANTEADO



Nota: Elaboración propia

Figura No. 34 Esquema ingenieril etapa de solución

ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Con el desarrollo del proyecto, según la evolución y conclusiones del estado actual, se comprende que el proyecto puede presentar aristas en sus modos de falla, por lo que en este capítulo se pretende resolver el problema ingenieril para entender la variabilidad de proteína, su causa raíz y su intervención para disminuir el impacto de trabajo y financiero que este genera.

5.1 Definición del problema.

El problema ingenieril definido para este proyecto:

"La planta de Alimentos Balanceados del Sol S.A. enfrenta un problema de variabilidad no monitoreada eficientemente en el porcentaje de proteína basado en la harina de soya, insumo que representa el 65% del presupuesto mensual de materias primas. Adicionalmente, un 20% de las muestras de sus concentrados de mayor venta se encuentran fuera de especificación, esta condición incrementa el riesgo de sobredosificación o subdosificación en la formulación, comprometiendo la veracidad del etiquetado nutricional exigida por la Norma Técnica Centroamericana RTCA 65.05.52:11, evaluada por el Servicio Nacional de Salud Animal, así como la sostenibilidad económica de la empresa y el equilibrio alimenticio del animal."

5.2 Objetivo principal y específicos.

El proyecto siempre se alineo con los objetivos propuestos, para garantizar un modelo integral con conformidad con la norma técnica RTCA 65.05.52:11 y la validez del etiquetado nutricional, asegurando la consistencia del proceso productivo desde el ingreso de materia prima hasta el producto terminado.

Para ello, se planteó evaluar la variabilidad actual en proteína cruda, analizar las condiciones operativas de recepción y liberación de insumos, y diagnosticar la capacidad del proceso. A partir de estos hallazgos, para diseñar un modelo estandarizado de control que integre

formulación, medición y monitoreo estadístico, complementado con un prototipo funcional que permita simular y visualizar las etapas críticas. Finalmente, se propondrá un plan de implementación integral que contemple recursos, responsables y condiciones operativas para su aplicación efectiva en planta.

No todas las soluciones propuestas en este capítulo cumplen del todo lo esperado en los objetivos específicos y por ende el objetivo general, sin embrago, su consideración en la práctica contribuirá a la mejoría de los síntomas detectados. Por lo tanto, los esfuerzos se centrarán en una solución integral que cumpla con los objetivos propuestos.

5.3 Lineamiento con la situación actual.

5.3.1 Recibo de materia prima, almacenamiento y proveedor:

Ante lo encontrado en este aspecto se detectaron los siguientes puntos críticos.

- No se realiza la boleta de ingreso de materia prima, aunque está en el procedimiento, no se identifica cuando un camión llega con otro lote desde el proveedor. Resultado: Mezcla de lotes con diferente concentración de proteína.
- Se almacena en lotes por capacidad, no hay un control de piqueras y disposición, un mismo silo se llena con diferentes camiones.

- Solo existe un proveedor para la planta, por lo que, aunque se identifique materia prima fuera de especificación se recibe y no se realiza la queja debida, desde 2023 no se realiza reclamos.

5.3.2 Variabilidad en producto terminado, equipo analítico NIR DS 2500 resultados de laboratorio de calidad:

Se demostró una evidente variabilidad en producto terminado ya que se detectó más 20% fuera de especificación y una variación del sistema de medición del 33.9%, después de ajuste propuesto de molienda 1.0 mm que se logró una distribución normal deseada en este tipo de análisis, pero con índices de capacidad muy por debajo de los aceptables, además cuando se comparó el resultado del NIR molido y uniforme con los resultados DUMAS no hubo diferencia estadística, por lo tanto la tecnología es apta para el uso actual comparado al método oficial AOAC pero debe ser ajustada mediante una curva robusta y probada en condiciones de trabajo reales.

5.3.3 Variabilidad en producto terminado, por turno:

El laboratorio solo cuenta con un analista por turno, además la planta depende de un operario encargado del muestreo por lo que la variabilidad por turno es una diferenciación de estabilidad, el análisis con el NIR contribuye a minimizar la carga de analista ya que se realizan de manera mensual los siguientes análisis:

Cuadro No. 13 Resumen cantidad de análisis NIR DS 2500

Análisis por turno por mes		
Turno	Materia Prima	Producto Terminado
Mañana	89	296
Tarde	237	311
Noche	29	295

Nota: Elaboración propia

Por lo tanto, un mismo analista se ve limitado al moler y analizar las muestras, esto hace que el resultado si bien veloz del NIR no sea estable y presente variaciones, como se mencionó en el capítulo anterior esto se puede contrarrestar con un tratamiento previo de muestra correcto o con un ajuste en la curva de calibración, aprovechando las facilidades de adaptación de la tecnología.

5.4 Factibilidad técnica, operativa y financiera.

Se evaluaron de forma conjunta tres posibles proyectos a ejecutar para solventar la situación de la variabilidad y sobre ocupación del laboratorio de calidad, teniendo las siguientes propuestas:

Cuadro No. 14 Resumen de propuestas de proyecto de solución.

Proyecto		Proveedor	Marca	Cotización	Beneficio esperado
A	Adquirir un equipo NIR DS3AF con molino 0.5 mm criba	SCANCO	Foss	$105,726.00	Garantía análisis para norma Centroamérica
B	Adquirir un equipo NIR DS3AF con molino 0.5 mm criba + Automuestreador	SCANCO	Foss	$110,370.60	Garantía de análisis, automuestreador 20 muestras mejorando respuesta del laboratorio
C	Implementación con diseño ingenieril, un sistema integrado de NIR en línea en producto terminado + software de control en tiempo real. Sistema PROFOSS + software ISISCAN	SCANCO	Foss	$122,938.13	Garantía de análisis, control de materia prima en tiempo real, control de producto terminado sin traslados de muestras, molienda, recursos de laboratorio

Fuente: Proformas proveedor SCANCO

En el cuadro anterior se resumen los equipos necesarios para el despliegue de solución, sin embargo, se debe decidir por cual se enfocará los esfuerzos, presupuestos y recursos.

5.4.1 Pre Factibilidad técnica.

a. Proyecto A: Implementación de un infrarrojo de mesa NIR DS3AF.

El equipo pertenece a la familia FOSS originaria de Dinamarca con estándares de la más alta calidad, se trabaja por más de 17 años con NIR marca FOSS, por lo tanto, la experiencia permite dar fe de sus resultados, además, el servicio técnico de la maraca en Costa Rica es SCANCO una empresa consolidada con presencia en toda Latinoamérica y cuyo centro de operación es Costa Rica, por lo tanto, el acceso a servicio técnico es eficiente.

Por otro lado, se posee procedimientos de capacitación con representantes que ofrecen una personalizada curva de aprendizaje a los analistas.

La tecnología propuesta en este proyecto del NIR DS3AF esta evaluada en otras plantas de alimentos balanceados, además permite ser abierto para mejorar la respuesta según la necesidad, en este caso se debe, a parte de la curva de fábrica, realizar una robusta curva de calibración con productos de la manufactura puramente, el valor de referencia será el indicado al método referenciado por la AOAC. Por lo tanto, se realiza una corrección en la lectura comparando un resultado con un predicho o muestra de referencia ajustando linealmente la señal Infrarroja emitida, recibida disminuyendo la dispersión y el ruido:



Característica	Especificación
Dimensiones (ancho x fondo x alto)	375 x 490 x 300 mm
Peso	27 kg
Grado de protección	IP 65
Modo de medición	Reflectancia o transflectancia (para los líquidos)
Rango de longitud de onda	850-2500 nm
Detector	Silicio (850 - 1100 nm); Sulfuro de plomo, PbS (1100 - 2500 nm)
Ancho de banda óptica	8,75 ±0,10 nm
Resolución de datos	0,5 nm
Número de puntos de datos	3300
Número de submuestras	Predeterminado: 7 para cubeta pequeña; 8 para cubeta grande
Autodiagnóstico	12 minutos (variable)
Tiempo de análisis	<1 minuto para 32 escaneos (8 submuestras, 4 escaneos por submuestra)

Requisitos para la instalación

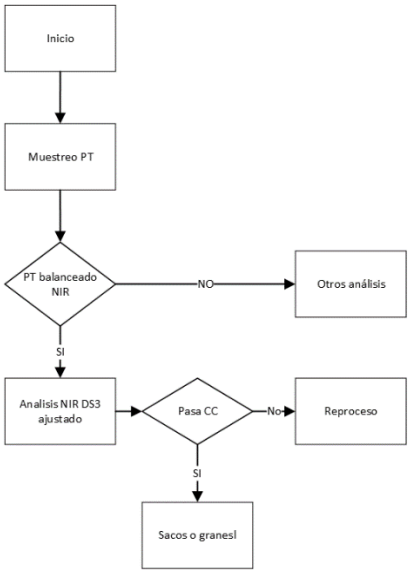
NIRS™ DS3 F	
Tensión de alimentación	100-240 V CA*, frecuencia 50-60 Hz, Clase 1, con conexión a tierra
Temperatura ambiente	5-40 °C
Temperatura de almacenamiento	-20 a 70 °C
Humedad ambiente	< 93 % HR
Entorno mecánico	Estacionario durante su uso
Entorno CEM	Uso en laboratorio, requisitos de la industria

*Fluctuaciones de la tensión de alimentación de corriente que no superen ±10 % de tensión nominal.

Fuente: Ficha técnica FOSS

Figura No. 35 Equipo NIR DS3

En la figura se observa el equipo propuesto, especificaciones y requisitos, lo cuales son generales y están en el laboratorio por lo que su instalación es sencilla.



Nota: Elaboración propia

Figura No. 36 Diagrama análisis NIR

En la figura No 36 se observa un resumen de procesos utilizando el NIR con nuevo ajuste, por lo que cualquier sustitución hará un mínimo impacto en las áreas involucradas.

b. Proyecto B Implementación de un infrarrojo de mesa NIR DS3AF con auto muestreador:

Esta combinación es reciente para este equipo NIR de mesa, se presenta como un complemento de ayuda y mejora en tiempo de preparación de muestras, el propósito es dedicar un tiempo menor al tratamiento de muestra para que el operario dedique tiempo efectivo en otras actividades, con esta mejora se pretende dar una mayor calidad de tratamiento de muestra logrando molerla para mejorar la respuesta del NIR.

NIRS™ DS3 A

Feature	Specification
Dimensions (w x d x h)	375 x 490 x 300 mm
Weight	27 kg
Degree of protection	IP 65
Measurement mode	Reflectance and transflectance* (for liquids)
Wavelength range	400 - 2500 nm
Detector	Silicon (400 - 1100 nm), Lead Sulphide, PbS (1100 - 2500 nm)
Optical bandwidth	8.75 ± 0.10 nm
Data resolution	0.5 nm
Number of data points	4200
Number of subsamples	Default: 7 for small cup; 8 for large cup
Self test	12 minutes (variable)
Analysis time	<1 minute for 32 scans (8 subsamples, 4 scans per subsample)

*Transflectance only possible with manual operation.

Autosampler	Autosampler magazine	Autosampler collection station	Autosampler loading station
Dimensions (W x D x H)	115 x 105 x 692 mm	469 x 50 x 655 mm	325 x 300 x 130 mm
Weight	1.22 kg	2.04 kg	1.30 kg

Note: 20 sample cups are included in the total solution.

Fuente: Ficha técnica FOSS

Figura No. 37 Equipo NIR DS3AF con auto muestreador y requisitos

En consecuencia, ambos equipos y propuestas son viables técnicamente se tienen recursos, infraestructura y la experiencia de instalación o soporte requerida.

c. Proyecto C: Implementación de un NIR en línea en fase de ensacado/granel para el control en tiempo real de % de proteína en producto terminado

Este proyecto permite el control con software especializado, es una tecnología probada y garantizada ya que se desarrolló un sistema similar en área 1 de la manufactura de pan.

Consiste en un sistema de infrarrojo de alta respuesta y sensibilidad, parte de la misma tecnología del NIR DS3 por lo que la curva de calibración de fábrica se adapta a los productos producidos dando una respuesta funcional para la toma de decisiones.



Tecnología de medición: Reflectancia		
Frecuencia de análisis	En tiempo real: Tiempo promedio de análisis por resultado 2-3 segundos	
Rango de longitud de onda	1100 - 1650 nm	
Detector	Matriz de diodos InGaAs	
Detector de matriz de diodos InGaAs de dispersión espectral	1,1 nm/pixel	
Interfaz de línea de proceso	Zafiro; diámetro 45 mm, espesor 12 mm, con junta tórica FFPM de grado alimentario	
Temperatura del producto	Máximo 150 °C (302 °F)	
Presión de producto	Presión de producción < 21 bares (< 305 PSI). Presión de choque < 50 bares (< 725 PSI)	

Tecnología	Tecnología NIR	
Paquete de software	ISIscan NOVA™ para control de instrumentos	
Exactitud de longitud de onda	<0,5 nm	
Precisión de longitud de onda	<0,02 nm	
Estabilidad de longtud de onda ante cambios de temperatura	<0,01 nm/°C	
Ruido espectral	<60 micro AU	
Vibraciones: requieren fijación de fibra óptica	0,4 g	
Temperatura ambiente de funcionamiento	ProFoss™ 2 de -5 °C a 40 °C (23 °F a 104 °F), la refrigeración con una línea de aire comprimido permite su uso hasta 65 °C (149 °F).	ProFoss™ 2 Ex de 0 C a 50 C (de 32 F a 122 F)
Aire presurizado: enfriamiento (temp. Amb. 45 - 65 °C)	Caudal mínimo de aire de refrigeración 5 l/min, > 99,9 % sin agua, > 99,9 % libre de aceite y partículas finas hasta 0,3 µm	
Humedad ambiente	<90% HR	
Dimensiones (anch. x prof. x alt.)	anch. x alt. x prof. = 420 x 420 x 135 mm (16,5 x 16,5 x 5,3 pulgadas) + soportes para sujetar la unidad	
Peso	máx. 25 kg (55.1 lb)	
Suministro de energía	Primera fase, 100-240 V de CA (máx. ±10 % de la tensión nominal), máx. 51 VA, 50-60 Hz	
Materiales del armazón / carcasa	1,5 mm (tapa 2,5 mm) Acero inoxidable según la norma EN 1.4301 (SS2333)	
Entorno mecánico	Equipo de control del proceso	
Grado de protección	ProFoss™ 2: IP69*	ProFoss™ 2 Ex: IP6X
Homologaciones	ProFoss™ 2: CE	ProFoss™ 2 Ex: Certificado CE, ATEX e IECEx (homologado para explosiones de polvo)
Higiene	Certificación de Higiene 3-A y EHEDG	
Comunicación	KEPServerEX (Ethernet, Analógico Profibus / Profinet) a PLC/SCADA; FOSS IQX™	
Red	Cable LAN blindado de alta calidad; categoría mínima 5e. Conexiones LAN RJ 45 (IP 67)	

Fuente: Ficha técnica FOSS

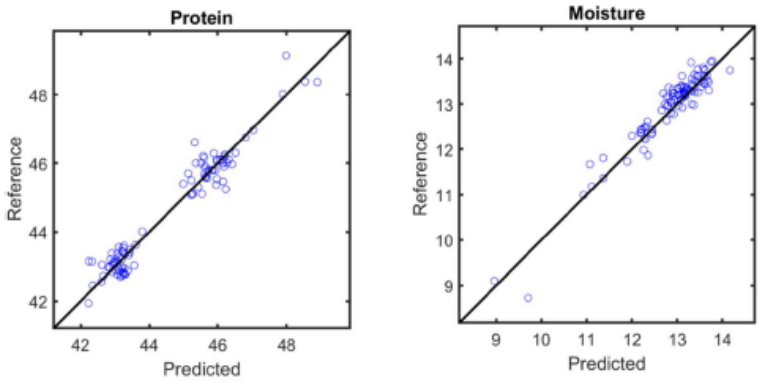
Figura No. 38 Equipo PROFOSS 2 y requisitos técnicos

Los requisitos técnicos fueron evaluados por personal de planta e ingeniería permitiendo medir su factibilidad técnica.

5.4.2 Pre Factibilidad operativa.

a. Proyecto A: Implementación de un infrarrojo de mesa NIR DS3AF.

El reemplazo tecnológico es necesario, sobre todo en plantas con alta capacidad de producción, en el caso del reemplazo del NIR DS2500 es una ventaja operativa ya que permite con un software especializado realizar un ajuste a automático de regresión lineal.



Fuente: Ficha técnica FOSS

Figura No. 39 Elaboración de curvas de calibración

Este equipo permite reducir la variación en los resultados mediante ajustes de curva de calibración basados en un sistema de predicción líneal:

Y=mx+b

Fórmula No. 1 Regresión lineal

El objetivo es realizar un logaritmo de resultado lo más preciso y exacto a una referencia, con esta tecnología se adaptan muchas matrices como las que se requieren en plantas de alimentos balanceados, dando una respuesta confiable.

El laboratorio cuenta con un experto en cálculo de incertidumbre de análisis, ajuste de curvas y adaptación de equipo o métodos de análisis cuya experiencia se pretende utilizar en este proyecto.

En conclusión, en la parte operativa la tecnología de este proyecto no es diferente en uso, complejidad y operación a la actual.

b. Proyecto B: Implementación de un infrarrojo de mesa NIR DS3AF con automuestreador:

Caso similar al proyecto A, necesitará una curva de aprendizaje de adaptación en calibración temporal, el uso de auto muestreador será incluido como parte del paquete de compra como capacitación de uso, este equipo será el primer equipo con algo de automatización en el laboratorio, por lo que optar por mejorar la tecnología crea un hito y abre las puertas a las actualizaciones de tecnología.



Fuente: Ficha técnica FOSS

Figura No. 40 Auto muestreador NIR DS3AF

La propuesta A y B en aspectos técnicos y operativos son altamente viables por la capacidad de profesionales a cargo y la experiencia amplia previa por lo que su decisión se evaluará más adelante.

c. Proyecto C: Implementación de un NIR en línea en fase de ensacado/granel para el control en tiempo real de % de proteína en producto terminado.

Esta propuesta operativamente requiere de estudio y análisis, con demanda de conocimiento de diferentes áreas, teniendo un precedente de éxito en la misma empresa en el área de panificación.

La mejora operativa con la estructura de TI e ingeniería permite una adaptación eficiente con revisión de curva con el laboratorio, formulador e ingeniería, cuyo objetivo es mejorar los tiempos de análisis y dosificación en tiempo real para control de la proteína, obteniendo una base de datos que permita el estudio de comportamiento y tendencias.

Como conclusión, la planta está preparada técnicamente y operativamente para realizar las tres soluciones propuestas de manera exitosa.

5.4.4 Pre Factibilidad financiera.

Este aspecto es de vital importancia, teniendo en cuenta que las tres oportunidades son viables, por lo tanto, y por limitación de presupuesto la oportunidad de mejora se centrara en resolver la variabilidad por repetibilidad del instrumento. Teniendo esto claro las opciones de manera monetaria se tiene lo siguiente:

Cuadro No. 15 Pre factibilidad económica

Descripción	Proyecto A	Proyecto B	Proyecto C
Cotización SCANCO	₡ 54,131,712.00	₡56,509,747.20	₡55,406,041.00
Instalación mecánica	₡ -	₡350,000.00	₡823,500.00
Instalación eléctrica	₡ -	₡ 120,000.00	₡300,000.00
Punta de red	₡ -	₡ -	₡520,000.00
Análisis laboratorio/Ajuste curva	₡1,648,231.00	₡1,648,231.00	₡1,648,231.00
Total aproximado	₡ 55,779,943.00	₡56,979,747.2	₡58,697,772.00

Fuente: Proyectos manufactura del Sol.

Como se observa en el cuadro, las tecnologías NIR son similares en inversión, pero su puesta en marcha depende de la estrategia de negocio.

5.5 Priorización de soluciones

La selección de un proyecto para su implementación no debe hacerse sin una revisión adecuada, siguiendo herramientas gráficas y matrices para demostrar su impacto potencial.

Para esta elección se inicia con una priorización de proyecto utilizando la siguiente herramienta:

Cuadro No. 16 Categorización de proyectos

Importancia		5	2	4	3	4	5	5	Score
Proyecto asignado a:	ARH	Impacto de negocio	Impacto en satisfacción del cliente	Importancia estratégica	Apalanca -miento	Probabilidad de éxito	Impacto en satisfacción de empleado	Nivel de defectos/ Tendencias	
Proyecto A	Adquirir un NIR DS3 con curva ajustada	1	3	3	3	9	3	9	128
Proyecto B	Adquirir un NIR DS3 con auto-muestreador 20 muestras	3	3	3	9	9	3	9	156

Proyecto C	Diseñar de manera ingenieril un sistema automatizado de control de variabilidad, dosificación, y análisis	9	3	9	9	9	9	9	240

Nota: Elaboración propi**a.**

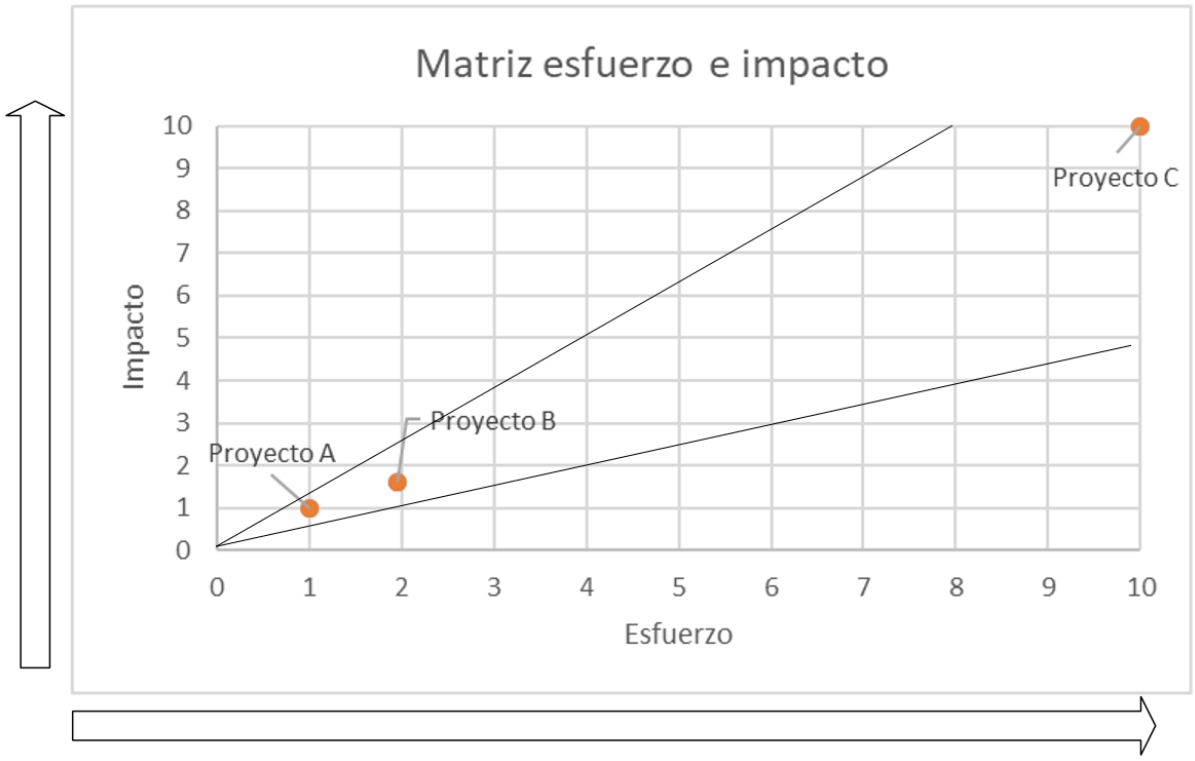
Como se observa en el cuadro, se realizó una categorización de propuestas, estos criterios son los criterios de impacto. Teniendo estos criterios, se debe realizar un análisis también a los segmentos de esfuerzo, ya que estas dos categorías fundamentarán de manera integral la elección del proyecto.

Cuadro No. 17 Matriz esfuerzo e impacto

Criterio		Importancia	Proyecto A	Proyecto B	Proyecto C
Esfuerzo	Inversión	3	3	3	3
	Requerimiento de jornada de trabajo	3	3	3	9
	Tiempo de implementación	2	1	1	3
	Complejidad	2	1	3	9
	Probabilidad de éxito	4	9	9	9
Impacto	Impacto de negocio	5	1	1	9
	Impacto en el cliente	2	3	3	3
	Importancia estratégica	4	3	3	9
	Apalancamiento	3	3	3	9
	Impacto en la satisfacción del empleado	5	1	3	9
	Impacto defectos y tendencias	4	3	3	9
Relación estandarizado escala 10	Proyectos:		Proyecto A	Proyecto B	Proyecto C
	Score total esfuerzo		58	62	96
	Score total impacto		49	59	195
Score total esfuerzo estandarizado			1.00	1.95	10.00
Score total de impacto estandarizado			1.00	1.62	10.00

Nota: Elaboración propia.

Con esta matriz, se observa de manera simplificada y con valoración cada criterio base de impacto y esfuerzo, las coordenadas dadas en la estandarización se grafican visualmente de la siguiente manera:

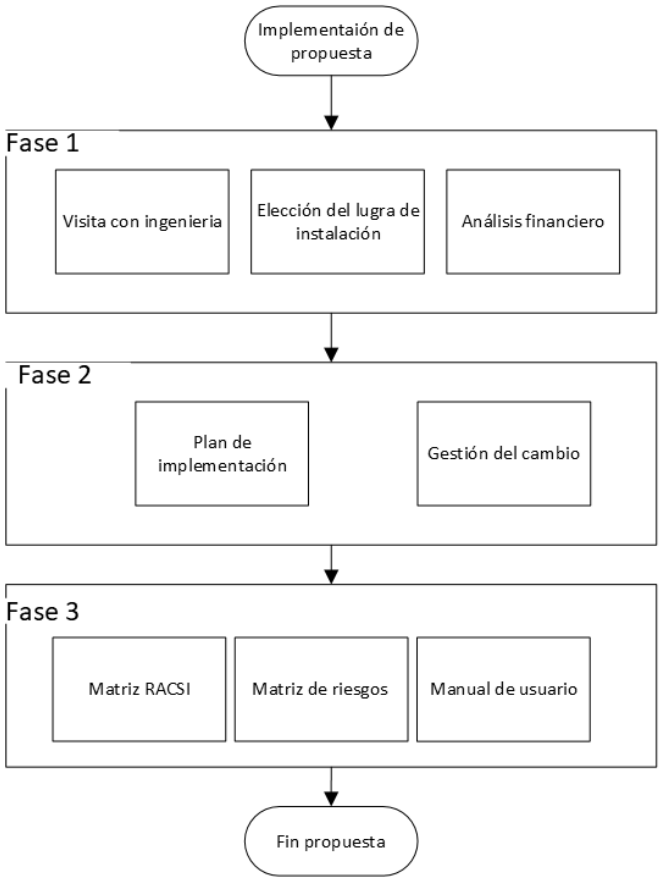


Nota: Elaboración propia**.**

Figura No. 41 Matriz impacto y esfuerzo

Como se observa gráficamente, los proyectos A y B son más básicos de implementar, pero su impacto es muy por debajo del proyecto C, ante esta situación se elige la opción C y es la cual se desarrolla la propuesta en las siguientes secciones.

5.6 Propuesta seleccionada.

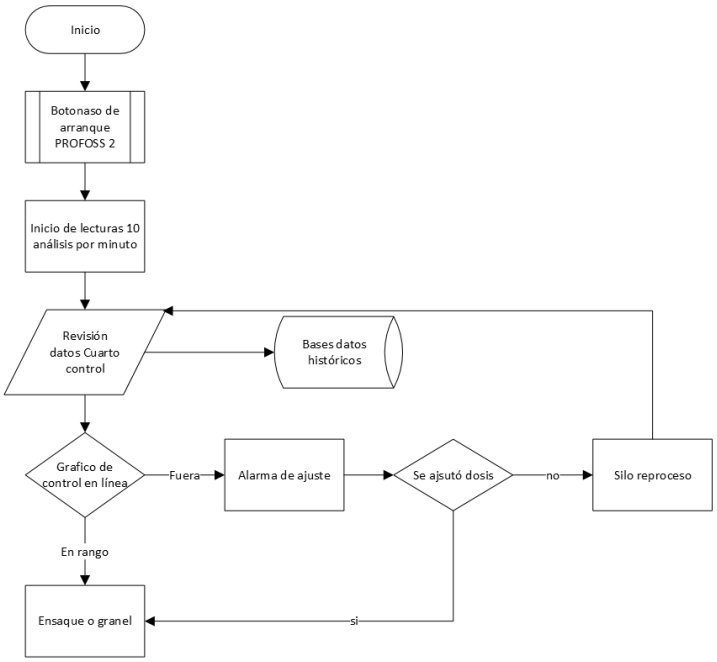


Nota: Elaboración propia

Figura No. 42 Esquema de implementación de la propuesta

La implementación fue revisada por ingeniería a cargo de la instalación y entrega funcional de un PROFOSS en 2022, se revisó factibilidad de instalación y lugares adecuados.

Para esta propuesta, se describe su proceso en el siguiente diagrama de proceso, ya que requiere cambios en la actual manera de manufacturar.

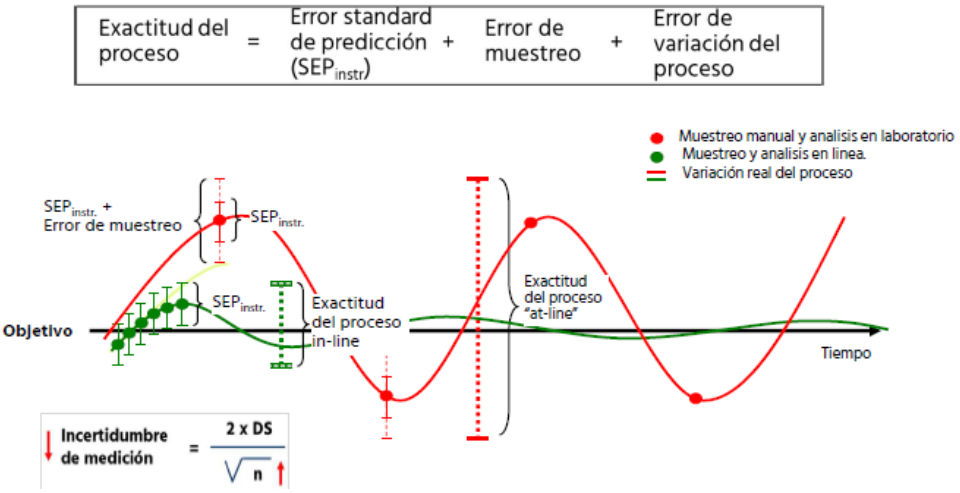


Nota: Elaboración propia

Figura No. 43 Diagrama análisis NIR PROFOSS 2

Al seleccionar este proyecto se parte de la elección tecnológica más elevada, un sistema en línea que ya se utiliza en plantas de primer mundo y con un antecedente exitoso en la misma empresa.

La implementación se basa en una revisión en línea sin variables operacionales, que suman ruido a los resultados, que sean en tiempo real y con una visualización grafica que este unido al sistema de control, para ajustes manuales oportunos, pero abierto a utilización predictiva de inteligencia artificial para automatización total.



Fuente: Manual PROFOSS 2024

Figura No. 44 Representación de variaciones por método vs análisis en línea.

Como se observa, con esta implementación no se requiere muestreos ya que se realizan 10 análisis por minuto de manera automática, enviando el promedio al software directamente permitiendo la visualización de los resultados en tiempo real, la ubicación de la propuesta se muestra a continuación.



Fuente: Manual de manufactura del Sol.

Figura No. 45 Lugar seleccionado para instalar PROFOSS 2

La figura muestra la salida del proceso, el NIR en línea se colocará en la salida de producto terminado antes de ensaque y granel, asegurando dos cosas importantes, una que la dosificación de proteína es real y adecuada, y que el arrastre para cambio de producto

“Flushing” fue efectivo y no contaminó producto que se ensaca o que contamina un camión de granel.

En la planta actual la propuesta se vería de la siguiente manera:





Fuente: Manual PROFOSS 2024

Figura No. 46 Propuesta de ubicación PT previo a ensaque y granel

La imagen izquierda es la planta real donde se ubicaría el PRFOSS 2 y la derecha es un ejemplo de anclaje opcional.

5.6.1 Análisis financiero de la propuesta seleccionada.

Como resultado de aplicar las herramientas de selección de proyectos junto a las matrices de impacto y esfuerzo, poner en discusión la factibilidades técnicas y operativas del proyecto seleccionado se debe ver desde la perspectiva financiera.

A continuación, se detalla por mes los recursos necesarios de inversión inicial, posteriores y demás para la ejecución exitosa, además, de los ingresos previstos mensuales basado en experiencias de proyectos similares especialmente en el proyecto de mejora en porcentaje de

grasa del área de panificación de la empresa, donde se contó con el mismo equipo ejecutor. En el apéndice F se puede detallar los cálculos relacionados al estudio financiero.

Cuadro No. 18 Inversión inicial.

Costo de equipo	₡49,031,891.18
Instalación mecánica	₡823,500.00
Acometida eléctrica	₡300,000.00
Punta de red	₡520,000.00
Soporte para sensor del Profoss	₡720,000.00
Análsis de laboratorio	₡1,648,231.00
Equipo TI interfaz software	₡500,000.00
Mantenimiento	₡42,000.00
Pago de Impuestos	₡6,374,150.02
Inversión final:	₡59,959,772.20

Nota: Elaboración propia.

Como se detalla, se requiere una inversión inicial de ₡59,959,772.20 para los cuales la mayoría se destina a la compra del equipo analítico. Los análisis de laboratorio en el primer mes de implementación se realizará una inversión aproximada de ₡1,648,231.00, debido al ajuste de curva de calibración, proceso descrito anteriormente, pero aprovechando el muestreo normal de trabajo tomando como base el rango temporal del estudio, ya que es necesario para el desempeño demostrable del equipo y su posterior validación estadística, el resto de gastos se refieren a insumos de instalación, tiempo de profesionales invertido.

Para determinar los gastos posteriores a la implementación, logrando una curva confiable de resultados y de operación, se pretende tener un equilibrio mensual aprovechando el desempeño del NIR en línea incluyendo en gasto de mantenimiento.

Cuadro No. 19 Rendimiento de la inversión

Rendimiento de la inversión	
VAN(Valor actual neto)	₡48,041,441.33
TIR (Tasa interna de retorno)	9%
TR (Tiempo de recuperación)	7 meses y 2 días
Tasa de interés referencia DP	8%

Nota: Elaboración propia.

Según el análisis financiero realizado del proyecto, y que se detalla en el apéndice F, generaría un ahorro de ₡12,664,254.00 mensual posterior al periodo de retorno**.** Así mismo, tendrá un periodo de recuperación correspondiente a 7 meses y 2 días, a un VAN de ₡48,041,441.33 con una tasa interna de retorno de 9% dada por la empresa según WACC, esta tasa se compone de un riesgo país, una beta apalancado, tasa de impuestos, la inflación, y contempla promedio de tasas de interés bancario para préstamo.

5.6.2 Plan de implementación:

Como se detalla en la figura No 38 el esquema de implementación de la mejora debe seguir diferentes pasos para su oferta de implementación, el cual se detalla a continuación.

5.6.3 Project chárter.

La carta de constitución del proyecto es una herramienta de punto de partida donde se aclara puntos críticos del proyecto a desarrollar, es un pacto de formalización el cual se puede determinar en apéndice G.

5.6.4 Cronograma de implementación.

La implantación inicia a finales de 2025 y se extiende por el segundo trimestre del 2026 debido a instalación, detalles de compra, capacitaciones y ajuste analítico.

Actividad	Estado	III Trimestre 2025		I Trimestre 2026			II Trimestre 2026		
Detalle del problema	100%								
Propuesta de inversión	100%								
Estudio de factibilidad	100%								
Concretar compra SCANCO	50%								
Autorización de instalación	No completado								
Instalación PROFOSS 2	No completado								
Ajuste de curva de resultados	No completado								
Desarrollo de procedimientos oficiales	No completado								
Validación de resultados /DUMAS	No completado								
Entrenamiento uso, mantenimiento, alarmas	No completado								
Botonazo de salida sin análisis laboratorio	No completado								
Revisión de variabilidad con software	No completado								
Implementación de dosificación Cuarto control	No completado								

Nota: Elaboración propia

Figura No. 47 Cronograma de implementación

5.6.5 Gestión del cambio

Como todo proyecto nuevo en la empresa tiene una curva de implementación, el cambio tiene un procedimiento interno validado

- Elemento externo: Nueva tecnología suplir necesidades operativas, gestión de la comunicación de la apertura del proyecto a los interesados e involucrados, correos, charlas, evidencias de asistencia a charlas iniciales.

- Resistencia: Inicialmente y con el aumento de muestreos para ajuste de curva puede existir resistencia al cambio, motivar y mostrar el progreso es un deber de cada área involucrada.

- Caos: Aumento de trabajo, familiarización con nueva tecnología y visualización, la empresa tiene un procedimiento de quejas laborales y de capacitación adecuadas para manejar el punto crítico de trabajo.

- Idea transformadora: El proyecto es un hecho, informar de avances, mejoras y beneficios es un deber del área involucrada.

- Integración: Cambio o reubicación de personal, nuevos conceptos y aceptación de la mejora, cada jefatura de área debe mostrar que el cambio esta para quedarse y la adaptación es un hecho.

- Nuevo Status Quo: Posterior al periodo de adaptación, se evalúa los resultados y nuevas condiciones donde se desarrolla la actividad. Oportunidad de mejora aceptada.

- Lecciones aprendidas: Se registra la curva de aprendizaje e implementación queda registro de hitos y obstáculos superados en forma y tiempo para posteriores implementaciones.

-



Fuente: Sistema de gestión del Sol.

Figura No. 48 Gestión del cambio planta Alimentos del Sol

5.6.6 Matriz RACSI.

Se requiere un protocolo de asignación de responsabilidades, ya que el proyecto debe contar con respaldos, supervisión y sentar responsabilidades de cada miembro del equipo involucrado. Para esto se diseña la siguiente matriz RACSI.

Cuadro No. 20 Matriz RACSI

Actividad	Tarea	Gerencia	Laboratorio	Encargado de proyecto	Manufactura	TI	Externos (Proveedor)
Presentación de variabilidad gerencia PAB	Estado inicial variabilidad	I	I	R/A			
	Presentación y propuesta de intervención	I	I	R/A	I		
	Datos iniciales / Minitab	I	S/C	R/A	C		
Propuesta de solución	Estudio de sistema de medición equipo analítico	I	R/A	R	I/S		
	Mejora en resultados / normatividad	I	R/A	R	I/S		
Estudio de factibilidad	Estudio y elección de la propuesta	R	I	A	I		I
	Factibilidad operativa	I	I	R/A	R		
	Factibilidad técnica	I	I	R/A	R		I
	Factibilidad económica	I/C	I	R/A	R		
Concretar compra SCANCO	Cotización	A	I	I	I		R
	Orden de compra	R	I	I	I		R
Autorización de instalación	Orden de instalación	C	I	A	R		S
Instalación PROFOSS 2	Instalación en lugar establecido	C	I	A	R		S
Ajuste de curva de resultados	Análisis de datos, ajuste	I	R/A	R	S		
Desarrollo de procedimientos oficiales	Redacción y aprobación	R		A	R		I
Prueba software de control visual TR	Interfaz equipo-software	I	R	A	S	R	I

Validación de resultados IDUMAS	Comparación AOAC	I	R	A	S		I
Entrenamiento uso, mantenimiento, alarmas	Operarios, analistas	I	I	R	A	I	S
Botonazo de salida sin análisis laboratorio	Puesta en marcha	R	S/C	A	I	I	I
Revisión de variabilidad con software	Revisión de mejora, ajuste	I	R	A	I	R	I
Implementación dosificación cuarto control	Propuesta ajuste automático	I	S/C	A	C	I	S
Curvas de control estadístico	Control en el tiempo	I	A	R			

Nota: Elaboración propia

Cada área involucrada es notificada con anterioridad de su participación y grado de responsabilidad.

5.6.6 Análisis de riesgos:

La propuesta a desarrollar está sujeta a variaciones, imprevistos y peligros potenciales, para eliminar, mitigar estas incertidumbres se realiza una matriz de riesgos basado en probabilidad e impacto para diseñar las mitigaciones y que sean exitosas ante una ocurrencia eventual.

	IMPACTO				
PROBABILIDAD	1–Insignificante	2–Pequeño	3–Moderado	4–Grande	5–Catastrofe
5- Casi seguro que sucede	Medio (5)	Alto (10)	Alto (15)	Muy alto (20)	Muy alto (25)
4- Muy probable	Medio (4)	Medio (6)	Alto (12)	Alto (16)	Muy alto (20)
3- Es posible	Bajo (3)	Medio (5)	Medio (9)	Alto (12)	Alto (15)
2- Es raro que suceda	Bajo (2)	Bajo (4)	Medio (6)	Medio (8)	Alto (10)
1- Sería excepcional	Bajo (1)	Bajo (2)	Bajo (3)	Bajo (4)	Medio (5)

	Tipo de Riesgo	Probabilidad	Impacto	SCORE	PRIORIZACIÓN
R1	Equipo no adecuado a PAB	1	3	3	5
R2	Validación de curva deficiente	2	3	6	3
R3	Dependencia un solo proveedor	5	3	15	1
R4	Resistencia al cambio operarios/analista	3	2	6	4
R5	Ubicación del PROFOSS deficiente	1	3	3	6
R6	Problemas visualización datos	3	4	12	2

Nota: Elaboración propia

Figura No. 49 Matriz de riesgos

En la imagen se priorizan los riesgos presentes en la implementación, por lo tanto, se requiere evaluar cada uno.

a. Equipo no adecuado para alimentos balanceados.

Impacto: Respuesta no exacta o precisa, riesgo de etiquetado erróneo, no se garantiza igualdad estadística con el proceso AOAC, riesgo de no cumplir normativa técnica, equipo no operable.

Medidas de mitigación:

- Asesoría técnica con el proveedor, revisión de requisitos oferta y recibido.
- Garantía de respuesta, resolución, robustez de equipo analítico.
- Garantía de resistencia al polvo, vibraciones, temperatura y humedad.
- Asegurar tecnología NIR abierta a ajuste de curva de calibración para piensos de alimentos para animales.

b. Validación de curva deficiente:

Impacto: Trabajar con ajuste de fábrica (error actual en el laboratorio), alta variabilidad en la respuesta, necesidad de mayor tiempo y preparación de muestras.

Medidas de mitigación:

- Asesoría técnica con experto NIR de SCANCO para plan de muestreo y calibración.

- Exigir un rango de valores de pendiente, "R", e intercepto aceptables para los productos.

- Validar con equipos certificados AOAC.

c. Dependencia de un solo proveedor.

Impacto**:** Retrasos por reparaciones o mantenimientos, asistencia técnica con poca respuesta de acción, stock de repuestos. Riego de mayor probabilidad e impacto, históricamente la marca FOSS es muy confiable sin embrago tiene pocos expertos en Latinoamérica.

Medidas de mitigación:

- Seguro de prioridad, contrato con garantía de atención 24/7.

- Capacitación en eventualidades al equipo de mantenimiento industrial.

- Plan de mantenimiento 100% de cumplimiento.

d. Resistencia al cambio operarios/analistas:

Impacto**:** Resistencia a lo diferente, impacto en el rol de trabajo, cabios de horario, priorización de actividades, baja en calidad de trabajo, incomprensión al software.

Medidas de mitigación:

- Capacitación previa.

- Revisión de roles y capacidad de ocio para distribuir mejor las cargas previo a puesta en marcha.

- Buen plan de gestión del cambio.

e. Ubicación de PROFOSS deficiente.

Impacto: Respuesta mal registrada, cálculo de % variables, desprendimiento de equipo, filtración de luz o polvo exterior.

Medidas de mitigación:

- Prueba piloto eficiente.

- Check list de instalación verificada con el proveedor y equipo a cargo.

- Validación de ubicaciones con equipo de PROFOSS panificadora.

f. Problemas en visualización de datos.

Impacto**:** Segundo riesgo probable, esto impediría posterior a la implementación, dar el plus de monitoreo a tiempo real, equipo no funcional, automatización de dosificación fuera de alcance.

Medidas de mitigación:

- Verificar acceso y puerto de internet en la ubicación.

- Garantía de proveedor del software sea compatible con el equipo y capaz de conectarse con la arquitectura TI de la planta.

- Validar requisitos de antivirus y seguridad de TI.

- Asesoría en uso y visualización de datos.

- Tener un back up de respaldo de equipo analítico y plan de muestreo en caso de fallo de la visual.

5.6.7 Manual de usuario.

El equipo cuenta con un manual de usuario para uso en planta el cual se ubica en el apéndice H, incluido errores comunes presentados en el proyecto PROFOSS de panificadora.

5.6.8 Plan post implementación.

Posterior a la implementación es necesario optar por actividades de control y seguimiento, para asegurar que el proyecto prevalezca en el tiempo sin decaer en respuesta y calidad.

a. Indicadores:

Se proponen los siguientes indicadores de calidad, con los cuales se evaluarán anualmente.

Cuadro No. 21. KPI sugeridos post implementación cuadro mando

Criterio	KPI Sugerido mensual inicial
Cumplimento plan de producción	> 98%
Quejas manufactura	menor 5
Cp, Cpk	> 1.33
Estándares liberación final	100%
Sacos PT gestión ambiental	menor 5%

Nota: Elaboración propia

5.6.9 Plan de monitoreo de proteína.

Se establecerá un procedimiento de revisión del software "NOVA" en tiempo real en cuarto de control junto al sistema para controlar los resultados, con los rangos de variabilidad especificados, se registrarán sesgos o comportamientos anómalos, así como de realizar un promedio de datos por turno en una gráfica de control de rangos "R" para el control estadístico de la variabilidad de proceso, así como calcular los índices de capacidad obtenidos de la nueva tecnología.

5.6.10 Plan de muestreo.

Se debe de realizar uno por turno o para producto en proceso, y debe realizarse por el equipo certificado AOAC, el muestreo debe realizarse a la mitad del plan de producción del día para cada producto. Posteriormente, se realiza una validación de 10 muestras al azar tomando promedios de medidas del PROFOSS y comparando estadísticamente con el equipo certificado de laboratorio, cuando la curva este validada y de resultados estadísticos normales la desviación estándar debe ser inferior a 1.5, la repetibilidad en 10 muestras inferior a un coeficiente de variación de 0.30%.

5.6.11 Conclusiones de la implementación.

a. La inversión de la implementación es de ahorro de ₡12,664,254.00 mensual posterior al periodo de retorno. Así mismo, tendrá un periodo de recuperación correspondiente a 7 meses y 2 días, a un VAN de ₡48,041,441.33.

b. El equipo implementado realizaría 10 lecturas por minuto, arrojando un promedio directamente al software eliminado el error por toma de muestra y analista mejorando el R&R actual de 33.9%.

c. Abre paso para la automatización de dosificación en tiempo real, reduciendo tiempo de respuesta disminuyendo la variabilidad. Automatización es un paso necesario para el avance de producción.

d. Crea un registro de monitoreo, las revisiones actuales toman solo promedios mensuales por lo que su incertidumbre en periodos claves como cambios de producto no está registrado.

e. El proyecto da una respuesta real, ajustada a las condiciones de la planta con una curva propia hecha a la medida y validada que actualmente no tiene.

f. Con esta validación documentada, se comprueba que el resultado del etiquetado cumple con los rangos de proteína indicados ya que se someterá a pruebas de desempeño y a un informe de validación.

6. CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones

a. El proyecto presentó un diseño viable para la disminución, monitoreo y aumento de productividad en la planta de alimentos balanceados enfocado a los productos Concentrado A y V, que brinda datos confiables y reales aptos para la garantía del etiquetado cumpliendo con la norma RTCA 65.05.52:11.

b. Se concluye que la empresa ejecuta correctamente los procedimientos de recepción de materia prima, muestreo y análisis de laboratorio, aunque se evidencia una variabilidad alta en materia prima Harina de Soya 47%, debidas al sistema de medición incluido el proveedor y omisiones en procedimientos de reclamos al mismo, además, el sistema de revisión actual es lento y manual lo que evita correcciones oportunas que son solventadas con el ajuste de dosificación de producto terminado.

c. Se comprueba, por resultado de análisis del sistema de medición MSA que la variabilidad, en su mayor parte, está dada por el equipo de medición, es decir su repetitividad, con un 33.9% de involucramiento, justificando la causa raíz detectada en el Pareto.

d. Se concluye, que el tratamiento de muestra es crítico actualmente, ya que se demuestra diferencias significativas con la molienda justificados por los datos obtenidos de la prueba de hipótesis del MSA, esto debido a la curva de fábrica que no contempla el producto en medición y sus condiciones reales, lo cual era un comportamiento esperable que el proyecto atacó.

e. Se determina que la tecnología NIR, es adecuada para el proceso del proyecto y para la planta de alimentos, pero debe de cursar una curva de adaptabilidad en su calibración, esto para dar resultados normales y confiables, ya que la calibración de casa matriz está limitada al proveedor y en condiciones controladas, siendo una tecnología abierta, la solución aprovecha esta ventaja para adaptar las respuestas.

f. Después de realizar los cálculos de tiempo de muestreo, revisión por turno y personal disponible combinado con la simulación en “Flexsim”, se logró hacer una predicción para reducir el número de muestreos diarios de 30 al día de producto, ahorrando un traslado 3500m por día del operario, y una supervisión en tiempo real con el software Nova del NIR en línea, obteniendo un promedio de 10 análisis por minuto, los cuales se visualizarán en la gráfica de rangos propuesta, disminuyendo la tarea de muestreo en un 93.48% y mejorando la respuesta en la dosificación.

g. Por último, se despliega un plan de implementación de tres trimestres finalizando el segundo del 2026, ahorro de ₡12,664,254.00 mensual posterior al periodo de retorno empleado una inversión inicial de ₡59,959,772.20. Así mismo, tendrá un periodo de recuperación correspondiente a 7 meses y 2 días, a un VAN de ₡48,041,441.33.

6.2 Recomendaciones.

a. Se requiere un plan de supervisión de variabilidad real en la planta, un encargado de detectar comportamientos, sesgos y de reportar los índices de capacidad sobre todo durante el proceso de implementación, pruebas y puesta en marcha, o automatizar correcciones automáticas basadas en posteriores estudios o con inteligencia artificial.

b. Para cumplir y respaldar la norma RTCA 65.05.52:11 el laboratorio puede diseñar un plan de aseguramiento de la calidad basado en la norma ISO 17025, con el cual demostrar competencias y seguridad de resultados analíticos, la misma servirá para auditorias.

c. Incorporar mayores controles en recibo de materia prima, ya que se cuentan con tres piqueras de recibo, apropiadas para la implementación de tres equipos PROFOSS 2, los NIR en línea en recibo de materia prima es altamente recomendado logrando monitoreo desde el inicio del proceso productivo con un sistema cerrado de monitoreo, desde el inicio de recepción de muestras hasta producto terminado. Con

un total de 4 equipos NIR en línea estará el 100% de las partes criticas monitoreadas en tiempo real.

d. Es recomendable tener un NIR de mesa NIR DS3 con una curva de calibración robusta adaptada a productos sin moler, como respaldo y plan de contingencia al PROFOSS 2. Lo cual es muy viable al poder exportar la curva optimizada del PROFOSS 2 al NIR DS3 ahorrando tiempo y aprovechando la compatibilidad de la tecnología.

e. Es practico sensibilizar las áreas impactadas por la implementación, siguiendo correctamente el plan de gestión del cambio, ofreciendo respaldo y capacitación a los colaboradores que sean desplazados y reubicados.

f. Es útil realizar un estudio de viabilidad económica y operativa, basada en la actual propuesta, para el desarrollo de nuevos alcances en procesos fuera del mismo, como monitoreo de otros componentes de interés, materia prima y flushing aprovechando que la tecnología permite analizar múltiples elementos al mismo tiempo.

h. BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

Alba Madonado, J. M., & Rivera Rivera, A. (2017). NIR en el análisis de alimentos para la nutrición animal. *REVISTA INGENIO UFPSO, 13*, 165-177. Obtenido de https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2149/2242

Acuña Acuña, J. (2015). *Simulación de procesos* (Primera edición ed.). Cartago: Tecnológica de Costa Rica.

Alatrista Vargas, E. (08 de Junio de 2020). *http://slideplayer.es*. Obtenido de Slideplayer: http://slideplayer.es/slide/4582436/

Alex Estrella, E. I. (2018). *MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE LA PROTEINA DE LOS PASTOS EN BOVINOS DE LECHE UTILIZANDO CUATRO FORMULACIONES DE BALANCEADOS.*

Alvarado Chávez, F. B. (2018). Mejora de Procesos ERP. *Conciencia tecnológica*(55), 9. Obtenido de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94455712003

AOAC. (2020). Obtenido de Oxford academic: https://academic.oup.com/jaoac/article-abstract/50/1/38/5720345?redirectedFrom=fulltext

AOAC. (2023). *Oxford academic*. Obtenido de https://academic.oup.com/aoac-publications/book/45491/chapter-abstract/445504914?redirectedFrom=fulltext

Aparicio Hernández, J. A., Castañeda Mora, E., & López Cruz, G. (2024). HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS PARA REDUCIR LA VARIABILIDAD EN LOS PROCESOS CON SIX SIGMA. *Ciencia Latina, revista multidisciplinaria, 8*(6), 17.

Azarang, M. (2009). Material de la Clase Ingeniería de Productividad. *Curso de Maestría en Calidad y Productividad de la División de Ingeniería*. Nuevo León, México.

Baena Paz, G. (2017). *Metodología de la Investigación.* Ciudad de México, México: Grupo Editorial Patria.

Banco Interamericano de Desarrollo. (2015). *Medición del Desempeño de los Proyectos en el BID: Evolución Reciente de los Sistemas PCR y XPSR.* Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, D.C.

Comunal: https://www.bancopopular.fi.cr/Nosotros/Paginas/default.aspx

Berly Cahuascanco-Quispe1, F. H.-H. (2019). *producción láctea, densidad, sólidos totales, grasa y nitrógeno.* Rev Inv Vet Perú 2019; 30(4): 1504-1514.

Cienfuegos Velasco, M., Garcia Manzano, J. P., & González Pérez, C. (2022). Lo cuantitativo y cualitativo desde un tratamiento estadístico. *Revista Iberoamericana de las ciencias sociales y humanísticas*, 12.

Fontalvo Herrera, T. (2005). *Modelo para el Diseño e Implementación de un Sistema de Gestión de la Calidad en unPrograma Académico considerando la Norma ISO 9001: 2000 y los lineamientos del CNAPROSPECTIVA.* Prospectiva.

José Roberto Cantú-González, M. d.-G. (2020). Monitoring process variability through XR Charts, a statistical application guide. *Revista Electrónica sobre Tecnologia, Educación y Sociedad*, 14.

Kendall, K. E., & Kendall, J. E. (2011). *Análisis y Diseño de Sistemas.* (L. M. Cruz Castillo, Ed.) Camden, New Jersey: Prentice Hall.

KG, C. G. (2025). *Gerhardt analytical Systeme.* Obtenido de https://www.gerhardt.de/es/

Leopoldo Viveros Rosas1, R. D. (2017). *Simulador para entrenamiento en decisiones* . Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de .

Masías García, M., Alvarez Delgado, J., Rojas Fernández, C., Grosso Dolarea, S., Martínez Sancho, M., Sánchez García, M., & Barcala Lechugo, E. (2007). *Universidad de Cádiz.* Recuperado el Junio de 2020, de Guía para identificación y análisis de procesos: http://servicio.uca.es/personal/guia_procesos

Paz Carro, R., & Gómez González, D. (2012). *Administracón de las operaciones.* Obtenido de http://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/1617

Quintero Serna , C. A. (15 de Setiembre de 2021). *Importancia de la alimentación animal.* Obtenido de InGente: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/105417463/INGENTE_V.2._ART5._49_56-libre.pdf?1693497009=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DImportancia_de_la_alimentacion_animal_en.pdf&Expires=1757979844&Signature=BsF-7b5OGW7HyESGzTeaZmSEGQz440a-p-rO

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (01 de Julio de 2020). *Diccionario de la lengua española*. Recuperado el Julio de 2020, de Diccionario de la lengua española: https://dle.rae.es

Rodríguez Weber, M. P. (setiembre de 2015). Práctica Dirigida PAB. 86.

Yingbin , J., Yunpeng, L., & Shenghuan , D. (2022). Intelligent Industrial Design System Based on Spatial. *Hindawi*, *2022*, 10. Recuperado el setiembre de 2025, de https://doi.org/10.1155/2022/6502153

APENDICES

Apéndice A: Siglas y abreviaturas

SENASA	Servicio Nacional de Salud Animal
NIR	Infrarrojo cercano
NPR	Número de prioridad de riesgo
ERP	Enterprise Resource planning
PAB	Planta de alimentos Balanceados
AOAC	Asociación de químicos analíticos
MSA	Análisis del sistema de medición
MP	Materia Prima
PT	Producto terminado
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganaderia

Apéndice B: Resultados interlaboratorial Proveedor de MP

FECHA	FACTURA	MUESTREADAS EN				MUESTREADAS			
		ANALIZADA		ANALIZADA		ANALIZADA		ANALIZADA	
		HUMEDAD (%)	PROTEINA (%)	HUMEDAD (%)	PROTEINA (%)	HUMEDAD (%)	PROTEINA (%)	HUMEDAD (%)	PROTEINA (%)
05/05/2025	37	11.62	46.73	10.90	47.20	11.70	46.74	10.90	47.20
05/05/2025	90	11.76	46.50	11.60	46.80	11.70	46.63	10.90	46.80
06/05/2025	61	11.58	47.00	11.70	46.60	11.68	46.96	11.00	47.00
06/05/2025	62	11.49	46.77	10.80	47.10	11.69	46.88	10.90	46.90
06/05/2025	63	11.67	46.99	11.60	46.90	11.74	46.98	11.10	47.20
07/05/2025	94	10.59	47.19	10.60	46.20	10.95	46.62	10.00	47.20
12/05/2025	195	10.71	47.48	10.90	47.50	10.55	47.01	10.60	47.30
12/05/2025	189	10.71	46.83	10.30	47.20	10.55	47.01	10.00	46.90
13/05/2025	245	12.25	46.55	11.30	46.60	11.87	47.16	10.90	47.10
13/05/2025	244	12.06	46.85	11.00	47.20	11.77	47.00	10.80	46.70
14/05/2025	256	11.98	46.72	11.30	46.90	11.17	46.74	10.50	46.80
15/05/2025	300	11.92	46.78	10.80	47.80	11.08	46.97	10.70	47.10
19/05/2025	393	12.35	46.56	11.70	46.90	10.61	47.63	11.30	46.70
19/05/2025	432	11.69	46.58	11.10	47.40	12.36	46.51	10.30	47.70
21/05/2025	520	11.90	46.54	11.00	46.50	11.76	46.86	11.60	47.00
21/05/2025	518	11.79	46.54	11.30	47.80	11.58	46.92	11.10	47.10
22/05/2025	570	11.51	46.61	10.70	47.10	11.52	46.82	11.10	46.60
22/05/2025	573	11.54	46.50	11.00	47.10	11.49	46.76	10.40	46.90
26/05/2025	678	12.14	46.54	11.30	46.80	12.13	46.61	10.80	46.80
26/05/2025	669	12.26	46.78	11.70	46.90	12.08	46.90	11.40	46.80
27/05/2025	741	11.54	46.58	10.70	47.30	11.41	46.57	10.90	46.60
27/05/2025	731	11.49	46.74	10.50	47.50	11.38	46.63	10.50	46.90
28/05/2025	758	12.26	46.58	11.10	46.80	12.15	46.67	11.40	46.90
28/05/2025	838	11.56	46.59	10.80	47.40	11.48	46.51	10.20	46.80

Apéndice C: Resultados del sistema de datos julio a agosto

Resultados Agosto 2025		
Concentrado A	Concentrado V	01/08/2025 00:01:47
31.50	31.00	01/08/2025 00:03:29
31.25	31.25	13/08/2025 00:04:06
32.25	32.50	29/08/2025 00:04:40
30.75	35.03	26/08/2025 00:25:13
31.75	32.50	18/08/2025 00:26:00
32.25	33.51	21/08/2025 00:26:02
33.76	32.25	11/08/2025 00:30:55
31.50	32.00	25/08/2025 00:33:00
31.50	32.25	18/08/2025 00:34:28
31.50	31.75	07/08/2025 00:37:05
31.75	30.75	18/08/2025 00:40:04
33.76	31.25	23/08/2025 00:43:42
31.25	33.00	22/08/2025 00:49:00
31.25	31.00	27/08/2025 00:54:39
32.50	32.00	02/08/2025 00:58:13
30.75	33.76	28/08/2025 01:06:27
33.00	33.00	27/08/2025 01:22:06
31.75	32.25	29/08/2025 01:22:45
31.00	31.75	20/08/2025 01:25:29
33.51	31.25	18/08/2025 01:31:42
31.00	33.51	18/08/2025 01:32:42
32.50	34.27	04/08/2025 01:46:00
33.51	29.03	25/08/2025 01:47:41
31.00	31.25	09/08/2025 01:47:50
32.00	31.00	21/08/2025 01:50:10
32.75	34.52	08/08/2025 01:50:21
31.00	31.00	19/08/2025 01:53:18
33.51	31.75	26/08/2025 02:02:29
31.75	33.76	02/08/2025 02:02:55
31.25	31.25	29/08/2025 02:04:21
34.01	32.00	05/08/2025 02:06:24
31.50	31.00	20/08/2025 02:08:34
30.75	32.00	22/08/2025 02:10:04
34.52	30.75	02/08/2025 02:20:00
31.75	31.50	28/08/2025 02:23:02
30.75	31.75	07/08/2025 02:24:51
33.25	32.25	01/08/2025 02:25:23
33.76	32.00	07/08/2025 02:25:33
30.75	32.00	01/08/2025 02:26:01
32.25	34.52	15/08/2025 02:26:48
32.75	35.28	05/08/2025 02:35:28
32.25	30.75	18/08/2025 02:37:30
33.76	31.50	04/08/2025 02:45:17
36.31	32.50	23/08/2025 02:51:40
32.25	32.50	29/08/2025 02:53:16
33.25	34.27	12/08/2025 02:54:58
35.54	34.52	19/08/2025 02:55:31
34.52	27.81	12/08/2025 02:57:05
32.50	34.01	21/08/2025 03:08:03
31.00	31.50	04/08/2025 03:09:08
33.76	31.25	06/08/2025 03:22:08
31.25	32.50	22/08/2025 03:57:24
33.00	33.00	13/08/2025 03:59:47
34.77	33.76	13/08/2025 04:04:46
32.00	32.00	09/08/2025 04:05:36
32.25	30.75	27/08/2025 04:05:41
30.75	33.76	09/08/2025 04:07:34
32.00	33.25	19/08/2025 04:29:48
33.51	32.25	02/08/2025 04:30:13
32.75	31.50	27/08/2025 04:33:40
31.25	31.25	25/08/2025 04:34:18
32.50	33.25	20/08/2025 04:37:33
32.75	32.00	06/08/2025 04:43:36
33.51	31.75	11/08/2025 04:50:56
35.03	32.75	18/08/2025 04:58:52
33.25	30.75	25/08/2025 05:00:45
31.25	31.75	04/08/2025 05:14:06
33.00	31.50	18/08/2025 05:18:13
33.76	32.25	25/08/2025 05:39:41
31.00	34.52	13/08/2025 06:02:39
33.00	31.25	14/08/2025 06:10:51
33.25	35.28	19/08/2025 06:30:14
30.75	33.00	10/08/2025 06:39:49
31.75	33.51	10/08/2025 06:44:58
32.00	36.31	13/08/2025 06:45:41
33.51	31.75	07/08/2025 06:46:52
32.50	31.75	13/08/2025 06:46:56
31.25	31.25	22/08/2025 06:47:17
31.75	32.75	22/08/2025 06:48:12
30.75	33.00	10/08/2025 06:50:04
32.50	32.00	28/08/2025 06:51:21
34.27	33.25	11/08/2025 06:51:33
31.00	32.25	09/08/2025 06:58:44
32.25	33.25	11/08/2025 07:00:36
32.25	33.25	26/08/2025 07:01:10
35.03	31.00	20/08/2025 07:02:38
32.00	32.00	01/08/2025 07:03:31
31.25	31.25	10/08/2025 07:12:25
32.75	32.25	18/08/2025 07:12:42
32.25	32.50	21/08/2025 07:13:01
31.00	32.50	25/08/2025 07:17:50
34.27	33.25	07/08/2025 07:21:07
32.50	31.25	20/08/2025 07:24:54
32.25	34.77	12/08/2025 07:30:17

Apéndice D: Resultados por turno

Turno	Concentrado	Proteína
M	Concentrado A	31.09
M	Concentrado A	33.17
M	Concentrado A	31.42
M	Concentrado A	32.00
M	Concentrado A	31.33
M	Concentrado A	33.00
M	Concentrado A	34.60
M	Concentrado A	31.33
M	Concentrado A	29.36
M	Concentrado A	31.92
M	Concentrado A	30.34
M	Concentrado A	30.42
M	Concentrado A	31.25
M	Concentrado A	33.25
M	Concentrado A	32.67
M	Concentrado A	30.09
M	Concentrado A	35.28
M	Concentrado A	33.84
M	Concentrado A	30.09
M	Concentrado A	29.36
M	Concentrado A	30.42
M	Concentrado A	29.93
M	Concentrado A	33.51
M	Concentrado A	31.67
M	Concentrado A	33.51
M	Concentrado A	34.69
M	Concentrado A	32.17
M	Concentrado A	32.17
M	Concentrado A	34.01
M	Concentrado A	32.25
M	Concentrado A	31.50
M	Concentrado A	28.05
M	Concentrado A	28.62
M	Concentrado A	34.18
M	Concentrado A	34.60
M	Concentrado A	31.75
M	Concentrado A	34.10
N	Concentrado A	32.33
N	Concentrado A	32.08

N	Concentrado A	30.84
N	Concentrado A	32.33
N	Concentrado A	32.92
N	Concentrado A	31.83
N	Concentrado A	31.33
N	Concentrado A	32.42
N	Concentrado A	31.67
N	Concentrado A	31.67
N	Concentrado A	31.33
N	Concentrado A	30.92
N	Concentrado A	31.33
N	Concentrado A	31.92
N	Concentrado A	31.09
N	Concentrado A	31.17
N	Concentrado A	32.00
N	Concentrado A	32.84
N	Concentrado A	30.01
N	Concentrado A	32.00
N	Concentrado A	33.09
N	Concentrado A	32.75
N	Concentrado A	32.42
N	Concentrado A	31.50
N	Concentrado A	31.25
N	Concentrado A	33.00
N	Concentrado A	31.33
N	Concentrado A	32.25
N	Concentrado A	32.25
N	Concentrado A	33.09
N	Concentrado A	31.00
N	Concentrado A	31.92
N	Concentrado A	32.67
N	Concentrado A	31.58
N	Concentrado A	31.42
N	Concentrado A	31.92
N	Concentrado A	31.17
N	Concentrado A	31.83
N	Concentrado A	31.00
N	Concentrado A	30.67
N	Concentrado A	30.59
N	Concentrado A	31.25
N	Concentrado A	30.92

N	Concentrado A	31.00
N	Concentrado A	32.08
N	Concentrado A	31.17
N	Concentrado A	31.00
N	Concentrado A	31.92
N	Concentrado A	32.08
N	Concentrado A	31.75
N	Concentrado A	30.84
N	Concentrado A	32.58
N	Concentrado A	32.17
N	Concentrado A	32.75
N	Concentrado A	32.50
N	Concentrado A	32.67
N	Concentrado A	32.84
N	Concentrado A	32.17
N	Concentrado A	34.01
N	Concentrado A	32.50
N	Concentrado A	32.17
N	Concentrado A	31.83
N	Concentrado A	31.75
N	Concentrado A	31.00
N	Concentrado A	32.92
N	Concentrado A	31.33
N	Concentrado A	32.67
N	Concentrado A	32.58
N	Concentrado A	31.67
N	Concentrado A	32.33
N	Concentrado A	32.33
N	Concentrado A	31.17
N	Concentrado A	32.50
N	Concentrado A	32.17
N	Concentrado A	34.35
N	Concentrado A	33.42
N	Concentrado A	32.33
N	Concentrado A	31.58
N	Concentrado A	33.68
N	Concentrado A	32.33
N	Concentrado A	32.42
N	Concentrado A	32.92
N	Concentrado A	31.17
T	Concentrado A	31.83

T	Concentrado A	30.67
T	Concentrado A	31.25
T	Concentrado A	31.50
T	Concentrado A	33.34
T	Concentrado A	31.25
T	Concentrado A	32.42
T	Concentrado A	32.33
T	Concentrado A	32.50
T	Concentrado A	32.25
T	Concentrado A	32.84
T	Concentrado A	33.09
T	Concentrado A	31.92
T	Concentrado A	32.08
T	Concentrado A	32.08
T	Concentrado A	31.50
T	Concentrado A	31.50
T	Concentrado A	32.25
T	Concentrado A	32.67
T	Concentrado A	30.67
T	Concentrado A	31.58
T	Concentrado A	31.67
T	Concentrado A	33.25
T	Concentrado A	33.17
T	Concentrado A	30.84
T	Concentrado A	31.09
T	Concentrado A	30.18
T	Concentrado A	32.84
T	Concentrado A	32.17
T	Concentrado A	32.08
T	Concentrado A	32.25
N	Concentrado V	30.84
N	Concentrado V	31.17
N	Concentrado V	30.67
N	Concentrado V	32.50
T	Concentrado V	31.00
T	Concentrado V	31.42
T	Concentrado V	32.50
N	Concentrado V	32.50
N	Concentrado V	30.51
N	Concentrado V	31.58
N	Concentrado V	32.25

N	Concentrado V	32.00
N	Concentrado V	33.25
N	Concentrado V	32.17
N	Concentrado V	31.42
N	Concentrado V	30.84
N	Concentrado V	31.75
N	Concentrado V	31.42
N	Concentrado V	29.19
N	Concentrado V	29.52
N	Concentrado V	29.68
N	Concentrado V	33.25
N	Concentrado V	30.59
N	Concentrado V	30.84
N	Concentrado V	30.59
N	Concentrado V	30.18
N	Concentrado V	31.33
T	Concentrado V	31.58
N	Concentrado V	32.75
T	Concentrado V	31.58
N	Concentrado V	32.50
N	Concentrado V	33.00
T	Concentrado V	32.67
T	Concentrado V	31.00
N	Concentrado V	31.09
N	Concentrado V	32.75
N	Concentrado V	31.92
N	Concentrado V	32.75
N	Concentrado V	32.25
N	Concentrado V	31.67
N	Concentrado V	31.42
T	Concentrado V	32.08
N	Concentrado V	32.67
N	Concentrado V	31.50
N	Concentrado V	32.33
N	Concentrado V	31.09
N	Concentrado V	31.58
N	Concentrado V	32.17
N	Concentrado V	31.42
T	Concentrado V	31.75
T	Concentrado V	30.92
N	Concentrado V	32.33

N	Concentrado V	30.67
T	Concentrado V	31.67
T	Concentrado V	32.08
N	Concentrado V	32.17
N	Concentrado V	32.25
N	Concentrado V	30.67
N	Concentrado V	33.09
N	Concentrado V	33.59
N	Concentrado V	33.59
N	Concentrado V	31.00
N	Concentrado V	32.92
M	Concentrado V	32.00
N	Concentrado V	33.09
N	Concentrado V	31.33
N	Concentrado V	31.17
N	Concentrado V	33.93
T	Concentrado V	31.09
T	Concentrado V	33.25
T	Concentrado V	33.00
T	Concentrado V	30.67
N	Concentrado V	33.25
N	Concentrado V	33.34
N	Concentrado V	31.67
M	Concentrado V	31.67
T	Concentrado V	31.58
T	Concentrado V	31.25
N	Concentrado V	33.00
N	Concentrado V	32.42
N	Concentrado V	31.33
N	Concentrado V	32.75
N	Concentrado V	33.00
N	Concentrado V	31.75
N	Concentrado V	32.42
N	Concentrado V	32.75
N	Concentrado V	32.42
N	Concentrado V	32.17
N	Concentrado V	33.34
N	Concentrado V	33.09
N	Concentrado V	32.17
N	Concentrado V	31.42
N	Concentrado V	31.75

N	Concentrado V	34.01
N	Concentrado V	34.43
N	Concentrado V	33.76

Apéndice E: Total de análisis NIR laboratorio PAB

Muestra/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Muestras Totales	Prom (2024)
PLANTA ALIMENTOS BALANCEADOS													15574	
Materia Prima	366	438	365	396	398	323	401	390	376	469	422	431	4775	398
Alimento terminado	812	795	813	866	840	812	867	830	852	904	908	937	10236	853

Apéndice F: Estudio financiero propuesta solución

Estructura del Flujo de Caja	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos operacionales:													
Ahorro de análisis MP (No aplica)													
Ahorro de análisis PT promedio 2024					6,019,046	6,019,046	6,019,046	6,019,046	6,019,046	6,019,046	6,019,046	6,019,046	6,019,046
Ahorro quejas de calidad traspaso de reproceso					199,208	199,208	199,208	199,208	199,208	199,208	199,208	199,208	199,208
Ahorro tiempo de anlista preparación muestra					92,000	92,000	92,000	92,000	92,000	92,000	92,000	92,000	92,000
Ahorro laboratorista tiempo efectivo					6,396,000	6,396,000	6,396,000	6,396,000	6,396,000	6,396,000	6,396,000	6,396,000	6,396,000
Ingresos No operacionales:													
Venta de activo fijo													
Recuperación de capital de trabajo													
TOTAL DE INGRESOS	**0**	**0**	**0**	**0**	**12,706,254**	**12,706,254**	**12,706,254**	**12,706,254**	**12,706,254**	**12,706,254**	**12,706,254**	**12,706,254**	**12,706,254**
Egresos operacionales:													
Costo de equipo	49,031,891												
Instalación mecánica		823,500											
Acometida eléctrica		300,000											
Punta de red		520,000											
Soporte para sensor del Profoss		720,000											
Análsis de laboratorio		1,648,231											
Equipo TI interfas software		500,000											
Mantenimiento		42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000
Pago de Impuestos	6,374,150												
TOTAL DE EGRESOS	**55,406,041**	**4,553,731**	**42,000**	**42,000**	**42,000**	**42,000**	**42,000**	**42,000**	**42,000**	**42,000**	**42,000**	**42,000**	**42,000**
Flujo neto de efectivo	**-55,406,041**	**-4,553,731**	**-42,000**	**-42,000**	**12,664,254**	**12,664,254**	**12,664,254**	**12,664,254**	**12,664,254**	**12,664,254**	**12,664,254**	**12,664,254**	**12,664,254**
periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Tasa de Corte Anual	8%	VAN	₡48,279,369.80	PR	7 meses ,		
Tasa de Corte Mensual:	0.64%	TIR	9%				

meses	PR simple	desc	
0			
1	-4,524,619	-4,524,619	
2	-41,465	-4,566,084	
3	-41,200	-4,607,284	
4	12,343,501	7,736,217	
5	12,264,590	20,000,808	
6	12,186,184	32,186,992	
7	12,108,279	44,295,271	7 meses
8	12,030,872	56,326,143	1.6 dias

Apéndice G: Project chárter

	Formulario Acta de Constitución del Proyecto		Código:
Fecha de aprobación:	14/05/2015	Versión: 1	Página 1 de 2

1. Información General del Proyecto			
Elaborado por:	Alfonso Rojas	**Fecha:**	28 de octubre de 2025
Nombre del Proyecto:	Equipo de medición producto terminado		
Descripción del Proyecto:	Instalación de un medidor de parámetros de proteína NIR en línea		
Ubicación del Proyecto:	Costa Rica, San José		
Pilar Estratégico: ☐ Diversificación ☑ Negocio Central ☑ Innovación/Accesibilidad			
Área(s) de Negocio: Producción		**Tipo de Proyecto:** Planta de Manufactura	
Fecha de Inicio:	8 de diciembre de 2025	**Fecha Estimada de Finalización:**	1 de abril de 2025
Plazo Estimado (mes):	7 meses y 2 días	**Costo Estimado ($):**	132,171,917.00

2. Justificación del proyecto:

Reducción de la variabilidad de proteína en producto terminado, y asegurar la garantía de etiquetado cumpliendo con la norma RTCA 65.05.52:11 asegurando ahorros en muestreo y tiempo de reacción para modificaciones de fórmula.

Beneficios adicionales:

- Toma de decisión rápida pudiendo producir mantequilla con el % de humedad máximo permitido, lo que se traduce en mayor tonelaje de producto (4,5 TON extra mensual).
- Reducción de % de ocupación de la línea en un 3% en PS.
- Evitar pérdidas extraordinarias por contaminación cruzada en los tiempos de espera de datos.

Consideraciones:

Este equipo de medición garantiza un análisis de composición en línea en tiempo real, lo que permite controlar el proceso de producción evitando el error por toma de muestra y reduciendo tiempos de ajuste.

3. Objetivos del proyecto

a. **Objetivo General:**

Diseñar un modelo de control de calidad para la harina de soya utilizada en la empresa Alimentos para animales del Valle S.A., conforme la norma técnica centroamericana RTCA 65.05.52:11 y la veracidad de la declaración nutricional en el etiquetado, mediante la reducción de la variabilidad en el porcentaje de proteína cruda en los productos terminados Concentrado A y V

b. **Objetivos estratégicos:**

- Entender el estado actual de la planta.
- Garantizar resultados de etiquetado.
- Mejorar plan de muestreo y dosificación.

4. Alcance del Proyecto

- Este proyecto tendrá alcance en la dirección Agro comercial y servicio al asociado específicamente en la planta de alimentos procesado en el departamento de aseguramiento de la calidad.
- Se pretende desarrollar con los productos terminados en su componente proteína.

Apéndice H: Manual PROFOSS 2

Manual de usuario PROFOSS 2 planta de alimentos balanceados.

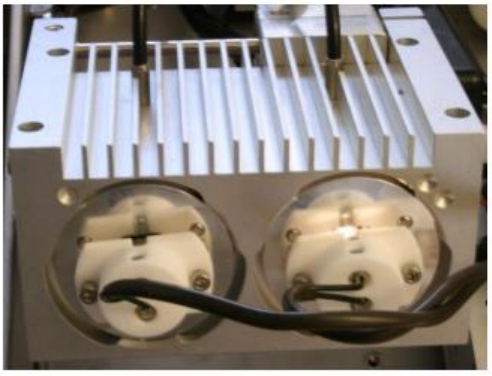
CONOZCAMOS AL PROFOSS

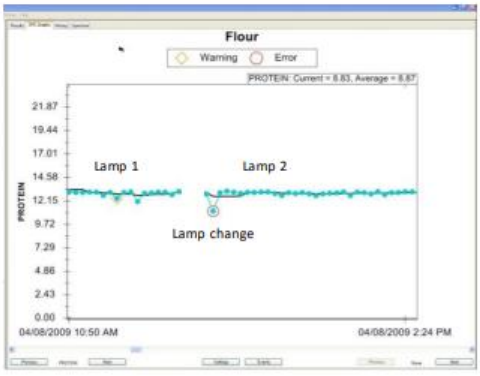


TECNOLOGÍA DE LÁMPARA DUAL

FOSS

- Cuando la lámpara halógena primaria falla, una lampara secundaria se activa automáticamente para evitar tiempos de parada del analizador.
- La lámpara secundaria esta preajustada para ser idéntica a la lámpara primaria, asegurando mediciones idénticas después del cambio.





CONEXIONES Y BOTON DE REFERENCIA

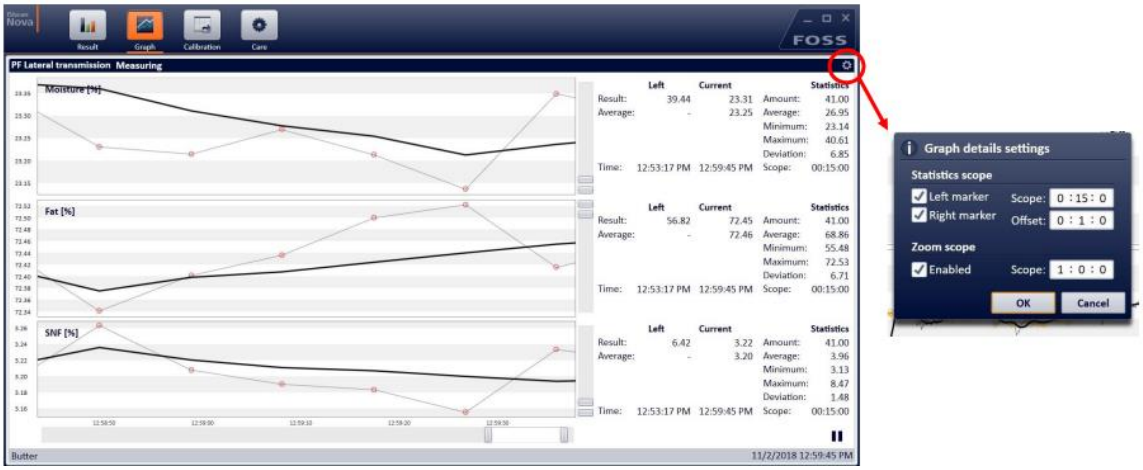
FOSS



Inactivo o durante Medición normal	Verde Estatico
Analizando muestras de calibracion	Rojo/Verde
Cuando la muestra de calibracion termino, sigue parpadeando hasta que se detenga la medicion	Parpadeo Verde
ISIscan Nova en estado de Error	Parpadeo Rojo

ISISCAN NOVA – VENTANA PRINCIPAL

FOSS



ANALYTICS BEYOND MEASURE

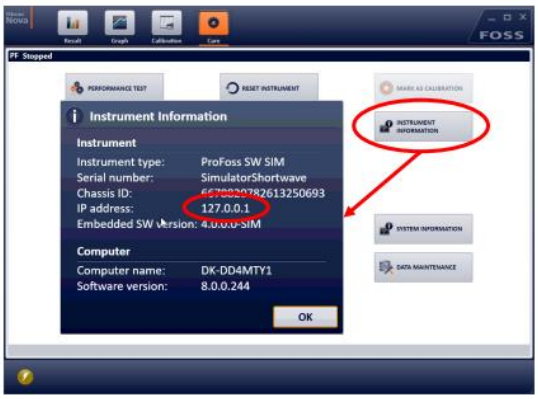
ISISCAN NOVA – VENTANA PRINCIPAL

FOSS



VERIFICAR TEMPERATURA INTERNA

FOSS



En el Navegador web (chrome/edge)
HTTP://(Instrument IP address)/ServiceTool.cgi
Ejemplo: HTTP://127.0.0.1/ServiceTool.cgi

FOSS

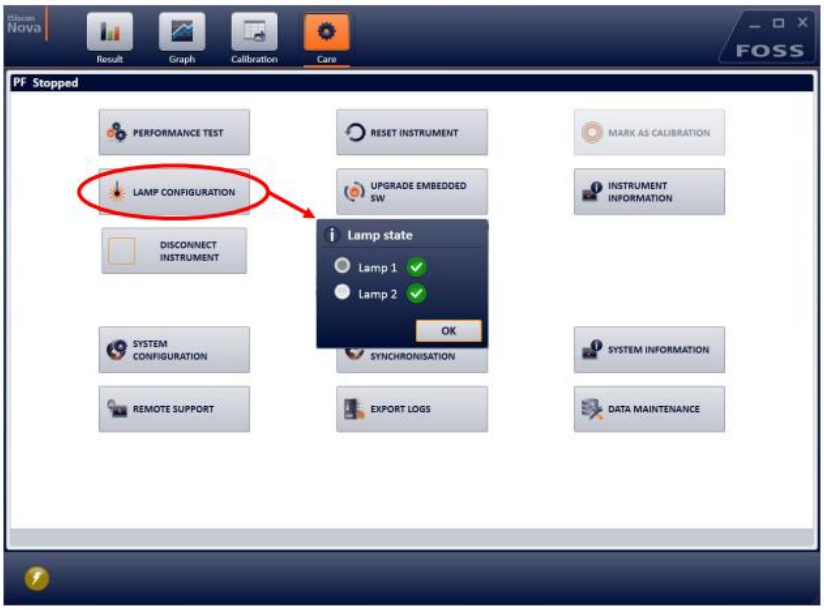
System Information

Instrument SN	91760589		
Chassi ID	8388619, 15205342		
Instrument Type	2700		
Embedded SW version	5.0.8.0		
	Value	Max	Min
24V	23.6	25.0	23.0
5V	5.0	5.5	4.5
3.3V	3.3	3.6	3.0
3.0V	3.0	3.5	2.5
PCB temperature	44.0	60.0	5.0

ANALYTICS BEYOND MEASURE

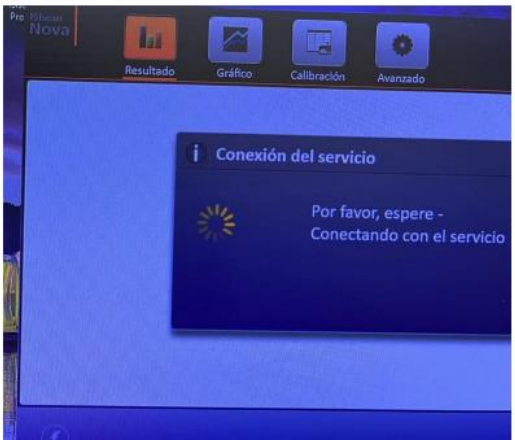
VERIFICACIÓN ESTADO DE LA LAMPARA

FOSS



ERRORES COMUNES

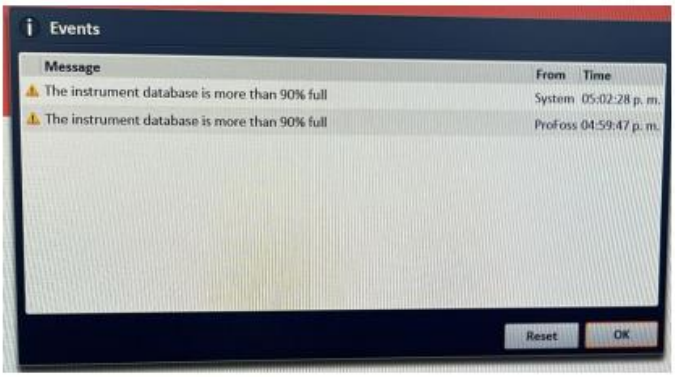
FOSS



Servicios no iniciados

- Esperar o reiniciar
- Si no se resuelve, contactar FOSS

ERRORES COMUNES



Base de datos llena

- Esperar o reiniciar
- Si no se resuelve, contactar FOSS

Apéndice I: Resultados MSA

Partes	Operador	medición
molido	RGA	36.31
molido	RGA	37.59
molido	RGA	37.33
molido	RGA	36.31
molido	RGA	35.79
molido	RGA	36.31
molido	RGA	36.05
molido	RGA	35.79
molido	RGA	35.28
molido	RGA	34.01
molido	RGA	35.28
molido	RGA	35.03
molido	RGA	34.77
molido	RGA	35.28
molido	RGA	35.03
molido	RGA	36.56
molido	RGA	36.05
molido	RGA	34.52
molido	RGA	35.54
molido	RGA	35.79
molido	RGA	35.28
molido	RGA	35.54
molido	RGA	35.54
molido	RGA	36.82
molido	RGA	36.31
molido	RGA	34.77
molido	RGA	34.77
molido	RGA	35.79
molido	RGA	34.77
molido	RGA	35.28
molido	CGA	36.31
molido	CGA	37.33
molido	CGA	37.33

molido	CGA	35.03
molido	CGA	35.03
molido	CGA	36.05
molido	CGA	35.79
molido	CGA	35.79
molido	CGA	36.05
molido	CGA	36.05
molido	CGA	35.28
molido	CGA	35.28
molido	CGA	36.05
molido	CGA	34.52
molido	CGA	34.77
molido	CGA	36.05
molido	CGA	35.54
molido	CGA	36.56
molido	CGA	34.77
molido	CGA	35.54
molido	CGA	34.77
molido	CGA	35.79
molido	CGA	34.27
molido	CGA	35.54
molido	CGA	34.52
molido	CGA	35.28
molido	CGA	34.01
molido	CGA	36.05
molido	CGA	34.77
molido	CGA	34.27
Sin moler	CGA	31.25
Sin moler	CGA	33.00
Sin moler	CGA	32.75
Sin moler	CGA	31.75
Sin moler	CGA	33.76
Sin moler	CGA	32.00
Sin moler	CGA	32.75
Sin moler	CGA	31.25
Sin moler	CGA	31.25
Sin moler	CGA	33.51
Sin moler	CGA	31.75
Sin moler	CGA	31.75
Sin moler	CGA	32.75
Sin moler	CGA	31.50

Sin moler	CGA	31.00
Sin moler	CGA	31.75
Sin moler	CGA	32.75
Sin moler	CGA	32.00
Sin moler	CGA	33.25
Sin moler	CGA	31.75
Sin moler	CGA	31.00
Sin moler	CGA	32.25
Sin moler	CGA	32.00
Sin moler	CGA	32.00
Sin moler	CGA	31.25
Sin moler	CGA	32.50
Sin moler	CGA	31.75
Sin moler	CGA	32.50
Sin moler	CGA	31.25
Sin moler	CGA	33.76
Sin moler	RGA	29.27
Sin moler	RGA	31.25
Sin moler	RGA	32.25
Sin moler	RGA	32.00
Sin moler	RGA	32.75
Sin moler	RGA	33.25
Sin moler	RGA	30.26
Sin moler	RGA	31.75
Sin moler	RGA	30.26
Sin moler	RGA	32.00
Sin moler	RGA	32.00
Sin moler	RGA	32.75
Sin moler	RGA	32.00
Sin moler	RGA	32.50
Sin moler	RGA	32.25
Sin moler	RGA	33.00
Sin moler	RGA	32.25
Sin moler	RGA	32.00
Sin moler	RGA	33.00
Sin moler	RGA	33.76
Sin moler	RGA	32.25
Sin moler	RGA	33.25
Sin moler	RGA	32.25
Sin moler	RGA	32.00
Sin moler	RGA	33.51

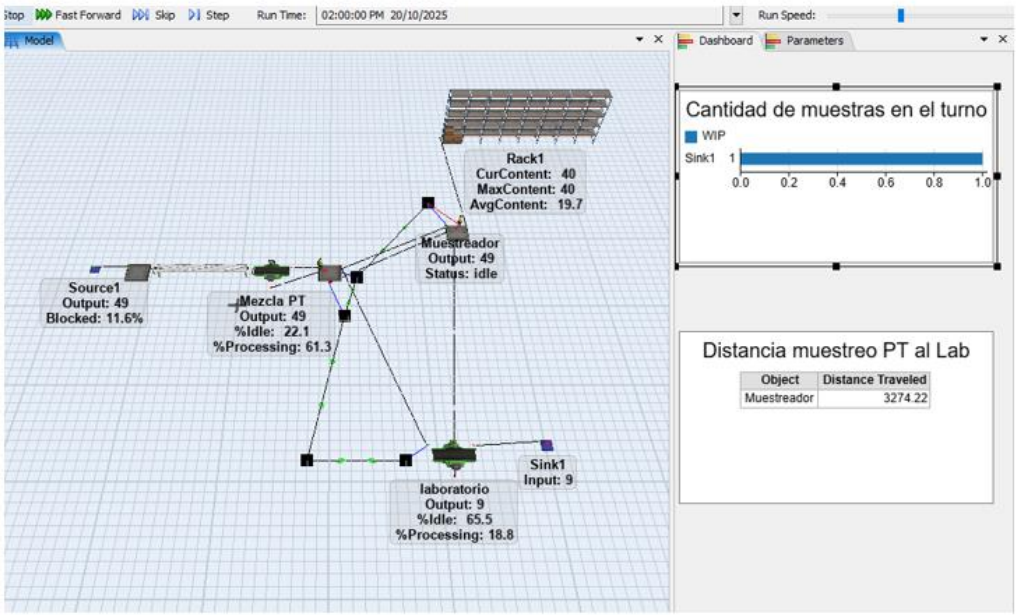
Sin moler	RGA	30.26
Sin moler	RGA	30.75
Sin moler	RGA	30.51
Sin moler	RGA	31.00
Sin moler	RGA	30.51

Apéndice J: Metodología de enmascaramiento

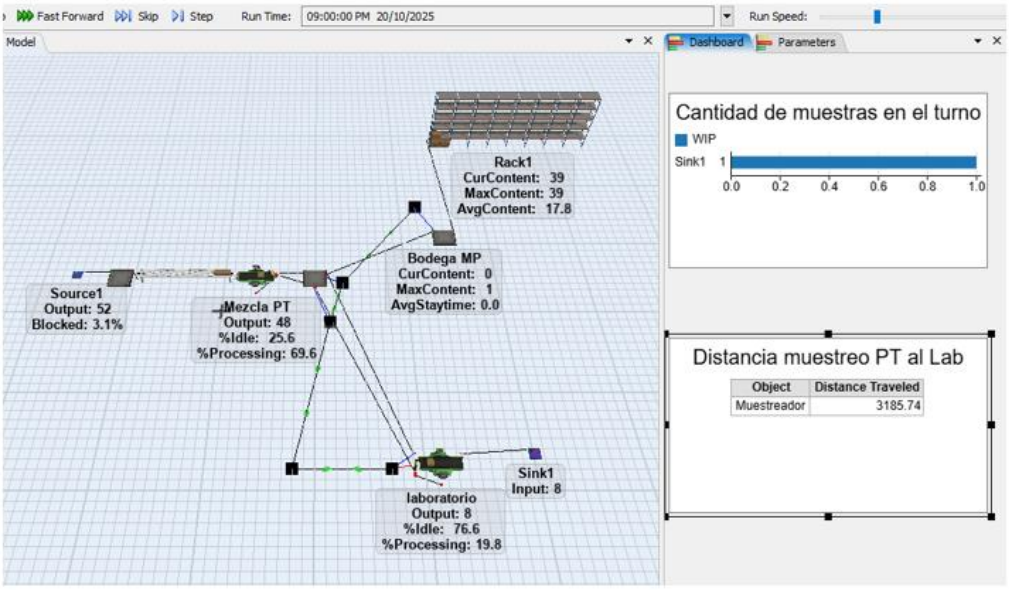
Nombre	Ubicación	Departamentos	Datos
Genérico	aproximada	Genéricos	Potencia (X)

Apéndice K: Simulación Flexsim manufactura PT

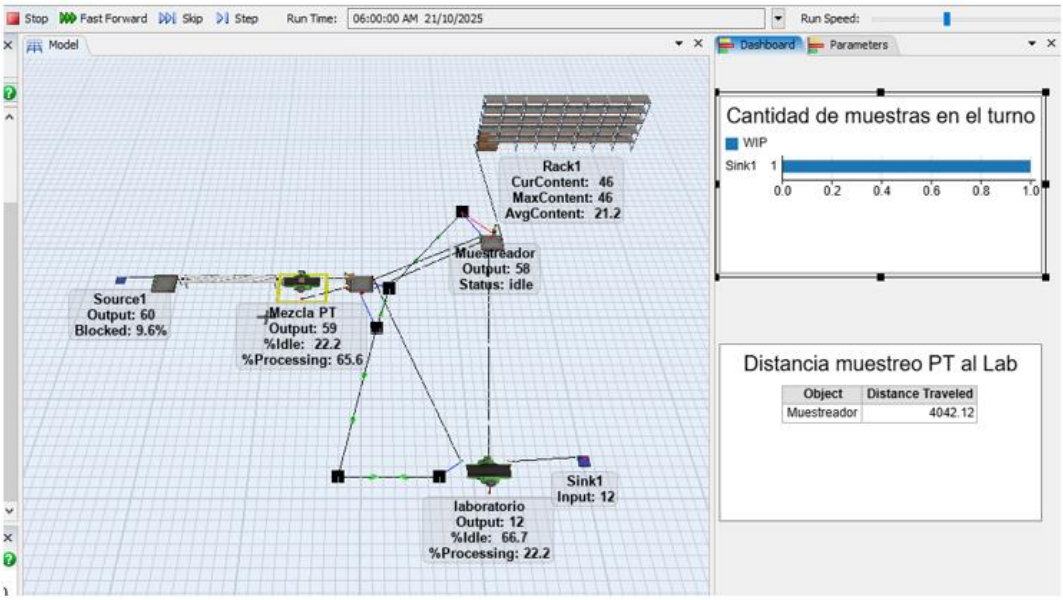
Corrida turno mañana 6:00am a 2:00pm



Corrida turno tarde 2:00pm a 9:00 pm



Corrida turno noche 9:00pm a 6:00am



ANEXOS

Anexo 1: Folleto NIR DS 2500 calibración



Disfrute de las ventajas del NIR

Ahora la directora del laboratorio puede llevar a la práctica su decisión original de invertir en NIR. Ya no es necesario perder más tiempo en el desarrollo de las calibraciones y el laboratorio puede ofrecer un major apoyo al molino de pienso ofreciendo un control más rápido de los parámetros básicos de los productos y, en caso de incumplimiento con las especificaciones, no pasarlos para su envío.

Esta situación podría no encajar para todos los casos, pero los datos se han extraído de casos reales del sector del pienso. Está claro que hay razones comerciales para empezar bien con las calibraciones listas para usar y, así, aprovechar el soporte de conexión en red para el ajuste local y la monitorización del rendimiento con el paso del tiempo.

Anexo 2: Resumen de procedimientos

Documento	Procedimiento
001	Procedimiento de Recibo de Materia Prima y Material de Empaque
002	Control de materia prima
003	Fichas Técnicas de Materia Prima
004	Procedimiento para manipulación de muestras para ensayos
005	Procedimiento para la toma de muestras
006	Método para determinación de proteína por el método de combustión utilizando el n cube de elementar
007	Método para determinación de humedad, proteína, grasa, cenizas, fibra cruda y almidón en materia prima y alimento
008	Plan de calibración
009	Procedimiento para planificación de Alimento Balanceado en Sacos para Planta Ciruelas y Maquila
010	Instructivo para uso del analizador NIRS DS 2500 (1)

Anexo 3: Cotizaciones SCANCO

Totales de cotización

Sub-Total SIN IMPUESTOS:	$93,562.83
Impuestos:	$12,163.17
Gran-Total:	$105,726.00

NIR DS3

Totales de cotización

Sub-Total SIN IMPUESTOS:	$97,673.09
Impuestos:	$12,697.51
Gran-Total:	$110,370.60

NIR DS3 AF Autosampler

RESUMEN DE LA OFERTA

QUO-021221-05	NIR para alimentos balanceados
Sub-Total	$108,794.80
Impuestos	$14,143.33
Total	$122,938.13
Léase	

PROFOSS 2 NIR en línea

CURRICULUM

Hoja de vida: Bach Alfonso Rojas Hernández

a. Datos biográficos

Bachiller Universitario en laboratorista Químico

b. Educación

- Certificación Black Belt RH Businnes School 2025
- Bachiller Universitario Laboratorista Químico Universidad de Costa Rica 2016

c. Experiencia profesional actual

2022- Actualidad: Laboratorista Senior Diagnóstico veterinario y salud del Hato Dos Pinos 2016-2022 Laboratorista de aseguramiento de la calidad Dos Pinos.

d. Publicaciones

- Estudio de uniformidad de contenido en tabletas de acetaminofén de 500 mg en nueve marcas de consumo en Costa Rica: Julio 2017: https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/view/32666.
- Validación de un método para la cuantificación de acetaminofén en tabletas de 500mg por espectrofotometría Ultravioleta para la prueba de uniformidad de contenido. Mayo 2016: https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/view/25563/25916
- Comparación analítica del peso y contenido de acetaminofén en tabletas de 500mg. Mayo 2016: https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/27430/27584
- Prueba comparativa de uniformidad de contenido en tabletas de teofilina (150 mg/tab) de dos casas farmacéuticas en Costa Rica. Abril 2014. https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/view/25563/25916